

85

**Annales
Universitatis
Paedagogicae
Cracoviensis**

Studia Technica IV

pod redakcją
Kazimierza Jaracza

Wydawnictwo Naukowe
Uniwersytetu Pedagogicznego
Kraków 2011



Recenzenci

dr hab. Jana Depešová, dr hab. inż. Zygfryd Głowacz, prof. dr hab. inż. Janusz Kwaśniewski,
dr hab. inż. Tadeusz Tatara, prof. dr hab. inż. Stanisław Wierzbński, dr hab. Mária Vargová,
prof. dr hab. Józef Żmija

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe UP, Kraków 2011

ISSN 1689-9903

Redakcja/Dział Promocji
Wydawnictwo Naukowe UP
30-084 Kraków, ul. Podchorążych 2
tel./fax (12) 662-63-83, tel. (12) 662-67-56
e-mail: wydawnictwo@up.krakow.pl

Zapraszamy na stronę internetową:
<http://www.wydawnictwoup.pl>

Łamanie, druk i oprawa
Zespół Poligraficzny UP, zam. 25/11

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Krzysztof Bryła, Marcin Kowalski

Symulacje przepływu płynów z wykorzystaniem aplikacji inżynierskich

Modelowanie komputerowe stało się obecnie niezbędnym narzędziem zarówno przy prowadzeniu badań naukowych, jak i projektowaniu oraz optymalizacji procesów technologicznych. Numeryczna mechanika płynów *CFD* (ang. *Computational Fluid Dynamics*) jest jedną z najpopularniejszych metod rozwiązywania problemów dotyczących mechaniki i fizyki płynów. Na podstawie rozwiązań będących wynikiem symulacji numerycznej projektuje się urządzenia przemysłowe oraz optymalizuje procesy produkcyjne. Dzięki bardzo szybkiemu rozwojowi zarówno komputerów, jak i samych technik komputerowych numeryczne modelowanie mechaniki płynów stało się ogólnie dostępnym narzędziem, które można zastosować, by potwierdzić słuszność modeli teoretycznych.

Powszechność modelowania numerycznego powoduje, iż często zastępuje się nim badania eksperymentalne, które są czasochłonne oraz wymagają dużych nakładów finansowych na aparaturę doświadczalną. Pomimo tego, że nie jest możliwa do osiągnięcia całkowita zgodność wyników modelowania numerycznego z danymi eksperymentalnymi, to jednak rozbieżności w przypadku porównania rezultatów dla przepływów jednofazowych są niewielkie, a modele dość dobrze zweryfikowane doświadczalnie [1].

Podstawowe pojęcia mechaniki płynów

Mechanika płynów jest nauką o równowadze i ruchu ciał płynnych pod działaniem sił zewnętrznych. Jest to dyscyplina obejmująca dużą ilość złożonych i nie do końca jeszcze zbadanych zagadnień ruchu i równowagi płynów rzeczywistych. Płyny to ciała, które nie wykazują sprężystości postaciowej. Są bardzo ruchliwe, co powoduje, że przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują. Nawet niewielka siła zewnętrzna powoduje znaczne odkształcenia postaciowe płynu. Są to cechy wspólne zarówno dla cieczy, jak i gazów. W celu uproszczenia ujęcia zjawisk fizycznych wprowadzono pojęcie płynów doskonałych. Model płynu doskonałego cechuje umowne pominięcie ścisłości i lepkości.

Wybrane własności fizyczne płynów

Gęstość płynu jednorodnego określa stosunek jego masy M do objętości V , czyli:

$$\rho = \frac{M}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

Gęstość zmniejsza się zwykle wraz ze wzrostem temperatury, a zwiększa z podwyższeniem ciśnienia.

Ściśliwością cieczy nazywa się jej zdolność do zmniejszania pierwotnej objętości na skutek działania sił zewnętrznych (ciśnienia). Ściśliwość cieczy określa współczynnik ściśliwości. Jest to stosunek względnej zmiany objętości V cieczy do przyrostu ciśnienia, który zmianę tę wywołał. Współczynnik ten wyraża się wzorem:

$$\beta_p = -\frac{1}{dp} \frac{dV}{V} \left[\frac{m^2}{N} \right] \quad (2)$$

Lepkość jest zdolnością płynów do przenoszenia naprężeń stycznych, przy wzajemnym przemieszczaniu elementów poruszających się z różnymi prędkościami. Współczynnik proporcjonalności jest miarą lepkości i nazywa się *dynamicznym współczynnikiem lepkości*:

$$\mu = \tau \frac{dn}{dV} \left[\frac{Ns}{m^2} \right] \quad (3)$$

gdzie: τ – naprężenie styczne, $\frac{dn}{dV}$ – gradient prędkości.

Stosunek dynamicznego współczynnika lepkości do gęstości nazywa się *kinematycznym współczynnikiem lepkości*:

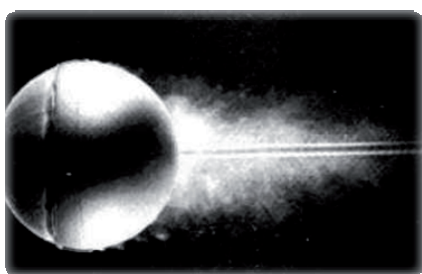
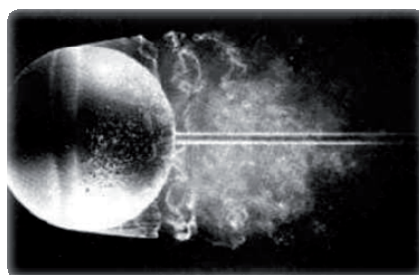
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (4)$$

Lepkość zależy od rodzaju płynu, jego temperatury i nieznacznie od ciśnienia, nie zależy natomiast (dla płynu niutonowskiego) od prędkości. Z badań wynika, że dla cieczy wraz ze wzrostem temperatury lepkość maleje, natomiast dla gazów rośnie [2].

Podstawy dynamiki płynów rzeczywistych

Przepływ jest podstawowym pojęciem z zakresu kinematyki płynów i zajmuje się opisywaniem ruchu płynów. W ujęciu ogólnym przepływ można scharakteryzować tzw. metodą Eulera przez podanie pola prędkości płynu, czyli zależności prędkości od współrzędnych przestrzennych i czasu.

Obserwacje przepływów płynów lepkich (wewnętrznych i opływów) wskazują na możliwość istnienia w nich dwóch odmiennych struktur pola prędkości – jednej o regularnym przebiegu torów cząstek (przepływ laminarny) i drugiej o przebiegu chaotycznie nieregularnym (przepływ turbulentny) (rys. 1).

*przepływ laminarny**przepływ turbulentny***Rys. 1.** Wizualizacja dymna przepływu wokół kuli [3]

W ruchu laminarnym elementy płynu poruszają się po torach prostych lub łagodnie zakrzywionych, w zależności od formy ścian sztywnych, które nadają kształt wszystkim liniom prądu. Sprawia to wrażenie, jakby płyn poruszał się warstwami, między którymi nie odbywa się wymiana płynu (stąd nazwa *przepływ uwarstwiony*) [4]. Podczas przepływu laminarnego, charakteryzującego się przewagą sił lepkości nad siłami bezwładności, wszelkie powstające przypadkowo zaburzenia są tłumione, przepływ ten jest zatem stateczny (stabilny).

Większość występujących w przyrodzie i technice przepływów stanowią przepływy turbulentne. Ich najbardziej znaną i dominującą cechą jest chaotyczny i nieregularny ruch elementów płynu, wskutek czego wszystkie wielkości charakteryzujące dany przepływ wykazują zmienność zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Elementy płynu przemieszczają się zgodnie z głównym kierunkiem transportu masy, wykonując równocześnie nieuporządkowane ruchy fluktuacyjne, poprzeczne w stosunku do kierunku ruchu głównego. Turbulencja jest wobec tego zjawiskiem charakteryzującym się występowaniem w przepływającym płynie chaotycznych fluktuacji parametrów hydro- i termodynamicznych (prędkości przepływu, ciśnienia, gęstości, temperatury).

Charakter przepływu określa się zwykle empirycznie, posługując się bezwymiarową wielkością, tzw. liczbą Reynoldsa, zdefiniowaną wzorem:

$$\text{Re} = \frac{\rho V_{\infty} l}{\mu} = \frac{V_{\infty} l}{\nu} \quad (5)$$

gdzie: ρ – gęstość przepływającego czynnika, l – wymiar charakterystyczny, V_{∞} – prędkość średnia płynu, μ – lepkość przepływającego czynnika, ν – lepkość kinematyczna przepływającego czynnika.

Przejście ruchu laminarnego w turbulentny następuje wskutek utraty stateczności przepływu laminarnego. Drobne wszechobecne zaburzenia generujące fluktuacje elementów płynu występują zawsze podczas przepływu. W przepływie laminarnym, w którym siły bezwładności są małe w porównaniu z siłami lepkości, wzrost sił bezwładności, np. wskutek przyrostu prędkości przepływu, powoduje, że tłumiące działanie lepkości jest niewystarczające. Wywołuje to utratę stateczności ruchu laminarnego i jego *przejście w ruch turbulentny* [5].

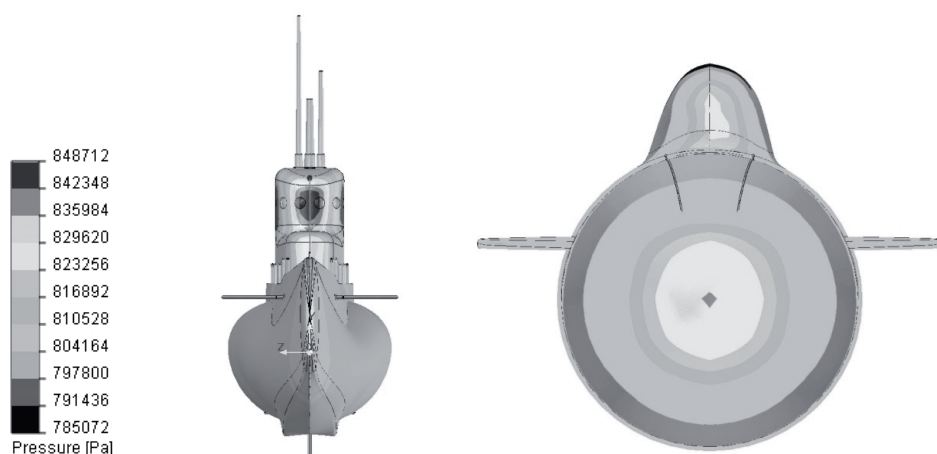
Przykłady symulacji przepływów za pomocą CosmosFloWorks

CosmosFloWorks jest modułem programu SolidWorks o dużych możliwościach, zwiększającym niezawodność projektowanych produktów, w których ma miejsce przepływ gazów lub płynów bądź wymiana ciepła. Moduł CosmosFloWorks dostarcza analiz zależności dynamicznych części i złożeń w odniesieniu do przepływu cieczy i gazów, transmisji ciepła, sił wywieranych na bryłę wynikających z oddziaływania przepływającego medium. CosmosFloWorks działa na podstawie zaawansowanych metod matematycznych obliczeń dynamiki płynów CFD, które pozwalają na analizę szerokiego zakresu złożonych przepływów. Moduł CosmosFloWorks umożliwia m.in.: analizę dwu i trójwymiarowych problemów, analizę przepływów zewnętrznych i wewnętrznych, analizę stanu stabilnego przepływu oraz stanu przejścia, analizę nieściśliwego przepływu cieczy oraz ściśliwego przepływu gazów z różnymi prędkościami, analizę przepływów wyłącznie laminarnych, analizę przepływu płynów ściśliwych, w których gęstość płynu jest zależna od ciśnienia, analizę przepływu laminarnego i turbulentnego oraz stanu przejścia, analizę przepływu wirującego i wentylatorów oraz zjawisko kawitacji, analizę przepływów z wymianą ciepła pomiędzy płynem a ciałem stałym, wymianę ciepła wyłącznie między ciałami stałymi [6].

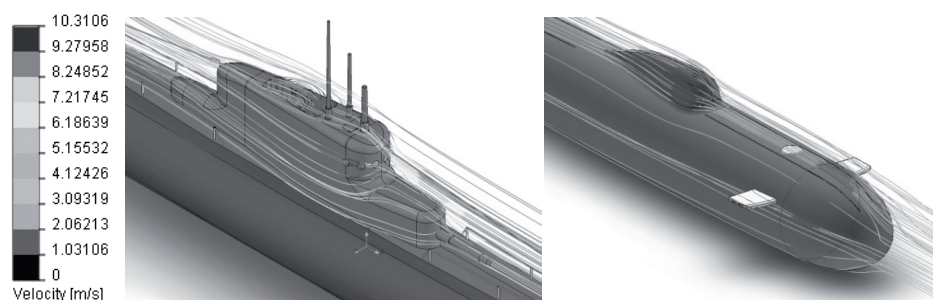
Symulacja przepływu wody morskiej na kadłubie okrętów podwodnych

Przykład zawiera symulację przepływu wody morskiej na kadłubie modeli komputerowych okrętów podwodnych ORP Orzeł i Sierra II wykonanych w skali 1:1000 [7]. Do symulacji przyjęto zasadnicze uogólnienia, spowodowane różnicami w geometrii i wielkości obu okrętów podwodnych oraz złożonością własności fizycznych wody morskiej. Podstawowym uogólnieniem jest przyjęcie uśrednionych parametrów wody morskiej (m.in. gęstość, lepkość dynamiczna, ciepło właściwe, przewodność cieplna), które zależą zarówno od głębokości, temperatury, położenia geograficznego, jak i zmian sezonowych. Kolejnym uproszczeniem jest przyjęcie identycznych wartości dla: prędkości okrętów – 17 węzłów ($\sim 8,75$ m/s), temperatury wody – 4°C (277,15 K) i głębokości zanurzenia – 80 m. Uwzględniając średnią gęstość wody morskiej wynoszącą 1025kg/m^3 , ciśnienie na głębokości 80 m wynosi 804 420 Pa. Wyniki symulacji przepływu wody morskiej na kadłubach obu okrętów podwodnych zostały przedstawione w postaci trójwymiarowych wizualizacji porównujących wpływ geometrii okrętów podwodnych na rozkład ciśnień na ich kadłubach (rys. 2) oraz trajektorie przepływów wokół kadłubów okrętów podwodnych (rys. 3).

Na podstawie wyników takiej symulacji można wnioskować, iż źle wyprofilowany kiosk oraz nie w pełni chowane maszty i peryskopy powodują duży opór napierającej wody i odpowiadają za duże zmiany ciśnienia na kadłubie okrętu ORP Orzeł. W przypadku Sierra II punkty spiętrzenia występują na dziobie okrętu i u podstawy kiosku, jednak zmiany ciśnienia na kadłubie okrętu, w porównaniu z ORP Orzeł, są znikome. Dla okrętu Sierra II obserwuje się niemal pełny laminarny opływ bez oderwania warstwy przyściennej. W przeciwieństwie do Sierry II, na kadłubie okrętu ORP Orzeł widoczne są znaczne zawirowania oraz silne zmiany prędkości strug opływających kadłub. Powyższe obserwacje wizualizacji parametrów przepływu wody morskiej wokół obu kadłubów okrętów potwierdzają wyliczenia średnich współczynników oporu hydrodynamicznego C_x , które wynoszą 0,20 dla ORP Orzeł i 0,15 dla Sierra II.



Rys. 2. Rozkład ciśnienia na kadłubach okrętów (od lewej: ORP Orzeł i Sierra II)

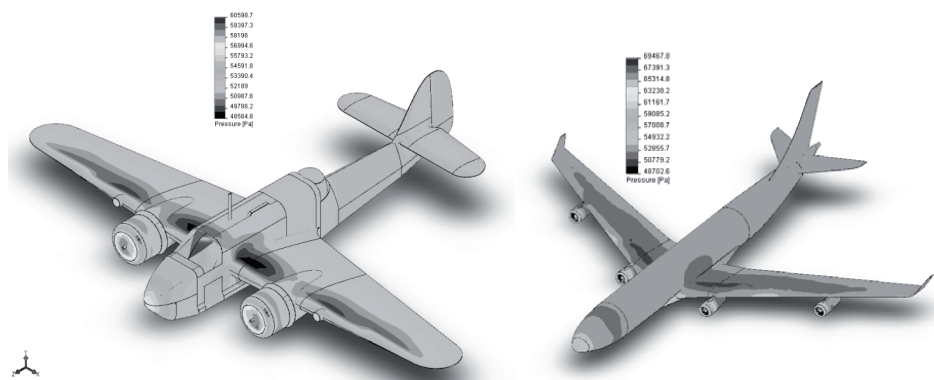


Rys. 3. Trajektorie przepływu wody morskiej wokół kadłubów okrętów (od lewej: ORP Orzeł i Sierra II)

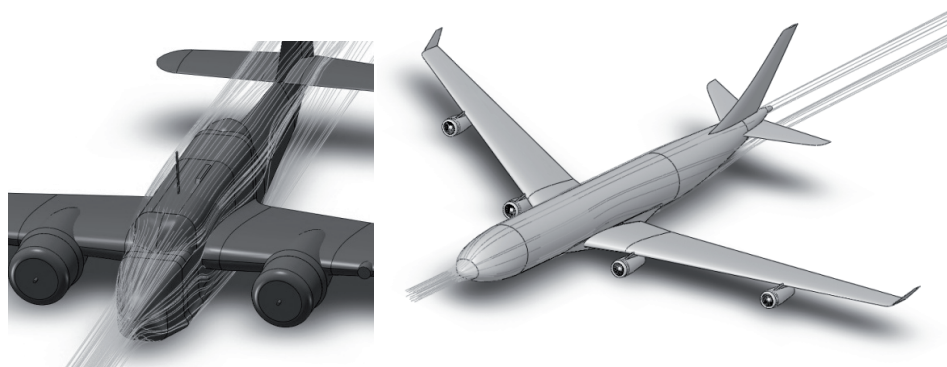
Symulacja przepływu powietrza na kadłubie samolotów

Przykład przedstawia symulację przepływu powietrza na kadłubie modeli samolotów Bristol Beaufort i Airbus A340, gdzie określono wpływ geometrii powierzchni samolotów na opory aerodynamiczne [8]. Dla obu modeli komputerowych, wykonanych w skali 1:100, przyjęto identyczne warunki fizyczne gazu opływającego dla pułapu 5000 m i prędkości 118 m/s: ciśnienie atmosferyczne – 53237,5 Pa, temperatura – 263,2 K i gęstość powietrza – 0,704 kg/m³. W symulacji nie uwzględniono przepływu powietrza przez silniki, rotacji łopatek i śmigieł.

Podobnie jak w powyższym przykładzie, wyniki symulacji przepływu powietrza na kadłubach samolotów Bristol Beaufort i Airbus A340 zaprezentowano w postaci trójwymiarowych wizualizacji porównujących wpływ geometrii samolotów na rozkład ciśnień na ich kadłubach (rys. 4) oraz trajektorie przepływów powietrza (rys. 3).



Rys. 4. Rozkład ciśnienia na kadłubach samolotów (od lewej: Bristol Beaufort i Airbus A340)



Rys. 5. Trajektorie przepływu powietrza na kadłubach samolotów (od lewej: Bristol Beaufort i Airbus A340)

Na podstawie symulacji można wnioskować, iż w przypadku samolotu Bristol Beaufort opływ powietrza jest zaburzony, trafia na duży opór w części dziobowej i czołowej kadłuba. Duże zawirowania powoduje budowa wieżyczki strzelniczej. Jej geometria powoduje oderwanie się warstw przyściennych. Przepływ powietrza wokół kadłuba samolotu pasażerskiego A340 nie jest zakłócony. Zastosowane dodatkowe elementy skrzydła jak „winglety”, niwelują w znacznym stopniu powstawanie wirów wskutek oporów indukowanych. Oszacowana średnia wartość współczynnika oporu aerodynamicznego dla Airbusa wynosi $C_z = 0,4$, a dla samolotu Bristol $C_z = 0,46$.

Komputerowa analiza przepływu cieczy jest potężnym narzędziem dla konstruktorów i inżynierów. Badania modelowe i symulacyjne odgrywają ogromną rolę w nowoczesnej pracy projektowej. Należy jednak zaznaczyć, że zamiana bardzo

złożonego – rzeczywistego zjawiska na język zrozumiały dla komputera wiąże się z koniecznością stosowania wielu uproszczeń i przybliżeń.

Modelowanie przepływu płynów wokół obiektów w skali 1:1 wymaga sporej mocy obliczeniowej komputera. Znaczne zmniejszenie skali modeli pozwala na przeprowadzenie symulacji przepływów za pomocą komputerów osobistych z wykorzystaniem oprogramowania inżynierskiego.

W niniejszej pracy zostały przedstawione przykłady symulacji przepływów wody i powietrza na kadłubach okrętów podwodnych i samolotów przeprowadzone z wykorzystaniem oprogramowania inżynierskiego. Wyniki symulacji w postaci trójwymiarowych wizualizacji parametrów przepływu umożliwiają przedstawienie różnic w opływie obiektów historycznych i nowoczesnych różniących się diametralnie konstrukcją. Wykonane obliczenia pokazują, że prace konstruktorów doprowadziły do zmniejszenia oporów przepływów poprzez zmianę geometrii kadłubów oraz usunięcie wszelkich elementów mogących negatywnie wpływać na zwiększenie oporu.

Ciągły rozwój metod obliczeniowych, stosowanie bardziej precyzyjnych modeli opisujących zjawiska zachodzące w polu przepływu oraz szybki wzrost mocy obliczeniowej komputerów pozwala na uzyskiwanie wyników coraz bardziej zbliżonych do badań doświadczalnych.

Bibliografia

- [1] Shaw C.T., *Using Computational Fluid Dynamics*, Prentice Hall, 1992
- [2] Bukowski J., Kijkowski P., *Kurs mechaniki płynów*, PWN, Warszawa 1980
- [3] <http://www.cfd-online.com>, dostęp: 23.05.2009
- [4] Puzyrewski R., Sawicki J., *Podstawy mechaniki płynów i hydrauliki*, PWN, Warszawa 2000
- [5] Weinerowska K. (red.), *Laboratorium z mechaniki płynów i hydrauliki*, Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2004
- [6] *Introducing COSMOSFloWorks*, Cosmos FloWorks Documentation, 2007
- [7] Kącki T., „Analiza oporów przepływu na kadłubie okrętu podwodnego z zastosowaniem program SolidWorks”, praca magisterska, Uniwersytet Pedagogiczny, 2007
- [8] Łukaszczyk R., „Analiza oporów przepływu powietrza na kadłubie samolotu z zastosowaniem program SolidWorks”, praca magisterska, Uniwersytet Pedagogiczny, 2007

Fluid flow simulation using engineering software

Abstract

In the paper, two examples of simulation of flow behavior using engineering software COSMOSFloWorks were presented. A numerical simulation of sea water flow around submarines and air flow around plane were illustrated by *pressure distribution on model surface* and three-dimensional flow trajectories representation by flexible colored flow traces. In addition, the aerodynamic and hydrodynamic coefficients were calculated for analysed objects.

Keywords: *Computational Fluid Dynamics, Fluid flow simulation, COSMOSFloWorks.*

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Sylvia Dąbroś, Andrzej Baliński

Przemiany fazowe i temperaturowe odpadowego popiołu lotnego

Popiół lotny jest produktem wytwarzanym w procesach spalania węgla i najczęściej pozyskuje się go w elektrowniach spalających węgiel kamienny i brunatny, wychwytyjąc popiół z gazów spalinowych przy pomocy filtrów odpylających. Produkty Spalania Węgla oznaczane są skrótem CCP (*Coal Combustion Products*), natomiast w Polsce stosowane jest nazewnictwo UPS (Uboczne Produkty Spalania).

Popiół lotny ma bardzo zbliżone właściwości do popiołów wulkanicznych używanych do produkcji najwcześniej znanych cementów hydraulicznych (około 2300 lat temu), pozyskiwanych pierwotnie niedaleko małego włoskiego miasteczka Pozzuoli (od którego pochodzi nazwa pyłu – pucolana), w pobliżu wulkanu Wezuwiusz. Na bazie popiołów pochodzących z Wezuwiusza starożytni Rzymianie zbudowali jedno z najbardziej znanych obiektów, jak Koloseum i Panteon, a także akwedukt Pont du Gard na południu dzisiejszej Francji. Pucolaną nazywano mocno rozdrobniony materiał, zawierający dużą ilość aktywnej krzemionki zdolnej do reagowania z wapnem i innymi alkaliom, tworząc związek charakteryzujący się właściwościami cementowymi [1].

Uboczne produkty spalania węgla w energetyce, do których należą popioły lotne, są cennym surowcem dla wielu gałęzi przemysłu. Do najważniejszych odbiorców popiołów lotnych należą: budownictwo, drogownictwo, rolnictwo, ogrodnictwo, przemysł ceramiczny.

Popiół lotny jest także składnikiem wyrobów ceramicznych wykorzystywanych w budownictwie, do których należą: cegły pełne, cegły kratówki, dziurawki oraz pustaki szczelinowe. Materiały te mogą zawierać w swoim składzie, oprócz gliny, duże ilości popiołów, nawet do 90%. Znane są dwie metody produkcji wyrobów ceramicznych z użyciem popiołów: metoda plastycznego formowania i metoda półsuchego formowania. Przemysł materiałów budowlanych wykorzystuje obecnie około 55% wytwarzanych popiołów lotnych.

Popiół lotny stosowany jako dodatek do betonów może spełniać następujące funkcje: stanowi zamiennik części cementu, pełni rolę wypełniacza oraz poprawia niektóre właściwości mieszanek betonowych. Około 10% cementu portlandzkiego można zastąpić 20% popiołu lotnego, praktycznie bez wpływu na wytrzymałość

i czas wiązania. Zastępowanie większej ilości cementu w betonie zwykłym z reguły wiąże się z wydłużeniem jego czasu wiązania i powolniejszym narastaniem wytrzymałości.

W rolnictwie nawożenie gleb popiołem lotnym z węgla brunatnego poprawia ich właściwości fizyczne, zwiększając ich chłonność wody, zmniejsza gęstość oraz alkalizuje gleby kwaśne. Popioły ze względu na zawartość wapnia, magnezu i potasu oraz innych mikroelementów są korzystne dla rozwoju roślin leśnych.

Ogrodnictwo natomiast wykorzystuje popioły ze względu na ich właściwości szybkiej absorpcji wody. Popioły lotne cechuje bowiem duża chłonność oraz zdolność zatrzymywania wody i oddawania jej podczas suszy. Dzięki tym właściwościom popiół lotny, stosowany w odpowiedniej ilości, nadaje się również jako materiał na podłoża kortów tenisowych, czy też boisk piłkarskich.

Popioły lotne cieszą się też dużym zainteresowaniem jako wypełniacze do tworzyw sztucznych i farb. W znaczący sposób zmniejsza to koszt tego rodzaju wyrobów, a także poprawia ich właściwości mechaniczne oraz zmniejsza palność.

Norma Polska dopuszcza stosowanie popiołów do robót ziemnych związanych z budownictwem drogowym oraz z budową składowisk odpadów, gdzie przeznaczone są zarówno do budowy podłoża, jak i obwałowań. Do budowy wałów przeciwpowodziowych stosuje się mieszankę cementowo-popiołową. Mieszanka ta przede wszystkim poprawia własności wytrzymałościowe wałów, a powstała w ten sposób konstrukcję cechuje bardzo dobra stateczność. Dodatkowo nowa technologia budowy wałów z wykorzystaniem popiołów jest tańsza od tradycyjnej.

Mieszanki iniekcyjne na bazie popiołów lotnych stanowią alternatywę dla mieszanek z piasku i cementu. Produkt iniekcyjny na bazie popiołu lotnego o niższej gęstości niż mieszanka cementu i piasku ma duże znaczenie, ponieważ masa właściwa mieszanki iniekcyjnej jest ważnym czynnikiem technologicznym.

W górnictwie wykorzystuje się popioły do wypełniania pustek poeksploatacyjnych oraz gaszenia hałd, gdzie używa się pulpy popiołowo-wodnej o zawartości 70% popiołów. W drogownictwie, gdzie bardzo często grunty są nawodnione i nie zapewniają wystarczającej nośności dla budowy nasypów bądź warstw, przystępuje się do stabilizacji istniejącego podłoża cementem lub wapnem oraz popiołami lotnymi i innymi ubocznymi produktami spalania. Wykonane dotychczas nasypy z popiołów lotnych potwierdzają ich wysoką jakość.

Obecnie proponuje się nowe rozwiązania technologiczno-materiałowe bazujące na układzie stop aluminium – wybrane frakcje popiołu lotnego. Kombinacja metalu i ceramiki łączy w sobie zalety obu materiałów, pozwala na osiągnięcie właściwości eksploatacyjnych przewyższających nawet najlepsze rodzaje żeliwa. Metalowe materiały kompozytowe na bazie stopów metali lekkich stanowią obecnie jedną z najbardziej obiecujących i rozwijających się grup materiałów konstrukcyjnych. Podstawową korzyścią płynącą z zastosowania ich jako innowacyjnych materiałów nowej generacji może być znaczne obniżenie masy konstrukcji przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych właściwości mechanicznych i bezpieczeństwa eksploatacji. Nowe rozwiązania mają zastąpić tradycyjne żeliwne tarcze i bębny hamulcowe, a także tarcze sprzęgłowe [2].

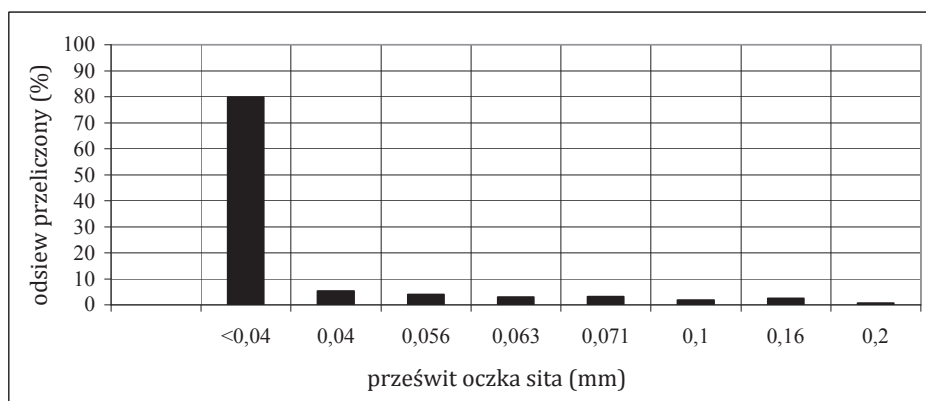
Charakterystyka fizykochemiczna badanego popiołu lotnego

Wyniki badań składu chemicznego badanego popiołu lotnego „A” w porównaniu z uśrednionym składem chemicznym występującym w krajowych popiołach lotnych powstających ze spalania węgla kamiennego (bez odsiarczania spalin) przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Średni skład chemiczny badanego popiołu lotnego „A” w porównaniu ze składem krajowych popiołów lotnych [3]

Składnik	Popiół lotny „A” (%)	Krajowe popioły lotne (%)
SiO ₂	46,37	42,24 ÷ 53,60
Fe ₂ O ₃	11,17	5,4 ÷ 9,57
Al ₂ O ₃	25,78	18,94 ÷ 30,72
CaO	4,45	0,52 ÷ 6,52
MgO	2,24	–
SO ₃	0,64	–
Straty prażenia	5,48	–

Popiół lotny „A” charakteryzuje się zatem stosunkowo dużą zawartością SiO₂ i Al₂O₃ oraz średnią zawartością CaO (tab. 1), co powinno zapewniać stosunkowo dużą jego ognioodporność. Przeprowadzono analizę uziarnienia popiołu lotnego „A”. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 1 oraz w tabeli 2.

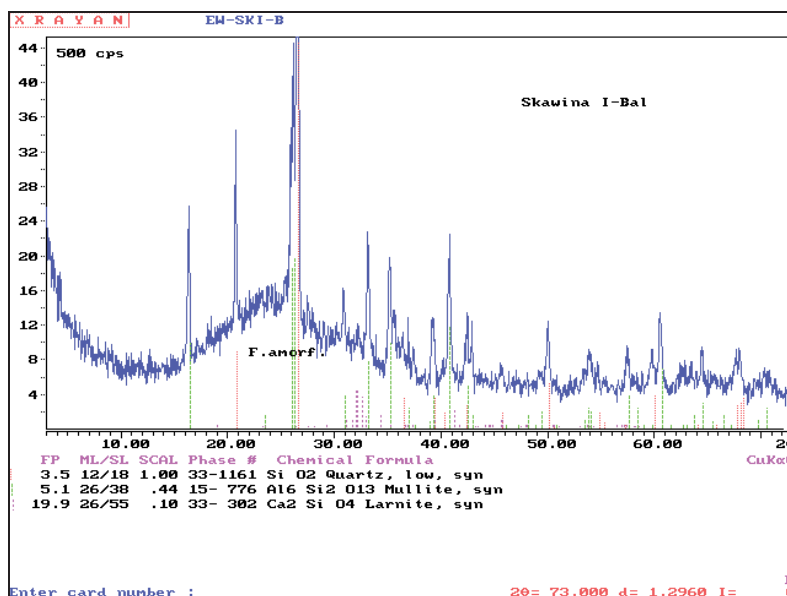


Rys. 1. Rozkład wielkości ziaren popiołu lotnego „A” [3]

Tab. 2. Analiza składu ziarnowego popiołu lotnego „A” [3]

Wymiar oczka sita (mm)	Pozostałość ziaren na sicie (%)
<0,04	79,8
0,04	5,3
0,056	4,0
0,063	3,0
0,071	3,1
0,1	1,8
0,16	2,4
0,2	0,6

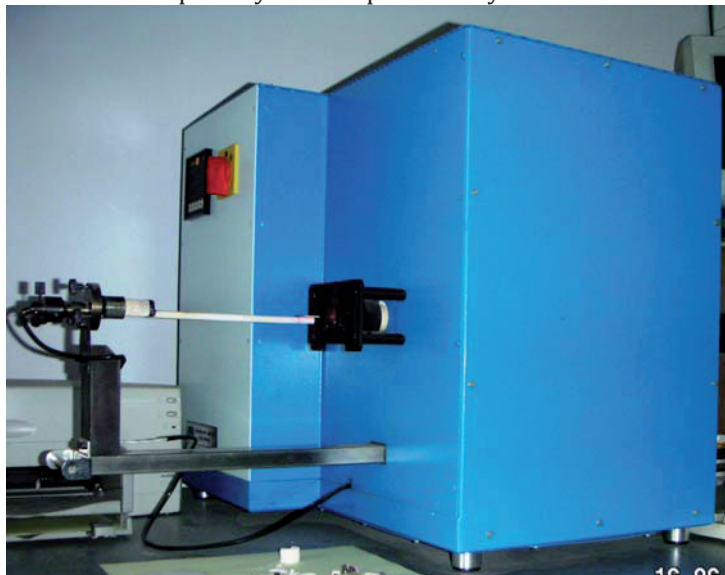
Skład fazowy popiołu lotnego „A” określono metodą rentgenograficzną za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego typu PHILIPS APD X-Pert PW3020 przy zastosowaniu promieniowania $\text{CuK}\alpha$ monochromatyzowanego refleksyjnym monochromatorem grafitowym (rys. 2).

**Rys. 2. Dyfraktogram rentgenowski popiołu lotnego „A” [3]**

Jak widać, badany popiół lotny „A” jest typowym popiołem otrzymywanym w czasie spalania węgla kamiennego w palenisku pyłowym. Charakteryzuje się on obecnością dużej ilości fazy amorficznej (szkliwa) oraz typowymi dla takich palenisk i węgla kamiennych fazami krystalicznymi, a mianowicie kwarcem oraz mullitem. Dodatkowo, w badanym popiole lotnym występuje larnit (krzemian dwuwapniowy), związek charakterystyczny dla klinkieru i żużli hutniczych.

Przemiany fazowe i temperaturowe popiołu lotnego

W celu określenia charakterystycznych temperatur przemian fazowych i temperaturowych popiołu lotnego „A” zastosowano urządzenie PR-25/1750 (rys. 3), nazwane także mikroskopem wysokotemperaturowym.



Rys. 3. Mikroskop wysokotemperaturowy PR-25/1750

Urządzenie to jest skomputeryzowanym stanowiskiem pomiarowo-badawczym do automatycznego określania charakterystycznych punktów topliwości materiałów oraz pewnych parametrów dotyczących fazy ciekłej materiałów (kąt zwilżania). Dzięki zastosowaniu elementów grzejnych Super Kanthal 1900 6/12 urządzenie umożliwia prowadzenie procesów technologicznych w temperaturach do 1750°C. Piec wyposażony jest w reaktor w postaci poziomej rury ceramicznej typu PUROX o średnicy wewnętrznej $\phi 32$ mm posiadającej wielowarstwową izolację termiczną wykonaną z włókna ceramicznego. Regulację mocy grzewczej pieca zapewnia sterownik typu RTM-940. Parametry układu grzewczego są każdorazowo dostosowywane do wartości wprowadzonych przez operatora podczas uruchamiania programu. Zastosowanie dwóch termoelementów PtRh40-PtRh20 (regulacyjnego i pomiarowego) umożliwia utrzymanie zadanej temperatury z dokładnością 1K. Długość strefy, w której temperatura nie różni się od temperatury zadanej więcej niż o 5K, wynosi 40 mm. Obraz pomiarowy zapewnia czarno-biała kamera wizyjna CCD typ K-15 o czułości 0,8 lx na sensorze. Do pomiarów zastosowano obiektyw *Meteor* typ 8m/38 z zoomem i dodatkową soczewką $f = 0,45$ m.

Zastosowany w urządzeniu program służy do wyznaczania charakterystycznych przemian fazowych popiołów, zgodnie z normą PN-82/G-04535 („Oznaczanie charakterystycznych temperatur topliwości popiołów”) [3]. Program ten za pośrednictwem regulatora kontroluje temperaturę próbki. Obraz z kamery wizyjnej jest przesyłany do komputera.

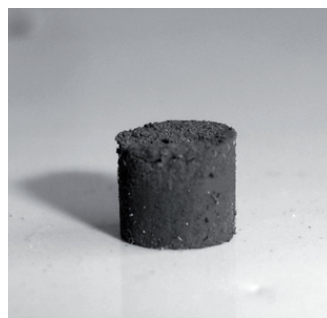
Pomiar temperatur topliwości popiołów odbywa się przez analizę zmian kształtu próbki. Obraz próbki jest przekazywany z kamery do komputera i w nim rejestrowany. Ciąg obrazów próbki jest poddany analizie w programie i na podstawie tej analizy wyznacza się punkty charakterystyczne, tzn. temperatury m.in. topnienia i płynięcia.

Właściwy pomiar odbywa się w dwu etapach: rejestracji i pomiaru. Rejestracja jest procesem gromadzenia uszeregowanych wraz ze wzrostem temperatury obrazów próbki z jednoczesnym programowym sterowaniem temperaturą w piecu. Pomiar jest procesem programowym dokonującym analizy uprzednio zgromadzonych obrazów próbki i określającym wartości temperatury w momentach istotnych zmian fizycznych w próbce.

Z popiołu lotnego zwilżonego wodą (rys. 4) wykonano próbkę o wymiarach $\phi 6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ (rys. 5).

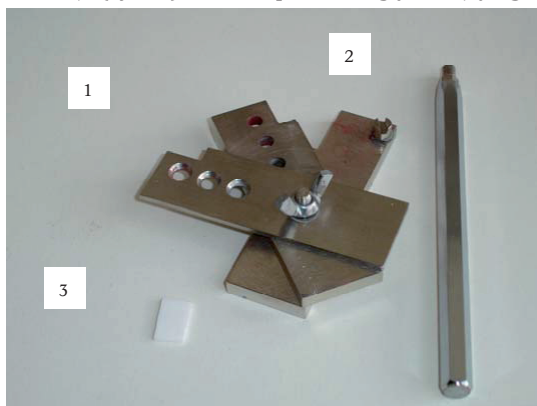


Rys. 4. Popiół lotny zwilżony wodą



Rys. 5. Próbkę ze sprasowanego popiołu lotnego

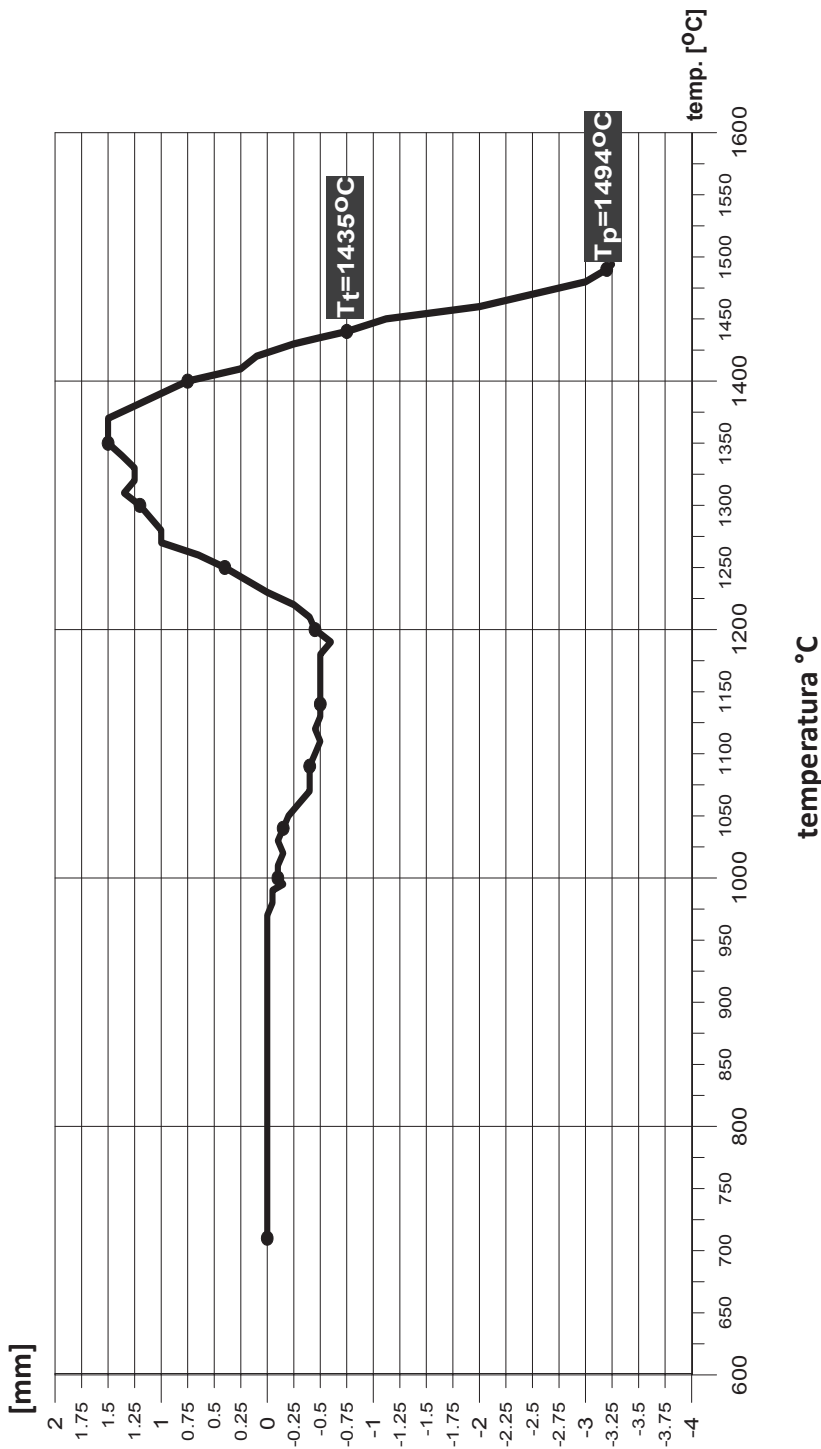
Zgodnie z wymogami normy, próbki popiołu lotnego przeznaczone do badań wysokotemperaturowych wykonuje się z zastosowaniem foremki o specjalnej konstrukcji (rys. 6) oraz trzpienia zagęszczającego (rys. 7).



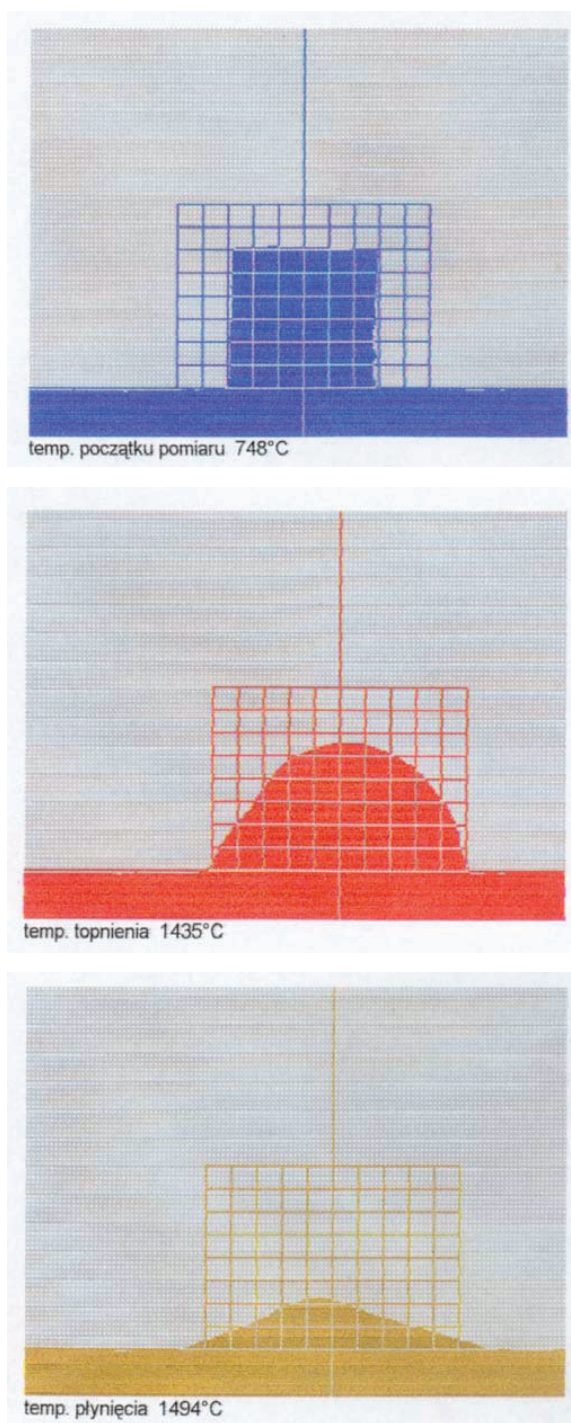
Rys. 6. Foremka rozłożona (1), ubijak (2), płytka z Al_2O_3 (3)



Rys. 7. Foremka złożona do przygotowania próbek popiołu lotnego



Rys. 8. Zmiana wysokości h próbki popiołu lotnego „A” w wyniku zachodzących w nim przemian fazowych i temperaturowych



Rys. 9. Zmiany kształtu próbki popiołu lotnego „A” w temperaturach jego topnienia i płynięcia

Z komory grzewczej mikroskopu wysokotemperaturowego wysunięto zespół załadowniczy aż do momentu ukazania się stolika umieszczonego na końcu rurki ceramicznej. Przygotowaną wcześniej próbkę popiołu lotnego, wysuszoną w temperaturze 105°C umieszczono na alundowej płytce podłożowej o wymiarach 18×2×0,8 mm z materiału ceramicznego Al_2O_3 odpornego na działanie wysokich temperatur. Wprowadzono zespół załadowniczy z próbką do komory grzewczej mikroskopu wysokotemperaturowego. Ustalono położenie zespołu załadowniczego w stosunku do głowicy mikroskopu wysokotemperaturowego oraz przeprowadzono procedurę nagrzewania komory grzewczej mikroskopu wysokotemperaturowego. W dalszej części badań kontrola temperatury próbki, obserwacja i pomiar charakterystycznych wartości temperatury popiołu lotnego odbywa się za pośrednictwem programu *TEMPAT73*. Obraz próbki po przetworzeniu przez program może zostać wzbogacony o elementy graficzne, takie jak: siatka, podziałka, wykres rozwinięcia itp. W komputerze można również gromadzić całe ciągi obrazów próbki w trakcie jej nagrzewania, obrazy wybrane indywidualnie, a także wykresy przebiegu zmian kształtu próbki.

Obraz próbki jest przekazywany z kamery do komputera i w nim rejestrowany. W oknie kamery jest prezentowany bieżący obraz aktualizowany co 3 sekundy, natomiast w tym przypadku zastosowano rejestrację obrazu co 1,5°C.

Podczas poddawania próbki popiołu lotnego działaniu temperatury, operator ma możliwość wprowadzenia zmiennych parametrów przebiegu zmian temperatury w piecu. W przeprowadzonych badaniach zastosowano prędkość grzania próbki wynoszącą 10°C/minutę.

Na rysunku 8 przedstawiono charakterystykę zmian wysokości próbki badanego popiołu lotnego, natomiast rysunek 9 ukazuje zmiany kształtu badanej próbki z zaznaczeniem temperatury topnienia i temperatury płynięcia.

Przemianom fazowym popiołu lotnego występującym w zakresie temperatury ok. 1230–1420°C towarzyszy wzrost wysokości próbki o około 30%, w porównaniu do wysokości próbki popiołu lotnego określonej w temperaturze początku pomiaru (748°C). Wyznaczona temperatura topnienia badanego popiołu lotnego wynosi – 1435°C, natomiast temperatura jego płynięcia 1494°C.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że badany popiół lotny „A” nie wykazuje zmian kształtu (wysokości) do temperatury ok. 1200°C. Przemiany fazowe popiołu lotnego występujące w zakresie temperatury ok. 1230–1420°C charakteryzują się wzrostem wysokości próbki popiołu lotnego o ok. 30%, w porównaniu do wysokości próbki popiołu lotnego określonej w temperaturze początku pomiaru (748°C). Wyznaczona podczas przeprowadzonego doświadczenia temperatura topnienia popiołu lotnego wynosi 1435°C, natomiast temperatura jego płynięcia – 1494°C. Popiół lotny posiadający taką charakterystykę przemian fazowych i temperaturowych może stanowić podstawę ziarnową dla odlewów z tworzyw metalowych, których temperatura zalewania nie przekracza 1200–1230°C. Do tych stopów odlewniczych należą stopy metali nieżelaznych na osnowie np. aluminium, miedzi, cynku, cyny, ołowiu.

Bibliografia

- [1] Baliński A., Projekt badawczy własny, Innowacyjna koncepcja opracowania mas formierskich w ekologicznym aspekcie utylizacji popiołów lotnych (dwustopniowy recykling), nr projektu: 3 T08B 063 27
- [2] Baliński A., *Popiół lotny jako osnowa mas formierskich wytwarzanych z zastosowaniem wybranych technologii*, Technological Engineering, nr 1, t. IV, 2007
- [3] Baliński A., *Charakterystyki teksturalne popiołu lotnego oraz mas formierskich na osnowie popiołu lotnego*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, vol. 27, nr 1, s. 17–25, 2007

Phasic and temperature transformations of the fly-ash

Abstract

In the paper were introduced results of the chemical, granulometric and phasic composition, of the chosen kind of the fly-ash, being characterized with the comparatively large content of the SiO_2 and Al_2O_3 and the average content of the CaO, comparatively to analogous chemical compounds in the fly-ashes. Qualified values of the characteristic temperatures of the phasic and temperature transformations were executed. Ascertained, that the geometry of the sample of the investigated kind of the fly-ash does not change under of the temperature carrying out to about 1200°C . Such fly-ash can be functional ceramic material of the mouldung sands for casting metals, whose pouring temperature does not exceed 1200°C .

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Jan Dutkiewicz

Piotr Malczewski

Możliwości i wykorzystanie skaningowego mikroskopu elektronowego Philips 525M

Od lat do obserwacji mikrostruktury w metalografii, biologii itp. służy klasyczna mikroskopia świetlna, która posiada zarówno liczne zalety, jak też wady i ograniczenia ze względu na zastosowanie światła widzialnego. Jednym z parametrów określających mikroskop jest zdolność rozdzielcza, określająca najmniejszą odległość pomiędzy dwoma punktami, które są rozróżniane podczas obserwacji pod mikroskopem. Maksymalna zdolność rozdzielcza mikroskopu świetlnego wynosi ok. $0,2\ \mu\text{m}$ przy zastosowaniu oświetlacza monochromatycznego o barwie światła zbliżonej do niebieskiej ($\lambda = 0,4\ \mu\text{m}$) oraz obiektywu imersyjnego (pomiędzy soczewką a preparatem znajduje się ciecz o większym współczynniku załamania światła niż powietrze, np. olejek cedrowy $n=1,515$) [1]. W mikroskopie świetlnym wraz ze wzrostem powiększenia następuje spadek głębi ostrości i w przypadku powiększenia 1000x wynosi ona zaledwie kilkadziesiąt nanometrów, co powoduje trudności w uzyskaniu ostrego zdjęcia przy dużych powiększeniach. Dopiero w 1938 roku pojawia się pierwszy seryjny mikroskop elektronowy wyprodukowany przez firmę Siemens na podstawie prototypu zbudowanego przez B. Borriesa i E. Ruska pozwalającego zajrzeć głębiej w strukturę materii [2]. Rozwój mikroskopii elektronowej z biegiem czasu pozwolił na wykształcenie się specjalistycznych mikroskopów elektronowych przeznaczonych do badań topografii powierzchni preparatu. W odróżnieniu od mikroskopu optycznego skaningowy mikroskop elektronowy posiada znacznie większą zdolność rozdzielczą, która wynosi obecnie około $2\ \text{\AA}$. W elektronowym mikroskopie skaningowym do oświetlenia preparatu wykorzystuje się skupioną wiązkę elektronów o długości fali $\lambda = 0,04\ \text{\AA}$ [1, 2, 3]. Na zdolność rozdzielczą skaningowego mikroskopu elektronowego silnie wpływa zarówno możliwość skupienia wiązki, jak i warunki zewnętrzne w postaci pól elektrycznych. Do wad skaningowej mikroskopii elektronowej starszej generacji należy zaliczyć to, że preparaty muszą przewodzić prąd elektryczny. Obserwacja odbywa się w wysokiej próżni i z tego powodu preparaty powinny być suche (odwodnione), co ogranicza zastosowanie mikroskopu skaningowego tylko do części preparatów biologicznych. Ostatnio pojawiły się elektronowe mikroskopy skaningowe, które mogą pracować w trybie niskiej próżni, co umożliwia obserwowanie np. uwodnionych preparatów biologicznych.

Ogólna budowa mikroskopu skaningowego Philips 525M

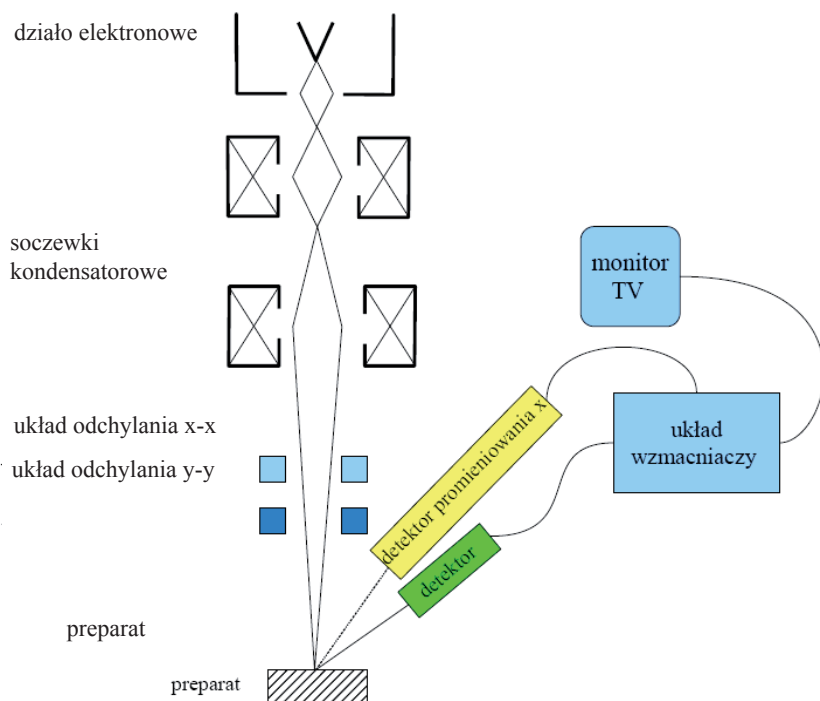
W Instytucie Techniki Uniwersytetu Pedagogicznego od kilku lat znajduje się skaningowy mikroskop elektronowy Philips 525M przedstawiony na rys. 1. Jest to klasyczny skaningowy mikroskop z działem z włóknem wolframowym. Ponadto mikroskop wyposażony jest w analizator składu chemicznego typu EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), czyli analizator energii widma promieniowania rentgenowskiego.



Rys. 1. Mikroskop elektronowy Philips 525M znajdujący się w Instytucie Techniki UP

Nowoczesny skaningowy mikroskop elektronowy jest obecnie urządzeniem modułowym, wyposażonym w szereg różnych detektorów pozwalających zebranie różnorodnych danych na temat otaczającego nas świata. Mikroskop taki zbudowany jest z czterech podstawowych elementów: kolumny elektronowej, komory próbek, układu próżniowego oraz panelu sterowania. Podczas pracy, wewnątrz kolumny mikroskopu, jak i w komorze próbek utrzymywana jest próżnia ok. 10^{-4} – 10^{-5} bar. Schemat budowy skaningowego mikroskopu elektronowego przedstawiono na rys. 2. W górnej części kolumny mikroskopu umieszczone jest działko elektronowe składające się z katody, którą stanowi włókno wolframowe uformowane w kształt litery V. Żarzące się włókno wolframowe w temperaturze powyżej 1000°C stanowi źródło emisji elektronów. Wyemitowane elektrony ulegają ukształtowaniu w skolimowaną wiązkę elektronów za pomocą cylindra Wehnelta [2,3]. Obecnie w mikroskopach skaningowych występują także działka, w których źródłem emisji elektronów jest LaB_6 (*lanthanum hexaboride*), a także częściowo działka z emisją polową, które posiadają odmienną budowę, ale mają to samo zadanie, czyli wytworzenie skolimowanej wiązki elektronów o dużej intensywności. Następnie wiązka elektronów ulega

przyspieszeniu poprzez przyłożenie wysokiego napięcia pomiędzy katodą i anodą w zakresie 1–30 kV. Kolumna mikroskopu wyposażona jest ponadto w układ soczewek kondensatorowych, są to soczewki elektromagnetyczne, których zadaniem jest skupienie wiązki elektronów poprzez wykorzystanie pola elektrostatycznego [1, 2, 3]. Możliwość zogniskowania wiązki w większości mikroskopów skaningowych wynosi do ok. 10 nm. W przypadku mikroskopu Philips 525M zakres zogniskowania wiązki wynosi 500–10 nm, z tym że najczęściej wykorzystuje się wiązkę o wielkości 100 μm . Za soczewkami kondensatorowymi umieszczony jest układ odchyłający wiązkę w układzie x-x i y-y, który umożliwia skanowanie powierzchni badanej próbki. Wiązka elektronów padając na próbkę, skanuje ją linią po linii w obserwowanym obszarze. Wiązka elektronów pada na powierzchnię badanego materiału, a odbite elektrony trafiają do detektora umieszczonego wewnątrz komory próbek, który przekształca je na sygnał prądowy wzmacniany i przetworzony następnie przez układ elektroniczny mikroskopu na obraz TV obserwowany na monitorze. Częstotliwość wyświetlania plamki na monitorze jest bezpośrednio zsynchronizowana z częstotliwością, z jaką wiązka elektronów skanuje próbkę. W zależności od tego, czy płaszczyzna próbki z danego punktu aktualnie oświetlanego przez wiązkę elektronów jest korzystnie nachylona do detektora, dociera do niego mniejsza lub większa ilość odbitych elektronów. Powiązane jest to z intensywnością świecenia plamki na monitorze, czyli duży sygnał – jasna plamka, brak sygnału – „ciemny ekran”. Powstający na monitorze obraz odzwierciedla topografię powierzchni obserwowanego przedmiotu.



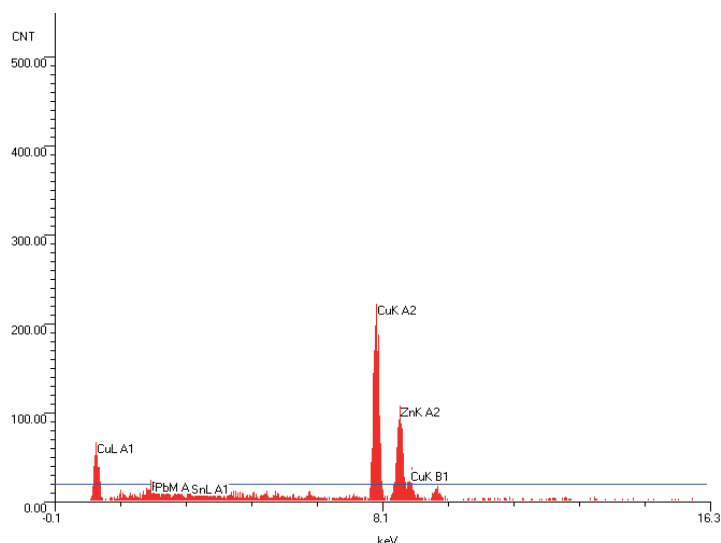
Rys. 2. Schemat blokowy działania skaningowego mikroskopu elektronowego

Warunkiem uzyskania obrazu o dobrej jakości jest odpowiednie dobranie optymalnych warunków prądowych. W posiadanym modelu odbywa się to płynnie w zakresie 1–30 kV. W mikroskopie Philips 525M do niedawna rejestracja obrazu odbywała się za pomocą klisz Polaroid, obecnie mikroskop został zmodernizowany i wyposażony w cyfrowy układ rejestracji obrazu firmy Elbit, który składa się z przystawki i programu komputerowego Vid, umożliwiającego rejestrację obrazu w formacie bmp, tif lub jpg.

Poza obserwacją powierzchni preparatu skaningowy mikroskop elektronowy daje szersze możliwości badawcze niż tylko rejestracja obrazu. W tym celu mikroskopy wyposaża się w szereg dodatkowych detektorów, umożliwiających m.in. identyfikację składu chemicznego badanego materiału. Mikroskop skaningowy Philips 525M wyposażony jest w analizator składu chemicznego typu EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) firmy EDAX. Analizator tego typu działa w ten sposób, że zlicza kwanty promieniowania rentgenowskiego. Natężenie sygnału wyjściowego jest proporcjonalne do energii padających kwantów i program komputerowy oblicza następnie ilość kwantów o danej energii i tworzy histogram rozkładu energii dla analizowanego punktu. Przykładowy wynik analizy dla mosiądzu został przedstawiony na rys. 3. Promieniowanie rentgenowskie powstaje na skutek bombardowania próbki przez wysokoenergetyczną wiązkę elektronów, co powoduje przeskok elektronów z jednej powłoki na drugą i emisja promieniowania rentgenowskiego. Występuje oddziaływanie wiązki elektronów z elektronami na zewnętrznych powłokach atomów (powłoki K i L). Energia wyemitowanego kwantu jest ściśle określona dla każdego rodzaju przejścia pomiędzy powłokami danego pierwiastka [1, 2, 3]. Sterowanie wiązką umożliwia analizę nie tylko punktową, ale również z określonej powierzchni lub liniową. Należy przy tym pamiętać, że na dokładność analizy wpływa to, że oddziaływanie wiązki z materią następuje nie tylko z atomami na powierzchni próbki, ale także w głębi materiału. Zależy to od liczby atomowej pierwiastków w analizowanym obszarze i od wielkości napięcia przyspieszającego zastosowanego do analizy. Z reguły stosuje się napięcie około 30 kV.

Preparatyka materiałów metalicznych przeznaczonych do obserwacji w skaningowym mikroskopie elektronowym nie wymaga skomplikowanych zabiegów. Próbki metaliczne powinny być odtłuszczone, suche i wolne od pyłów. Obserwowane próbki mogą być masywne i o dowolnych kształtach, ogranicza je jedynie wielkość stolika i komory na próbki.

W przypadku gdy próbka przeznaczona do obserwacji w mikroskopie skaningowym nie przewodzi prądu lub jest słabo przewodząca (np. preparaty biologiczne, ceramiczne, polimery, półprzewodniki) stosuje się pokrywanie preparatu cienką warstwą materiału przewodzącego. Najczęściej w tym celu napyla się warstewkę złota lub grafitu. Napylona warstwa powinna być równomierna i cienka, rzędu kilku nanometrów [1, 2, 3]. Wiąże się to z tym, że wiązka elektronów bombardując próbkę, powoduje powstawanie chmury ładunków elektrycznych na powierzchni próbki, co sprawia, że część odbitych elektronów sprzyja powstawaniu ładunków elektrycznych w próbce, co z kolei zakłóca powstanie obrazu. Z tych względów powierzchnia preparatu nieprzewodzącego prądu elektrycznego powinna zostać napylona, aby umożliwić odprowadzenie powstających ładunków do podstawy stolika.



Rys. 3. Rozkład widma Rentgenowskiego dla mosiądzu

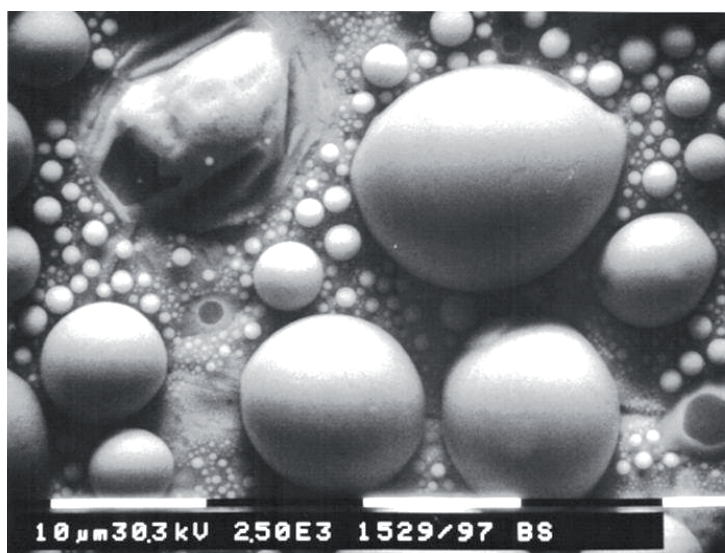
W Instytucie Techniki UP znajduje się także urządzenie do nanoszenia cienkich warstw metalicznych metodą rozpylania katodowego firmy Cressigton. Urządzenie ma niewielkie rozmiary, co zostało zaprezentowane na rys. 4. Istota rozpylania katodowego polega na tym, że przy odpowiednim ciśnieniu gazu (0,05–4 mbar) atomy materiału pokrywającego docierają do próbki z przypadkowych kierunków, co zapewnia pokrycie preparatu równomierną warstwą metalu (napyłanie bezcieniowe). Za pomocą napyłarki można nanosić warstwy z takich metali, jak: Au, Au/Pd, Pt/Pd i Pt [4]. Gazem stosowanym w napyłarce jest argon o wysokiej czystości. Proces napyłania trwa przeciętnie 1–60 s, a grubość napyłonej warstwy nie przekracza kilku nanometrów. Dobre rezultaty napyłania złotem uzyskiwano dla cyklu około 30 s i ciśnienia argonu 0,15 mbar.



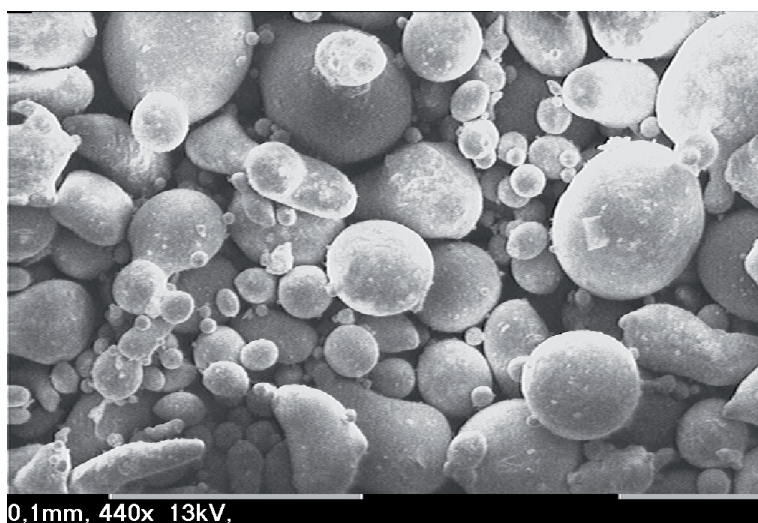
Rys. 4. Napyłarka Cressington 108 auto

Przykładowe mikrostruktury zarejestrowane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Philips 525M

Poniżej przedstawiono przykładowe mikrostruktury otrzymane za pomocą mikroskopu skaningowego Philips 525M dla preparatów różnych materiałów. Na rys. 5 przedstawiono mikrostrukturę zarejestrowaną w tradycyjny sposób za pomocą kliszy Polaroid dla preparatu testowego składającego się z różnej wielkości cząstek złota.

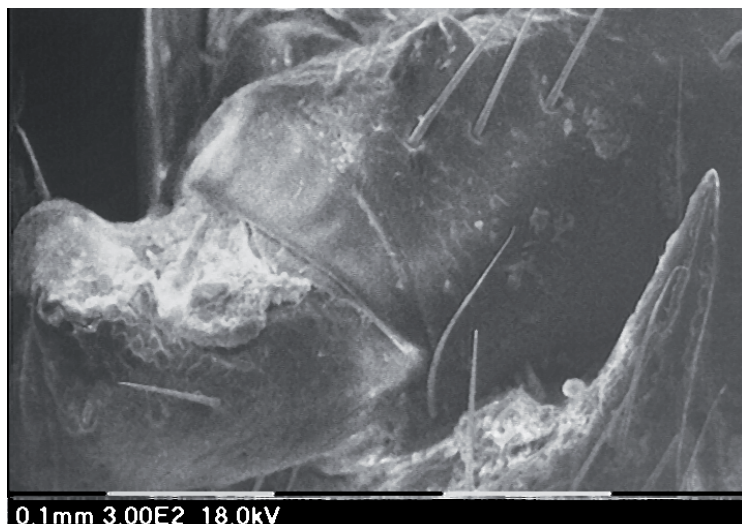


Rys. 5. Mikrostruktura preparatu kalibrującego – powiększenie 2500x

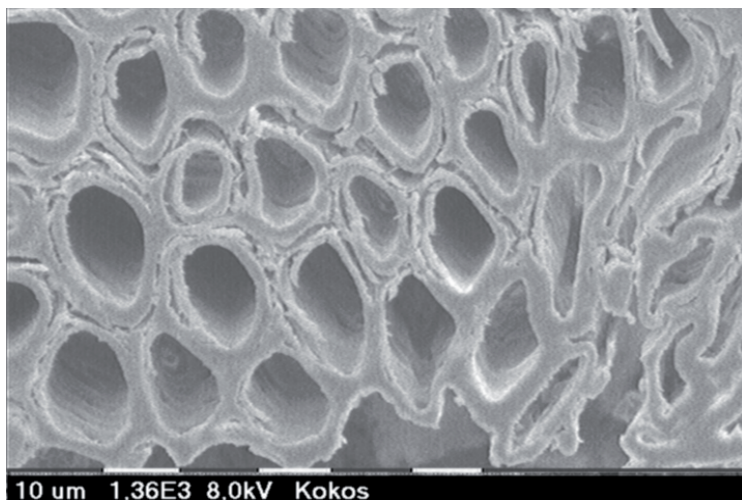


Rys. 6. Mikrostruktura skaningowa proszków metalicznych – powiększenie 440x

Natomiast na rys. 6 przedstawiono mikrostrukturę cząstek proszku metalu zarejestrowaną za pomocą programu komputerowego Vid. Jak widać, mikroskop skaningowy pozwala na uzyskanie zdjęć o znacznej głębi ostrości, ponadto sposób rejestracji nie wpływa istotnie na jakość rejestrowanych obrazów.



Rys. 7. Mikrostruktura skaningowa stawu owada powiększenie 300x



Rys. 8. Mikrostruktura skaningowa włókna kokosowego – powiększenie 1360x

Na kolejnych zdjęciach przedstawiono przykładowe mikrostruktury preparatów biologicznych. Preparaty zostały przyklejone za pomocą kleju przewodzącego do podkładki metalicznej, w tym przypadku aluminiowej, a następnie zostały napyłone cienką warstwą złota. Na zdjęciu (rys. 7) przedstawiono mikrostrukturę stawu jednego z odnóży kleszcza w powiększeniu 300x. Dobrze widoczne są szczegóły budowy anatomicznej odnóży. Natomiast na rys 8. przedstawiono mikrostrukturę

włókna kokosowego o powiększeniu 1360x. Widoczna jest struktura komórkowa włókien.

Skaningowa mikroskopia elektronowa daje obecnie duże możliwości poznawcze otaczającego nas świata. Obserwuje się ciągły rozwój oraz poszerzanie możliwości badawczych tej metody poprzez unowocześnienie i rozwój kolejnych modułów (detektorów). Pozwala to zajrzeć głębiej w strukturę materii, poznać zachodzące procesy w otaczającym nas świecie. Zastosowanie skaningowej mikroskopii elektronowej nie ogranicza się obecnie do nauk materiałowych i fizyki, jest także cennym narzędziem w naukach biologicznych. Wydaje się także wskazanym zapoznanie studentów z możliwościami skaningowej mikroskopii elektronowej oraz wykorzystanie tej techniki w procesie kształcenia przyszłych inżynierów oraz nauczycieli techniki, fizyki i biologii. Zajęcia praktyczne umożliwiają zapoznanie się z podstawowymi zasadami preparatyki próbek oraz możliwościami współczesnych technik badawczych.

Bibliografia

- [1] Przybyłowicz K., *Metaloznawstwo*, WNT, Warszawa 1999
- [2] Błaż L., *Analityczna mikroskopia elektronowa w badaniach struktury materiałów metalicznych*, Fizyka w szkole, nr 6, 2006, s. 4–26
- [3] Hałas A., Szymański H., *Mikroskopy elektronowe*, WKŁ, Warszawa 1965
- [4] Operenng Manual Cressington 108 auto EO Elektronen-Optik-Service GmbH
- [5] Dokumentacja techniczna mikroskopu Philips 525M

Parameters and application scanning electron microscope Philips 525M

Abstract

The aim of this article is introduce readers to possibilities of using scanning electron microscope in scientific and sciences specializations of didactic process. The article includes scanning electron microscope's construction and function description based on example of microscope Philips 525M which is set in Institute of Technique Pedagogical University.

Keywords: SEM, scanning electron microscope

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Paweł Figiel, Lucyna Jaworska, Marcin Rozmus

Metody formowania materiałów ceramicznych

Typowy proces ceramiczny można podzielić na cztery zasadnicze etapy:

- 1) otrzymywanie proszków,
- 2) formowanie wyrobów,
- 3) spiekanie,
- 4) obróbka spieków.

Wszystkie z wymienionych etapów są wzajemnie komplementarne i tylko ich prawidłowe przeprowadzenie pozwala na otrzymanie wyrobu finalnego o pożądanych właściwościach.

Bardzo ważnym etapem jest formowanie wyrobów poprzedzające spiekanie. Właśnie na etapie wstępnego przygotowania proszku i formowania wyrobu istnieje największa możliwość modyfikacji układu spiekanych ziaren, a odpowiednie ukształtowanie układu wyjściowego determinuje w decydujący sposób rezultat końcowy spiekania, to znaczy osiągniętą końcową gęstość, wielkość ziaren, jednorodność mikrostruktury itp. [1].

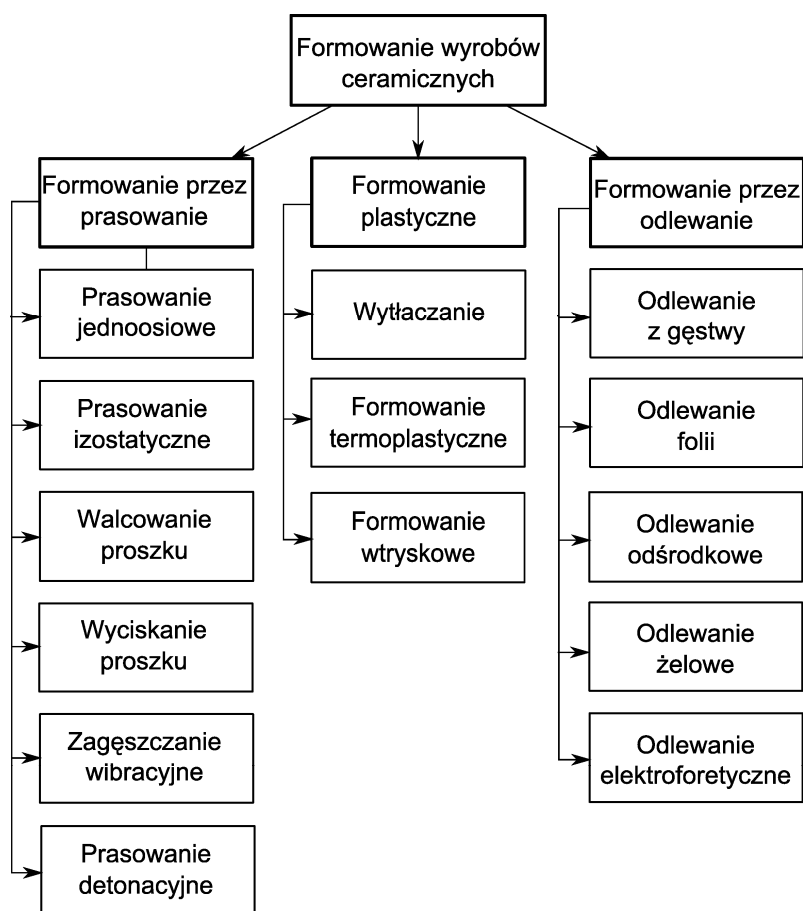
Z technologicznego punktu widzenia formowanie proszku polega na poddaniu go działaniu sił zewnętrznych, które zagęszczając proszek, nadają mu jednocześnie spójność. Luźny proszek zamienia się w spójny, zagęszczony półfabrykat o określonej geometrii i wymiarach. Na etapie formowania dąży się do zapewnienia odpowiednio wysokiej jednorodności: gęstości, składu chemicznego i fazowego wyrobu [1].

Istnieje wiele różnych metod formowania proszków wykorzystujących różne zjawiska fizykochemiczne oraz różniące się rozwiązaniami technicznymi. W zależności od właściwości stosowanych do formowania ośrodków zawierających proszek (sympki proszki, masy plastyczne, zawiesiny) techniki formowania można podzielić na trzy podstawowe grupy [2]:

- 1) formowanie przez prasowanie,
- 2) formowanie plastyczne,
- 3) formowanie przez odlewanie.

W procesie wytwarzania wyrobów ceramiki technicznej najczęściej stosuje się następujące sposoby formowania:

- prasowanie jednoosiowe,
- prasowanie izostatyczne,
- wytłaczanie,
- formowanie wtryskowe,
- odlewanie z gęstwy,
- odlewanie folii.



Rys. 1. Podział sposobów formowania materiałów ceramicznych [2]

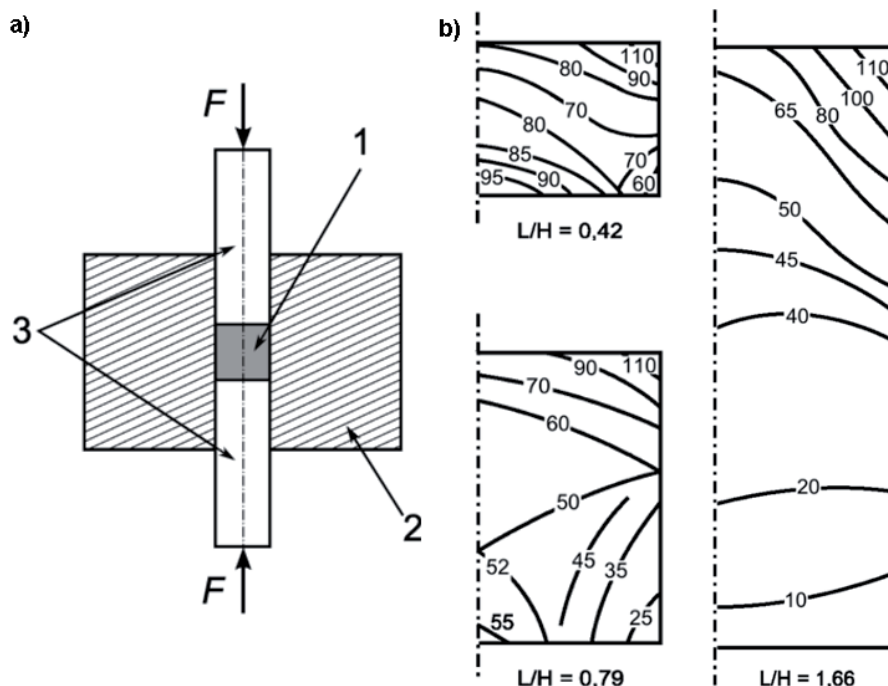
Formowanie przez prasowanie

Najprostszym fizycznym zabiegiem wykorzystywanym przy formowaniu jest prasowanie. Polega ono na zagęszczeniu ziarnistych, polidispersyjnych ceramicznych układów materiałowych, występujących jako bezpostaciowa masa ziarnista, za pomocą jednoosiowego lub wieloosiowego działania obciążenia ściskającego [2]. Do grupy technik formowania wykorzystujących prasowanie można zaliczyć:

- prasowanie jednoosiowe jedno- i dwustronne,
- prasowanie izostatyczne,
- walcowanie proszku,
- wyciskanie proszku,
- zagęszczanie wibracyjne,
- prasowanie detonacyjne.

Dwie z pierwszych wymienionych technik prasowania, tj. prasowanie jednoosiowe w obu odmianach i prasowanie izostatyczne, stanowią jedne z najpopularniejszych technik formowania wyrobów z sypkich proszków.

Prasowanie jednoosiowe odbywa się w stalowych formach składających się z matrycy i stempli (rys. 2a). Proszek jest zasypywany do matrycy, a następnie poddaje się go działaniu naprężenia ściskającego poprzez stemple. Jeżeli w czasie prasowania następuje ruch tylko jednego stempla, wówczas mamy do czynienia z prasowaniem jednoosiowym jednostronnym, a jeżeli następuje ruch dwóch stempli, to z prasowaniem jednoosiowym dwustronnym. Podstawowym ograniczeniem tej metody jest nierównomierny rozkład ciśnienia w uformowanym półfabrykacie (rys. 2b). Związane jest to ze stratami ciśnienia prasowania, następującymi na skutek tarcia ziaren prasowanego proszku pomiędzy sobą oraz o ścianki matrycy. Ten nierównomierny rozkład ciśnienia skutkuje nierównomierną gęstością w objętości otrzymanej wypraski. Zjawisko to powoduje ograniczenie kształtów i wymiarów wyrobów, jakie mogą być formowane tą metodą. Do zalet tej metody można zaliczyć jej prostotę oraz łatwą automatyzację, co skutkuje dużą wydajnością i niskimi kosztami produkcji.



Rys. 2. Schemat prasowania jednoosiowego [wg 1]: a) układ do prasowania: 1 – prasowany proszek, 2 – matryca, 3 – stemple, 4 – przyłożona siła, b) rozkład ciśnienia w wyprasce w zależności od stosunku L/H ; L – wysokość wypraski, H – średnica stempla

Prasowanie izostatyczne realizowane jest w elastycznych matrycach polimerowych. Proszek zasypywany jest do takiej matrycy, z której następnie wypompowuje się powietrze. Po jego usunięciu forma jest umieszczana w komorze, w której znajduje się gaz lub ciecz o podwyższonym ciśnieniu. Medium naciska na ścianki formy ze wszystkich stron, powodując równomierne zagęszczenie formowanego wyrobu. Taki sposób przenoszenia ciśnienia pozwala na formowanie większych wyrobów niż poprzez prasowanie jednoosiowe oraz o bardziej skomplikowanym kształcie. Do wad metody można zaliczyć wysoki koszt urządzeń oraz trudności w automatyzacji.

Formowanie plastyczne

Formowanie plastyczne obejmuje sposoby, których wspólną cechą stanowi reologiczna właściwość plastycznego odkształcenia masy ceramicznej. Przez pojęcie plastyczności rozumie się właściwość, która sprawia, że materiał pod wpływem sił zewnętrznych odkształca się bez powstawania pęknięć i zachowuje to odkształcenie po usunięciu siły lub jej zmniejszeniu poniżej określonej wartości [2]. Proszek zostaje doprowadzony do stanu masy plastycznej za pomocą dodatków powodujących zmianę jego właściwości reologicznych. W technologii podstawowe znaczenie posiadają [1]:

- masy plastyczne uzyskane z proszków z wodą, stosowane do formowania metodą wyciskania,
- masy plastyczne z substancjami typu parafina lub воск formowane metodą termoplastyczną,
- masy powstałe ze zmieszania proszków z polimerami termoutwardzalnymi formowane metodą wtrysku.

Najczęściej stosowaną techniką formowania z mas plastycznych jest formowanie przez wytłaczanie. Polega ono na wytłaczaniu masy przy pomocy prasy przez ustnik, który kształtuje wytłaczany materiał w ciągłe pasmo o stałym przekroju. Metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w produkcji materiałów budowlanych ze względu na to, że surowce ilaste stosowane do ich produkcji w naturalny sposób tworzą masę plastyczną po dodaniu wody. Zastosowanie tej metody do innych materiałów jest ograniczone ze względu na ich niewielką zdolność do tworzenia mas plastycznych po wymieszaniu z wodą. Kolejnym ograniczeniem jest możliwość formowania wyrobów o pewnych kształtach.

Drugą popularną metodą formowania z mas plastycznych jest formowanie wtryskowe. W tym procesie proszek ceramiczny jest mieszany z polimerem termoutwardzalnym w ilości do 20% objętościowych polimeru w masie. Następnie otrzymana mieszanka jest podgrzewana – i już ciepła – wtlaczana do stalowej matrycy. W czasie stygnięcia masy następuje jej zestalenie. Metoda ta pozwala na formowanie wyrobów o skomplikowanych kształtach (wirniki pomp) zarówno cienko- jak i grubościennych. Do wad metody można zaliczyć konieczność usuwania polimerowego lepiszcza oraz duże koszty oprzyrządowania.

Formowanie przez odlewanie

Materiałem wejściowym stosowanym w technice formowania przez odlewanie jest gęstwa, będąca stabilną zawiesiną proszku w wodzie. Dzięki odpowiedniej ekstrakcji proszku z gęstwy przy jednoczesnym usunięciu części cieczy można uzyskać zagęszczenie proszku i ukształtowanie wyrobu [1]. Najczęściej stosowane odmiany formowania przez odlewanie to:

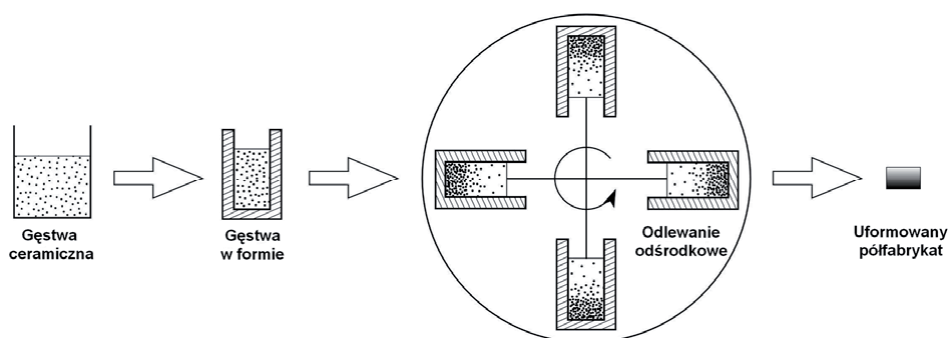
- odlewanie z gęstwy w formach porowatych – bezciśnieniowe i ciśnieniowe,
- odlewanie folii,
- odlewanie odśrodkowe w formach nieporowatych,
- odlewanie żelowe,
- odlewanie elektroforetyczne.

Odlewanie z gęstwy w formach porowatych jest najstarszą techniką formowania przez odlewanie. W czasie tego procesu gęstwę wlewa się do porowatej gipsowej lub polimerowej formy. Na skutek działania sił kapilarnych materiału formy następuje zagęszczenie gęstwy i powstawanie czerepu na ścianie formy, którego grubość rośnie z czasem zgodnie z prawem parabolicznym [1]. Technika ta może występować w dwóch formach: z wylewem i pełnej. W pierwszym przypadku otrzymujemy wyroby cienkościenne, których kształt jest odwzorowaniem wewnętrznej powierzchni formy, w drugim wypadku wyrób jest pełny. Odlewanie może być wspomagane ciśnieniem zewnętrznym wywieranym na gęstwę (odlewanie ciśnieniowe) lub działaniem siły odśrodkowej (odlewanie odśrodkowe) [1]. Stosowanie ciśnienia powoduje zwiększenie wydajności procesu oraz pozwala na polepszenie jednorodności czerepu i jego gęstości, konieczne jest jednak stosowanie drogich form z tworzyw sztucznych. Proces odlewania z gęstwy w formach porowatych charakteryzuje się dużą uciążliwością i trudnością w automatyzacji. Dodatkowo istnieje konieczność suszenia uformowanych wyrobów, co jest procesem energochłonnym.

Metoda odlewania folii jest procesem stosowanym do wytwarzania cienkich, elastycznych, wielkopowierzchniowych elementów ceramicznych [2]. W procesie tym przygotowana gęstwa wylewana jest na ruchomą taśmę w taki sposób, że masa tworzy folię o równomiernej grubości. Następnie taśma jest suszona w suszarce tunelowej, gdzie masa tworzy folię ceramiczną o grubości $0,1 \div 1$ mm. Dodatek substancji uplastyczniających sprawia, że folia jest elastyczna, można ją zwinąć, ciąć itp. [1]. Po pocięciu folii otrzymane płytki są wypalane. Głównym problemem wytwarzania folii ceramicznych za pomocą odlewania jest proces ich suszenia. Wilgotność folii musi być tak dobrana, aby otrzymana folia ceramiczna nie wykazywała tendencji do przyklejania się do taśmy transportowej, a jednocześnie była na tyle elastyczna, aby było możliwe jej zwijanie oraz dalsza obróbka. Folie ceramiczne stosuje się głównie jako podłoża do produkcji układów scalonych. Można z nich również otrzymywać materiały laminatowe zbudowane z warstw o różnych właściwościach mechanicznych, elektrycznych, magnetycznych itp.

Kolejną odmianą odlewania z gęstwy jest odlewanie odśrodkowe w formach nieporowatych. Technika ta opera się na sedymentacji cząstek proszku ceramicznego równomiernie rozproszonych w wodzie, pod wpływem działania przyspieszenia odśrodkowego. Siła odśrodkowa oddziałuje jednakowo na każdą cząstkę proszku i powoduje jednorodne zagęszczenie w całej objętości formowanego wyrobu. Na

rys. 3 przedstawiono schemat formowania wyrobów metodą odlewania odśrodkowego w formach nieporowatych. W pierwszym etapie proszek ceramiczny zostaje rozproszony w wodzie z dodatkiem substancji zapewniających stabilność zawiesiny, poprzez modyfikację ładunku powierzchniowego cząstek proszku. Następnie zawiesina jest nalewana do nieporowatej formy. Napelnioną formę umieszcza się w wirówce i poddaje procesowi odwirowania. Siła odśrodkowa powoduje osadzanie się cząstek proszku na dnie matrycy. Nadmiar cieczy jest odlewany, a jeszcze wilgotny półfabrykat jest wyjmowany z form. Po wysuszeniu następuje wypalenie uformowanego wyrobu.



Rys. 3. Schemat formowania wyrobów metodą odlewania odśrodkowego w formach nieporowatych [wg 2]

Odlewanie odśrodkowe ma zastosowanie do wytwarzania bardziej wytrzymałych i niezawodnych wyrobów ceramicznych z jednorodną oraz o istotnie zmniejszonej liczbie i wielkości defektów strukturą [2]. Dzięki temu jest możliwe zwiększenie gęstości półfabrykatu, obniżenie skurczu liniowego, zmniejszenie wielkości defektów, zwiększenie wytrzymałości oraz zwiększenie modułu Weibulla [2]. Metodą tą można otrzymywać również materiały gradientowe o strukturze charakteryzującej się płynną zmianą określonej cechy materiałowej. Możliwe jest np. uzyskanie materiału dwufazowego o płynnie zmieniającym się składzie fazowym (rys. 4).



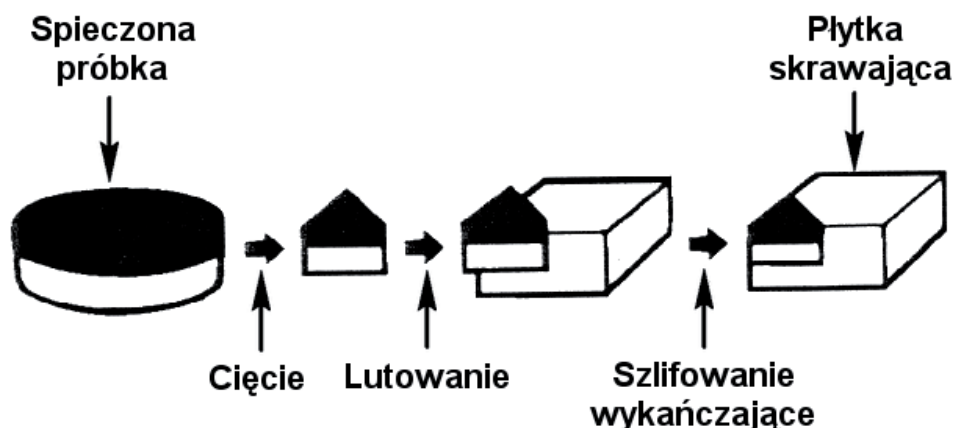
Rys. 4. Schemat materiału gradientowego o płynnie zmieniającym się składzie fazowym otrzymanego metodą wirówkową.

W materiale będącym mieszaniną dwu proszków poddanych wirowaniu następuje podwyższenie koncentracji jednego ze składników po jednej a drugiego po przeciwnej stronie próbki. Materiały o takiej strukturze zaliczane są do grupy funkcjonalnych materiałów gradientowych FGM (*Functionally Graded Materials*).

Jako przykład takich materiałów można podać kompozyty diament-węgli tytano-wo-krzemowy otrzymane w Instytucie Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie [3].

Badania własne

Jednym z zastosowań kompozytów na bazie diamentu jest produkcja płytek skrawających. Spowodowane jest to bardzo wysoką twardością diamentu i jego dobrymi właściwościami skrawnymi. Istnieje jednak problem z otrzymywaniem płytek skrawających o kształtach inne niż okrągły. Spowodowane jest to specyficzną metodą otrzymywania polikrystalicznych spieków diamentowych. W procesie otrzymywania tychże materiałów niezbędne jest zachowanie wysokiego ciśnienia, rzędu 8 GPa, w czasie spiekania. Dodatkowo wymagane jest, aby rozkład ciśnienia w spiekany materiał był jak najbardziej równomierny. Z tych względów okrągły kształt płytek skrawających jest jedynym, jaki można uzyskać. Aby obejść to ograniczenie, stosuje się narzędzia składane. W naroża płytek wykonanych z węglików spiekanych, o dowolnym kształcie, włutowuje się niewielkie wstawki wykonane z kompozytów diamentowych (rys. 5).

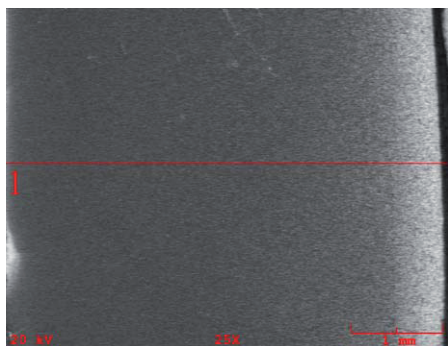


Rys. 5. Schemat otrzymywania kształtowych płytek skrawających z kompozytów diamentowych

Wstawki te mają specjalną budowę warstwową. Zbudowane są z warstwy podłożowej, z węgliku spiekane go i warstwy skrawającej, z kompozytu diamentowego. Spowodowane jest to tym, że diament jest materiałem, który bardzo trudno się lutuje. Zastosowanie węgliku spiekane go w warstwie podłożowej pozwala na łatwe połączenie płytki węglkowej z diamentową wstawką. Spiekanie kompozytów diamentowych na podłożu z węgliku spiekane go stwarza jednak wiele trudności, co powoduje, że proces ten jest niezwykle mało wydajny i przez to drogi. Jednym ze sposobów na rozwiązanie tego problemu jest zastosowanie materiałów o strukturze gradientowej. Kompozyty diamentowe o strukturze gradientowej formowane metodą odlewania odśrodkowego charakteryzują się podwyższoną koncentracją diamentu po jednej stronie i węgliku tytano-wo-krzemowego po drugiej. Strona zawierająca więcej diamentu jest stroną skrawającą, natomiast strona zawierająca więcej węgliku pozwala przylutować płytkę do podłoża. Na rysunku 6

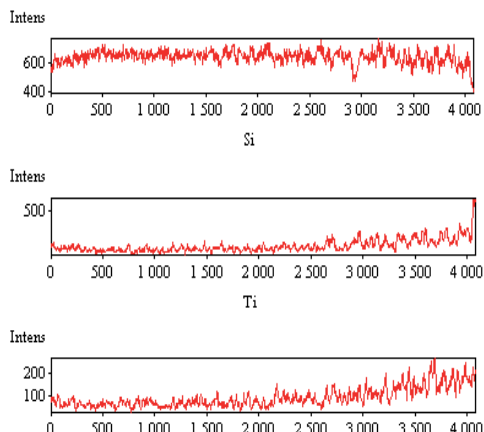
przedstawiono mikrostrukturę kompozytu diament-węgiel tytanowo-krzemowy otrzymanego metodą zagęszczania wirówkowego.

a)

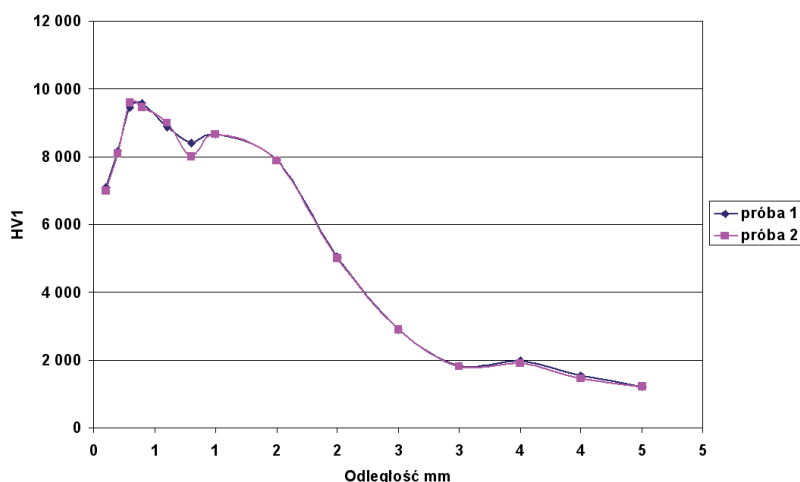


b)

c



Rys. 6. Próbką FGM: Mikrostruktura kompozytu diament – 30% mas. Ti_3SiC_2 z zaznaczeniem linii przebiegu analizy rozkładu pierwiastków (a), liniowe rozkłady pierwiastków C, Si, Ti wzdłuż zaznaczonej linii (b)



Rys. 7. Rozkład twardości HV1 w zależności od odległości między powierzchnią a spodem próbki, kompozytu diament- Ti_3SiC_2 zagęszczonego metodą odlewania odśrodkowego

Badania rozkładu tytanu i krzemu wzdłuż osi pionowej otrzymanych kompozytów potwierdziły gradientowy charakter badanych materiałów. Płynna zmiana zawartości tych pierwiastków dowodzi zmiany zawartości węgla tytanowo-krzemowego na przekroju próbki. Jedna ze stron próbki jest wyraźnie bogatsza w ten związek. Podobne wnioski można wyciągnąć z pomiarów twardości otrzymanych materiałów w zależności od odległości od krawędzi próbki (rys. 7). Na wykresie twardości można wyraźnie zauważyć spadek twardości materiału na jego przekroju.

Obniżoną twardość jednej strony próbki można wytłumaczyć poprzez podwyższoną koncentrację miększego w stosunku do diamentu węgla tytanowo-krzemowego.

Formowanie jest jednym z kluczowych etapów w procesie otrzymywania spieków ceramicznych. Stosowanie różnych technik formowania pozwala na otrzymywanie materiałów o różnych właściwościach i określonej mikrostrukturze.

Bibliografia

- [1] Lis J., Pampuch R., *Spiekanie*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2000
- [2] Oczóś K.E., *Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1996
- [3] Rozmus M., „Wpływ warunków zagęszczania wirówkowego proszków na kształtowanie struktury gradientowej spieków diamentowych”, praca doktorska, Politechnika Krakowska Wydział Mechaniczny, Kraków 2009

Methods of forming ceramic materials

Abstract

The article presents an overview of various techniques for ceramic materials forming. Particularly noted the formation of the high speed centrifuge compaction technology and the possibility of Functionally Graded Materials obtaining by this method. The results of the FGM diamond composites obtaining are presented.

Key words: forming, pressing, plastic forming, casting, HCP, FGM

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Tomasz Heilig

Zestaw dydaktyczny do programowania mikrokontrolerów AT89S8252

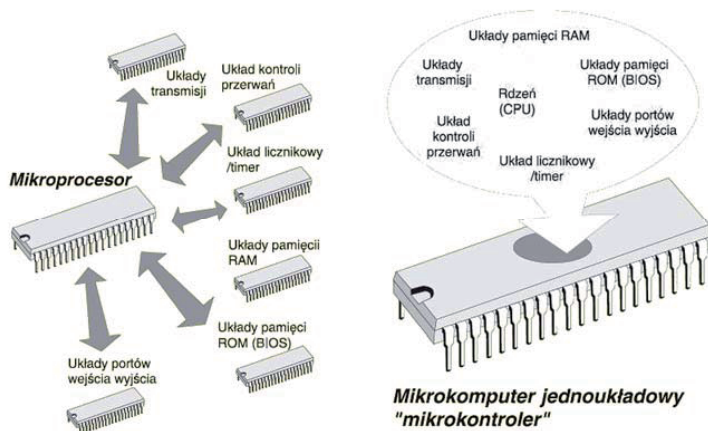
Nie tak dawno musieliśmy składać urządzenia wykonujące stosunkowo proste funkcje logiczne z układów zawierających bramki logiczne. Obecnie coraz częściej stosujemy mikrokomputery jednoukładowe, czyli mikrokontrolery. Powodem jest bardzo szerokie zastosowanie tych układów we współczesnej elektronice i mechatronice, niespotykana dotąd uniwersalność oraz obniżana przez producentów cena układów. W projekcie zawarto niezbędne układy współpracujące z urządzeniami zewnętrznymi i zaimplementowano najczęściej stosowane układy elektroniczne. Są to układy, które działają poprawnie, gdy są sterowane przez mikrokontroler, a dokładniej – przez zawarty w nim program. Dzięki zastosowaniu języków wyższego rzędu programowanie tych układów stało się bardzo łatwe, a konstrukcje urządzeń elektronicznych zawierających mikrokontrolery zostały znacząco uproszczone.

Projektując urządzenie, dążono do zastosowania bardziej uniwersalnych rozwiązań oraz uzyskania wystarczająco dobrych parametrów, niezbędnych do nauki programowania. W modelu umieszczono wszystkie niezbędne części w jednej obudowie. Istnieje również możliwość podłączenia jednocześnie aż czterech urządzeń zewnętrznych. Gabaryty obudowy zminimalizowano pod kątem mobilności zestawu dydaktycznego oraz małej ilości wolnego miejsca na stanowiskach komputerowych. Uniwersalność zestawu umożliwia programowanie różnych mikrokontrolerów oraz pełne testowanie działania programu.

Budowa mikrokontrolera

Mikroprocesor (μP) jest elektronicznym układem cyfrowym, który wykonano w pojedynczym półprzewodnikowym układzie scalonym. Jego zadaniem jest wykonywanie operacji cyfrowych zgodnie z programem sterującym. Jednak sam mikroprocesor to nie wszystko. Ten logiczny układ cyfrowy dopiero po dołączeniu kilku dodatkowych układów zewnętrznych: zegara taktującego, pamięci programu, pamięci danych, układów wejścia/wyjścia (I/O), można nazwać mikrokontrolerem. W 1972 roku Gary Boone z firmy Texas Instruments wpadł na pomysł umieszczenia mikroprocesora z wymienionymi układami peryferyjnymi w jednym układzie scalonym. Tak powstał pierwszy mikrokomputer jednoukładowy, czyli mikrokontroler

(μ C). Słowo mikrokomputer może być użyte, ponieważ tak wykonany układ scalony jest w istocie prawie kompletnym mikrokomputerem. Jest to układ elektroniczny mieszczący się w typowej obudowie z 8–40 wyprowadzeniami, nazywanymi pinami¹. W układzie znajduje się 8-, 16- lub 32-bitowy procesor, który przetwarza komendy wydawane przez program (programistę). Mikrokontroler wyposażony jest w pamięć programu typu EEPROM², pamięć danych RAM³, a w zależności od typu może dodatkowo zawierać nieulotną pamięć danych EEPROM. W układzie znajdują się również: licznik programu, liczniki 8- i 16-bitowe, timer, kontroler przerwań sprzętowych i komparator napięcia, a 2, 4 lub 6 portów umożliwia dwukierunkową komunikację ze światem zewnętrznym. Po dołączeniu do portów urządzeń wejścia/wyjścia, takich jak klawiatura i ekran LCD, uzyskujemy mikrokomputer.



Rys. 1. Porównanie struktury mikrokomputera i mikrokontrolera

W zależności od konstrukcji, w mikrokontrolerach stosowane są dodatkowe układy: przetworniki A/D i D/A, układ kontroli transmisji szeregową I2C, 1-Wire, SPI, UART, USB, CAN, kontroler realizacji programu WatchDog i inne dodatkowe układy, których zastosowanie spowodowało powstanie specjalizowanych układów mikrokontrolerów. Niezbędne elementy umożliwiające pracę mikrokontrolera to rezonator kwarcowy ustalający częstotliwość zegara taktującego oraz rezystor i kondensator tworzące układ AutoRESET. Z powyższego krótkiego opisu wynika, że mikrokontroler jest bardzo skomplikowanym układem elektronicznym. Jednak funkcjonalność i uniwersalność układu umożliwiły bardzo szerokie zastosowanie mikrokontrolera. Obecnie mikrokontrolery znalazły tak szerokie zastosowanie, że pewnym problemem staje się wymienienie nazw urządzeń elektronicznych, w których nie są stosowane.

Bardzo dużą zaletą stosowanych mikrokontrolerów jest możliwość modyfikowania ich konstrukcji przez producentów. Modyfikacje dotyczą dodania układów rozszerzających zastosowanie mikrokontrolerów oraz podwyższania szybkości przetwarzania programu. W ostatnim czasie firma Atmel wprowadziła do produkcji

¹ Z ang. *Pin* – wyprowadzenie, końcówka układu scalonego.

² EEPROM – *Electric Erase and Programable Read Only Memory*.

³ RAM – *Random Access Memory*.

unowocześnione wersje znanych i bardzo popularnych układów AT89C2051, AT89C4051 oraz rozbudowaną wersję AT89S8252. Nowe układy otrzymały oznaczenia AT89LP2052, AT89LP4052 i posiadają możliwość programowania w układzie, co dla układów AT89C2051, AT89C4051 było do tej pory niemożliwe. Wyposażono je w dwukrotnie większą pamięć RAM. Dodano port SPI umożliwiający programowanie mikrokontrolera w układzie elektronicznym, bez konieczności wyjmowania układu z podstawki i stosowania specjalnych programatorów.

Największa modernizacja dotyczy szybkości przetwarzania danych, a dokładnie ilości cykli zegarowych koniecznych do wykonania instrukcji programu. Dotychczas w klasycznej architekturze mikrokontrolerów '51 koniecznym było zużycie 6 taktów zegara na przetworzenie każdego rozkazu, co dawało realizację instrukcji w 12, 24 lub 48 cyklach zegarowych. Obecnie mikrokontrolery AT89LP2052/4052 realizują tę operację w 1–4 taktach zegarowych, co daje 6–12 razy szybsze przetwarzanie instrukcji programu. Modernizacje te umożliwiły dalsze stosowanie znanych i popularnych układów. Dodatkowo możliwa jest wymiana dotychczas stosowanych układów na nowe, bez jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych. Jednak największą zaletą stosowania tych układów jest bardzo łatwe programowanie mikrokontrolera przy użyciu specjalnego kompilatora BASCOM. Jest to program specjalnie napisany dla procesorów '51 i zawiera kompilator umożliwiający programowanie różnych procesorów z tej grupy oraz symulator działania programu i programator.

W zestawie dydaktycznym użyto mikrokontrolera firmy Atmel typu AT89S8252. Jest to układ, który należy do bardzo popularnej grupy procesorów serii 8051 i został dokładnie opisany w licznych publikacjach oraz nocy aplikacyjnej. Notę aplikacyjną można uzyskać ze strony producenta: www.atmel.com.

Układ elektroniczny

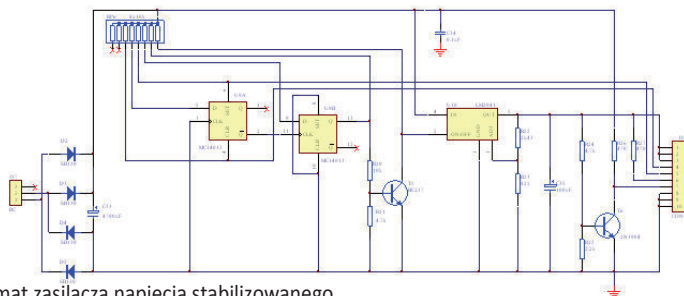
Układ elektroniczny można przedstawić w postaci połączonych ze sobą bloków spełniających określone funkcje oraz układu sterującego. W urządzeniu zastosowano typowe oraz nowe niekonwencjonalne rozwiązania. Całość tworzą następujące podukłady:

- zasilacz z elektronicznie włączanym stabilizatorem napięcia $U=+5\text{ V}$,
- generator taktujący z dwoma przełączanymi częstotliwościami,
- monitor linii sygnałowej przełączany między portami P0–P3,
- programator układów AT89S8252 i AT89Cxx51,
- zespół przełączników,
- wyświetlacz LCD 4x16,
- układ automatycznego/programowego/ręcznego włączania podświetlenia LCD,
- dwa wyświetlacze 7-segmentowe sterowane multipleksowo,
- wyjścia portów P0–P3 i dodatkowego zasilania,
- szyna sygnałowa I²C,
- transoptor dla sygnałów wejściowych $U \geq 5\text{ V}$,
- zestaw styków sterujących oddzielonych galwanicznie od układu,
- regulator prędkości obrotowej wentylatora,
- czujnik IRED,
- zegar czasu rzeczywistego i pamięć zewnętrzna,
- wzmacniacz z sygnalizatorem dźwiękowym.

Układ sterujący wykonano przy pomocy mikrokontrolera AT89C2051. Oto niektóre z jego zadań:

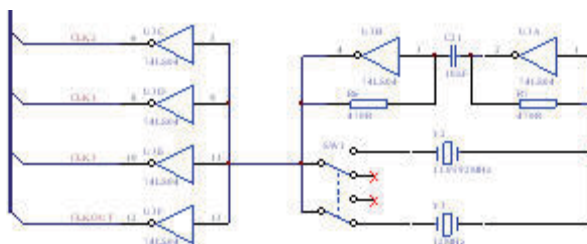
- sterowanie monitorem linii (osiem dwukolorowych diod LED),
- wyświetlanie odpowiedniej informacji o monitorowanym porcie,
- multipleksowe sterowanie wyświetlaczem LED,
- włączanie/wyłączanie podświetlenia wyświetlacza LCD.

W zasilaczu urządzenia zastosowano układ stabilizatora napięcia LM2941. Układ pracuje poprawnie przy spadku napięcia $U_{3-1}=0,9$ V i umożliwia elektroniczne włączanie/wyłączanie napięcia. W symulatorze sprzętowym zastosowano osiem przełączników monostabilnych. Do włączania/wyłączania napięcia zasilającego użyto takiego samego przełącznika. Spowodowało to niewielką rozbudowę układu elektronicznego o przerzutnik typu T, wykonany przy użyciu układu CMOS 4013. Schemat układu przedstawiono na rysunku 2.



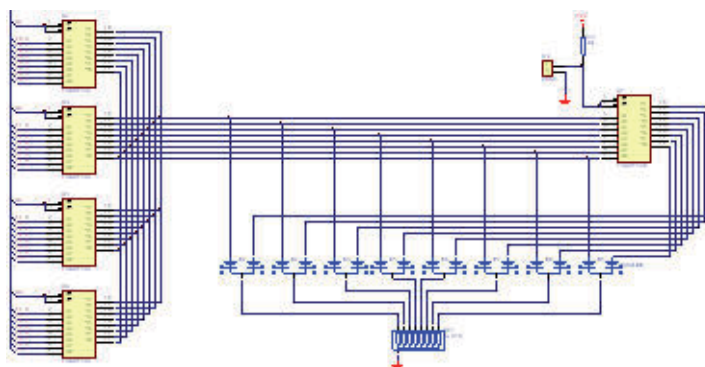
Rys. 2. Schemat zasilacza napięcia stabilizowanego

Drugi przerzutnik zastosowano w układzie zapobiegającym zjawisku odbijania styków. Generator taktujący, którego schemat przedstawiono na rysunku 3, zaprojektowano na podstawie linearyzowanej bramek NOT (74LS04).



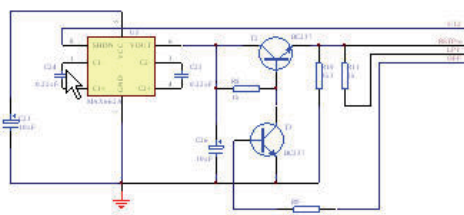
Rys. 3. Schemat generatora taktującego

Cztery bramki są wzmacniaczami cyfrowymi i separatorami sygnału taktującego. W układzie istnieje możliwość wybrania jednej z częstotliwości taktujących: $f_1=12$ MHz, $f_2=11,0592$ MHz. Użycie częstotliwości f_1 umożliwia proste zastosowanie liczników i timerów w celu odmierzania czasu. Zastosowanie częstotliwości f_2 ułatwia programowanie i prawidłowe wykonywanie komendy SOUND. Monitor linii sygnałowej zaprojektowano w taki sposób, aby dwukolorowa dioda LED świeciła kolorem czerwonym w stanie wysokim U_H , a w stanie niskim U_L – kolorem zielonym. Schemat monitora linii, w którym zastosowano układy 74LS451, przedstawiono na rysunku 4.



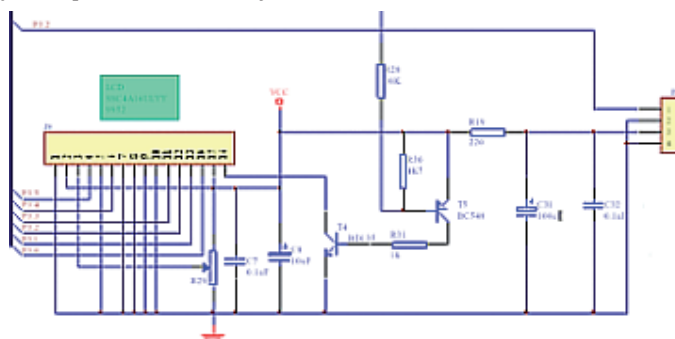
Rys. 4. Schemat monitora linii

W celu zwiększenia użyteczności urządzenia zastosowano dwa programatory. Pierwszy służy do programowania mikrokontrolera AT89S8252 przez port SPI. Drugi jest programatorem układów AT89Cxx51. W mikrokontrolerach AT89C2051 i AT89C4051 do programowania układu stosowane jest dodatkowo napięcie o wartości $U=12\text{ V}$. W celu uzyskania odpowiedniego napięcia zastosowano układ MAX662A firmy Maxim, który jest zasilaczem napięcia programującego pamięci Flash i przetwornicą napięcia charge-pump, DC-DC, 5 V/12 V. Schemat fragmentu programatora z przetwornicą pokazano na rysunku 5.



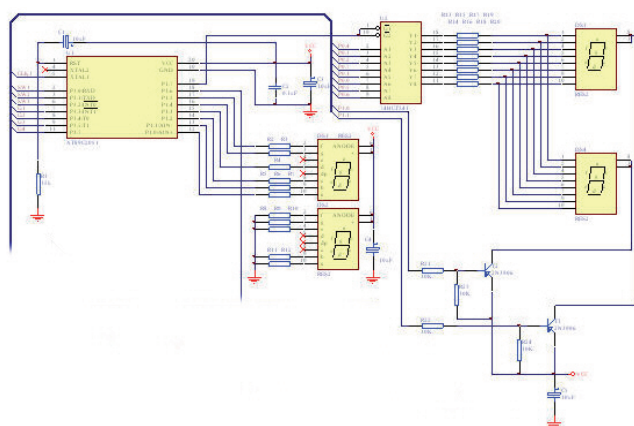
Rys. 5. Schemat przetwornicy napięcia

Wyświetlacz LCD to typowy układ podświetlanego wyświetlacza z dwoma wierszami i szesnastoma kolumnami. W układzie, którego schemat przedstawiono na rysunku 6, zastosowano regulację kontrastu oraz automatyczny, ręczny i programowy wyłącznik podświetlenia wyświetlacza.



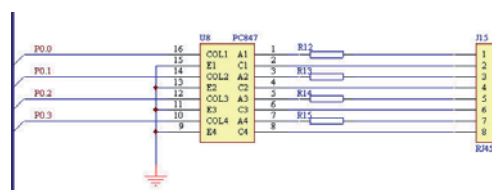
Rys. 6. Schemat połączenia wyświetlacza LCD

Dwa wyświetlacze siedmiosegmentowe nie wymagają stosowania metody multipleksowania. Jednak zastosowano ją w celu wyjaśnienia zasady działania układu i sposobu programowania mikrokontrolera. Mikrokontroler znajdujący się w urządzeniu steruje dwoma wyświetlaczami LED licznika oraz wyświetlaczami LED służącymi do sygnalizacji wybranego portu. Na rysunku 7 przedstawiono schemat układu mikrokontrolera i wyświetlaczy. W programie sterującym zawarto procedury umożliwiające przekształcenie przełącznika monostabilnego w przełącznik bistabilny. Umożliwiło to odpowiednie sterowanie układem przerwań sprzętowych, ręcznym podświetlaniem wyświetlacza LCD, wybraniem portu do monitorowania za pomocą dwukolorowych diod LED.



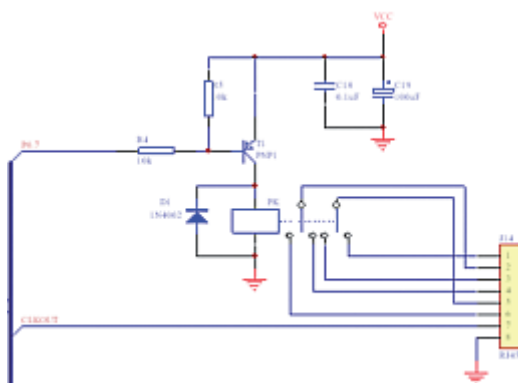
Rys. 7. Schemat układu sterowania i wyświetlaczy LED

Zastosowanie transoptora umożliwia sterowanie mikrokontrolera z zewnętrznymi układami, zasilanych wyższym napięciem od napięcia zasilającego zestaw. W układzie, którego schemat pokazano na rysunku 8, zastosowano poczwórny transoptor PC847.



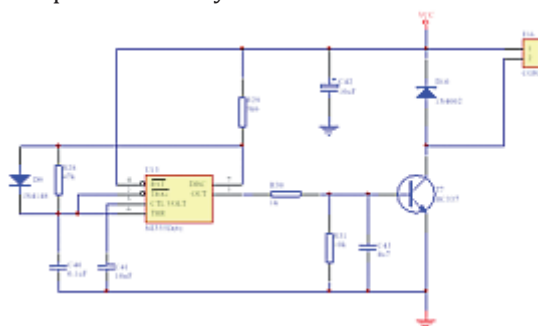
Rys. 8. Schemat układu transoptora

W celu umożliwienia sterowania zewnętrznymi urządzeniami z jednoczesnym odizolowaniem galwanicznym, zastosowano przekaźnik. Schemat układu przedstawiono na rysunku 9. Styki przekaźnika można połączyć do napięcia sieci $U=230\text{ V}$ i obciążyć je prądem o natężeniu $I_{\text{max}}=0,2\text{ A}$. Rozszerza to znacząco zakres zastosowań układu. Możliwe jest sterowanie odbiornikami o charakterze rezystancyjnym lub indukcyjnymi i mocy nie przekraczającej $P \leq 400\text{ VA}$.



Rys. 9. Schemat wzmacniacza z przełącznikiem

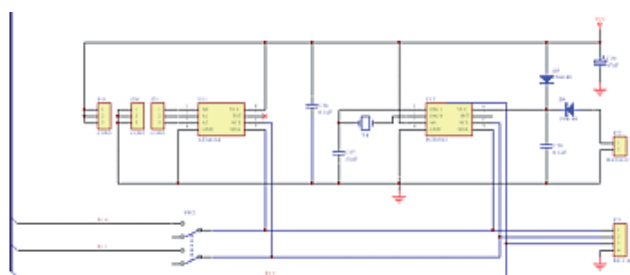
W przypadku zastosowania zasilania o napięciu z zakresu $U=(15-24)V$ w układzie stabilizatora zostanie wydzielona moc przekraczająca wartość dopuszczalną. Niezbędne jest odprowadzenie wydzielanego ciepła na zewnątrz obudowy. W tym celu zastosowano wentylator z układem automatycznej regulacji prędkości obrotowej, którego schemat pokazano na rysunku 10.



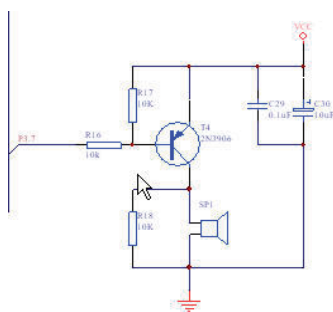
Rys. 10. Schemat regulatora prędkości obrotowej wentylatora

W zestawie dydaktycznym zastosowano zegar czasu rzeczywistego. Jest to układ PCF8773. Programowanie układu i odczyt danych w postaci czasu i daty odbywa się za pomocą szyny I²C. W celu podtrzymania działania zegara podczas odłączania napięcia zasilającego, zastosowano ogniwo litowe CD3032. Schemat układu przedstawiono na rysunku 11. Dodatkowo do szyny I²C dołączono pamięć EEPROM typu AT24C04 umożliwiającą zapisanie 512 bajtów danych.

Mikrokontroler AT89S8252 posiada 1kB pamięci EEPROM przeznaczonej na zapisywanie danych. Jednak układy z serii AT89Cxx51 nie posiadają tej pamięci, stąd konieczność stosowania pamięci zewnętrznej. Sygnalizator dźwiękowy umożliwia tworzenie prostych sekwencji dźwiękowych. Schemat wzmacniacza z przetwornikiem piezoelektrycznym pokazano na rysunku 12.



Rys. 11. Schemat zegara i pamięci EEPROM

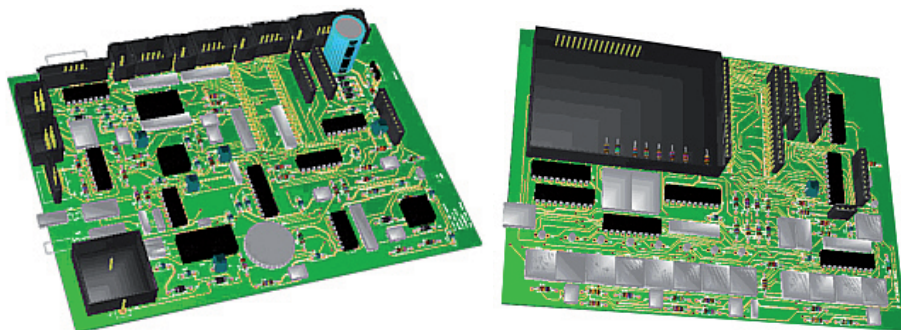


Rys. 12. Schemat sygnalizatora dźwiękowego

Przedstawione schematy podukładów zebrano na trzech schematach przeznaczonych do wykonania list elementów i ich połączeń. Listy połączeń umożliwiły zaprojektowanie trzech osobnych obwodów drukowanych PCB. Konstrukcja składająca się z trzech płytek drukowanych została umieszczona w obudowie Z-33A o wymiarach 210x145 mm.

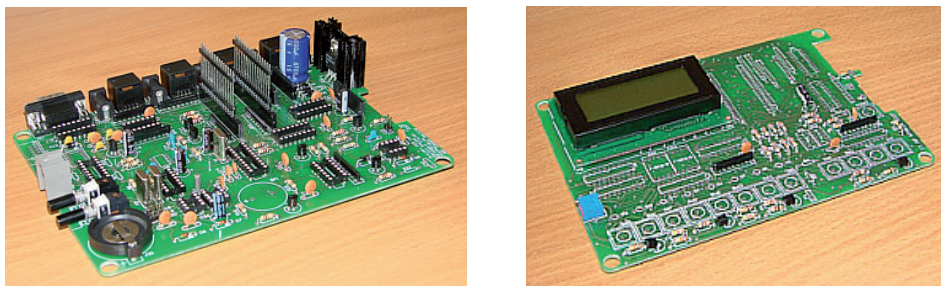
Konstrukcja

Urządzenie zawiera trzy płytki drukowane – dolną, górną i płytkę z podstawkami. Po zaprojektowaniu obwodów drukowanych wygenerowano za pomocą programu Protel 99 SE wizualizację 3D płytek. Ukazują one trójwymiarowy widok zamontowanych elementów i układ rozmieszczenia ścieżek obwodu drukowanego.



Rys. 13. Wizualizacja 3D płytek drukowanych zestawu dydaktycznego

Wizualizacja 3D umożliwiła wykonanie wstępnej weryfikacji konstrukcji. W końcowej konstrukcji zmieniono położenie wyświetlacza LCD oraz rozmieszczenie przycisków sterujących. Zostały one odsunięte od pozostałych, tworząc oddzielną grupę. Płytki z zamontowanymi częściami odpowiadające wizualizacji przedstawionej na rysunku 13 pokazano na rysunku 14.



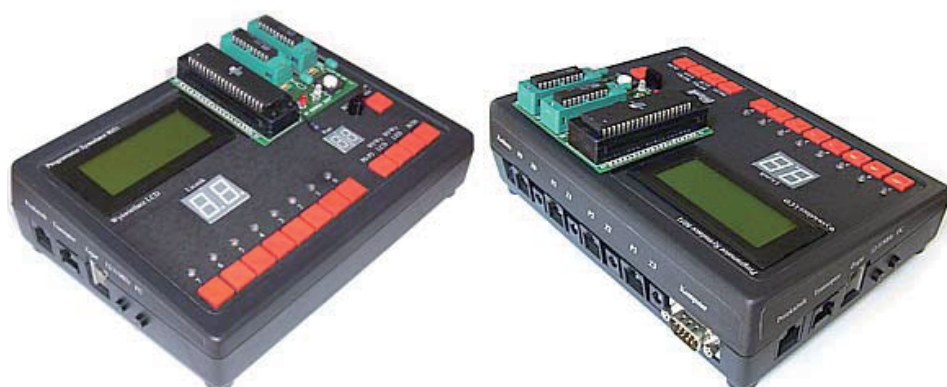
Rys. 14. Widok płytek obwodów drukowanych zestawu dydaktycznego mikrokomputera

Na rysunkach nie przedstawiono zewnętrznego zasilacza prądu stałego. Odpowiednia konstrukcja stabilizatora znajdującego się wewnątrz zestawu umożliwia dołączenie zasilacza napięcia stałego lub przemiennego o wartości napięcia z przedziału $U=(7,5-24)V$ i wydajności prądowej $I_{max}=0,8A$.

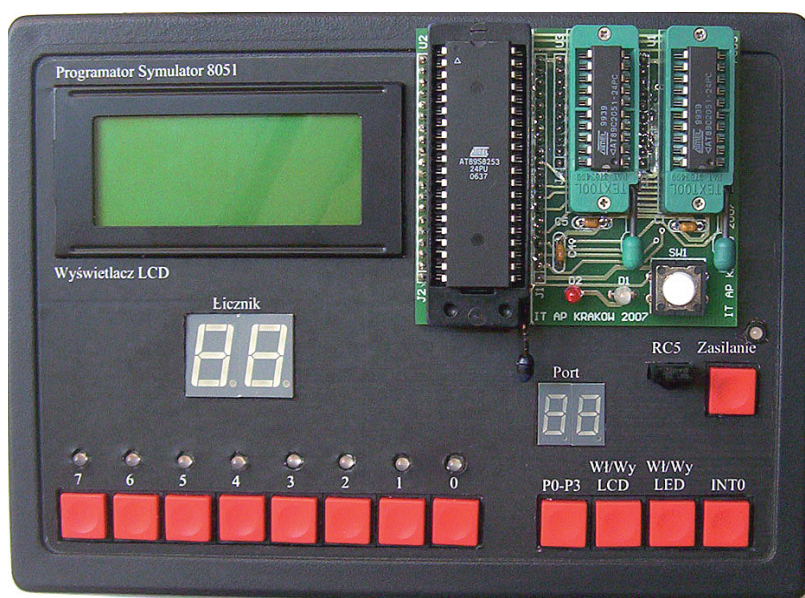


Rys. 15. Wizualizacja 3D i widok płytki z podstawkami ZIF programatora

Na rysunku 15 przedstawiono płytkę programatora z podstawkami dla programowanych układów. Zastosowanie podstawek typu ZIF umożliwia programowanie i testowanie wielu mikrokontrolerów. Dwie podstawki ZIF20 zastosowano w celu oddzielenia układu programatora od układu symulatora. Rysunek 16 przedstawia widoki boczne zestawu dydaktycznego, a rysunek 17 pokazuje front urządzenia.



Rys. 16. Widok zestawu dydaktycznego



Rys. 17. Widok frontu urządzenia

Projekt urządzenia zrealizowano z myślą o zastosowaniu w celach dydaktycznych. Małe gabaryty zestawu zwiększają jego mobilność i umożliwiają zastosowanie w każdej pracowni komputerowej. Podłączając zestaw na stanowisku komputerowym, można przeprowadzać zajęcia z programowania mikrokontrolerów. Prosta i ergonomiczna konstrukcja pozwala nawet początkującym na korzystanie z szerokiej możliwości urządzenia. Prezentowany zestaw dydaktyczny może być używany zarówno przez początkujących, jak i zaawansowanych amatorów programowania mikrokontrolerów. Intuicyjna obsługa oraz możliwość natychmiastowego sprawdzenia napisanych programów dają efekty w postaci szybkiej, a zarazem ciekawej nauki programowania. Możliwość dołączenia urządzeń zewnętrznych rozszerza zakres tematyki ćwiczeń oraz uatrakcyjni realizację procesu dydaktycznego.

Bibliografia

- [1] Górecki P., *Mikrokontrolery dla początkujących*, BTC, Warszawa 2000
- [2] Gałka P., *Podstawy programowania mikrokontrolera 8051*, ZNI „Mikon”, Warszawa 1995
- [3] Starecki T., *Mikrokontrolery 8051 w praktyce*, BTC, Warszawa 2003
- [4] Wiązania M., *Programowanie mikrokontrolerów AVR w języku Bascom*, BTC, Warszawa 2004
- [5] Borkowski A., *Zasilanie urządzeń elektronicznych*, WKiŁ, Warszawa 1990
- [6] Horowitz A., Hill W., *Sztuka elektroniki*, WKiŁ, Warszawa 1995
- [7] Sajdyk J., Janik Z., Skoczylas A., Michalski Z., *Cyfrowe układy scalone*, WE, Kraków 1993

Didactic set to programming microcontroller AT89S8252

Abstract

During last few years, we could observe huge progress in electronics. Everybody working in electronics upon entering 21st century should be familiar with microprocessors. First stage should consist of getting to know principles of building, functioning, as well as programming of microprocessor systems. Thanks to specifically designed software, microcontrollers allow building modern electronic systems using simplified construction methods. The electronic laboratory set described in this article has been built for microcontrollers teaching purposes, information have been gathered during laboratory classes with students of Technical and Information Education program.

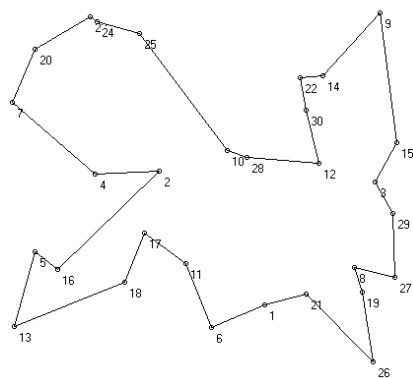
Keywords: microcontroller, programming microcontroller, didactic set, design of electronic circuit, single-chip processor, single-chip microprocessor

Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz

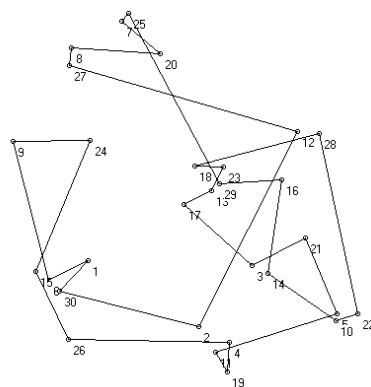
Wpływ parametrów algorytmu ewolucyjnego na jakość optymalizacji na przykładzie problemu komiwojażera

Problem komiwojażera [1, 2] został sformułowany w roku 1759 przez Leonharda Eulera. W teorii grafów została zdefiniowana „ścieżka Eulera”, która oznaczała taką drogę, która przechodzi dokładnie jeden raz przez każdą krawędź tego grafu i wraca do punktu wyjściowego. Innym zagadnieniem, którym zajmował się Euler, było rozwiązanie zadania ruchu konika po szachownicy. Prawidłowe rozwiązanie wymagało, aby konik odwiedził każde z 64 pól na szachownicy dokładnie jeden raz w czasie całego swojego ruchu. Zagadnienie komiwojażera jest zadaniem NP-trudnym. Wyobraźmy sobie człowieka wędrującego z miasta do miasta, sprzedającego tam swoje produkty. Wyrusza on z miasta rodzimego, po czym jego trasa przebiega dokładnie jeden raz przez każde miasto, a na koniec wraca do początkowego podróży punktu. Z oczywistych powodów chce, by jego trasa była najkrótsza ze wszystkich możliwych tras. Zadanie polegające na znalezieniu najbardziej optymalnej trasy nazwane jest problemem komiwojażera (TSP). W powyższym przykładzie przyjęto, że komiwojażer szuka najkrótszej trasy. Długość trasy to nie jedyne kryterium optymalizacyjne. Przykładowe trasy dla dwóch różnych przypadków położeń miast przedstawiono na rys. 1.

a)



b)



Rys. 1. Przykładowe trasy komiwojażera dla dwóch różnych przypadków położeń 30 miast

Jak pokazano na rys. 1a, trasa komiwojażera obejmująca 30 miast jest suboptymalna tylko ze względu na długość trasy. Na rys. 1b pokazano inny przypadek 30 miast. Poruszając się po trasie, można zaobserwować wiele nawrotów i powrotów w rejony odwiedzone wcześniej. Trasa taka nie ma optymalnej drogi, ale może być optymalna ze względu na koszty lub szybkość przebycia trasy. Można szukać optymalnej trasy ze względu na np.:

- długość trasy,
- koszt przebycia trasy, który niekoniecznie jest równoznaczny z długością,
- szybkość przebycia trasy itp.

Można rozpatrywać więcej niż jedno kryterium – wówczas problem staje się wielokryterialny. Jeżeli dodatkowo założymy, że ocena trasy z punktu A do B nie jest równa ocenie trasy z punktu B do A, to problem staje się niesymetryczny.

W teorii grafów miasta definiuje się jako wierzchołki, a trasy jako linie z wagami. Trasa komiwojażera jest cyklem przechodzącym przez każdy wierzchołek dokładnie jeden raz (tzw. cykl Hamiltona). Zadaniem jest znalezienie takiego cyklu Hamiltona, by spełniał on założone kryterium optymalizacyjne. Liczba cykli Hamiltona (L_H) jest zależna od ilości wierzchołków i wynosi [1, 2]:

$$L_H = (n - 1)! \quad (1)$$

gdzie:

n – liczba wierzchołków.

Złożoność problemu jest złożonością $O(n!)$ i zadanie TSP jest zadaniem NP-trudnym.

Algorytm ewolucyjny

W ciągu ostatnich kilku dziesięcioleci powstało wiele algorytmów wyznaczania rozwiązania zadania komiwojażera bliskiego optymalnemu, m.in. algorytmy:

- najbliższego sąsiada,
- zachłanny,
- najbliższego wstawiania,
- najdalszego wstawiania,
- podwajanego najkrótszego drzewa rozpinającego,
- oddzielania powłoki wypukłej,
- inne algorytmy heurystyczne,
- genetyczne (ewolucyjne).

W niniejszej pracy do rozwiązania TSP zastosowano odpowiedni algorytm ewolucyjny (AE), który:

- operuje jednocześnie na wielu potencjalnych rozwiązaniach – osobnikach,
- nie wymaga znajomości relacji matematycznych, a jedynie wyniki doświadczeń,
- naśladuje naturalną ewolucję,
- łatwy w implementacji,
- nie można założyć, że otrzymany wynik jest optymalny, ale można stosować techniki zmniejszające błąd końcowy np. zawężając zakresy zadania w trakcie ewolucji, stosując mutację postępową i dwa rodzaje selekcji.

Obliczenia ewolucyjne

W niniejszej pracy opracowano i zweryfikowano algorytm ewolucyjny do rozwiązania problemu komiwojażera umożliwiający zmianę niektórych parametrów. Badano skutki zmiany wybranych parametrów na wynik końcowy (wartość funkcji oceny danej trasy) przy założeniu, że pozostałe parametry pozostają niezmienione. Przebadano wpływ:

- ilości operacji krzyżowania,
- wpływ ilości operacji mutacji (odniesioną w % do całkowitej liczby osobników),
- wpływ ilości osobników,
- wpływ ilości pokoleń na ostateczny wynik ewolucji.

Program uruchamiano wielokrotnie dla pojedynczego zbioru parametrów. Wynik ewolucji (średnia wartość funkcji oceny) to średnia geometryczna tych działań. Do wyznaczenia najlepszej kombinacji parametrów algorytmu zastosowano uproszczoną metodę gradientu. Badania przeprowadzono dla stałej liczby miast równej 50. Wyniki zestawiono w tabelach 1, 2, 3, 4.

Tab. 1. Wpływ liczby operacji krzyżowania

Wielkość populacji	Ilość pokoleń	Liczba operacji krzyżowania na pokolenie	Liczba operacji mutacji na pokolenie [w % całej populacji]	Średnia wartość funkcji oceny
200	30	2	1	3558
		4		3290
		6		3160
		8		2915
		10		2815
		15		2531
		20		2566
		25		2450
		30		2413
		35		2368
		40		2475
		45		2449
		50		2338
		60		2306
		80		2343
		100		2410

Jak wynika z tabeli 1, najkorzystniejszą liczbą operacji krzyżowania jest liczba 60. Dalsze zwiększanie liczby krzyżowań powodowało zwiększenie czasu obliczeń, a nie powodowało polepszenia wyniku obliczeń.

Tab. 2. Wpływ ilości operacji mutacji

Wielkość populacji	Ilość pokoleń	Liczba operacji krzyżowania na pokolenie	Liczba operacji mutacji na pokolenie [w % całej populacji]	Średnia wartość funkcji oceny
200	30	60	1	2306
			2	2305
			4	2437
			6	2420
			8	2361
			10	2353
			15	2396
			20	2423
			30	2332
			40	2310
			50	2476

Jak wynika z tabeli 2, najmniejszą wartość funkcji oceny uzyskano dla 4 mutacji na pokolenie (2% z 200 osobników). Porównywalny rezultat uzyskano dla 80 mutacji na pokolenie (40% z 200), lecz czas obliczeń został znacznie wydłużony.

Tab. 3. Wpływ wielkości populacji

Wielkość populacji	Ilość pokoleń	Liczba operacji krzyżowania na pokolenie	Liczba operacji mutacji na pokolenie [w % całej populacji]	Średnia wartość funkcji oceny
65	30	60	2	3488
70				3015
80				2524
90				2423
100				2385
150				2310
200				2305
300				2355
400				2417
500				2237
700				2326
1000				2250

Jak wynika z tabeli 3, najmniejszą wartość funkcji oceny uzyskano dla populacji równej 500. Dalsze zwiększanie ilości osobników nie wpływało znacznie na osiągnięte wyniki, ale wpływało negatywnie na czas obliczeń, który jest wprost proporcjonalny do ilości osobników.

Tab. 4. Wpływ liczby pokoleń

Wielkość populacji	Ilość pokoleń	Liczba operacji krzyżowania na pokolenie	Liczba operacji mutacji na pokolenie [w % całej populacji]	Średnia wartość funkcji oceny
500	5	60	2	3071
	10			2409
	15			2309
	20			2308
	30			2237
	40			2236
	50			2236
	70			2235
	100			2235
	150			2235
	200			2235
	300			2235

Jak wynika z tabeli 4, znacząca poprawa wyniku wartości funkcji oceny miała miejsce do 30 pokolenia włącznie. Ponad dwukrotne wydłużenie ewolucji do 70 pokolenia nieznacznie polepszyło wynik końcowy. Dalsze wydłużenie ewolucji nie przyniosło znaczącej poprawy wyniku. Czas obliczeń jest wprost proporcjonalny do liczby pokoleń. Zwiększanie liczby pokoleń powyżej 70 jest niekorzystne ze względu na czas trwania obliczeń.

Jak wynika z tabel 1–4, najkorzystniejszymi parametrami badanego algorytmu ewolucyjnego były:

- wielkość populacji – 500 osobników
- ilość pokoleń – 70
- ilość operacji krzyżowania na pokolenie – 60
- ilość mutacji na pokolenie – 2% z 500 (10)

Przy wyborze najlepszego rezultatu z tabeli 4 wzięto pod uwagę dodatkowe kryterium, jakim był czas obliczeń. W trakcie badań niektóre z otrzymanych rezultatów miały funkcję oceny mniejszą niż przedstawioną w tabelach. Wynika to z wielokrotnego uruchamiania programu dla danego zbioru parametrów algorytmu ewolucyjnego. Oznacza to, że otrzymane wyniki są suboptymalne. Algorytm ewolucyjny nadaje się jako początkowa metoda poszukująca ekstremum globalnego.

Bibliografia

- [1] Goldberg D.E., *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*, WNT, Warszawa 1998
- [2] Michalewicz Z., *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*, WNT, Warszawa 1999

Influence of evolutionary algorithm's parameters on optimization quality, on the basis of travelling salesman problem

Abstract

In this article examined effect of typical evolutionary algorithm's parameters on solution of travelling salesman problem. TSP solution is itinerary which was subordinated numerical value being estimation function. On the basis of this criteria have been chosen evolutionary algorithm's parameters responded minimum value of quality indicator and acknowledged as the best for this problem.

Keywords: travelling salesman problem, evolutionary algorithm

Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz

Wspomagane komputerowo przybliżone obliczanie wartości skutecznych przebiegów sinusoidalnych o zmieniającej się amplitudzie

Przebiegi prądów lub napięć rejestrowane przez karty pomiarowe współpracujące z komputerem PC są funkcjami czasowymi. Z uwagi na występowanie fazy początkowej, operowanie takimi danymi nie jest wygodne. Najwygodniejsze jest wykorzystywanie wartości skutecznych tych wielkości zamiast ich wartości chwilowych do celów badawczych. W niniejszej pracy porównano często stosowane metody wyznaczania wartości skutecznych, tj. metodę klasyczną polegającą na obliczaniu pierwiastka całki z kwadratu sygnału, wykrywania obwiedni danego przebiegu oraz metodę wykorzystującą filtrację *Dynamic Particles* (DP) [3].

Porównanie metod obliczania wartości skutecznych przebiegów prądu

Obliczenia wartości skutecznej prądu metodą klasyczną dokonujemy na podstawie powszechnie znanej relacji

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i(t))^2 dt} \quad (1)$$

gdzie: $i(t)$ – badany przebiegu prądu, I_{sk} – wartość skuteczna przebiegu $i(t)$, T – okres drgań przebiegu $i(t)$.

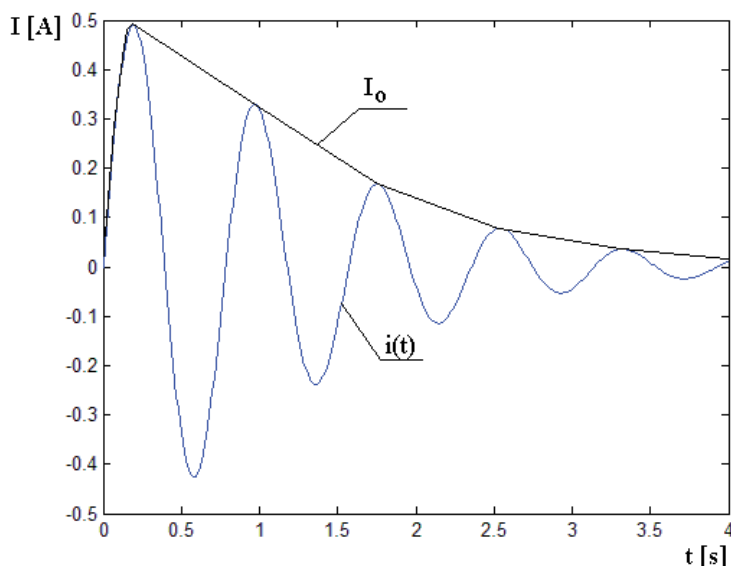
Jednym z wymogów tej metody jest konieczność znajomości okresu T . Podczas pomiarów dane rejestrowane przez karty pomiarowe obciążone są pewnym błędem pomiarowym oraz najczęściej zawierają szum biały. Powoduje to trudność określania punktów, w których następuje przecięcie osi czasu przez badany przebieg. W związku z tym określanie okresu przebiegu jest utrudnione i obciążone błędem. Ponadto wartości skuteczne można określić tylko dla pełnego okresu przebiegu. Dlatego w praktyce częściej stosuje się metody obliczania wartości skutecznej prądu na podstawie obwiedni przebiegu.

Metoda ta polega na wykreśleniu obwiedni przebiegu łączącej wartości maksymalne tego przebiegu i skorzystaniu z zależności:

$$I_{sk} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

gdzie: I_o – wartość obwiedni przebiegu $i(t)$ w danej chwili czasu.

Niedogodnością tej metody jest skomplikowany algorytm określający obwiednię danego przebiegu (rys. 1). Dokonując pomiarów sygnałów zaszumionych, wykrywanie obwiedni jest trudne.

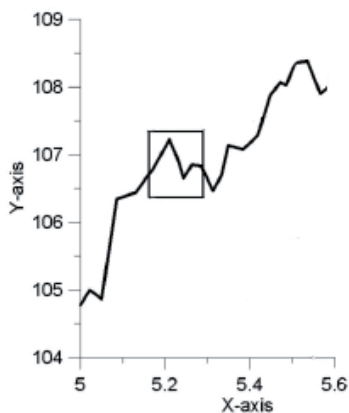


Rys. 1. Przebieg wartości chwilowej prądu $i(t)$ oraz zidentyfikowana na podstawie wartości chwilowych obwiednia tego przebiegu I_o .

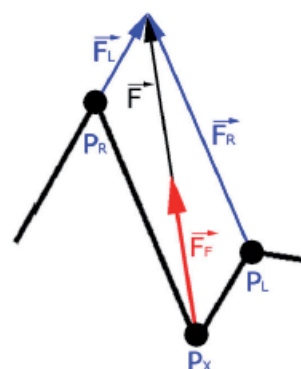
Kolejną metodą obliczania wartości skutecznej prądu polega na wykorzystaniu metody filtracji DP.

Metoda obliczania wartości skutecznej polega na obliczeniu wartości bezwzględnych we wszystkich punktach pomiarowych i przeliczeniu ich przez algorytm wykorzystujący metodę DP. Na rys. 2 przedstawiono fragment przykładowego filtrowanego przebiegu.

a)



b)



Rys. 2. Filtrowany przebieg – a, powiększony fragment przebiegu – b [3]

Algorytm DP polega na przeliczaniu położenia kolejnych punktów pomiarowych P_x na podstawie położenia dwóch sąsiednich punktów pomiarowych określonych w chwili czasowej przed (P_R) i po (P_L) określonym na nowo punkcie P_x . Punkty P_x oraz P_L są odpowiednio początkiem i końcem wektora $\vec{F}_L$ a punkty P_x oraz P_R są początkiem i końcem wektora $\vec{F}_R$. Nowe położenie obliczanego punktu P_x jest określone jako koniec wektora $\vec{F}_F$. Wektor jest określony zależnością [3]:

$$\vec{F}_F = m(\vec{F}_L + \vec{F}_R) \quad (3)$$

gdzie: m – współczynnik redukcji wyznaczany doświadczalnie.

Współczynnik redukcji wyznacza się, porównując otrzymany przebieg po filtracji ze znanym wcześniej przebiegiem dla danych testowych. Na jego wartość ma wpływ częstotliwość próbkowania sygnałów mierzonych (taka sama jak sygnału testowego). Wartość współczynnika zawiera się w przedziale $[0,1]$.

Zastosowanie tej metody uśrednia dane, tzn. w przypadku granicznym (nie skończonej ilości prób filtracji) jako wynik otrzymuje się linię prostą łączącą dwa skrajne punkty; punkt początku rejestracji oraz punkt końca rejestracji przebiegu. Zjawisko to jest niekorzystne w przypadku filtracji (należy zbadać, kiedy zakończyć filtrowanie danych), ale można je wykorzystać do obliczenia wartości średniej wyprostowanego dwupołówkowo rejestrowanego przebiegu. Mnożąc te wartości przez współczynnik kształtu, otrzymuje się wartość skuteczną przy założeniu, że rejestrowany przebieg jest sinusoidalnie zmienny. Dla przebiegów sinusoidalnie zmiennych wartość współczynnika kształtu wynosi:

$$k = \frac{\Pi}{2\sqrt{2}} \quad (4)$$

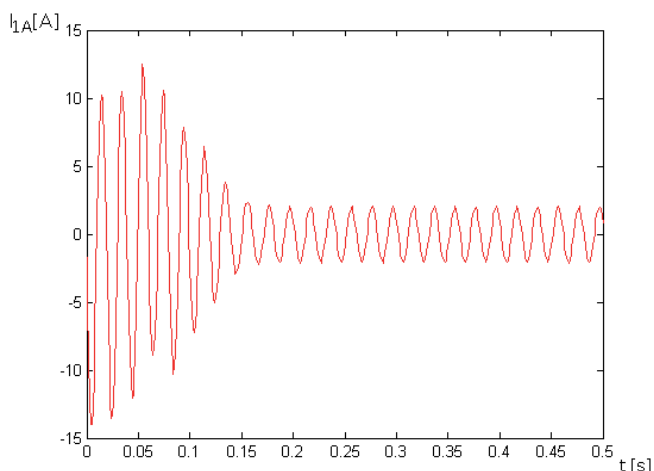
Metoda ta jest metodą użyteczną w przypadku danych o niewielkiej liczbie punktów pomiarowych w okresie z dużą składową szumu białego.

Zastosowanie metody klasycznej, metody obwiedni i metody filtrowania dp w procesie identyfikacji parametrów modelu matematycznego silnika indukcyjnego

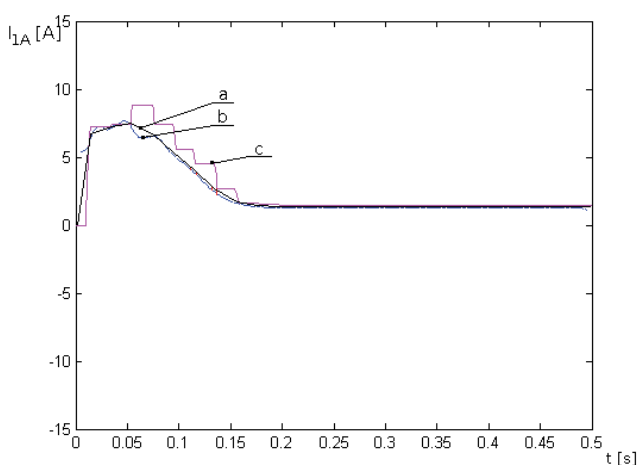
Jako dane wejściowe wykorzystano przebieg wartości prądu pierwszej fazy stojana rejestrowany podczas rozruchu silnika indukcyjnego Sg90L-6 [1, 2]. Na rys. 3 przedstawiono zarejestrowany przebieg przez komputer z kartą pomiarową a na rys. 4 przedstawiono obliczone wartości skuteczne.

Jak wynika z rys. 4 najlepszą metodą obliczania wartości skutecznej przebiegu prądu okazała się metoda wykorzystująca filtrowanie DP. Metoda ta jest przydatna w przypadku danych zaszumionych oraz mierzonych z nieznacznie większą częstotliwością niż wynikającą z częstotliwości Nyquista (w badanym przypadku pomiaru dokonywano co 1 ms przy częstotliwości zasilania silnika indukcyjnego równą 50 Hz). W przypadku danych pomiarowych wolnozmiennych (np. o częstotliwości 1 Hz) przy próbkowaniu równym 1 ms należy wyznaczyć ponownie współczynnik redukcji i w razie potrzeby powtórzyć procedurę DP. Metoda klasyczna okazała się najmniej przydatna, ponieważ zaobserwowano największe zniekształcenia. Obliczony przebieg przy zastosowaniu metody DP wartości skutecznej okazał się

najlepszy jako dane wejściowe algorytmu ewolucyjnego identyfikującego parametry modelu matematycznego silnika indukcyjnego.



Rys. 3. Przebieg wartości chwilowej prądu rejestrowanej przez komputer z kartą pomiarową



Rys. 4. Przebiegi: obliczonej wartości skutecznej wykorzystującej informację o obwodni przebiegu – a; obliczonej wartości skutecznej wykorzystującej metodę DP – b; obliczonej wartości skutecznej metodą klasyczną – c

Bibliografia

- [1] Hudy W., Jaracz K., *Identyfikacja parametrów silnika indukcyjnego przy wykorzystaniu zasady optymalności w sensie Pareto i zastosowaniu algorytmów ewolucyjnych*, SENE 2005, Łódź 23–25 listopada 2005, s. 151–156
- [2] Jaracz K., Hudy W., *Criteria Identification of Inductive Motor's Parameters with Using Evolutionary Algorithm, Pareto's Optimal Rule and Steady State's Characteristics*, International Carpathian Control Conference ICCC' 2006 Roznov pod Radhostem, Czech Republic, 29–31 May 2006

- [3] Rauch Ł., Kusiak J., *Filtrowanie danych pomiarowych przy wykorzystaniu metody cząstek dynamicznych – Data Filtering (denoising) using Dynamic Particles Method*, Fizyczne i Matematyczne Modelowanie procesów obróbki plastycznej FiMM 2005 Prace Naukowe, Seria Mechanika z. 207, Warszawa 20–21 maja 2005 r. / PW. – Warszawa: Oficyna Wydawnicza PW, 2005, s. 153–158

Computer-aided root-mean-square value's approximate calculation of sinusoidal courses with variable amplitude

Abstract

In this study shown methods of root-mean-square value's courses definition, it means: method using time's course envelope, classical definition's method And method using "Dynamic Particles" filtering.

Keywords: *root-mean-square value, Dynamic Particles*

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Marcin Kowalski, Mariusz Krzysztofik, Jerzy Jura

Komputerowa analiza połączeń spawanych

Już w starożytności do łączenia metalu wykorzystywano ciepło. Podgrzewano łączone elementy do stanu plastycznego, a następnie skuwano je. Na XIX w. datuje się początki spawalnictwa. W pierwszym okresie dominowało spawanie gazowe tj. acetylenowo-tlenowe. Rozwój elektrycznego spawania łukowego obserwuje się od chwili wprowadzenia elektrod topliwych nie otulonych, a następnie elektrod otulonych. Obecnie spawalnictwo rozwija się nadal w kierunku stosowania mechanizacji i automatyzacji procesów technologicznych oraz poszukiwania efektywnych źródeł ciepła [1].

Postęp elektroniki w ostatnich latach spowodował szybki rozwój komputerów osobistych. W dzisiejszych czasach komputer stał się nieodzownym towarzyszem naszego codziennego życia. Jest on również podstawowym narzędziem przy prowadzonych analizach, ekspertyzach, jak również przy projektowaniu konstrukcji spawanych.

Od czasu pierwszych zastosowań komputerów w przemyśle stworzono bardzo szeroki wachlarz programów wspomagających pracę inżyniera. W chwili obecnej praktycznie każda część procesu wytwórczego – od powstania projektu, aż po dostarczenie gotowego produktu do klienta – może być usprawniona przy użyciu odpowiedniego oprogramowania, które znane jest powszechnie jako systemy CAD/CAM/CAE.

Zasadniczym celem pracy jest zbudowanie modeli połączeń spawanych i przeprowadzenie symulacji obciążenia tych połączeń oraz porównanie otrzymanych wyników z przewidywanymi teoretycznie. Ważnym celem pracy jest również prezentacja możliwości zastosowania komputerów w edukacji techniczno-informatycznej poprzez ilustrację możliwości zastosowania programu obliczeń inżynierskich do symulacji złożonych procesów technologicznych.

Połączenia spawane

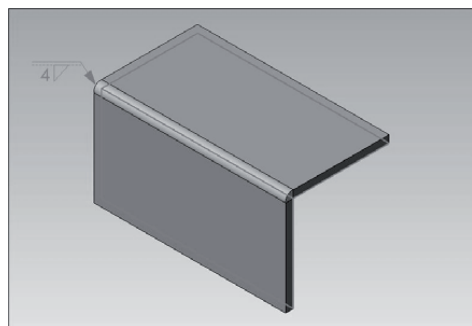
Spawalnictwo metali ma szerokie zastosowanie w licznych procesach produkcyjnych. Stosuje się je w budowie maszyn, okrętów, taboru kolejowego, konstrukcji stalowych i wielu innych dziedzinach produkcji przemysłowej. Obejmuje ono pro-

cesy trwałego łączenia części metalowych za pomocą doprowadzonego ciepła do miejsca, w którym ma powstać złącze.

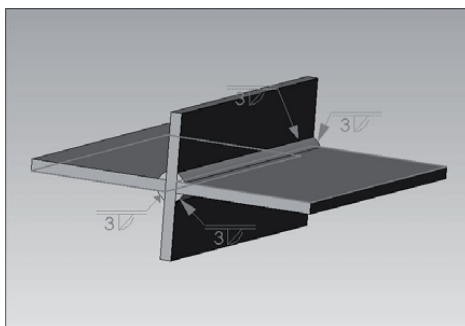
Podczas spawania brzegi łączonych części ulegają stopieniu, a ciekły metal wypełnia istniejącą między nimi szczelinę. Po skrzepnięciu powstaje spoina trwale łącząca części [2, 3].

Modele połączeń spawanych

Analizę połączeń spawanych przeprowadzono na modelach wykonanych w programie SolidWorks [4]. Zaprojektowano przykładowe złącza ze spoinami pachwinowymi (rys. 1, 2).



Rys. 1. Połączenie narożne



Rys. 2. Połączenie krzyżowe

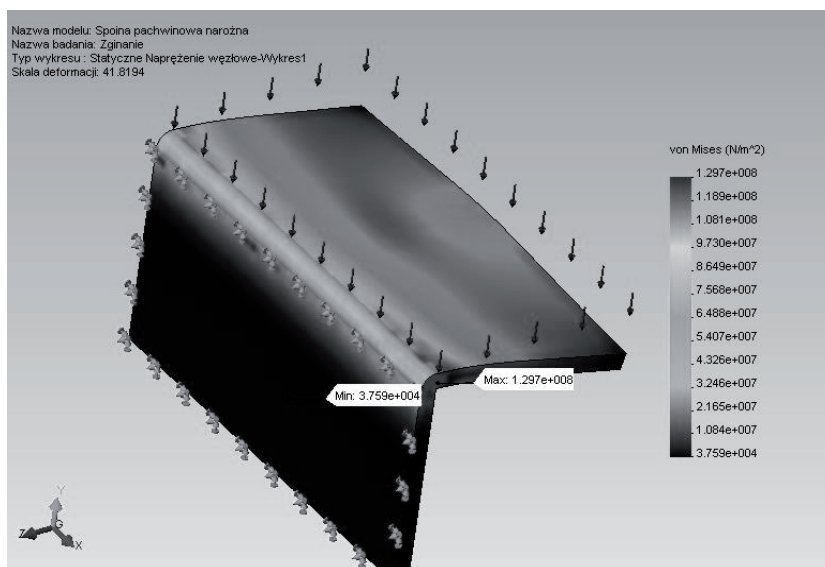
Badane złącza poddane zostały obciążeniom rozciągającym i zginającym. Obliczenia wykonano w programie CosmosWorks opartym na metodzie elementów skończonych [5].

Analiza złącz pachwinowych

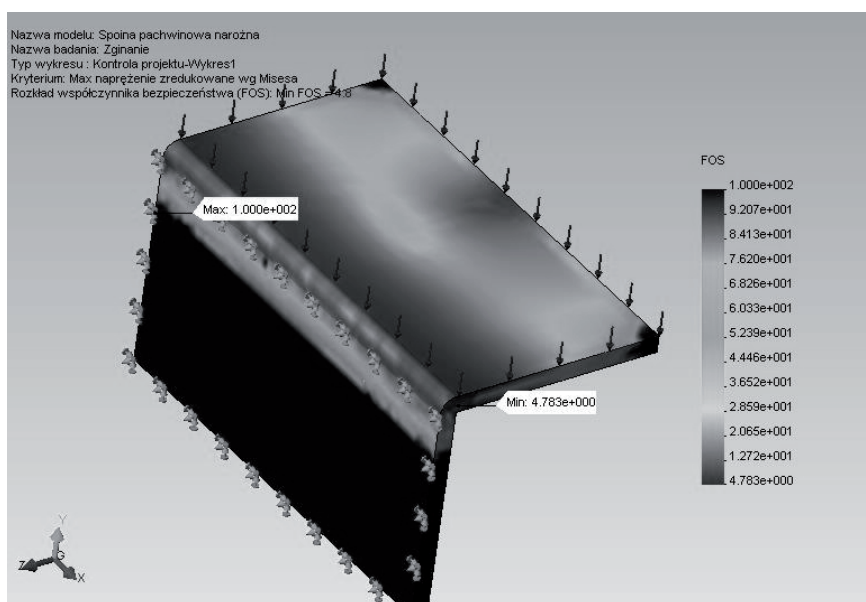
Spoiny pachwinowe z reguły pracują na ścinanie, chociaż w niektórych przypadkach, jak w połączeniu pasów belek blachownicowych ze środkiem, zakłada się, przy głębokim przetopie, pracę tych spoin zbliżoną do pracy spoin czołowych [1].

W spoinie pachwinowej obciążenie przenosi powierzchnia będąca iloczynem obliczeniowym grubości i jej długości. W spoinach przenoszących obciążenia powierzchnia ta podlega ścinaniu, a maksymalne dopuszczalne naprężenie ścinające zależy od składu spoiny, a więc od rodzaju użytej elektrody i spawanego materiału. Obliczenie spoiny pachwinowej dla danego przypadku opiera się na założeniu, że powierzchnia przekroju spoiny powinna być wystarczająco duża do przeniesienia największego naprężenia rozciągającego dopuszczalnego dla metalu rodzimego. Długość spoiny wynika zwykle z wymiarów przedmiotu lub konstrukcji [2].

Analizie poddano wyniki symulacji komputerowej przykładowych połączeń: narożnego (rys. 1) i krzyżowego (rys. 2). Wyniki analizowano pod kątem zgodności z przewidywaniami teoretycznymi.

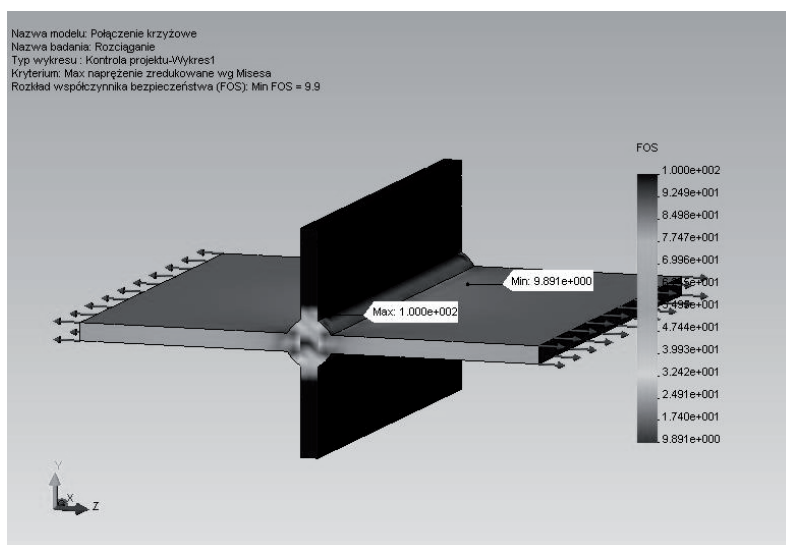


Rys. 3. Rozkład naprężeń w połączeniu narożnym obciążonym siłą prostopadłą do osi spoiny



Rys. 4. Rozkład współczynnika bezpieczeństwa w połączeniu narożnym

Z rozkładu naprężeń i rozkładu współczynnika bezpieczeństwa w połączeniu narożnym (rys. 3, 4) wynika, że największe naprężenia zlokalizowane są na granicy połączenia spoiny z materiałem rodzimym. Następuje w tym miejscu rozciąganie złącza. Otrzymany wynik symulacji jest zgodny z przewidywaniami teoretycznymi [1].



Rys. 5. Rozkład współczynnika bezpieczeństwa w połączeniu krzyżowym

Analiza połączenia krzyżowego (rys. 5) wykazała, że największe naprężenia zlokalizowane są w grani spoin. Lokalizacja największych naprężeń w tych miejscach jest zgodna z przewidywaniami teoretycznymi [1].

Zaawansowane programy komputerowe do projektowania inżynierskiego są obecnie powszechnie stosowane i zyskują coraz większą popularność. Narzędzia te umożliwiają inżynierom wirtualne testowanie oraz analizowanie skomplikowanych części i zespołów. Ma to duży wpływ na skrócenie czasu tworzenia projektu, zredukowanie kosztów testów, poprawę jakości produktu, zwiększenie dochodowości oraz przyspieszenie wprowadzenia produktu na rynek.

Przeprowadzona w pracy symulacja komputerowa wytrzymałości złącz spawanych pozwoliła w prosty i szybki sposób określić miejsca najbardziej narażone na zniszczenia. Otrzymane wyniki symulacji złącz, które poddano próbie na rozciąganie, zginanie i ścinanie, charakteryzuje dobra zgodność z rozkładami naprężeń przewidywanymi teoretycznie. Należy jednak pamiętać, że stosowanie oprogramowania inżynierskiego ma na celu wspomaganie projektowania i nie należy opierać się tylko i wyłącznie na wynikach otrzymanych z tego źródła.

Bibliografia

- [1] Łubiński M., Filipowicz A., Żółkowski W., *Konstrukcje metalowe*, cz. 1, Wydaw. Arkady, Warszawa 2003
- [2] Gourd L.M., *Podstawy technologii spawalniczych*, WNT, Warszawa 1997
- [3] Klimpel A., *Technologia spawania*, Politechnika Śląska, Gliwice 1989
- [4] SolidWorks Corporation, *Introducing SolidWorks* 2004
- [5] Łodygowski T., Kąkol W., *Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich*, Politechnika Poznańska, Poznań 2003

Computer analysis of welded joints

Abstract

In this work the possibility of computer analysis of stress distribution in welded joints is presented. The calculations were carried out using CosmosWorks application based on the finite element method. The good agreement of results with theoretical predictions was obtained.

Key words: computer simulation, welded joints, SolidWorks

Piotr Kulinowski, Przemysław Dorożyński

Możliwości różnicowania *in vitro* układów złożonych z matrycy polimerowej i substancji czynnej metodą Magnetycznego Rezonansu Jądrowego w kontekście układów farmaceutycznych o kontrolowanym uwalnianiu

Postacie leku o przedłużonym działaniu składają się z mieszaniny polimeru i substancji czynnej (substancja lecznicza). Mogą być wykonane w postaci skompresowanej (tabletki), lub też w postaci nieskompresowanej jako mieszanina proszków umieszczona w kapsułkach żelatynowych. Tego typu postaci leku mogą być przygotowane także jako systemy zrównoważone hydrodynamicznie (HBS), czyli jako postaci leku mające utrzymywać się na powierzchni soku żołądkowego.

Poniżej pewnej temperatury nazywanej temperaturą zeszklenia (T_g) polimery znajdują się w stanie szklistym (*glassy state*) [1]. Polimery używane jako składnik (matryca) postaci leku o przedłużonym uwalnianiu w temperaturze 37°C (temperatura ciała człowieka, a równocześnie temperatura płynów ustrojowych) znajdują się w stanie szklistym. Substancja czynna dodana do polimeru podnosi temperaturę zeszklenia, natomiast substancje o małej masie molekularnej, takie jak woda, zachowują się jak plastifikator, to znaczy obniżają znacząco temperaturę zeszklenia. Dlatego polimer w temperaturze 37°C, jeśli wnikanie do niego woda, może znaleźć się w stanie elastycznym (*rubbery state*). W tym stanie zwiększa się mobilność cząsteczek polimeru, jak i cząsteczek wody penetrujących układ, a także objętość uwodnionej części układu (*swelling*). W szczególności układ o wysokiej mobilności i strukturze przypominającej ciecz nazywany jest hydrożelem. Z układu będącego w takim stanie substancja czynna po rozpuszczeniu w roztworze penetrującym układ może na różne sposoby uwalniać się, to znaczy przedostawać się do roztworu otaczającego układ. Może dyfundować na zewnątrz układu zgodnie z prawem Ficka, może też przedostawać się do roztworu na drodze erozji układu. Przy czym za uwalnianie odpowiedzialne jest głównie powstawanie i erozja warstwy hydrożelowej. Sposób oraz tempo uwalniania substancji czynnej jest podstawowym sposobem oceny zachowania postaci leku.

Mówiąc o badaniach zachowania postaci leku *in vitro* (czyli w warunkach laboratoryjnych), podstawowym pojęciem, które trzeba wyjaśnić, jest dostępność farmaceutyczna. Jest to mierzona w warunkach *in vitro* ilość substancji leczniczej uwalniającej się z postaci leku i rozpuszczającej się w otaczającym płynie oraz szybkość, z jaką ten proces zachodzi. Metody badania dostępności farmaceutycznej zostały

szczegółowo opisane w tzw. ogólnych monografiach farmakopealnych. Monografie te stanowią wytyczne, m.in. dla przemysłu farmaceutycznego, co do sposobu przeprowadzania takiego badania, opisują urządzenia i warunki, w jakich ma być wykonywany pomiar. Jednym z takich urządzeń jest komora przepływowa. Badana postać leku pozostaje przez cały czas pomiaru zanurzona w cieczy, do której uwalniany jest lek, przy czym ciecz ta przepływa przez komorę, zabierając ze sobą zarówno uwolniony lek, jak i luźno związane cząstki polimeru (erozja układu). Badanie uwalniania jest w przemyśle farmaceutycznym podstawowym badaniem *in vitro* charakteryzującym postać leku.

Jedną z niewielu technik pozwalających na obserwację i rejestrację zjawisk zachodzących w obrębie preparatów matrycowych podczas uwalniania z nich substancji leczniczej jest obrazowanie MR, czyli obrazowanie oparte na zjawisku Magnetycznego Rezonansu Jądrowego. Jest to sposób nieinwazyjnego otrzymywania struktur obiektów, który m.in. daje możliwość uzyskania przestrzennych rozkładów zawartości wody w badanych obiektach (obrazy gęstości protonowej). Pozwala także na badanie molekularnych własności wody znajdującej się w obiekcie, np. poprzez pomiar tzw. czasów relaksacji lub współczynnika samodyfuzji. Do tego, żeby uzyskać obraz, musimy umieścić próbkę w stałym polu magnetycznym i poddać ją działaniu zmiennego pola magnetycznego o pewnej konkretnej częstotliwości zależnej od wartości stałego pola magnetycznego oraz rodzaju jądra. Częstotliwość ta nazywana jest częstotliwością rezonansową lub częstotliwością Larmora i leży w zakresie radiowych częstości (częstotliwość rzędu dziesiątek lub setek megaherców). Konieczne jest także zmodyfikowanie stałego pola magnetycznego tak, aby zmieniało się w liniowy sposób w określonych kierunkach, czyli dodanie do stałego pola magnetycznego tzw. gradientu pola. Aby to osiągnąć, stosuje się zestaw trzech cewek. Pierwsza cewka w zestawie generuje stałe pole magnetyczne. Może to być np. cewka wykonana z nadprzewodnika zanurzona w ciekłym helu, może to być magnes stały lub elektromagnes. Wartość indukcji magnetycznej w obecnie produkowanych magnesach nadprzewodzących może sięgać nawet 22 T. Druga cewka w zestawie (tzw. cewka radiowej częstości lub cewka RF) wchodzi w skład układu rezonansowego dostrojonego do częstotliwości Larmora. Jej zadaniem jest generowanie zmiennego pola magnetycznego, skierowanego prostopadłe do kierunku stałego pola magnetycznego, a służącego do „pobudzenia” próbki. W tej cewce indukuje się także użyteczny sygnał pochodzący od próbki i niosący o niej informacje. Trzecia cewka, a właściwie zespół cewek, to cewki generujące tzw. gradient stałego pola magnetycznego – zwykle w trzech prostopadłych kierunkach. Bez gradientu pola częstotliwość rezonansowa będzie taka sama w całej objętości próbki. Po dodaniu gradientu pola, dwa różne punkty w objętości próbki będą miały różne częstotliwości rezonansowe. Dzięki temu uzyskuje się zróżnicowanie przestrzenne, a tym samym możliwość uzyskania obrazów. Prądy w cewce RF i cewkach gradientowych są generowane w aparaturze sterowanej za pomocą komputera (tzw. konsola). Są one włączane na pewien określony czas w odpowiedniej kolejności – mają postać impulsów o różnych kształtach, amplitudach i czasach trwania. Konsola rejestruje także w sposób cyfrowy wyindukowany w cewce RF sygnał pochodzący od próbki. Odpowiednio dobrany ciąg impulsów RF, impulsów gradientowych oraz okresów, kiedy sygnał jest rejestrowany (tzw. akwizycja sygnału), nazywany jest sekwencją pomiarową.

Aby otrzymać obraz, zarejestrowany sygnał poddawany jest rekonstrukcji opartej zwykle na dwu lub trójwymiarowej dyskretnej transformacji Fouriera (DFT).

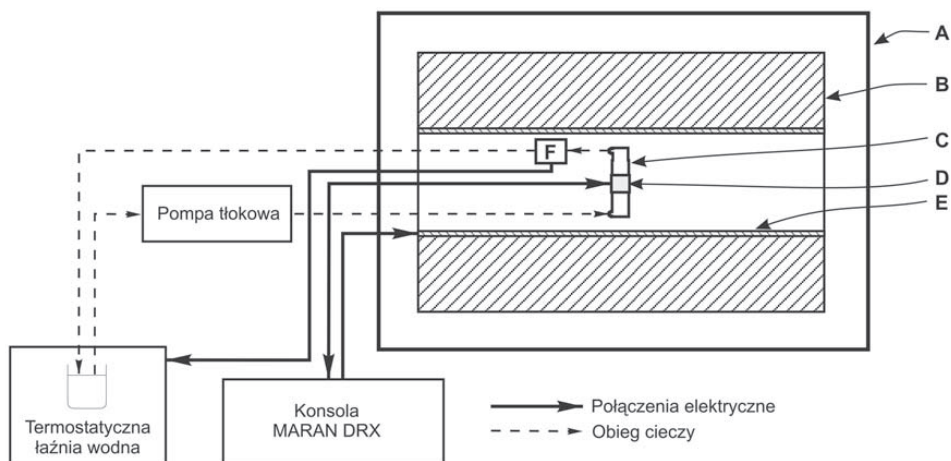
Metoda obrazowania MR jest stosowana ostatnio m.in. w pracach eksperymentalnych do oceny właściwości preparatów farmaceutycznych. Jako przełomowe należy uznać połączenie możliwości badania uwalniania substancji leczniczej z postaci leku z równoczesnym obrazowaniem penetracji cieczy do wnętrza preparatu. W tym zakresie kluczową innowacją jest integracja aparatu służącego do badania uwalniania substancji leczniczej w roztworze symulującym sok żołądkowy z systemem do obrazowania MR. Pierwszy taki system został zaproponowany w pionierskiej pracy przez Fyfe i współpracowników [2] (University of British Columbia we współpracy z Glaxo-Wellcome) w 2000 roku. W omawianej pracy autorzy użyli magnesu nadprzewodzącego o polu 9,4 T. Średnica cewki RF wynosiła 26 mm, a system ten mógł być używany do małych tabletek ze stosunkowo dużą rozdzielczością przestrzenną (100 μm). W pracy tej nie ma informacji, jakiego użyto roztworu symulującego – a jest to bardzo istotne zarówno z punktu widzenia technicznego, jak i farmaceutycznego. Autorzy twierdzą także, że przepływ cieczy w żaden sposób nie wpływał na jakość otrzymanych obrazów.

Kolejny zestaw badawczy został zaproponowany przez zespół z Chalmers University of Technology związany ze szwedzką firmą farmaceutyczną AstraZeneca R&D [3,4]. Pole widzenia, czyli przestrzenny zakres obrazowania (FOV – *Field of View*) wynosi 2,5x2,5 cm, co przy matrycy 256x256 daje rozdzielczość 0,1 mm. Grubość obrazowanej warstwy wynosi 2 mm, a przepływ roztworu przez komorę ustalono na 3 ml/s. Oprócz kontrolowanego przepływu badana postać leku jest dodatkowo wirowana w zakresie 100–200 obrotów na minutę. Badany układ jest mocowany na dysku rotora za pomocą nierozpuszczalnego w wodzie kleju. Próbkę roztworu (1,2 ml) są pobierane w trakcie eksperymentu. Na ich podstawie jest oznaczana nie tylko ilość uwolnionej substancji leczniczej, ale także ilość rozpuszczonego polimeru. Pobrane próbki roztworu analizowane są metodą chromatografii wykluczenia (SEC) na dyfraktometrze różnicowym Waters 410 (Waters Milford, MA, USA) wyposażonym w kolumnę analityczną TSK gel GMPW_{XL} (TosoHaas, Montgomeryville, PA, USA). Całkowity czas rejestracji pojedynczego obrazu wynosi około 8 minut, przy czym na czas pomiaru wyłączano przepływ. W pracy prezentującej system badano tabletki PEO (PolyEthyelne Oxide) w 500 ml destylowanej wody w temperaturze 25°C. W kolejnej pracy przedmiotem badania były tabletki HPMC-mannitol. Pomiary przeprowadzono w temperaturze 35°C, a jako roztworu do którego uwalniany był lek użyto 0,1 M bufor fosforanowy (I=0,1, pH=6,8).

Ostatnio Firma Oxford Instruments wprowadziła na rynek komercyjny niskopółowy system pomiarowy z magnesem stałym o polu 0,5 T pod handlową marką PharmaSenseTM (akronim BT-MRI od *Bench-Top Magnetic Resonance Imaging*) [5]. System skonstruowano na bazie relaksometru używanego w badaniach skał na potrzeby geologii wiertniczej. Magnes stały jest utrzymywany w stałej temperaturze 37°C, a wewnętrzna średnica sondy pomiarowej pozwala umieścić wewnątrz komorę przepływową o średnicy $\phi 22,6$ mm. W artykule prezentującym system przepływ cieczy utrzymywano na poziomie 16 ml/min., a objętość cieczy użytej w obiegu wynosiła 250 ml. Badany preparat umieszcza się na szklanych kulkach, którymi praktycznie do połowy wypełniona jest komora. Stężenie substancji leczniczej mierzone

jest na bieżąco przy użyciu badawczego spektrometru UV/VIS Thermo Evolution 330 (zakres: 190–1100 nm) z komorą przepływową (Hellma, Germany). Publikowane dotychczas wyniki pomiarów przy użyciu urządzeń tego typu uzyskiwane były za pomocą wcześniejszej wersji urządzenia (Maran DRX2) przy wyłączonym na czas pomiaru przepływie cieczy, a preparaty były wstawiane do systemu pomiarowego tylko na czas pomiaru (publikacje z lat 2008–2009) [13, 14, 15].

Jeszcze w 2004 roku autorzy artykułu zestawili pierwszą wersję układu z komorą przepływową z możliwością równoczesnego otrzymywania obrazów MR [6, 7, 8]. Jest on przedstawiony schematycznie na rysunku 1. Układ zbudowano na bazie doświadczalnego tomografu MR znajdującego się w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Służy on głównie do obrazowania i spektroskopii MR małych zwierząt doświadczalnych i bazuje na magnesie nadprzewodzącym o indukcji pola 4,7 T (Bruker, Germany) z otworem poziomym o średnicy $\phi 310$ mm. Częstotliwość rezonansowa dla protonów przy tej wartości pola wynosi 200 MHz. System wyposażony jest w cyfrową konsolę MARAN DRX (*Resonance Instruments*, UK) uzupełnioną o wysoko wydajne zasilacze cewek gradientowych firmy Copley LTD (UK) oraz zestawy cewek gradientowych. Sonda pomiarowa pozwala umieścić w niej komorę przepływową o średnicy $\phi 40$. Sama komora spełnia normy Farmakopei Amerykańskiej 30 (USP 30) i wykonana jest z materiałów nie będących ferromagnetykami, tak by móc umieścić ją w wysokim polu magnetycznym. Dzięki temu możliwe są badania postaci leku o rozmiarach odpowiadających rzeczywistym rozmiarom preparatów stosowanych w lecznictwie. Aktualnie, komora przepływowa wraz sondą pomiarową i uchwytem mocowana jest w cewkach gradientowych o średnicy $\phi 200$ mm (*Magnex Scientific*, LTD) i pozwala na badania zarówno formułacji doświadczalnych, jak i produktów komercyjnych. Obieg cieczy, do której uwalniana jest substancja lecznicza, wymuszony jest za pomocą pompy tłokowej HKP 60 (Erweka GmbH, Germany), której specyfikacja jest zgodna z zaleceniami Farmakopei.



Rys. 1. Schemat systemu do równoczesnego badania uwalniania i obrazowania MR. A – klatka Faraday'a, B – magnes nadprzewodzący, C – komora przepływowa, D – cewka RF, E – zestaw cewek gradientowych, F – czujnik temperatury.

Aby zachować zgodność metodyki badawczej łączącej badania dostępności farmaceutycznej i obrazowanie MR z obowiązującymi standardami farmakopealnymi, należy przede wszystkim zapewnić stałą temperaturę wewnątrz komory (37°C) oraz kontrolowany przepływ roztworu, do którego prowadzone jest uwalnianie. Roztwór symulujący sok żołądkowy (roztwór HCl) ma odczyn kwaśny i jest silnym elektrolitem. Wpływ takiego roztworu można zamodelować poprzez włączenie do obwodu sondy pomiarowej do obrazowania MR (układ rezonansowy RLC) dodatkowej rezystancji wpiętej w szereg z cewką [12]. Dobroć Q tak obciążonego obwodu drastycznie maleje, a wraz z dobrocią stosunek sygnału do szumu ($\text{SNR} \sim \sqrt{hQ}$). Współczynnik η nazywany jest współczynnikiem wypełnienia cewki i określa, jaką część objętości cewki zajmuje próbkę. Wynika z tego, że aby zoptymalizować stosunek sygnału do szumu, należy, na ile to możliwe, dostosować geometrię cewki do badanego obiektu. W praktyce sprowadza się to za każdym razem do budowy sondy pomiarowej dostosowanej do konkretnego obiektu i warunków, w jakich będzie przeprowadzany pomiar. Stosunek sygnału do szumu zależy także od kwadratu wartości indukcji stałego pola magnetycznego ($\text{SNR} \sim B_0^2$), dlatego wysokie pole w przypadku tego typu badania jest wysoce pożądane.

Zestaw został zaprojektowany do badania postaci leku o przedłużonym działaniu, z których substancja lecznicza jest uwalniana w górnej części układu pokarmowego. Preparaty o przedłużonym czasie przebywania w żołądku mają na celu optymalizację dostarczania do organizmu w sposób kontrolowany substancji, które mają tzw. wąskie „okno absorpcji”, to znaczy wchłaniają się na bardzo krótkim odcinku układu pokarmowego. Jednym z przykładów tego rodzaju substancji jest L-dopa, którą stosuje się w chorobie Parkinsona.

Porównując z opisanymi wcześniej zestawami pomiarowymi, opracowany przez autorów artykułu zestaw pozwala na prowadzenie badań w powtarzalny sposób z uwzględnieniem zjawisk zachodzących w przewodzie pokarmowym [6, 7, 8]. Dotyczy to w pierwszym rzędzie roztworu symulującego sok żołądkowy. Istnieje możliwość użycia cieczy, począwszy od wody destylowanej, na 0,1 M roztworze HCl skończywszy. Pomiar (obrazowanie MR) jest wykonywany w trakcie przebywania układu w komorze przepływowej, a badany układ nie jest poddawany żadnym dodatkowym manipulacjom. Sam przebieg testu uwalniania nie jest w żaden sposób zakłócany – np. przez zatrzymanie przepływu na czas obrazowania. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu sekwencji pomiarowej nieczułej na przepływ cieczy. Próby użycia standardowych sekwencji pomiarowych powodowały widoczne artefakty przepływowe (zniekształcenia obrazu wywołane przepływem cieczy). Pole widzenia (FOV) wynosi $3,5 \times 3,5$ cm, co przy matrycy obrazu o rozmiarze 256×256 daje rozdzielczość $0,14 \times 0,14$ mm. W najbardziej niekorzystnej sytuacji, czyli dla grubości obrazowanej warstwy rzędu 1 mm i 0,1 M roztworu HCl, całkowity czas pomiaru wynosi 10 minut.

Przy użyciu opisanego powyżej systemu przeprowadzono równoczesne badanie uwalniania i obrazowanie MR w sytuacji, gdy profile uwalniania (ilość uwolnionej substancji leczniczej w czasie) badanych postaci leku były podobne [9]. Zaproponowano użycie metody obrazowania MR do różnicowania takich właśnie układów. Na centralnym, podłużnym przekroju liczono: całkowitą powierzchnię układu, powierzchnię polimeru w stanie elastycznym, powierzchnię „suchego

rdzenia” układu, a także kilku parametrów geometrycznych, takich jak: średnica Fereta, obwód, perymetr oraz kolistość. Do zestawu danych reprezentujących uwalnianie substancji czynnej w czasie dodano zmiany powyższych parametrów. Pozwalają one różnicować makroskopowe, fizykochemiczne zmiany zachodzące wewnątrz układu w sposób całkowicie nieinwazyjny z punktu widzenia wymagań farmakopealnych. Wykazano korelację niektórych parametrów z danymi uzyskanymi podczas uwalniania substancji leczniczej (profilami uwalniania, czyli zmianami ilości uwolnionej substancji czynnej w roztworze). Dla zmian pozostałych parametrów takiej korelacji nie stwierdzono. Wynika z tego, że część obserwowanych procesów ma bezpośredni wpływ na uwalnianie substancji czynnej. Za to pozostałe parametry pozwalają na różnicowanie układów są czułe na inne procesy, które nie mają znaczącego wpływu na sposób uwalniania substancji czynnej *in vitro*, mogą być jednak decydujące w momencie, kiedy układ będzie testowany *in vivo* (czyli na żywych organizmach, np. na zwierzętach doświadczalnych lub ludziach w ramach badań klinicznych).

Nasuwa się pytanie: dlaczego warto podejmować próby dodatkowego różnicowania układów farmaceutycznych *in vitro*, skoro test uwalniania substancji w komorze przepływowej jest standartowym badaniem poprzedzającym badania biodostępności i biorównoważności substancji leczniczej *in vivo*? Okazuje się jednak, że wyselekcjonowane wstępnie układy mogą zachowywać się w sposób nieprzewidywalny w warunkach *in vivo*. Jest to szczególnie wyraźnie widoczne w kontekście badań na zwierzętach doświadczalnych. Inaczej skomponowane układy tak samo uwalniające substancje leczniczą *in vitro* dawały inny poziom stężenia substancji leczniczej badanej w osoczu krwi *in vivo* (tzw. badanie dostępności biologicznej) [10, 11].

Innym, wciąż aktualnym kierunkiem badań jest badanie układów farmaceutycznych metodami Magnetycznego Rezonansu Jądrowego na poziomie molekularnym – np. na podstawie przestrzennych rozkładów czasów relaksacji T_2 lub współczynnika samodyfuzji [1]. Znajomość procesów zachodzących w trakcie uwalniania substancji czynnej, czy to na poziomie makroskopowym, czy też molekularnym, w dalszej perspektywie daje możliwość przewidywania, dobierania składników formułacji, tak aby w konkretnych warunkach układ uwalniał substancję czynną w ściśle określony sposób (tzw. kontrolowane uwalnianie – *controlled release*).

Bibliografia

- [1] Ferrero C., Massuelle D., Jeannerat D., Doelker E., *Towards Elucidation of the Drug Release Mechanism from Compressed Hydrophilic Matrices Made of Cellulose Ethers. I. Pulse-Field-Gradient Spin-Echo NMR Study of Sodium Salicylate Diffusivity in Swollen Hydrogels, with Respect to Polymer Matrix Physical Structure*, Journal of Controlled Release, 2008, vol. 128, pp. 71–79
- [2] Fyfe C.A. i in., *NMR Imaging Investigations of Drug Delivery Devices Using a Flow-Through USP Dissolution Apparatus*, Journal of Controlled Release, 2000, vol. 68, pp. 73–83
- [3] Abrahamsén-Alami S., Körner A., Nilsson I., Larsson A., *New Release cell for NMRmicroimaging of Tablets. Swelling and Erosion of Poly (ethylene oxide)*, Int. J. Pharm., 2007, vol. 342, pp. 105–114

- [4] Tajarobi F., Abrahmsén-Alami S., Carlsson A.S., Larsson A., *Simultaneous Probing of Swelling, Erosion and Dissolution by NMR-microimaging – Effect of Solubility of Additives on HPMC Matrix Tablets*, European Journal of Pharmaceutical Sciences 2009, no 2, vol. 37, pp. 89–97
- [5] Nott K., *Magnetic Resonance Imaging of Tablet Dissolution*, Eur. J. Pharm. Biopharm, 2010, no 1, vol. 74, pp. 78–83
- [6] Kulinowski P., Doroczyński P., Jachowicz R., Weglarz W.P., *An Integrated System for Dissolution Studies and Magnetic Resonance Imaging of Controlled Release, Polymer-Based Dosage Forms – A Tool for Quantitative Assessment of Hydrogel Formation Processes*, J. Pharm. Biomed. Anal., 2008, no 3, vol. 48, pp. 685–693
- [7] Doroczyński P., Kulinowski P., Jachowicz R., Jasiński A., *Development of the System for Simultaneous Dissolution Studies and Magnetic Resonance Imaging for Water Transport in Hydrodynamically Balanced System – A Technical Note*, AAPS PharmSciTech 2007, no 1, vol. 8, Article 15 (20)
- [8] Kulinowski P., Doroczyński P., Jachowicz R., Jasiński A., *MRI Analysis of Moving Fronts in Floating Dosage Forms*, Acta Physica Polonica A, 2005, no 17, vol. 108, pp. 155–160
- [9] Doroczyński P. i in., *MRI Technique as Supportive Discriminatory Test for Evaluation of Controlled Release Formulations – Example of Hydrodynamically Balanced Systems with Similar Dissolution Profiles*, AAPS PharmSciTech 2010, no 2, vol. 11, pp. 588–597
- [10] Sawada T. i in., *A New Index, the Core Erosion Ratio, of Compression-Coated Timed-Release Tablets Predicts the Bioavailability of Acetaminophen*, Int. J. Pharm. 2003, no 1–2, vol. 265, pp. 55–63
- [11] Sako K. i in., *Influence of Water Soluble Fillers in Hydroxypropylmethylcellulose Matrices on in Vitro and in Vivo Drug Release*, J. Contr. Rel. 2002, no 1–2, vol. 81, pp. 165–172
- [12] Mispelter J., Lupu M., Briguët A., *NMR Probeheads for Biophysical and Biomedical Experiments, Theoretical Principles & Practical Guide*, Imperial College Press 2006
- [13] Strübing S., Metz H., Mäder K., *Characterization of Poly (Vinyl Acetate) Based Floating Matrix Tablets*, Journal of Controlled Release 2008, no 2, vol. 126, pp. 149–155
- [14] Malaterre V. i in., *Benchtop-Magnetic Resonance Imaging (BT-MRI) Characterization of Push-Pull Osmotic Controlled Release Systems*, Journal of Controlled Release 2009, no 1, vol. 133, pp. 31–36
- [15] Metz H., Mäder K., *Benchtop-NMR and MRI – A New Analytical Tool in Drug Delivery Research*, International Journal of Pharmaceutics 2008, no 2, vol. 364, pp. 170–175

In vitro* evaluation of differences between systems comprised of polymer matrix and active substance by means of Magnetic Resonance methods – the case of controlled release dosage forms*Abstract**

This article describes possibilities of investigations of systems comprised of polymer and active (drug) substance by means of Magnetic Resonance methods. Such systems are commonly used for preparing prolonged, controlled release dosage forms. Dissolution study is a basic method in pharmaceutical industry for evaluation of dosage forms. Magnetic resonance imaging (MR imaging) can be used as an additional method performed simultaneously with dissolution study in the non-invasive manner. Basics of MR imaging were described shortly together with equipment necessary to obtain MR images. Existing hardware setups for simultaneous MR imaging and dissolution study were presented. Advantages of the setup developed by the authors of the article were emphasized. The method can be directly applied to obtain quantitative information about differences between investigated dosage forms even when they have identical dissolution profiles. Literature data showed that dosage forms having identical dissolution profiles can have different bioavailability.

Keywords: Nuclear Magnetic Resonance, Magnetic Resonance Imaging, pharmaceutical availability, controlled release dosage forms, MRI probehead

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Krystyna Kuźniar, Maciej Zajęc, Łukasz Chudyba

Wybrane zagadnienia całkowania przebiegów drgań

Analiza dynamiczna wielu zjawisk, w tym również wpływu drgań typu parasejsmicznego na budynki, bardzo często bazuje na wynikach pomiarów drgań. Z różnych przyczyn, z których najczęstszą są trudności natury ekonomicznej, nie zawsze badania eksperymentalne są kompleksowe. Przykładowo, „aparatura czuwająca” do ciągłego monitoringu drgań wzbudzanych wstrząsami górniczymi w najbardziej aktywnym sejsmicznie regionie górniczym w Polsce – Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym – pozwala na rejestrację przebiegów przyśpieszeń drgań. Bardzo często jednak do praktycznej oceny skutków działań dynamicznych na konstrukcje bardziej przydatne są np. przebiegi prędkości lub przemieszczeń drgań. Powstaje więc problem wykorzystania zarejestrowanych *in situ* przebiegów przyśpieszeń drgań do wyznaczenia na ich podstawie przebiegów prędkości drgań i dalej – przebiegów przemieszczeń drgań.

W niniejszej pracy pokazano wyniki teoretycznej analizy wpływu wyboru metody całkowania oraz uwzględnienia wstępnego przetwarzania przebiegu drgań w zakresie tzw. usuwania trendu (usuwania tła, korekty linii bazowej) na dokładność uzyskanych wyników. Dokonano weryfikacji rozważanego podejścia z użyciem pomierzonych rzeczywistych przebiegów drgań wywołanych wstrząsami pochodzenia górniczego.

Zagadnienie początkowe Cauchy’ego

Niech dane będzie równanie różniczkowe zwyczajne pierwszego rzędu w postaci:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (1)$$

z warunkiem początkowym $y(x_0) = y_0$.

Tak sformułowane zadanie od strony matematycznej nosi nazwę zagadnienia początkowego Cauchy’ego [5]. W przypadku, gdy postać funkcji $f(x, y)$ jest stosunkowo prosta, równanie (1) można rozwiązać analitycznie, stosując np. metodę rozdzielania zmiennych.

W praktyce jednak prawa strona równania (1) jest zwykle na tyle złożona lub podana w postaci dyskretnej, że w celu uzyskania rozwiązania konieczne jest zastosowanie jednej z wielu metod numerycznych do analizy problemów początkowych.

Metody te pozwalają na wyznaczenie zbioru wartości dyskretnej funkcji niewiadomej $y = y(x)$, poczynwszy od danego punktu początkowego x_0 . Zbiór par (x_n, y_n) wyznacza się z następujących zależności dla węzłów równoodległych $(x_{n+1} - x_n = x_n - x_{n-1} = h = \text{const.})$:

$$\begin{cases} x_{n+1} = x_n + h = x_0 + n \cdot h \\ y_{n+1} = y_n + \int_{x_n}^{x_{n+1}} f(t, y) dt = y_n + \Delta y_n, \quad y_0 = y(x_0) \end{cases} \quad (2)$$

Całkę, którą w (2) oznaczono przez Δy_n można obliczyć numerycznie na różne sposoby [1, 6, 7]. W zależności od zastosowanego podejścia, metody numeryczne do rozwiązywania zadań początkowych dzieli się na jednokrokowe i wielokrokowe. W metodach jednokropowych wartość delty y_n zależy tylko od jednego kroku wstecz: $\Delta y_n = \Delta y_n(f_n)$, $f_n \equiv f(x_n, y_n)$. Natomiast w metodach wielokropowych wartość delty zależy od kilku kolejnych kroków wstecz: $\Delta y_n = \Delta y_n(f_n, f_{n-1}, f_{n-2}, \dots)$.

Innej klasyfikacji rozważanych metod numerycznych można dokonać, biorąc pod uwagę tzw. jawność metody. Przedstawione wyżej zależności dla Δy_n dotyczą metod jawnych (otwartych, ekstrapolacyjnych) – wartość y_{n+1} liczona jest na podstawie znanych wartości funkcji danych lub obliczonych wcześniej w poprzednich krokach – $\Delta y_n = \Delta y_n(f_n, f_{n-1}, f_{n-2}, \dots)$. Natomiast inną grupę metod stanowią bardzo dokładne metody niejawne (zamknięte, interpolacyjne), gdzie wartość y_{n+1} zależna jest od siebie samej poprzez deltę $\Delta y_n = \Delta y_n(f_{n+1}, f_n, f_{n-1}, \dots)$. Oblicza się ją, stosując metody iteracyjne, startujące ze wstępnego określenia wartości $y_{n+1}^{(0)}$ znanego z metody jedno- lub wielokrokowej otwartej.

W niniejszej pracy skupiono się na metodach jednokropowych jawnych. Pierwszą z nich i jednocześnie najprostszą, jest metoda Eulera. Według tej metody kolejne wartości poszukiwanej funkcji $y(x)$ wyznacza się według wzoru [1, 6, 7]:

$$y_{n+1} = y_n + h \cdot f(x_n, y_n) \quad n = 0, 1, \dots, \quad (3)$$

gdzie: $y_{n+1} = y(x_{n+1})$, h – odległość między węzłami x_n, x_{n+1} . Człon $h \cdot f(x_n, y_n)$ jest przyrostem funkcji y na długości h , co w tym przypadku oznacza numerycznie obliczenie całki (2) za pomocą metody prostokątów (stała funkcja podcałkowa). Równanie (3) można również interpretować jako rozwinięcie funkcji $y(x)$ w szereg Taylora (gdzie y_n – dokładna wartość funkcji) wokół punktu x_n , z uwzględnieniem wyrazów do rzędu pierwszego włącznie. Pozwala to na określenie lokalnego błędu rozwiązania będącego resztą z obciążenia rozpatrywanego szeregu R_n . Poprawienie otrzymywanych wyników może odbywać się poprzez zmniejszenie kroku całkowania h , ale tylko do pewnej wielkości granicznej, której przekroczenie powoduje nagły wzrost błędu zaokrągleń i niestabilność metody.

Kolejne dwie rozważane metody jednokropowe noszą nazwę metody Runge-Kutty II i IV rzędu [1, 6, 7]. Rząd metody wynika ze stopnia wielomianu interpolującego funkcję podcałkową $f(x, y)$ w równaniu (2). Może być także wiązany z liczbą zatrzymanych członów szeregu Taylora w rozwinięciu funkcji $y(x)$, do których

porównywane są następnie człony rozwiązania przybliżonego w celu wyznaczenia poszukiwanych współczynników.

Metody Runge-Kutty II i IV rzędu mogą być opisane odpowiednimi wzorami:

– metoda Runge-Kutty II rzędu (zwana również metodą Heuna):

$$K_1 = h \cdot f(x_n, y_n) \quad K_2 = h \cdot f(x_n + h, y_n + K_1) \quad y_{n+1} = y_n + \frac{1}{2}(K_1 + K_2) \quad (5)$$

– metoda Runge-Kutty IV rzędu:

$$\begin{aligned} K_1 &= hf(x_n, y_n) \\ K_2 &= hf(x_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}K_1) \\ K_3 &= hf(x_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}K_2) \\ K_4 &= hf(x_n + h, y_n + K_3) \\ y_{n+1} &= y_n + \frac{1}{6}(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \end{aligned} \quad (6)$$

Należy zauważyć, że we wzorach (6) występuje punkt pośredni $(x_n + \frac{h}{2})$ oraz odpowiadająca temu argumentowi wartość funkcji $f(x_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}K_1)$. Gdy analizowany problem opisuje ciągła funkcja f , wartość ta jest łatwa do wyznaczenia. W przypadku danych dyskretnych, wielkość tę można aproksymować np. parabolą lub funkcją typu spline.

W celu oceny przydatności i dokładności rozważanych metod przetestowano je, całkując teoretyczny (modelowy) przebieg drgań opisany funkcją $y'(x) = \cos(x)$ dla $x \in [0, 2\pi]$, z warunkiem początkowym $y(0) = 0$. Przyjęto krok $h = 0,2$. Rozwiązaniem ścisłym (analitycznym) tego problemu jest funkcja $y(x) = \sin(x)$. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu własnego programu komputerowego w środowisku Matlab [4].

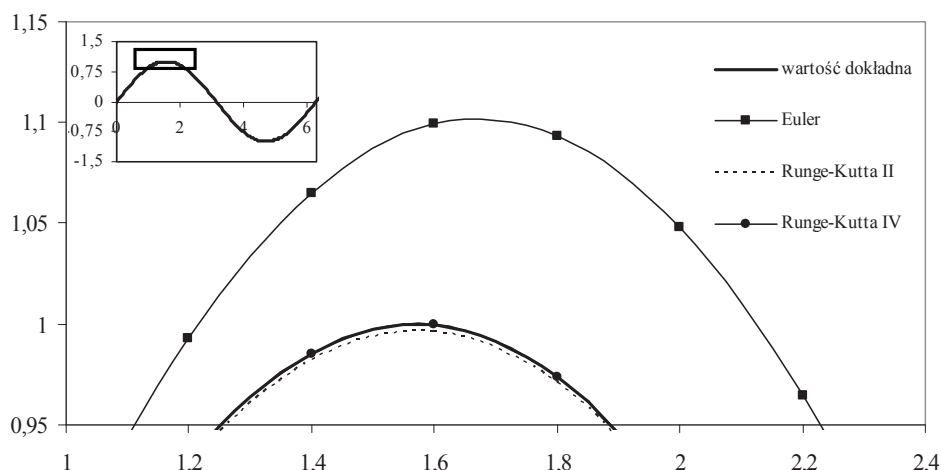
Na rys. 1 przedstawiono uzyskane wyniki analizy numerycznej z użyciem metody Eulera, metody Runge – Kutty II rzędu i metody Runge – Kutty IV rzędu na wybranym odcinku oczekiwanej funkcji $y(x) = \sin(x)$.

Zgodnie z przewidywaniami, najlepsze wyniki uzyskano metodą najwyższego rzędu, tj. Runge-Kutty IV rzędu. Punkty pośrednie w tej metodzie otrzymano poprzez aproksymację splinem kubicznym. Porównywalne rezultaty otrzymano, stosując metodę Runge-Kutty II rzędu.

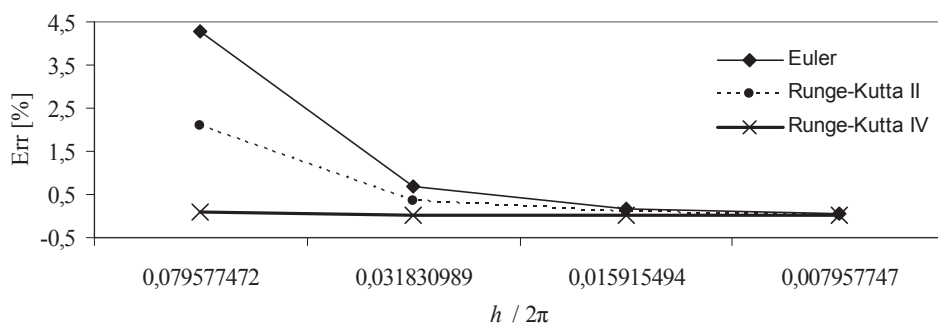
Dodatkowo na rys. 2 przedstawiono zbieżność testowanych metod całkowania w zależności od stosunku $h/2\pi$, którą określano za pomocą błędu względnego:

$$\text{Err} = \max \left| \frac{y^{\text{ścisły}} - y^{\text{num}}}{y^{\text{ścisły}}} \cdot 100\% \right| \quad (7)$$

gdzie: $y^{\text{ścisły}}$ i y^{num} – odpowiednio wartość rozwiązania ścisłego i numerycznego.



Rys. 1. Porównanie rozwiązań testowego równania różniczkowego wybranymi metodami numerycznymi



Rys. 2. Zbieżność do rozwiązania ścisłego przy użyciu testowanych metod numerycznych

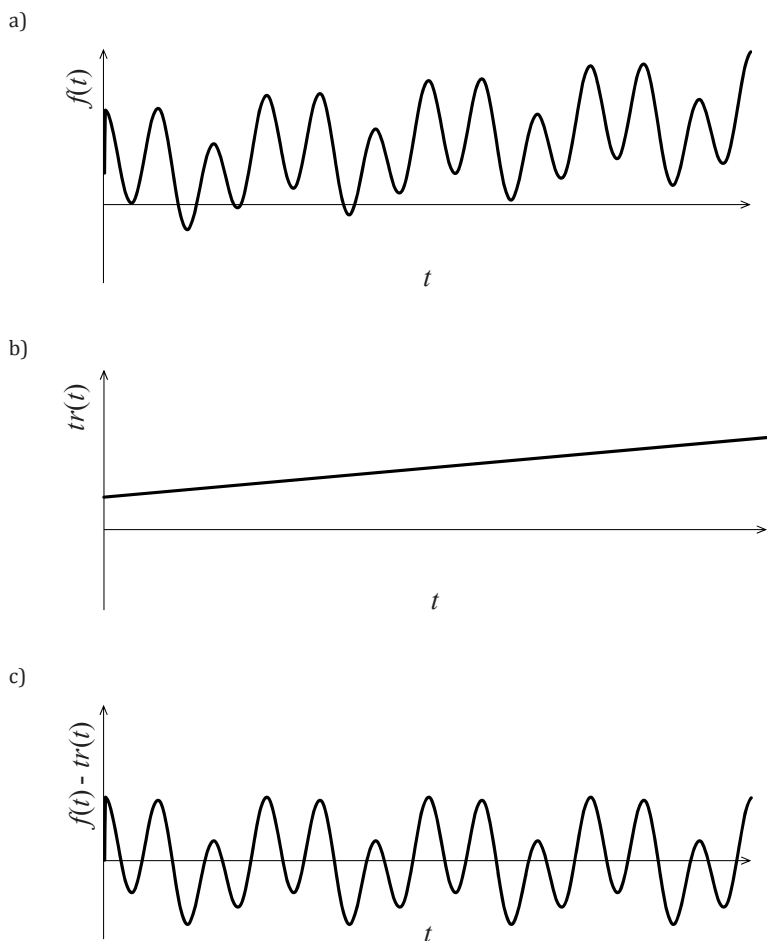
Z wyników pokazanych na rys. 2 widać, że metoda Runge-Kutty IV rzędu jest skuteczna i dokładna nawet przy dużych odległościach międzywęzłowych h . Przykładowo, dla kroku $h = 0,5$ błąd względny Err w przypadku użycia tej metody jest ponad 8-krotnie mniejszy niż metody Eulera.

Długość kroku h można dobierać iteracyjnie, podobnie jak w przypadku całkowania numerycznego znanej funkcji. Należy wtedy obliczyć wartość rozwiązania y_{n+1} za pomocą jednego kroku dla danego h i za pomocą dwóch kroków dla $\frac{h}{2}$. Porównanie tych dwóch wartości pozwoli stwierdzić, czy krok całkowania jest wystarczająco mały. Jeżeli nie, to należy znów go zmniejszyć i powtórzyć analizę dokładności obliczeń.

Całkowanie rzeczywistych zarejestrowanych przebiegów drgań

Charakter pomierzonych rzeczywistych sygnałów, np. przebiegów drgań, wywołuje konieczność ich wstępnej obróbki. Przetwarzanie wstępne odgrywa zasadniczą rolę przy doprowadzaniu sygnału do postaci dogodnej z punktu widzenia dalszej analizy, w tym również jego całkowania [3]. Przetwarzanie wstępne obejmuje m.in. tzw. usuwanie trendu (usuwanie tła, korektę linii bazowej).

Usuwanie trendu (tła) jest jednym z ważniejszych etapów przetwarzania sygnałów [2, 8]. Należy zmodyfikować sygnał (przebieg drgań) w taki sposób, aby na wykresie uzyskać jako tło poziomą linię prostą. Jeżeli trend nie zostanie wyeliminowany z sygnału, to mogą wystąpić znaczne zniekształcenia w jego dalszej analizie. W celu usunięcia trendu sygnału należy dokonać specjalnej korekty, tzw. korekty linii bazowej. Do usunięcia trendu liniowego, jak również trendu o charakterze wielomianu wyższego stopnia, może być stosowana np. metoda najmniejszych kwadratów. Na rys. 3 pokazano ideę korekty linii bazowej (odejmowania tła) przykładowo w przypadku usuwania trendu liniowego.

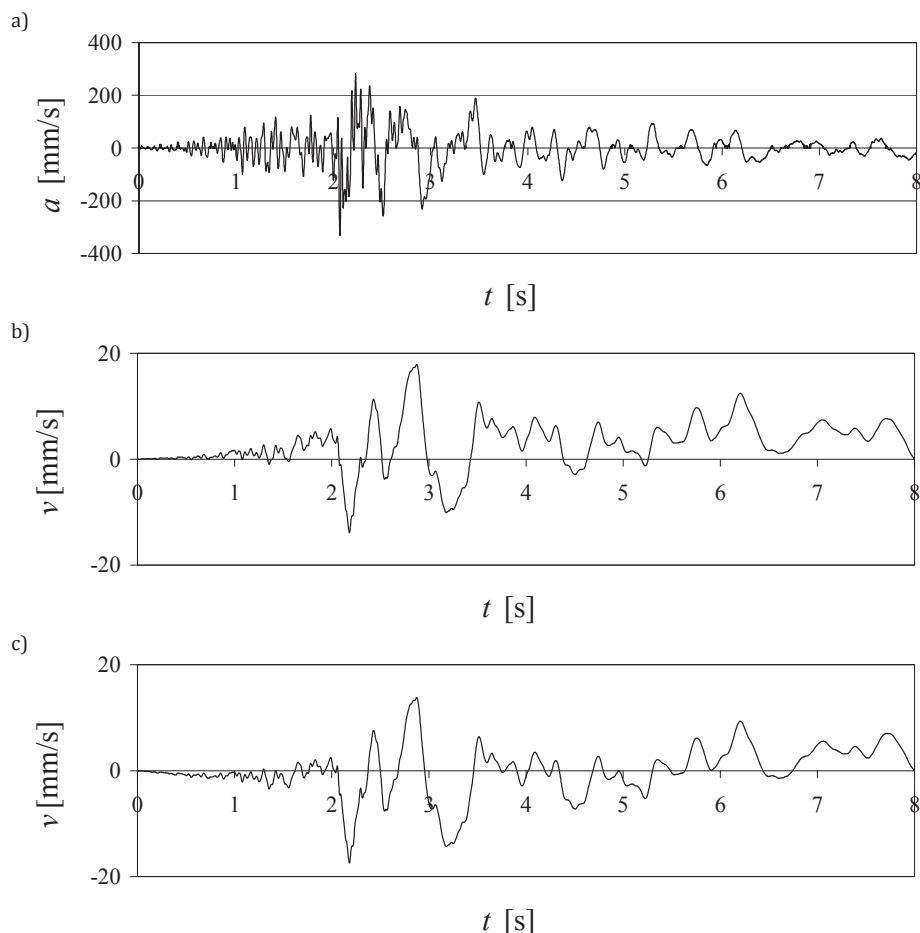


Rys. 3. Ilustracja korekty linii bazowej: a) sygnał przed usunięciem tła, b) wygenerowany trend, c) sygnał po usunięciu trendu

Po określeniu (wykryciu) charakteru i wyeliminowaniu trendu z obserwacji pomiarowych, całkowania rzeczywistych przebiegów drgań dokonywano metodą Runge-Kutty IV rzędu uwzględnieniem korekty linii bazowej. Używano odpowiednio zmodyfikowanego własnego programu komputerowego w środowisku Matlab [4].

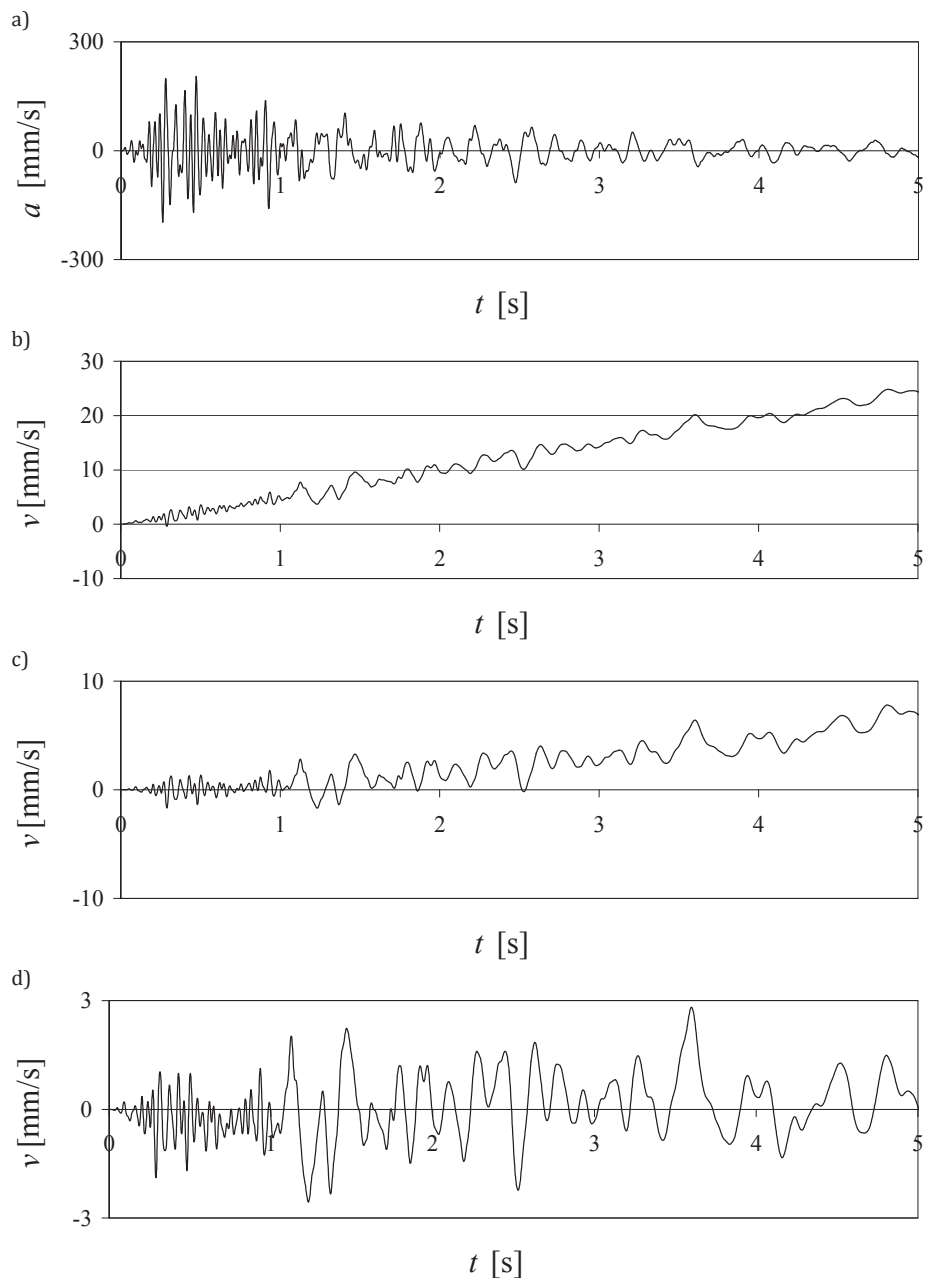
Przedstawione podejście praktycznie wykorzystano do wyznaczania przebiegów prędkości drgań na podstawie zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń drgań wzbudzanych wstrząsami górnictwymi w jednym z najbardziej aktywnych sejsmicznie regionów górniczych w Polsce.

Na rys. 4 pokazano przykładowy zarejestrowany przebieg przyspieszeń drgań gruntu od wstrząsu górniczego, który jest wynikiem eksploatacji podziemnej wraz z wyliczonym na jego podstawie przebiegiem prędkości drgań w przypadku, gdy niezbędna korekta linii bazowej była niewielka, a określony charakter trendu – liniowy.

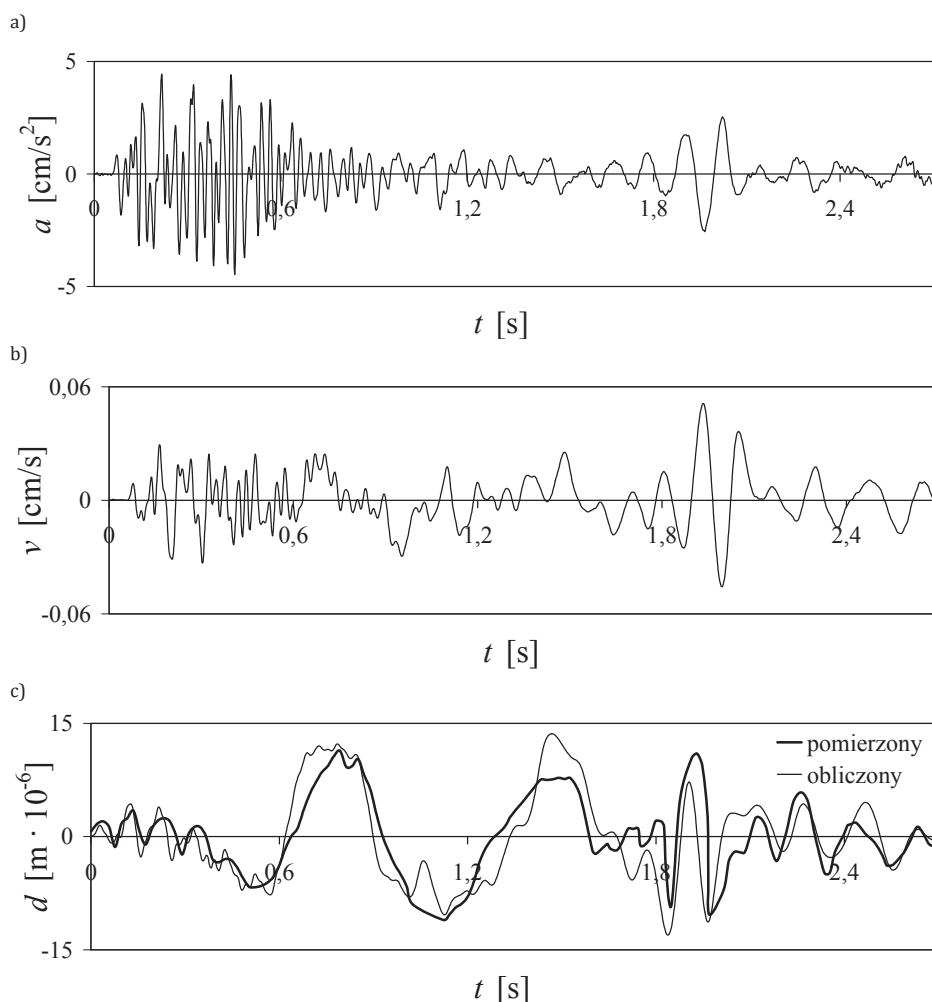


Rys. 4. Przebiegi drgań gruntu od wstrząsu górniczego o energii $E_n = 4,5 \cdot 10^8$ i odległości epicentralnej $r_e = 3357$ m: a) pomierzony przebieg przyspieszeń drgań, b) obliczony przebieg prędkości drgań bez korekty linii bazowej, c) obliczony przebieg prędkości drgań z korektą linii bazowej (trend liniowy)

Z kolei rys. 5 ilustruje, jak istotny wpływ na uzyskane rezultaty może mieć poprawne określenie charakteru trendu przebiegu drgań. W tym celu pokazano na nim „wyjściowy” – przykładowy pomierzony przebieg przyspieszeń drgań gruntu od wstrząsu górniczego, który również został wywołany jako skutek eksploatacji



Rys. 5. Przebiegi drgań gruntu od wstrząsu górniczego o energii $E_n = 4,2 \cdot 10^7$ J i odległości epicentralnej $r_e = 1668$ m: a) pomierzony przebieg przyspieszeń drgań; b) obliczony przebieg prędkości drgań bez korekty linii bazowej (1), c) obliczony przebieg prędkości drgań z usunięciem trendu liniowego (2), d) obliczony przebieg prędkości drgań z usunięciem trendu w postaci wielomianu drugiego stopnia (3)



Rys. 6. Przebiegi drgań gruntu od odstrzału materiału wybuchowego w kopalni odkrywkowej: a) pomierzony przebieg przyspieszeń drgań, b) obliczony przebieg prędkości drgań, c) porównanie obliczonego i pomierzonego przebiegu przemieszczeń drgań

podziemnej (rys. 5a) i obliczony na jego podstawie przebieg prędkości drgań w trzech wariantach: 1) gdy nie dokonano korekty linii bazowej (rys. 5b), 2) gdy usunięto trend liniowy (rys. 5c), 3) gdy linia trendu jest wielomianem 2-giego stopnia (rys. 5d). Widać, że różnice w otrzymanych przebiegach prędkości drgań w tych trzech podejściach mogą być znaczące. Trend sygnału powinien być każdorazowo badany, nie można „z góry” zakładać jego charakteru, np. liniowego.

Na rys. 6 pokazano przykładowy rezultat zastosowania przygotowanego podejścia do dwóch etapów całkowania przebiegów drgań gruntu od wstrząsu wywołanego odstrzałem materiału wybuchowego w kopalni odkrywkowej

(kamieniołomie). Na podstawie zarejestrowanego *in situ* przebiegu przyśpieszeń drgań gruntu (rys. 6a) wyznaczono przebieg prędkości drgań (1 etap całkowania, rys. 6b). Następnie, używając tak otrzymanego przebiegu prędkości drgań, wyliczono przebieg przemieszczeń drgań (2 etap całkowania, rys. 6c). Uzyskany w ten sposób przebieg przemieszczeń drgań porównano z przebiegiem przemieszczeń drgań z badań doświadczalnych. Należy wspomnieć, że pomiary przebiegów przyśpieszeń drgań i pomiary przebiegów przemieszczeń drgań prowadzone były z użyciem różnego typu aparatury – odpowiednio: akcelerometru i sejsmografu. Mimo tego przebieg przemieszczeń drgań uzyskany w wyniku dwukrotnego całkowania eksperymentalnie wyznaczonego przebiegu przyśpieszeń drgań, wykazuje dość dobrą dla celów praktycznych zgodność z przebiegiem rzeczywistym w zakresie amplitud i częstotliwości drgań.

W wyniku przeprowadzonych rozważań stwierdzono, że całkowanie przebiegów przyśpieszeń drgań metodą Runge-Kutty IV rzędu z korektą linii bazowej pozwala na wyznaczanie odpowiednich przebiegów prędkości i dalej przemieszczeń drgań z zadowalającą dokładnością. Istotny wpływ na uzyskane rezultaty może mieć poprawne określenie charakteru trendu przebiegu drgań.

Bibliografia

- [1] Atkinson K.E., *An Introduction to Numerical Analysis*, Wiley Ed., New York 1988
- [2] Bendat J.S., Piersol A.G., *Metody analizy i pomiarów sygnałów losowych*, PWN, Warszawa 1976
- [3] Giergiel J., Uhl T., *Identyfikacja układów mechanicznych*, PWN, Warszawa 1990
- [4] Manual Matlab 7.6.0.324, 2008
- [5] Maurin K., *Analiza. Część I. Elementy*, PWN, Warszawa 1976
- [6] Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P., *Numerical Recipes in Fortran*, Cambridge University Press 1992
- [7] Ralston A., *Wstęp do analizy numerycznej*, PWN, Warszawa 1975
- [8] Smith S.W., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów*, Wyd. BTC, Warszawa 2007

Selected problems of vibrations integration

Abstract

The paper deals with an analysis of the influence of integration method and initially pre-processing of vibrations (trend removing) on the accuracy of results obtained. The verification of the approach discussed was performed with the application of measured actual vibrations from mining tremors.

Key words: integration, vibrations, trend removing

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Elżbieta Mastalerz

W poszukiwaniu wykładowcy doskonałego

Każdy z nas jest w pewien sposób indywidualistą i lubi być traktowany jako jednostka. Siedząc w auli pełnej studentów, trudno odnieść wrażenie, że słowa wykładowcy kierowane są właśnie do nas. Sytuacja zmienia się diametralnie, gdy prowadzący próbuje nawiązać kontakt z grupą. Może być to kontakt wzrokowy, co wydaje się dość proste, ale również kontakt słowny. Pytania, nawet jeśli są retoryczne, a odpowiedzi padają z ust samego mówiącego, zawsze przyciągają uwagę słuchających. Pomóc mogą też porównania z udziałem osób na sali. Intensywne oddziaływanie na wyobraźnię i tworzenie skojarzeń sprawia, że zapamiętanie informacji wzrasta z 10 do 90%!

Jedynie niewielki procent społeczeństwa obdarzony jest doskonałym słuchem muzycznym. Mimo to znaczna większość z nas przywiązuje wagę do tonu, barwy, głośności, a nawet melodii głosu. W dzisiejszych czasach część mówiona wykładu znacznie traci na wartości na rzecz obrazu, jednak wciąż ma wpływ na nasze odczucia – pozytywne bądź negatywne. O ile na barwę głosu nasz wpływ jest znikomy, to nad pozostałymi jego cechami warto i trzeba pracować. Głośność należy dostosować do warunków panujących na sali (zagłuszająca klimatyzacja, otwarte na ulicę okna itd.) oraz do faktu korzystania bądź nie z urządzeń nagłaśniających. Czasem warto rozważyć użycie mikrofonu, choć w większości przypadków zniekształca on naturalną barwę głosu. Ton oraz melodia muszą być dopasowane do przekazywanych treści, niezmiernie istotna jest odpowiednia intonacja. Jeśli mamy możliwość nagrania, a następnie wysłuchania własnego wykładu, powinniśmy z niej korzystać raz na jakiś czas. Jest to sprawdzona przez wielu metoda pracy nad dykcją, intonacją i przede wszystkim tempem mówienia. Nawet najdoskonalszy pod każdym innym względem wykład nie zostanie doceniony przez studentów, jeżeli nie będą w stanie zanotować kluczowych informacji. Niestety rutyna sprawia, że mówimy z roku na rok szybciej i bardziej niedbale. Głos wymaga więc systematycznej kontroli.

Nie mniej ważna jest niewerbalna część przekazywanych przez nas komunikatów. Zacznijmy od zasadniczego pytania: czym jest komunikacja niewerbalna? Otóż komunikacja niewerbalna (określana często jako mowa czy język ciała) jest to ogół gestów oraz niewerbalnych komunikatów, zarówno nadawanych, jak i odbieranych przez ludzi. Informują one o podstawowych stanach emocjonalnych, intencjach, oczekiwaniach wobec rozmówcy, pozycji społecznej, pochodzeniu, wykształceniu, samoocenie, cechach temperamentu itd. Komunikaty te są nadawane i odbierane najczęściej na poziomie nieświadomym, jednak mogą być również nadawane i odbierane świadomie, tak jak większość gestów – emblematów czy wyrazów mimicznych. Komunikacja niewerbalna była stosowana od zarania dziejów ludzkiej

cywilizacji, jednakże stała się przedmiotem poważnych badań dopiero w połowie lat 60. Przed XX wiekiem najbardziej znaczącą publikacją dotyczącą zachowań niewerbalnych było *Wyrażanie emocji przez ludzi i zwierzęta* Karola Darwina [2]. Jego praca została wydana w 1872 roku, jednak wiele z idei i obserwacji, które w niej zawarł, są wciąż cenione przez współczesnych badaczy na całym świecie. Dzisiaj komunikacja niewerbalna stanowi podstawę szkoleń w zakresie sprzedaży bezpośredniej, *public relations* czy nawet programowania neurolingwistycznego (NLP). Jest ona używana świadomie przez ludzi chcących osiągnąć swój cel poprzez interakcję ze słuchaczami i ich zachowaniami. Do takich osób należą więc również wykładowcy.

Wykład jako metoda kształcenia

Wykład informacyjny polega na przekazywaniu uczącym się za pomocą dobrze dobranego słowa określonych informacji z zakresu nauk o przyrodzie, społeczeństwie, technice, kulturze [6]. Najczęściej stosowany w kształceniu dorosłych, zwany niekiedy konwencjonalnym, służy do słownego przekazywania określonych treści kształcenia w postaci wypowiedzi ciągłej, usystematyzowanej, w przystępnej formie, zgodnej z zasadami logiki [1]. Jest metodą popularną i jednocześnie krytykowaną, angażuje bowiem głównie wykładającego, słuchaczowi pozwala pozostać biernym.

Żyjąc w XXI w., przywykliśmy do otaczających nas komputerów i urządzeń multimedialnych. Rzutnik multimedialny w galopującym tempie wypiera grafoskop, plansze czy różnego rodzaju tablice. W związku z tym pojawia się tendencja do nadużywania obrazu czy filmu. Prezentacje multimedialne, które wyraźnie ułatwiają prowadzenie wykładu, nie powinny przekazywać całej jego treści, a jedynie wskazywać najważniejsze punkty. W centrum uwagi musi znajdować się wykładowca rozwijający pojawiające się na ekranie idee, komentujący je i przede wszystkim nawiązujący kontakt ze słuchaczami. Ostatnio popularność zdobywają wykłady multimedialne prowadzone np. równocześnie w kilku miastach. Warto więc wyraźnie podkreślić, że obecności wykładowcy „na żywo” nie jest w stanie zastąpić żaden sprzęt elektroniczny.

Wykład informacyjny znajduje zastosowanie na wszystkich szczeblach nauki szkolnej, chociaż powszechnie uważany jest za metodę typowo akademicką. Polega na przekazywaniu słuchaczom określonych treści za pomocą dobrze dobranych słów w sposób ciągły, usystematyzowany, w przystępnej formie, zgodnie z zasadami logiki [1, 6]. Nauczyciel stosuje go w przypadku, gdy w stosunkowo krótkim czasie musi omówić wiele faktów, zdarzeń, praw. Jest metodą w pełni angażującą wykładowcę, od słuchacza wymaga dojrzałości umysłowej i skupienia uwagi. Stąd konieczność stopniowego wdrażania uczących się, które według C. Kupisiewicza powinno przebiegać następująco: poczynawszy od zaznajomienia słuchaczy z celem, tematem i podtematami, zalecaniu sporządzania notatek i ich kontrolowaniu, stałej kontroli i ocenie percepcji treści przedmiotowych, stopniowe wydłużanie wykładu jako samodzielnej metody pracy wcześniej łączonej z pokazem, opisem, pogadanką itp. [3]. Aby zwiększyć percepcję, nauczyciel może zastosować bodźce w postaci: środków poglądowych, różnicowania tempa i intonacji mówienia, dygresji, posłużyć się przykładami, anegdotą, nawiązywać do wiedzy i doświadczeń słuchaczy. Przede wszystkim zaś należy mieć na uwadze, aby podawany materiał był zrozumiały, terminy

i wyrażenia znane bądź wyjaśniane słuchającym. W literaturze pedagogicznej mówi się o wykładzie problemowym i wykładzie konwersatoryjnym jako metodach aktywizujących, z założenia wzbudzających proces myślenia słuchaczy. Niezbędne jest także zaangażowanie emocjonalne wykładowcy, wykazywanie dobrej znajomości omawianych zagadnień. Najczęściej dydaktycy wyróżniają trzy zasadnicze części wykładu; wprowadzającą, główną i podsumowującą. W części pierwszej zazwyczaj przedstawia się cel, temat, tezy. Część główna wykładu to omówienie zagadnień zgodnie z wyodrębnionymi тезami, z podkreśleniem najważniejszych definicji, twierdzeń, myśli. W podsumowaniu wykładowca przedstawia wnioski z prowadzonego wywodu lub rozwiązania problemu, ewentualnie podkreśla jeszcze raz najbardziej istotne elementy wykładu.

Jakość wykładu a efekty kształcenia

Jakość wykładu zależy od wielu mniej i bardziej ważnych czynników. Jak w każdym przypadku gdy mamy do czynienia z działaniem człowieka, tak też tutaj, zarówno od strony wykładowcy, jak i słuchaczy występują różnego typu zakłócenia (czynniki atmosferyczne, chorobowe, społeczne itp.), które wpływają na jakość wykładu, percepcję słuchaczy, w rezultacie na efekty kształcenia. Jednak dla zapewnienia odpowiedniej jakości przekazu muszą być uwzględnione następujące czynniki podczas planowania wykładu:

- treść merytoryczna. Właściwy dobór i selekcja treści wykładu powinny wynikać ze świadomości czasu wyznaczonego programowo na dany przedmiot. Co zatem wybrać, co przedstawić dokładnie, co tylko zasygnalizować, a co pominąć? Oto pytania, na które wykładowca musi odpowiedzieć w trakcie planowania pracy. Decyzja jest trudna, wszystko wydaje się ważne, a czas jest ograniczony. Najważniejsze jest jednak to, jaka część przekazywanej wiedzy zostanie wykorzystana w praktycznych ćwiczeniach, czyli planowaniu pracy dydaktyczno-wychowawczej, lekcjach próbnych i twórczej działalności przyszłego pedagoga. Po dokonaniu selekcji tematycznej należy dokonać podziału będącego do dyspozycji czasu, przeznaczając odpowiednią liczbę godzin na poszczególne tematy. Powinno się również uwzględnić czas na wprowadzenie i wykazanie perspektyw rozwoju omawianej dziedziny,
- osiągnięcia naukowe. W programie wykładu nie powinno zabraknąć elementów będących wynikiem osiągnięć lub doświadczenia nauczającego. Nie można stosować powtórek podręcznika bądź skryptu, nie podpierając się przykładami, bez wyjaśnienia praktycznego aspektu, wykorzystania w praktyce. Czasem wystarczy przedstawienie własnego poglądu na dany fragment treści. Osobowość wykładowcy, jego osiągnięcia naukowe odgrywają ogromną rolę. Nadają one wykładowi indywidualne cechy i wpływają pozytywnie na postawę słuchaczy,
- osobowość, w szczególności uzdolnienia dydaktyczne wykładowcy. Styl mówienia, życzliwe nastawienie do młodzieży, zaangażowanie zawodowe, a także przygotowanie pedagogiczne i uzdolnienia dydaktyczne wykładowcy są kolejnym ważnym elementem. Znajomość metod kształcenia, podstaw pedagogiki jest nieodzowna, aby znaleźć najbardziej odpowiednią formę dla przekazywania określonych treści. Trzeba tu niestety podkreślić, że w tej dziedzinie rozbieżność między teorią i praktyką jest duża. Wynika to często z braku czasu i środków na

przygotowanie odpowiednich pomocy. Trudno określić rozpiętość czasu potrzebnego na przygotowanie godziny nowego wykładu, ale można przyjąć, że wynieść ona może 5–20 godzin, a więc bardzo dużo. Forma przekazu jest także zależna od talentu dydaktycznego wykładowcy. Wbrew przekonaniu, że nauczycielem może być każdy, do przekazywania wiedzy i oddziaływania wychowawczego niezbędne są uzdolnienia, podobnie jak potrzebne są one poecie czy pisarzowi,

- wyposażenie i usytuowanie sali wykładowej lub lekcyjnej. Jest dość oczywiste, że do osiągnięcia zamierzonych efektów potrzebny jest zestaw warunków materialnych. Wprawdzie wykładowca i jego wiedza są najistotniejsze, niemniej atmosfera dobrze usytuowanej, wyposażonej w najnowsze osiągnięcia techniki sali wykładowej znacznie ułatwia pracę wykładowcy i skupienie słuchaczy. Dobrze przygotowana prezentacja multimedialna, właściwie wykorzystana przez wykładowcę zapewnia dobre efekty kształcenia. Tylko genialni wykładowcy mogą zrezygnować ze wspomagania multimedialnego wykładu,
- poziom przygotowania słuchaczy. Czynniki ten ma duży wpływ na komfort studiowania, uczenia się i w rezultacie na jakość i efekty kształcenia. Wytrawny wykładowca potrafi wysondować po pierwszym spotkaniu orientację słuchaczy w nauczonym przedmiocie (dziedzinie wiedzy). Daje się to odczuć po zachowaniu studentów, sposobie notowania, pytaniach słuchaczy, rozmowie w przerwach. Przedstawienie jasno na pierwszym spotkaniu celu wykładu, zapoznanie z programem, określenie wymagań potrzebnych do zrozumienia treści i formy zaliczeń jest konieczne. Wzbudzenie zainteresowania już na początkowych zajęciach prowadzi, zwłaszcza na wyższych latach studiowania, do powstania partnerskiego układu. Studenci odczuwają wówczas potrzebę poznania treści wykładu i rozumieją jego przydatność w procesie kształcenia, a wykładowca utwierdza się w przekonaniu, że jego wysiłki przynoszą efekty.

Pożądane cechy dobrego wykładowcy

Jakkolwiek trudno człowiekowi osiągnąć doskonałość w uprawianej dziedzinie wiedzy i pracy zawodowej, to dążenie do niej jest szlachetnym przedsięwzięciem, szczególnie niezbędnym w obszarze kształcenia pokoleń. Mimo decydującego wpływu dydaktyki na erudycję, poziom wiedzy i umiejętności zawodowych kolejnych pokoleń, ciągle zbyt mało miejsca w opracowaniach naukowych i systemie kształcenia poświęca się wymienionym dalej problemom. Zaniedbany jest zwłaszcza system doboru kadry nauczającej i to na wszystkich szczeblach kształcenia. Teoria nie zawsze znajduje zastosowanie w praktyce, niewiele upowszechnia się dobrych doświadczeń dydaktycznych, a powszechność zdobywania wykształcenia nie prowadzi do naturalnej selekcji słabych wykładowców. Wprawdzie system ewaluacji kształcenia i prowadzonych badań ankietowych słuchaczy kursów i studiów wyższych implikuje samokontrolę i doskonalenie pracy, jednak nie eliminuje mało efektywnej kadry nauczającej.

Korzystając z literatury pedagogicznej i własnej praktyki, można wyróżnić podstawowe zadania, jakie winien spełniać wykład. Po pierwsze, powinien tworzyć jeden z elementów struktury przedmiotów w procesie kształcenia w określonym kierunku lub specjalności, następnie dostarczać określonej wiedzy zgodnie z jej aktualnym stanem, ze wskazaniem znaczenia przedmiotu i perspektyw rozwoju

oraz powiązania z praktyką. Wykładowca poprzez system przekazu oddziałuje wychowawczo na postawę słuchaczy, wykłady powinny więc poszerzać światopogląd młodzieży. Jako realizator tych ambitnych zadań powinien być człowiekiem o gruntownej wiedzy merytorycznej, uzdolnionym dydaktycznie, komunikatywnym, życzliwie traktującym uczących się, jasno wyrażającym myśli, wymagającym, samokrytycznym, sympatycznym, sprawiedliwym, swobodnie operującym terminologią poprawną naukowo i jednocześnie – poprzez dobór słów – zrozumiałą dla słuchaczy. Studenci bardzo cenią sobie konkretność w prezentowaniu materiału, bez zbędnego gadulstwa i nużących wywodów. Bardzo ważna jest umiejętność wyboru i prezentacji problemów podstawowych i uzupełniających. Dla przyszłych nauczycieli cenne są przykłady szkolnej praktyki z zastosowaniem reguł pedagogicznego postępowania. Dynamiczny, wartki system przekazu wykładowcy, ciekawe, niezbyt rozbudowane prezentacje z podkreśleniem treści podstawowych i umożliwienie wykonania notatek niezbędnych do zaliczenia egzaminu stanowią o efektach kształcenia i budowaniu dobrych wzorców pedagoga.

Wybór profesji nauczającego nakłada obowiązek samokształcenia w dwóch kierunkach: merytorycznym, jak w każdym zawodzie w dobie współczesnej nie sposób poprzestać na wiedzy zdobytej w trakcie przygotowania do zawodu, oraz metodycznym. Doświadczenie zdobywane w procesie dydaktycznym powoduje wypracowanie indywidualnych umiejętności i zazwyczaj lepsze efekty kształcenia po kilku latach. Chodzi jednak o to, aby korzystać z doświadczeń innych, aktualizować formy przekazu i osiągać możliwie najwcześniej dobrą jakość pracy dydaktycznej, młode pokolenie bowiem, żyjące w dobie powszechnej komputeryzacji mniej potrzebuje dostarczyciela wiedzy w osobie wykładowcy, a bardziej organizatora selekcjonującego dobór źródeł i kierującego uczeniem się. Bardzo istotnym jest więc w przygotowaniu wykładów uwzględnienie ogólnej struktury w postaci algorytmu [5]. Obejmuje on:

- moduły początkowe, jak rys historyczny dziedziny obejmującej przedmiot, omówienie powiązań z innymi przedmiotami i przedstawienie wymagań oraz literatury przedmiotu,
- moduły tematyczne, zróżnicowane na moduły problemowe i poszerzające,
- moduł końcowy, przedstawiający perspektywy rozwoju przedmiotu.

W układzie tematycznym ważną rolę odgrywają tzw. moduły problemowe. Moduł problemowy jest zbiorem powiązanych ze sobą tematów tworzących wspólny problem o szerszym zakresie. Podział tematyki na takie nadrzędne moduły ma podstawowe znaczenie przy wypracowaniu hierarchicznej struktury treści wykładu. Poszczególne tematy tworzące moduł problemowy są następnie przedstawiane szczegółowo w formie modułów poszerzających. Do tego celu służą również zajęcia uzupełniające wykład. Ostatnim etapem przygotowania wykładu jest szczegółowe opracowanie poszczególnych modułów wraz z potrzebnymi pomocami dydaktycznymi.

Bibliografia

- [1] Bereźnicki F., *Dydaktyka kształcenia ogólnego*, Oficyna Wydawnicza IMPULS, Kraków 2004
- [2] Darwin K., *O wyrazie uczuć u człowieka i zwierząt*, Warszawa 1988
- [3] Kupisiewicz C., *Dydaktyka ogólna*, Warszawa 2000
- [4] Mastalerz E., Gałązka E., *Inspiracje do aktywizującej uczniów edukacji ogólnotechnicznej*, Wydawnictwo Naukowe AP, Kraków 2006
- [5] Samek A., *Wykład, ale jaki!*, http://wiad.pk.edu.pl/~naszapol/archiwum/NRZZ/TEXT/19_22.htm, dostęp 2.10.2010
- [6] Szlosek F., *Wstęp do dydaktyki przedmiotów zawodowych*, Wyższa Szkoła Inżynierska w Radomiu, Radom 1995

In search of the perfect lecturer

Abstract

In nearly every student's imagination such a character. But for students of pedagogical types of studies, this imaginary character should be of utmost importance, as it represents what they will strive to achieve when set in role of a teacher in the near future. To try reaching for perfection, firstly you need to have an idea of what this perfection looks like. Therefore, what qualities should the perfect lecturer feature? This article presents theoretical basis of a lecture according to current literature, viewed through the eyes of both student and lecturer. Conclusion brings together a shortlist of positive characteristics a perfect lecturer should possess.

Keywords: lecturer, characteristics, student

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Krzysztof Mrocza, Katarzyna Walawska

Badania powierzchni stopu aluminium 2017A polerowanej elektrolitycznie

Profil powierzchni, określony wielkością i kształtem nierówności jest ważnym czynnikiem mającym wpływ na wiele procesów fizykochemicznych zachodzących na lub w pobliżu powierzchni elementu. Płaskość powierzchni ma wpływ na współczynnik tarcia, zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej, polepszenie odporności korozyjnej, zwiększenie przyczepności powłok (np. galwanicznych), zwiększenie współczynnika odbicia światła i ciepła oraz powoduje lepszą emisyjność elektrodów. Polepsza także właściwości aero i hydrodynamiczne oraz wpływa na zachowanie czystości [1]. Opracowano szereg metod polerowania, m.in.: mechaniczne, chemiczno-mechaniczne [2, 3, 4], elektrolityczne. Najstarszą metodą jest polerowanie mechaniczne, które realizowane jest w wielu odmianach: na sucho lub mokro, z zastosowaniem różnych narzędzi (tracz, dysków, narzędzi magnetycznych [5]), z zastosowaniem różnych cząstek polerujących (najczęściej Al_2O_3 , SiO_2 , SiC [6]), jedno lub wieloetapowe z optymalizacją zależnie od stosowanych narzędzi [7, 8, 9]. Polerowanie mechaniczne stosuje się na skalę przemysłową i laboratoryjną w odniesieniu do wszystkich grup materiałów inżynierskich: materiałów metalicznych [10, 11], ceramiki [12, 13], tworzyw sztucznych, kompozytów. Polerowanie elektrolityczne może być natomiast stosowane tylko do materiałów metalicznych, które ulegają roztworzeniu w obecności elektrolitu pod wpływem różnicy potencjału o odpowiedniej polaryzacji. Metal polerowany jest anodą na potencjale dodatnim względem drugiej elektrody na potencjale ujemnym (katody) [1]. Roztworzenie anodowe następuje w wyniku odrywania się jonów od anody (polerowanej powierzchni), które przechodzą do elektrolitu, w kierunku do ujemnego potencjału. Natomiast jony, powstałe np. z dysocjacji związków znajdujących się w elektrolicie, z obszarów w pobliżu katody kierują się w stronę anody [14]. Wygładzanie powierzchni jest efektem nierównomiernego jej roztwarzania. Na wierzchołkach nierówności gęstość prądu jest dużo większa niż w zagłębieniach. Jest to wynikiem mniejszej rezystancji w tych obszarach oraz łatwiejszej dyfuzji jonów. W efekcie wierzchołki nierówności ulegają szybszemu usuwaniu i zaokrągleniu, co prowadzi do wypłaszczania powierzchni. Efektywność i jakość tego procesu zależą od wielu czynników: składu elektrolitu, jego stężenia, własności fizyko- i elektrochemicznych, temperatury

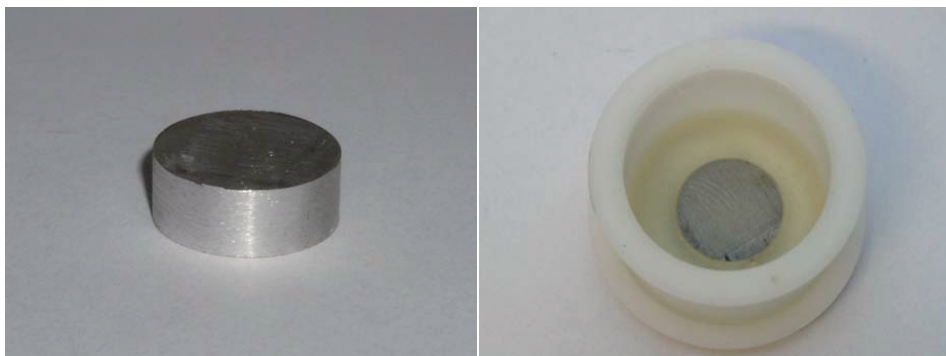
pracy, prędkości elektrolitu względem anody, właściwości materiału obrabianego i stanu jego powierzchni, odległości pomiędzy anodą i katodą, obliczeniowej gęstość prądu, wielkości i kształtu katody, wielkości i pojemności wanny, w której prowadzony jest proces. Do zalet polerowania elektrolitycznego zalicza się: szybkość procesu (kilkanaście sekund), prostota wykonania (najczęściej w jednym etapie), usuwanie warstwy wierzchniej bez wprowadzania naprężeń powierzchniowych. Ta ostatnia cecha powoduje, że polerowanie elektrolityczne jest stosowane do przygotowania powierzchni do badań skaningowej mikroskopii elektronowej z wykorzystaniem analizatora EBSD (*Electron Backscatter Diffraction*) [15, 16], do analiz dyfrakcji, linii Kikuchiego. Do wad tego typu polerowania zalicza się trudności w jednorodnym polerowaniu stopów wielofazowych na skutek tworzących się na wydzieleniach dodatkowych ogniw, co powoduje bardziej lub mniej intensywne usuwanie takiej fazy w stosunku do osnowy [10]. Powierzchnie muszą być odpowiednio przygotowane (minimalna wielkość nierówności) i odłuszczone. Ponadto proces wymaga zastosowania odpowiednich urządzeń, doboru elektrolitu oraz parametrów i warunków polerowania. Polerowanie elektrolityczne może być stosowane do ograniczonej wielkości powierzchni ze względu na konieczność zapewnienia wystarczającej gęstości prądu. Bardzo dobre efekty uzyskuje się w przypadku polerowania małych elementów o złożonych kształtach, np. stentów stalowych stosowanych w kardiologii (koronografii) [17].

Poniżej przedstawiono prace badawcze i uzyskane wyniki analizy wpływu parametrów polerowania i stanu powierzchni na jakość powierzchni po polerowaniu elektrolitycznym stopu aluminium (duralu) 2017A.

Metodyka badań

Próbki do badań wykonano ze stopu Al 2017A (duralu) o składzie chemicznym: 3,9% Cu, 0,6% Mn, 0,6% Mg, 0,4% (% wag.). Stop ten znajduje zastosowanie do wykonania elementów, które powinny charakteryzować się podwyższoną wytrzymałością oraz odpornością na podwyższone nawet do ok. 160°C temperatury. Chodzi np. o silnie obciążone elementy w przemyśle lotniczym, samochodowym i obronnym, rurociągi, urządzenia hydrauliczne, konstrukcje mostowe. Produkty wytwarzane z tego stopu to m.in. blachy, płyty, taśmy, krążki, pręty, rury, kształtowniki, odkuwki [18].

Eksperymenty wykonano na 14 próbkach okrągłych o wymiarach $\phi 16$ mm i grubości 6 mm, które wycięto z blachy i zatopiono w tworzywie chemoutwardzalnym Duracryl – PLUSm (rysunki 1 i 2). Czas polimeryzacji do utwardzenia wystarczającego do usunięcia z form – 20 min. Następnie przygotowano dwa zestawy próbek po 5 sztuk o powierzchni w różnym stanie (po szlifowaniu na papierach 200, 400, 600, 800) i 4 próbki po końcowym szlifowaniu na papierze 1200, według procedur przedstawionych w tabeli 1. Ostatnie szlifowanie to stan końcowy próbek do polerowania elektrolitycznego.

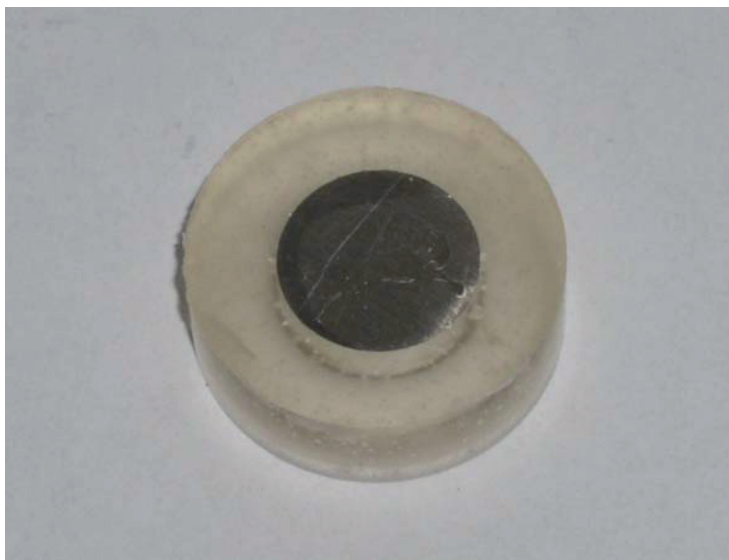


Rys. 1. Próbką do badań, przed i w trakcie zatapiania (inkludowania)

Tab. 1. Procedury szlifowania i stan końcowy próbek

Próbki	Rodzaj papieru ściernego				
szt.	200	400	600	800	1200
2	x				
2	x	x			
2	x	x	x		
2	x	x	x	x	
2 + 4	x	x	x	x	x

x – wykonanie szlifowania



Rys. 2. Próbką zatopioną w tworzywie

Szlifowanie prowadzono na papierach suchych. Po każdym etapie szlifowania próbki płukano w wodzie. Kolejne etapy prowadzono przy zmianie kierunku szlifowania o 90° w stosunku do poprzedniego etapu. W celu uzyskania kontaktu elektrycznego po przeciwległej stronie próbki (do powierzchni przygotowanej do eksperymentu) warstwę tworzywa, w którym zatopiono próbki, usunięto metodą skarania na tokarce. Kontakt elektryczny był konieczny do wykonania elektropolerowania i obserwacji mikroskopowych – mikroskopia SEM.

Eksperymenty elektropolerowania wykonywano przy zastosowaniu elektropolerki firmy Elbit charakteryzującej się parametrami pracy:

- płynna zmiana napięcia stałego $2 \div 60$ V,
- wydajność prądowa do 3A,
- trzy stopnie wydajności pompy podającej elektrolit na powierzchnię polerowanej próbki,
- sterowanie, analiza i zapis parametrów polerowania lub trawienia przez komputer PC,
- funkcja skanu – wyznaczenie charakterystyki $I = f(U)$,
- pomiar temperatury elektrolitu.

Obserwacje powierzchni próbek wykonano przy zastosowaniu:

- mikroskopu świetlnego OLYMPUS GX51 z kontrastem interferencyjno różniczkowym Nomarskiego i oprogramowaniem rejestrującym zdjęcia na komputerze PC,
- mikroskopu elektronowego skaningowego Philips 525M z EDS i rejestracją cyfrową zdjęć na komputerze PC,
- cyfrowego aparatu fotograficznego OLYMPUS C-4000 z funkcją makro.

Elektropolerowanie wykonano z zastosowaniem elektrolitu o składzie chemicznym:

- $40 \text{ cm}^3 \text{ HClO}_4$,
- 350 cm^3 etanol,
- $60 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$,
- 50 cm^3 2-butyloxy-etanol.

Temperatura elektrolitu: $19\text{--}21^\circ\text{C}$.

Parametry polerowania podano w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry procesu elektropolerowania

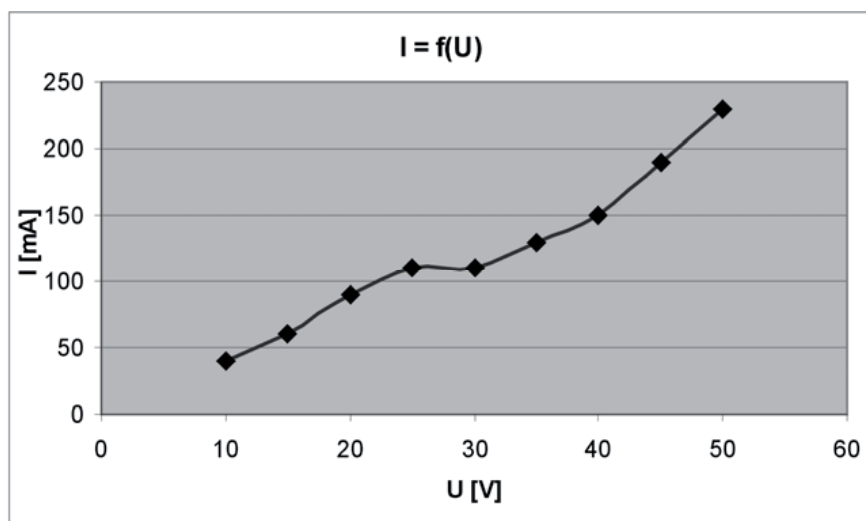
Próbki stan powierzchni	Napięcie [V]	Prąd* [mA]	Czas [s]	Prędkość podawania elektrolitu
200	40	240	10	duża
200	50	370	10	duża
400	40	240	10	duża
400	50	370	10	duża
600	40	240	10	duża
600	50	370	10	duża
800	40	240	10	duża
800	50	370	10	duża
1200	40	240	10	duża

1200	50	370	10	duża
1200	40	300 max	5	duża
1200	40	420 max	15	duża
1200	40	500 max	20	duża
1200	45	290	10	duża

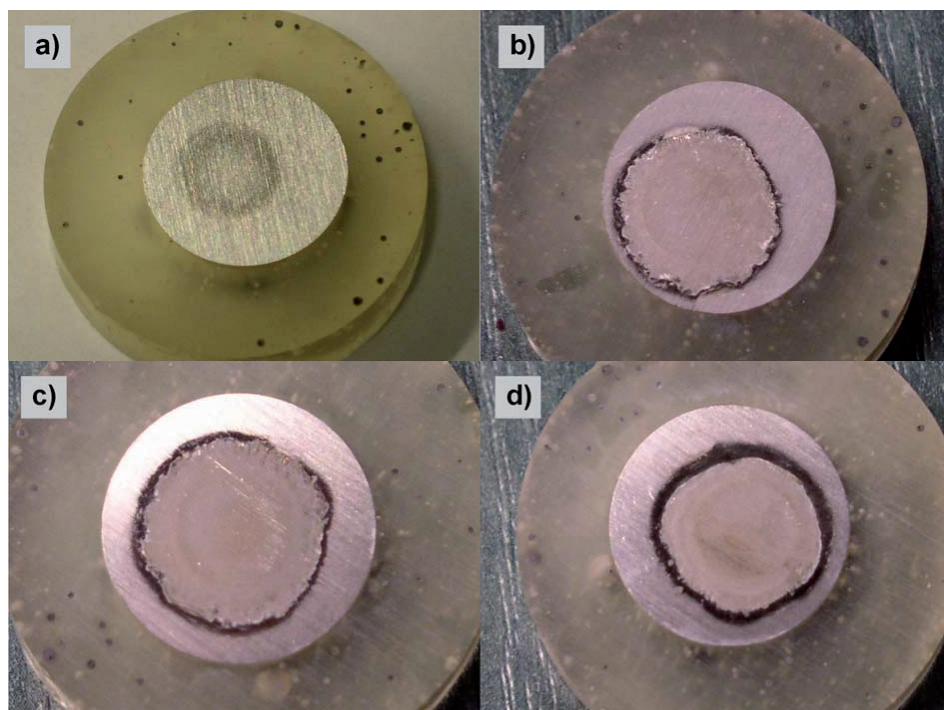
* Prąd jest wartością wynikową; podano przybliżoną średnią wartość gdyż ulega on zmianie podczas procesu do ok. 30%, z wyjątkiem wartości maksymalnych oznaczonych „max”

Wyniki

Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę prądowo-napięciową przy zmieniającym się napięciu co 5 V w zakresie 10 ÷ 50 V, przy średniej prędkości podawania elektrolitu o temperaturze 20°C. Jak można zauważyć, dla wartości 25 V i 30 V zmierzono podobne wartości prądu. Analiza powierzchni próbek wykazała jednak lepsze efekty polerownia przy wyższych napięciach, co można tłumaczyć większą gęstością prądu – na rysunku 4 przedstawiono makroskopowe obserwacje polerowanych próbek przy napięciach 10, 40, 45 i 50 V. Podobne badania wykonano przy zmianie napięcia w przemiale 30–50 V przy zastosowaniu elektrolitu o temperaturze 5°C oraz elektrolicie o temperaturze 20°C i dużym przepływie. W rezultacie stwierdzono, że do dalszych badań zastosowane zostaną parametry: elektrolit o temperaturze 20°C przy dużym przepływie. W przypadku polerowania niektórych materiałów metalicznych, np. stali duplex, zalecana temperatura elektrolitu osiąga nawet 70°C [10].



Rys. 3. Zależność prądu od zmian napięcia przy średnim przepływie elektrolitu o temperaturze 20°C

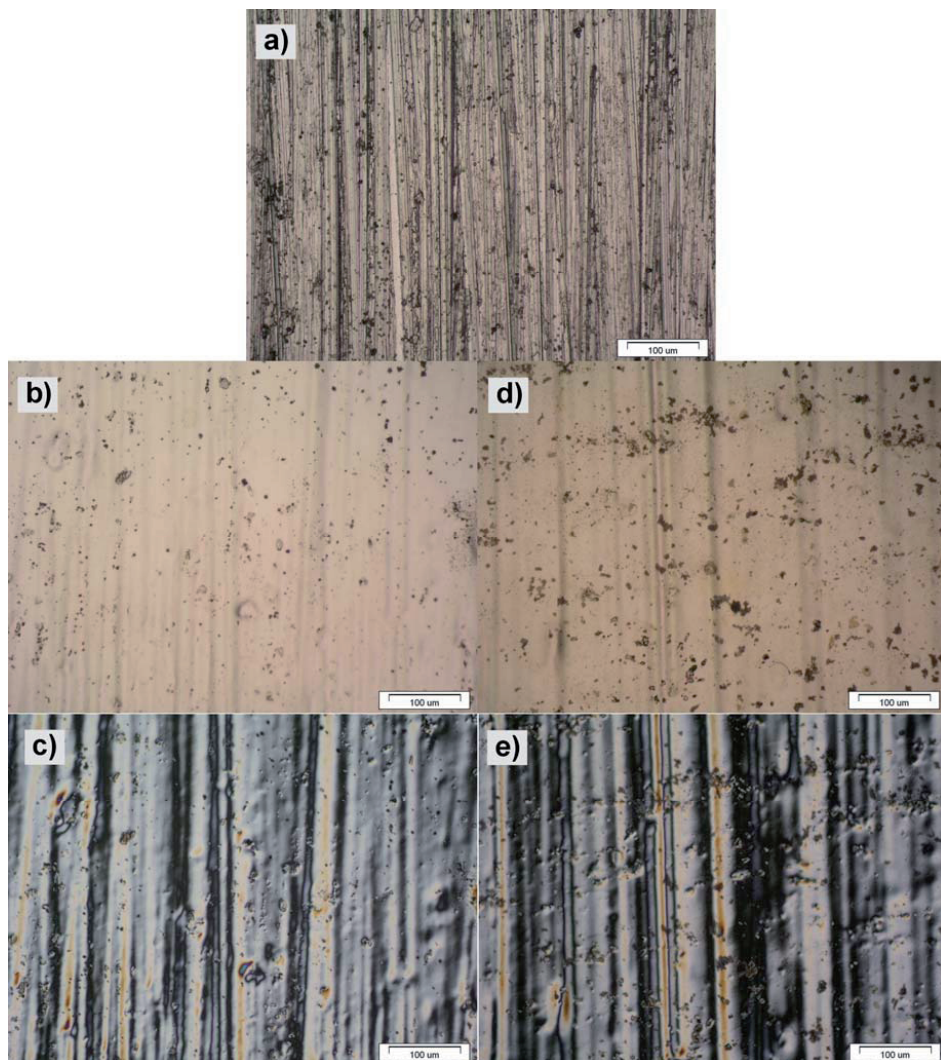


Rys. 4. Powierzchnia próbki 200 po polerowaniu przy średnim przepływie elektrolitu w czasie 10 s i napięciach: a) 10 V, b) 40 V, c) 45 V, d) 50 V

Na rysunkach 5–9 przedstawiono stan wyjściowy próbek (rysunki a) oraz efekty polerowania przy parametrach: napięciu 40 V, czasie 10 s, dużym przepływie elektrolitu analizowane przy zastosowaniu mikroskopii świetlnej (rysunki b i c). Analiza próbek przy zastosowaniu obserwacji w jasnym polu wykazała dobrą jakość powierzchni (brak widocznych rys) na próbkach szlifowanych papierem 600, 800, 1200. Zastosowanie kontrastu interferencyjno-różniczkowego ujawniło jednak nierówności na powierzchniach wszystkich powyżej wymienionych próbek. Nierówności te są niewidoczne w jasnym polu, ponieważ w wyniku polerowania ich wierzchołki zostały częściowo usunięte i zaokrąglone. Zmniejszyła się również głębokość rys. Ujawniony stan powierzchni po polerowaniu pozwala na dokonanie analiz mikrostruktury w zakresie wielkości ziarna i obecności większych wydzielen. Bardziej szczegółowe badania, tj. małych detali mikrostruktury, mogłyby być trudne i obarczone błędem. Niepełne wypolerowanie próbek, nawet ze stanem powierzchni po papierze 1200, jest prawdopodobnie efektem niewystarczającej gęstości prądu. Ponieważ jej zwiększenie poprzez zwiększanie napięcia wiąże się z negatywnymi skutkami w postaci czarnych nalotów, należy raczej zmniejszyć pole powierzchni polerowanej próbki. Powinno to spowodować jeszcze większe wygładzenie nierówności na powierzchni próbki.

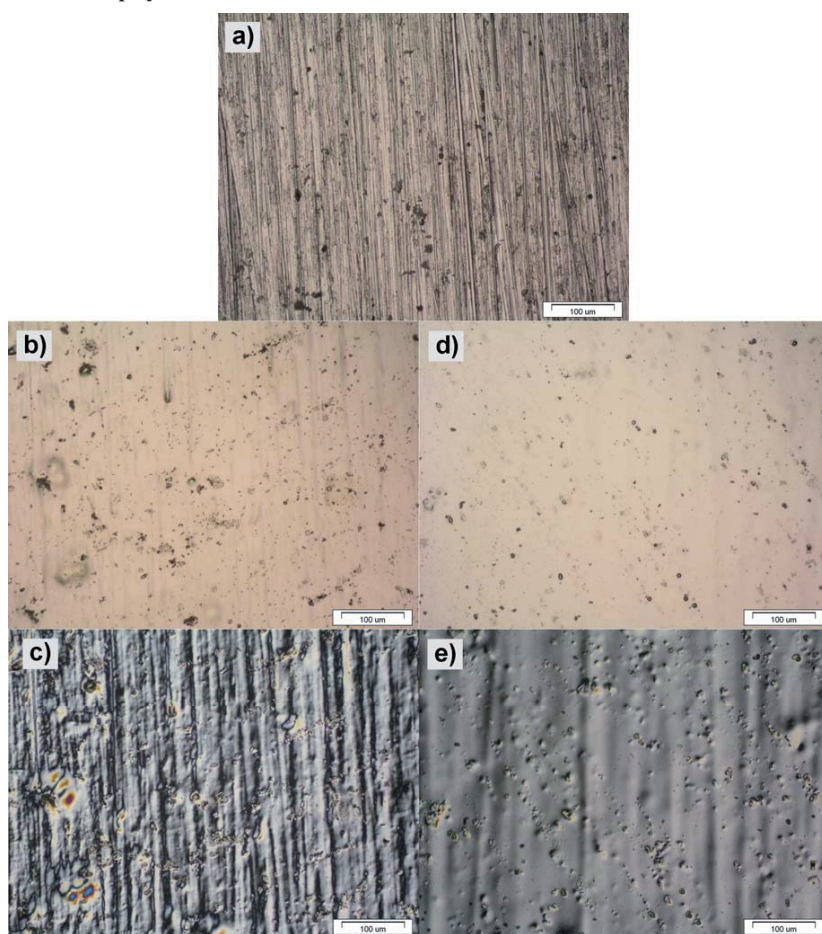
Na rysunkach 5–9 rysunki d i e przedstawiono efekt polerowania przy napięciu 50 V, czasie 10 s i dużym przepływie elektrolitu. W przypadku zastosowania większego napięcia (50 V) dobrą jakość powierzchni uzyskano już dla próbki

o stanie powierzchni po papierze 400. Analiza powierzchni próbki przy zastosowaniu kontrastu interferencyjno-różniczkowego ujawniła małe nierówności na powierzchniach badanych próbek (400, 600, 800, 1200), przy czym najlepszą jakość wykazała próbka 1200. Jednym z niekorzystnych efektów, jakie ujawniły badania, są niewielkie wżery występujące prawdopodobnie na wydzieleniach – proces polerowania był w tych miejscach bardziej intensywny, co jest cechą polerowania elektrolitycznego niektórych materiałów wielofazowych [10]. Taki stan struktury powinien być już wystarczający do wykonania nawet bardziej szczegółowych obserwacji mikrostrukturalnych.

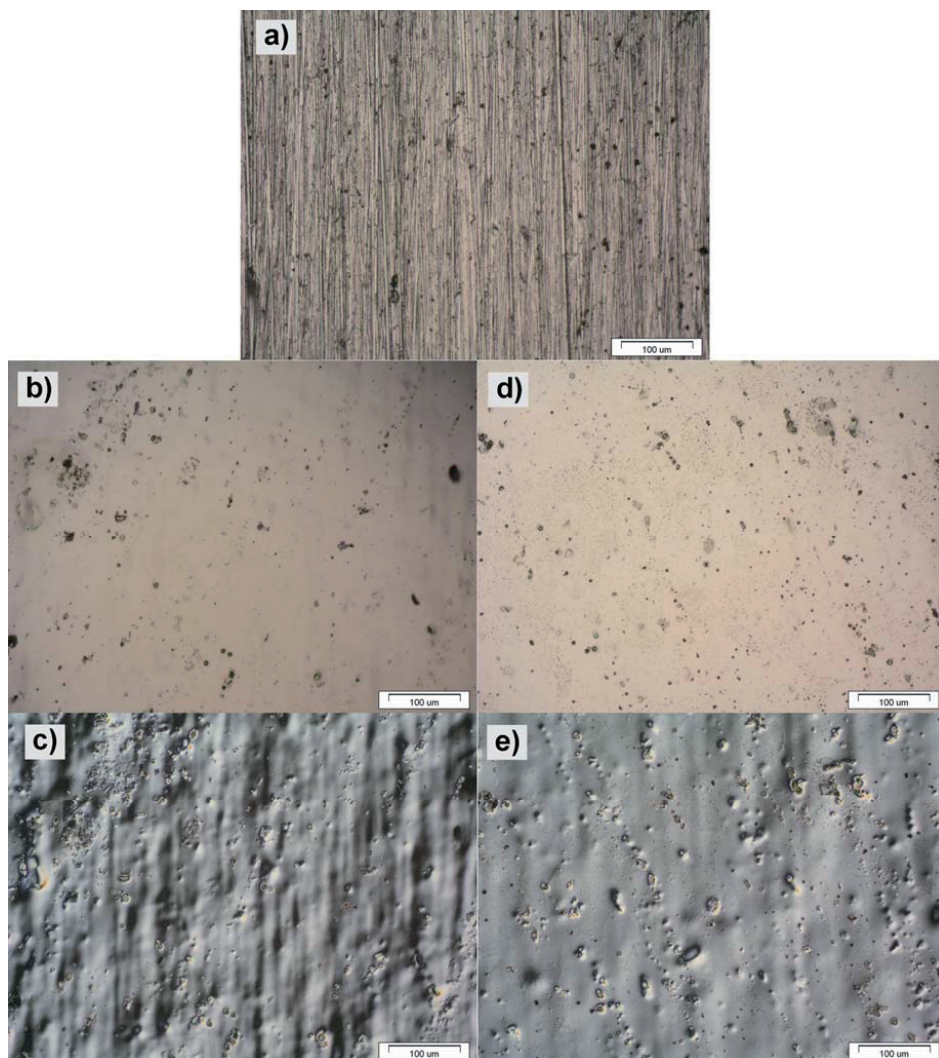


Rys. 5. Powierzchnia próbek (mik. świetlna) po szlifowaniu na papierze 200: a) obserwacja w jasnym polu – stan wyjściowy, b) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w jasnym polu, c) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w jasnym polu, e) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego

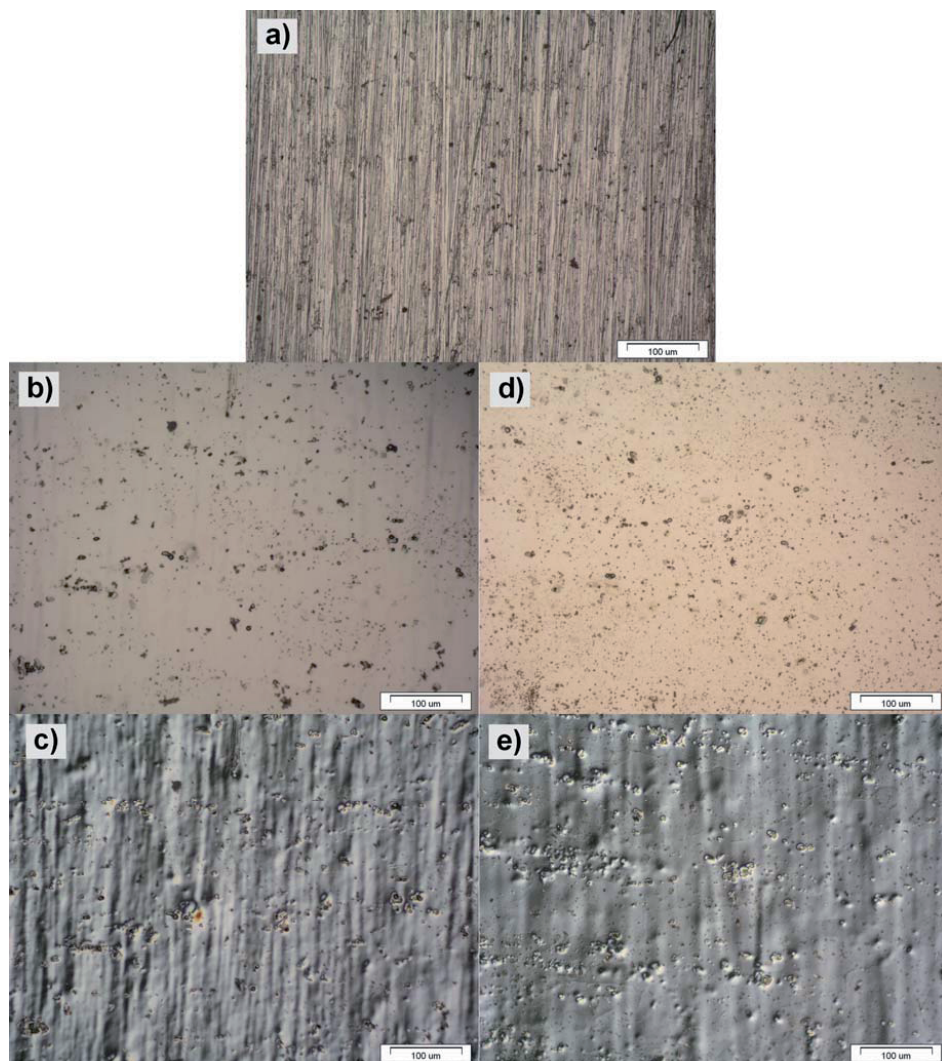
Kolejne badania miały na celu ujawnienie wpływu czasu polerowania na jakość powierzchni. Polerowanie w czasie 5 s (przy parametrach: 40 V, duży przepływ, 1200 stan powierzchni) spowodowało jedynie niewielkie wyrównanie powierzchni – rysunek 10a. Nierówności widoczne są nawet w jasnym polu. Zastosowanie kontrastu interferencyjno-różniczkowego potwierdziło tę obserwację (rysunek 10c). Najlepszą jakość powierzchni uzyskano przy czasie polerowania 10 s (rysunki 9b i c). Dłuższe czasy polerowania, tj. 15 i 20 s powodowały usunięcie nierówności, ale jednocześnie spowodowały utworzenie się nalotu na powierzchni próbek (rysunki 10b i 10d oraz 11a i 11c). Na rysunkach 11b i 11d pokazano natomiast powierzchnię próbki w stanie 1200 polerowanej przy parametrach 45 V i dużym przepływie. Jakość powierzchni jest zbliżona do jakości próbki uzyskanej po polerowaniu przy parametrach 40 V, 10 s i dużym przepływie elektrolitu. Oznacza to niewielki wpływ zwiększenia napięcia o 5 V.



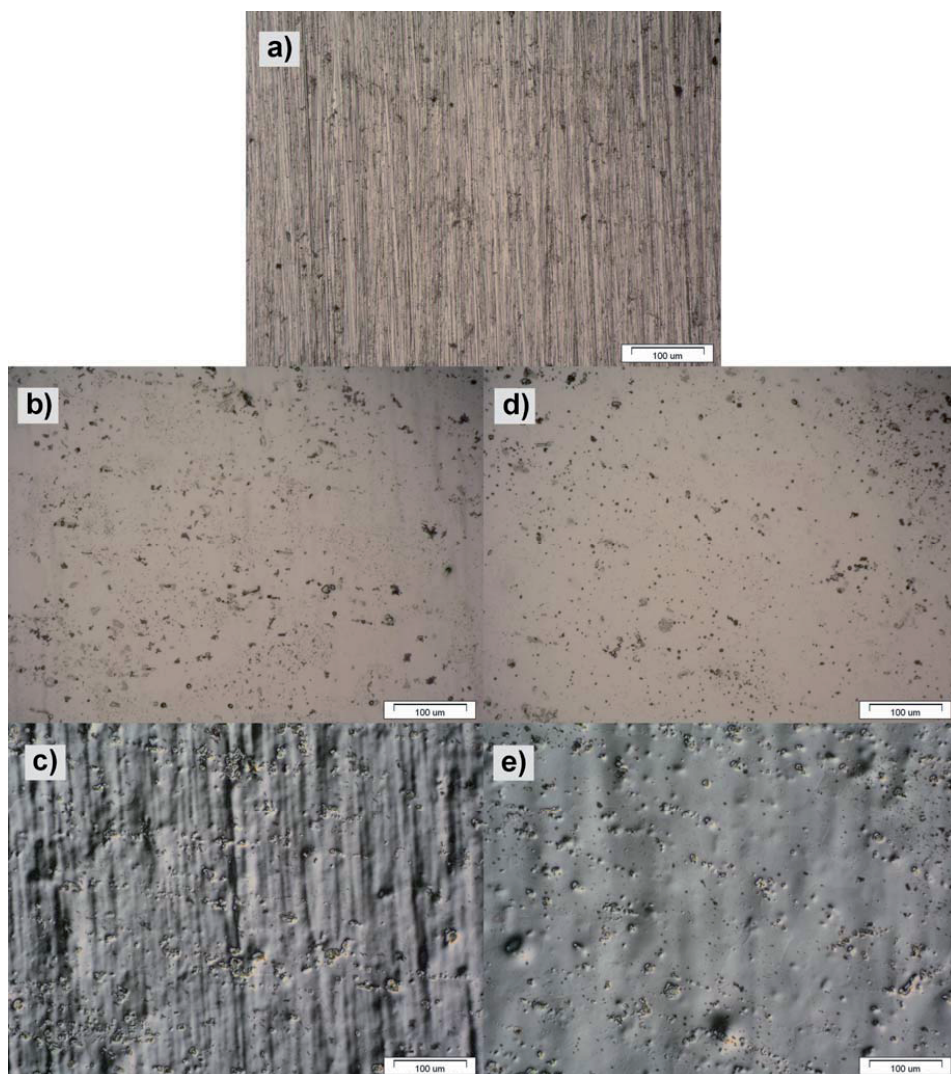
Rys. 6. Powierzchnia próbek (mikroskopia świetlna) po szlifowaniu na papierze 400: a) obserwacja w jasnym polu – stan wyjściowy, b) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w jasnym polu, c) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w jasnym polu, e) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego



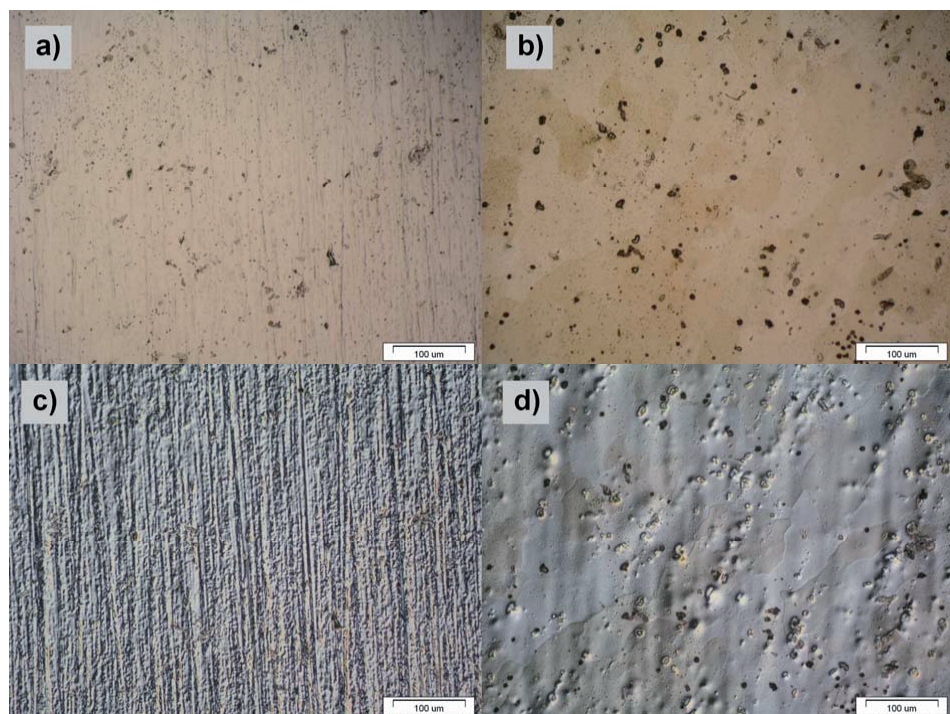
Rys. 7. Powierzchnia próbek (mik. świetlna) po szlifowaniu na papierze 600: a) obserwacja w jasnym polu – stan wyjściowy, b) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w jasnym polu, c) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w jasnym polu, e) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego



Rys. 8. Powierzchnia próbek (mik. świetlna) po szlifowaniu na papierze 800: a) obserwacja w jasnym polu – stan wyjściowy, b) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w jasnym polu, c) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w jasnym polu, e) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego



Rys. 9. Powierzchnia próbek (mik. świetlna) po szlifowaniu na papierze 1200: a) obserwacja w jasnym polu – stan wyjściowy, b) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w jasnym polu, c) po polerowaniu przy napięciu 40 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w jasnym polu, e) po polerowaniu przy napięciu 50 V – obserwacja w kontraście Nomarskiego

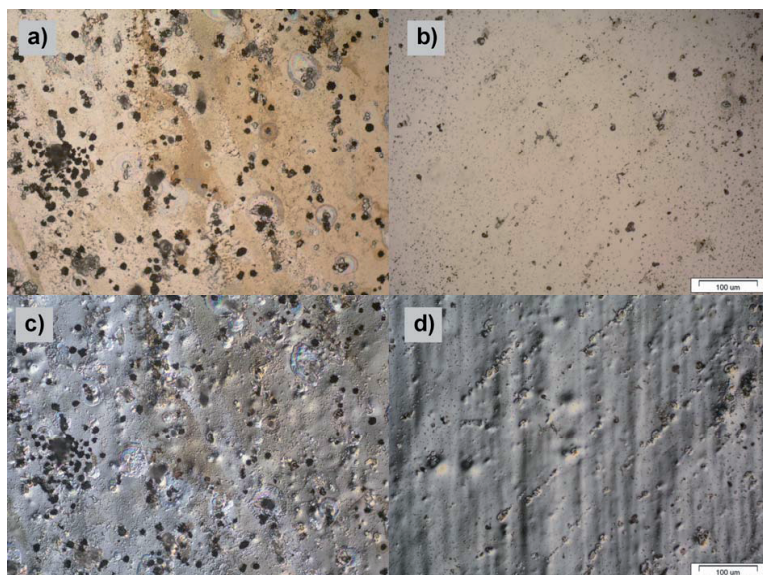


Rys. 10. Powierzchnia próbek (mikroskopia świetlna) po szlifowaniu na papierze 1200 i parametrach polerowania: napięcie 40V, duży przepływ elektrolitu: a) czas 5 s – obserwacja w jasnym polu, b) czas 15 s – obserwacja w jasnym polu, c) czas 5 s – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) czas 15 s – obserwacja w kontraście Nomarskiego

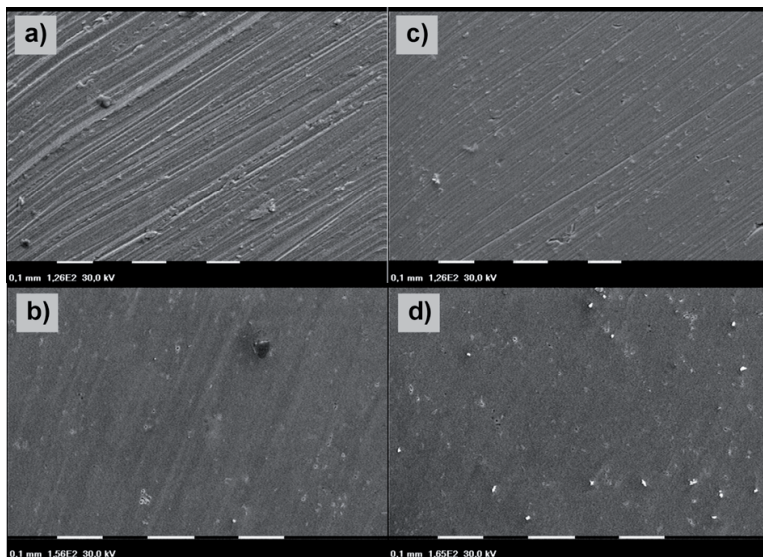
Analiza powierzchni próbek wykonanych podczas badań wstępnych (stosowano średnią prędkość przepływu) oraz badań opisanych powyżej (stosowano dużą prędkość przepływu) wykazała lepszą jakość powierzchni przy dużym przepływie elektrolitu. Wynika to prawdopodobnie z większego prądu, jaki zmierzono podczas procesów polerowania z dużym przepływem elektrolitu, co oznacza większą gęstość prądu.

Zastosowanie skaningowej mikroskopii elektronowej umożliwiło ujawnienie nierówności na powierzchni próbek w stanie wyjściowym (wszystkie warianty 200, 400, 600, 800, 1200) – rysunkach 12 i 13. Badania polerowanych powierzchni okazały się mniej efektywne. Pasma nierówności były widoczne jedynie na próbkach o stanie powierzchni 200 (rysunek 12b), znacznie słabiej na próbkach o stanie 400 (rysunek 12d) oraz niewidoczne na próbkach o stanie 600 (rysunek 13b). Również analiza próbek polerowanych przy parametrach: 40 V, 5 s, duży przepływ oraz: 40 V, 15 s, duży przepływ wykazała podobny efekt, tj. małe nierówności na próbce polerowanej przez 5 s (rysunek 13c), oraz brak widocznych nierówności przy próbce polerowanej przez 15 s (rysunek 13d). Z tego powodu nie wykonano badań pozostałych próbek, tj. polerowanych przy parametrach: 50 V, 10 s, duży przepływ. Nieujawnienie nierówności jest spowodowane, podobnie jak w przypadku obserwacji z zastosowaniem mikroskopii świetlnej w jasnym polu, usunięciem części

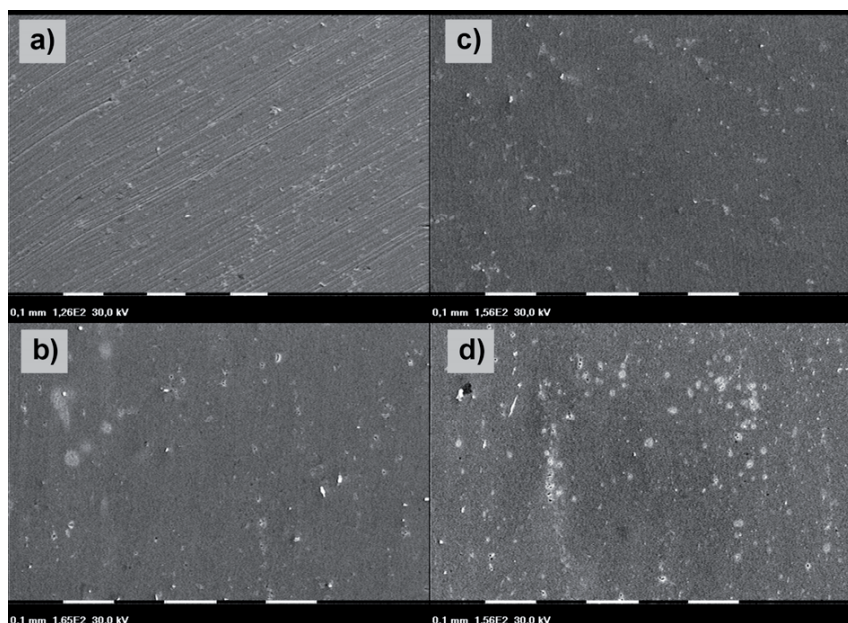
nierówności i ich zaokrągleniem oraz zmniejszeniem ich głębokości. Taki wynik obserwacji skłania do wniosku, że metoda SEM w przypadku takich badań jest mało efektywna.



Rys. 11. Powierzchnia próbek (mikroskopia świetlna) po szlifowaniu na papierze 1200 i parametrach polerowania przy dużym przepływie elektrolitu: a) 40 V, czas 20 s – obserwacja w jasnym polu, b) 45 V, czas 10 s – obserwacja w jasnym polu, c) 40 V, czas 20 s – obserwacja w kontraście Nomarskiego, d) 45 V, czas 10 s – obserwacja w kontraście Nomarskiego



Rys. 12. Powierzchnia próbek (mikroskop SEM) a) po szlifowaniu papierem 200 – stan wyjściowy, b) po szlifowaniu papierem 200 – po polekowaniu 40 V, 10 s, duży przepływ elektrolitu, c) po szlifowaniu papierem 400 – stan wyjściowy, d) po szlifowaniu papierem 400 – po polekowaniu 40 V, 10 s, duży przepływ elektrolitu



Rys. 13. Powierzchnia próbek (mikroskop SEM) a) po szlifowaniu papierem 600 – stan wyjściowy, b) po szlifowaniu papierem 600 – po polerowaniu 40 V, 10 s, duży przepływ elektrolitu, c) po szlifowaniu papierem 1200 – po polerowaniu 40 V, 5 s, duży przepływ elektrolitu, d) po szlifowaniu papierem 1200 – po polerowaniu 40 V, 15 s, duży przepływ elektrolitu

Przeprowadzone eksperymenty i badania umożliwiły określenie wpływu parametrów polerowania elektrolitycznego i stanu powierzchni próbki na jakość powierzchni stopu aluminium 2017A po procesie polerowania (powierzchnia polerowana $0,8654 \text{ cm}^2$). Stwierdzono:

- efektywne polerowanie następuje przy parametrach 30–50 V, przy czym najlepszą jakość uzyskano przy 50 V,
- czas polerowania powinien być krótszy niż 15 s,
- efektywność polerowania była lepsza przy temperaturach elektrolitu ok. 19°C niż przy temperaturze ok. 5°C ,
- należy stosować duży przepływ elektrolitu,
- powierzchnia polerowana nie powinna być większa niż $0,8 \text{ cm}^2$, szczególnie przy niższym napięciu,
- powierzchnia do polerowania elektrolitycznego powinna być w stanie po szlifowaniu na papierze przynajmniej 1200 w przypadku badania bardzo małych detali mikrostruktury,
- najbardziej efektywną metodą badania jakości powierzchni po polerowaniu okazała się mikroskopia świetlna z kontrastem interferencyjno-różniczkowym Nomarskiego,
- polerowanie elektrolityczne jest szybką i efektywną metodą usuwania nierówności powierzchni do celów badania mikrostruktur materiałów metalicznych, wymaga jednak zastosowania zalecanych parametrów procesu polerowania.

Bibliografia

- [1] Hryniewicz T., *Fizykochemiczne i technologiczne podstawy procesu elektropolerowania stali*, Koszalin 1989
- [2] Sawyer W.G., *Surface Shape and Contact Pressure Evolution in Two Component Surfaces: Application to Copper Chemical Mechanical Polishing*, Tribology Letters 2004, vol. 17, no. 2
- [3] Xu G.H., Liang H., *Effects of Electric Potential on Chemical-Mechanical Polishing of Copper*, Journal of Electronic Materials 2002, vol. 31, no. 4
- [4] Wenjie Z., *Research Progress in Tribo-Electrochemistry and Tribo-Electrochemical Polishing*, Front. Mech. Eng. China 2007, 2 (4), pp. 463–467
- [5] Kim J., Choi M., *Study on Magnetic Polishing of Free-Form Surface*, Mach. Tools Manufact 1997, vol. 37, no. 8, pp. 1179–1187
- [6] Tsui H.P., Yan B.H., Wu W.T., Hsu S.T., *A Study on Stainless Steel Mirror Surface Polishing by Using the Electrophoretic Deposition Method*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 2007, 47, pp. 1965–1970
- [7] Tsai M.J., Huang J.F., *Efficient Automatic Polishing Process with a New Compliant Abrasive Tool*, Int J Adv Manuf Technol 2006, 30, pp. 817–827
- [8] Wu X., Kita Y., Ikoku K., *New Polishing Technology of Free Form Surface by GC*, Journal of Materials Processing Technology 2007, 187–188, pp. 81–84
- [9] Tam H.Y., Alberet O.C.L., Mok C.K., *Robotic Polishing of Free-Form Surfaces Using Scanning Paths*, Journal of Materials Processing Technology 1999, 95, pp. 191–200
- [10] Huang C.A., Hsu C.C., *The Electrochemical Polishing Behavior of Duplex Stainless Steel (SAF 2205) in Phosphoric-Sulfuric Mixed Acids*, Int J Adv Manuf Technol 2007, 34, pp. 904–910
- [11] Chen S.C., Tu G.C., Huang C.A., *The Electrochemical Polishing Behavior of Porous Austenitic Stainless Steel (AISI 316L) in Phosphoric-Sulfuric Mixed Acids*, Surface & Coatings Technology 2005, 200, pp. 2065–2071
- [12] Huang M.-F., Lin T.-R., Chiu H.-C., *Effect of Machining Characteristics on Polishing Ceramic Blocks*, Int J Adv Manuf Technol 2005, 26, pp. 999–1005
- [13] Hutchings I.M., Xu Y., Anchez E.S., Ibanez M.J., Quereda M.F., *Development of Surface Finish During the Polishing of Porcelain Ceramic Tiles*, Journal of Materials Science 2005, 40, pp. 37–42
- [14] Zaborski S., *Obróbka elektrochemiczno-ścierna. Podstawy i zastosowania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007
- [15] Brewer L.N., Kotula P.G., Michale J.R., *Multivariate Statistical Approach to Electron Backscattered Diffraction*, Ultramicroscopy 2008, 108, pp. 567–578
- [16] Klimek L., Pietrzyk B., *Electron Backscatter Diffraction as a Useful Method for Alloys Microstructure Characterization*, Journal of Alloys and Compounds 382 (2004) 17–23
- [17] Zhao H., Humbeeck J. van, *Electrochemical Polishing of 316A Stainless Steel Slotted Tube Coronary Stents*, Journal of Material Science: Materials in Medicine 2002, 13, pp. 911–916
- [18] Dobrzyński L.A. (red.), *Leksykon materiałoznawstwa*, Wyd. Verlag Dashofer, Warszawa 2006

Studies of 2017A aluminum alloy electropolished

Abstract

Electropolishing is a method of removing roughness on metallic surfaces. Effectiveness and quality of the process depend on a lot of factors. This work includes results of investigation of electropolished 2017A aluminum alloy. Voltage 30V to 50V caused effective polishing. The best surface quality was reached applying parameters: 50V, 10 s time of polishing, 20°C electrolyte temperature. Large flow of electrolyte, less than 0,8 cm² of polishing surface and no 1200 sand paper grinding before polishing should be applied. Moreover, DIC Nomarski method of investigation of electropolished metallic surfaces was the most useful.

Keywords: Electropolishing, 2017A aluminum alloy, DIC Nomarski

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Henryk Noga, Krzysztof Pytel

Geneza kształcenia technicznego

Najstarsze ślady działalności człowieka na terenie Polski pochodzą sprzed co najmniej 120 tysięcy lat. Ludzkość znajdowała się wówczas na bardzo niskim szczeblu rozwoju, zwanym epoką kamienia łupanego. Człowiek wykorzystywał już ogień (od około pół miliona lat) i właśnie mniej więcej w czasie, z którego pochodzą najdawniejsze polskie znaleziska, zdobywał umiejętność rozniecania go. Wszelkie potrzebne mu narzędzia oraz przedmioty wykonywał z materiałów łatwo osiągalnych: kamienia, drewna oraz z kości i rogu. Od około pół miliona lat posługiwano się podstawowym narzędziem, tzw. pięściakiem. Był to kawał krzemienia obłupanego tak, aby można go było wygodnie uchwycić. Służył on za broń, ale też do obróbki – było to narzędzie uniwersalne, przydatne do wszystkich zajęć ówczesnego człowieka. Ludzie żyli wówczas w gromadach, zajmowali się myśliwstwem i zbieractwem, a za mieszkania służyły im jaskinie. Największym wynalazkiem naszych przaprzodków był łuk – pierwsza maszyna i zarazem pierwszy w dziejach przykład celowego magazynowania energii. Przełomowe wydarzenie nastąpiło około 3 tysięcy lat p.n.e. Pojawiło się wówczas na naszych ziemiach rolnictwo. Umiejętność celowej uprawy roślin przyniósł do nas lud, który przywędrował do Polski znad środkowego Dunaju.

Początki dziejów wychowania możemy znaleźć już w tzw. epoce barbarzyństwa; była to forma przystosowania młodego człowieka do życia w grupie. Przystosowanie to odbywało się głównie na zasadzie uczestnictwa chłopców razem z mężczyznami np. w polowaniach, dziewczęta zaś pomagały kobietom w przygotowaniu odzieży lub pożywienia [1, s. 13, 7, s. 25–31].

W okresie poprzedzającym powstanie państwa polskiego ziemie nasze były, z uwagi na „peryferyjne” położenie geograficzne, zacofane pod względem technicznym w stosunku do krajów wchodzących niegdyś w skład Imperium Rzymskiego (podobnie zresztą jak inne kraje Europy Środkowo-Wschodniej). Położone były one daleko od tzw. pasa cywilizacji, który ciągnął się od krajów śródziemnomorskich, poprzez Bliski Wschód, Iran, Indie aż do Chin. W tym rejonie rozwój cywilizacji i jej ugruntowanie nastąpiły najwcześniej. Na obszarze obecnego państwa polskiego wynalazki pojawiały się ze znacznym opóźnieniem, czasem sięgającym tysięcy lat.

Mimo że część Europy, w której leży Polska, nie miała znaczących odkryć technicznych, korzystając głównie z dorobku technicznego ludów o rozwiniętej cywilizacji, to jednak nasi przodkowie posługiwali się oryginalną techniką, o czym świadczą pradawne zabytki zachowane na naszych ziemiach. Na Kielecczyźnie znajdują się pozostałości potężnej kopalni krzemienia, której wiek szacuje się na około 2 tysiące lat p.n.e. 700 szybow o głębokości dochodzącej do kilkunastu metrów, połączonych chodnikami i szybami wentylacyjnymi to – jak na ówczesne czasy – znacząca

„inwestycja”. Wyroby z tej kopalni rozchodziły się nie tylko po całym terenie obecnej Polski, ale docierały również na sąsiednie obszary Europy Środkowej. Również w rejonie Gór Świętokrzyskich w początkach naszej ery istniał ogromny ośrodek hutnictwa żelaza. Rudy hematytowe wydobywano z pokładów leżących około 36 metrów pod ziemią. Ogromna ilość ziemnych dymarek, oceniana na kilkaset tysięcy sztuk, przeznaczonych do jednorazowego wytopu, pozwala stwierdzić, że ilość produkowanego żelaza przekraczała potrzeby miejscowe i jego część była eksportowana do pobliskich prowincji cesarstwa rzymskiego.

Oryginalnością wykazywało się również budownictwo obronne, o czym świadczą osada obronna w Biskupinie. W okresie średniowiecza na terenie Polski powstała duża liczba silnie ufortyfikowanych grodów, które skutecznie oparły się wojskom cesarskim dysponującym sprzętem oblężniczym. Świadczą o tym nieudane oblężenia Niemcy (1017 r.) czy Głogowa (1109 r.).

Po przyjęciu przez Polskę chrześcijaństwa w 966 roku nawiązała ona silniejsze niż dotąd kontakty z krajami cywilizacyjnie bardziej rozwiniętymi, co wpłynęło na zintensyfikowanie postępu technicznego. Piastowie, zdając sobie sprawę ze znaczenia techniki dla wzrostu i potęgi państwa, popierali jej rozwój.

W okresie piastowskim Polska zapoznała się z dorobkiem technicznym większości rozwiniętych krajów. Rozwinęło się górnictwo kruszcowe, budownictwo ceglane, powstały pierwsze wodociągi, maszyny wojenne, kieraty, koła wodne, zegary mechaniczne. Bardzo ważne było wprowadzenie za panowania Bolesława Chrobrego podkowy. Rozwój budownictwa w Polsce szczególnie zawdzięczamy ostatniemu z Piastów – królowi Kazimierzowi Wielkiemu, który – jak mówi porzekadło – „zastał Polskę drewnianą, a zostawił murowaną”. Wzniósł on 53 zamki, 27 z nich otoczył murami, rozwinął też miejskie budownictwo murowane. Nasz kraj poziomem rozwoju dorównywał wówczas przodującym państwom Europy.

Wprowadzanie nowinek technicznych, konstruowanie maszyn miotających pociski podczas działań wojennych, konstrukcje mostów umożliwiających przeprawę wojsk przez duże rzeki (most łyżwowy ustawiony pod Czerwińskiem na Wiśle 30 czerwca 1410 roku umożliwił przejście na pola grunwaldzkie wojsk królewskich) – wszystko to miało duże znaczenie dla rozwoju potęgi gospodarczej państwa polskiego.

W okresie odrodzenia nastąpił dalszy rozwój techniczny i gospodarczy. Rozwinęło się hutnictwo, przemysł metalowy i górnictwo. Kopalnia soli w Wieliczce była najciekawszym obiektem górniczym aż do początku XIX wieku. W wielu dziedzinach produkcji zastosowano koło wodne. Powstała wówczas pierwsza napisana w języku polskim literatura techniczna, której autorem był Stanisław Grzeski.

Wiek XVII był w całej Europie okresem wielkiego rozwoju nauk ścisłych. Dzięki oparciu wiedzy na doświadczeniu stworzone zostały wówczas podstawy nauki nowoczesnej. Teoria i praktyka coraz bardziej łączyły się ze sobą, przyczyniając się do poznania i opanowania przyrody. Ówczesny inżynier był głównie specjalistą wojskowym. Nie znaczy to jednak, że ówczesni inżynierowie zajmowali się wyłącznie zagadnieniami militarnymi. Posiadali oni wiele umiejętności przydatnych również w czasie pokoju.

Okres polskiego oświecenia to czas ratowania niepodległości. Naród polski dążył do społecznego i gospodarczego ożywienia kraju. Ojczyzna nasza stała się wówczas widownią wydarzeń o wyjątkowym znaczeniu politycznym, społecznym

i gospodarczym. U schyłku niepodległości Rzeczpospolita zdobyła się na szereg bardzo postępowych, jak na owe czasy, posunięć. Powołana do życia w 1773 roku Komisja Edukacji Narodowej była pierwszym na świecie ministerstwem oświaty. Konstytucja 3 maja była w Europie i na świecie pierwowzorem tego typu ustawy. W tych trudnych czasach nie brakowało poważnych osiągnięć technicznych. Wiele z nich przekreśliły rozbiory, które położyły kres istnieniu Rzeczypospolitej.

W czasach Królestwa Kongresowego podjęto próbę uzdrowienia gospodarki, którą rozpoczęto od przemysłu ciężkiego. Organizacją państwowego przemysłu zajmował się znany działacz społeczny i uczony Stanisław Staszic. Wraz z hutnictwem rozwijało się także górnictwo. W 1816 roku otwarto w Kielcach Szkołę Akademicko-Górnictwą, pierwszą naszą uczelnię techniczną kształcącą inżynierów dla przemysłu. Kolejną gałęzią przemysłu, która mocno rozwinęła się w okresie Królestwa, było włókiennictwo.

W okresie zaborów sytuacja polskich uczonych była bardzo trudna. Nigdy jednak w historii polskiej nauki i techniki nie pojawiło się tyle wybitnych postaci, nawet w skali ogólnoświatowej, co w tym smutnym okresie naszych dziejów. Wielu wybitnych polskich wynalazców i inżynierów, często zmuszonych do przebywania na obczyźnie, wniosło wielki wkład dla rozwoju postępu technicznego na całym świecie.

Po odzyskaniu niepodległości po długiej niewoli, odrodzone Państwo Polskie musiało organizować gospodarkę, technikę i naukę prawie od podstaw. I wojna światowa, niosąc nam niepodległość, poczyniła duże spustoszenia na naszych ziemiach. Nie istniało prawie w ogóle polskie szkolnictwo, nie mówiąc o wyższych uczelniach technicznych. Mimo tak dużych trudności w Polsce w okresie międzywojennym dokonano wielu poważnych osiągnięć technicznych. Prace polskich inżynierów i robotników z krótkiego dwudziestolecia niepodległości niejednokrotnie budzą nasz podziw i szacunek.

II wojna światowa kosztowała Polskę prawie 6 milionów zabitych i pół miliona osób dotkniętych trwałym kalectwem. Zniszczona została ponad połowa zakładów przemysłowych, w gruzach leżało wiele miast. Trzeba było jeszcze raz zaczynać od nowa. Pierwszym i najważniejszym zadaniem była odbudowa zniszczeń wojennych i zaspokojenie pierwszych potrzeb obywateli w dziedzinie budownictwa mieszkaniowego i przemysłu spożywczego. Dalszym zamierzeniem było powiększenie potencjału przemysłowego i próba pogoni za przodującymi technicznie krajami. Układ polityczny po II wojnie światowej spowodował trwałe opóźnienia w rozwoju gospodarczym Polski w porównaniu z krajami Europy Zachodniej. Opóźnienia te w wielu dziedzinach gospodarki występują do dnia dzisiejszego.

Komisja Edukacji Narodowej oraz jej rola w rozwoju nauczania i wychowania w Polsce

Na przełomie XVII i XVIII wieku na ziemiach polskich zaznaczał się duży rozwój szkolnictwa zakonnego. Największą jego część stanowiły kolegia jezuickie, oparte na jednostronnym i ograniczonym programie językowo-retorycznym. Jezuici zdobyli sobie u szlachty opinię najlepszych i niezastąpionych w tej funkcji.

W połowie XVIII wieku Stanisław Konarski wyraził pogląd, że to król i państwo, a nie Kościół i papież, powinni sprawować opiekę nad szkołą i wychowaniem. Przykładem zmian w szkolnictwie polskim było powołanie z inicjatywy króla

w 1776 roku w Warszawie Szkoły Rycerskiej – pierwszej państwowej szkoły świeckiej w Polsce. Największe jednak postępy w rozwoju nowego nauczania i wychowania poczyniła dopiero Komisja Edukacji Narodowej, powołana uchwałą sejmową 14 października 1773 roku. Była ona pierwszą w Polsce i w Europie państwową i świecką władzą oświatową, odpowiedzialną jedynie przed sejmem i działającą pod nadzorem króla. Na czele Komisji stali: prezes – Ignacy Massalski, zastąpiony później przez Michała Poniatowskiego, Joachim Chreptowicz, Ignacy Potocki, August Sułkowski, Adam Czartoryski, Adam Zamoyski, Antoni Poniński. Komisja Edukacji Narodowej wprowadziła trzystopniowe szkolnictwo, oparte na hierarchicznej zależności niższych szczebli od wyższych. Najniżej w hierarchii były szkoły elementarne, następny szczebel stanowiły szkoły średnie, początkowo 6-letnie, później 7-letnie, zwane najpierw wojewódzkimi, a później wydziałowymi. Najwyżej w hierarchii oświatowej stały: Akademia Krakowska i Akademia Wileńska przekształcone przez Komisję Edukacji Narodowej w Szkołę Główną Koronną i Szkołę Główną Wileńską. Należały one do najbardziej postępowych uniwersytetów ówczesnej Europy. Komisja Edukacji zachowała dla siebie jedynie zwierzchnictwo ogólne i obowiązek wizytowania szkół głównych.

Powołane w 1775 roku Towarzystwo do Ksiąg Elementarnych zajęło się przygotowaniem nowego programu i nowych podręczników oraz ulepszeniem metod nauczania. Programy zalecały nauczycielom m.in. aby, wykorzystując sprzyjającą pogodę, urządzali z uczniami wycieczki połączone z pracą praktyczną. Komisji Edukacji Narodowej zawdzięczamy wprowadzenie do programów szkół średnich tych działów, które miały przynieść pożytek, szczególnie w życiu codziennym. Obecny przedmiot „technika” występował pod nazwą: „sztuki i rzemiosła, czyli kunsztu” [4, s. 11]. Cennymi nowościami wprowadzonymi przez Towarzystwo były podręczniki zaopatrzone w „przepisy dla nauczycieli”, które były swoistego rodzaju wskazówkami metodycznymi, jak podnosić skuteczność nauczania, popularyzować nowoczesne metody oraz zachęcać uczniów do analizy i pobudzać do czytelnictwa.

Wprowadzone przez KEN nowoczesne programy i metody nauczania wymagały wykształcenia nowej kadry nauczycieli świeckich, gdyż pracujący w szkołach nauczyciele duchowni, głównie jezuici, nie gwarantowali zmian. W Szkole Głównej Koronnej wykształcono wielu nauczycieli świeckich, którzy stali się z czasem mocną przeciwwagą dla nauczycieli jezuickich. Powołany przez Komisję Edukacji Narodowej stan nauczycielski – jak podaje Ł. Kurdybacha – był jakby pierwszym w Europie zawodowym związkiem nauczycielskim, rządzącym się swoistymi prawami, które gwarantowały ustawy sejmowe. Jego członkami byli z urzędu profesowie uniwersytetów i nauczyciele szkół średnich.

Szczegółowe programy, staranne przygotowanie do zawodu, dokładne określenie praw i obowiązków, ścisłe ustalenie zakresu władzy przełożonych, stałe, wypłacane w dwu ratach półrocznych, wynagrodzenie zapewniające skromne utrzymanie – oto najważniejsze zasługi Komisji Edukacji dla podniesienia zawodu nauczycielskiego [6, s. 3].

Aby podnieść pozycję społeczną nauczycieli, Komisja dążyła do stworzenia odrębnego stanu „akademickiego”. Komisja Edukacji Narodowej napotykała ciągle na opory ze strony konserwatywnej szlachty i nauczycieli będących jednocześnie duchownymi, dlatego z najbardziej śmiałych reform musiała się wycofać.

Podsumowując, należy jednak zauważyć, że Komisja Edukacji Narodowej w dwudziestoletnim okresie swojej działalności dokonała wielkiego przełomu w dziejach polskiej oświaty.

Miejsce *slöjdu* w kształceniu technicznym

Zajęcia o charakterze rzemieślniczym, pod nazwą *slöjd*, zostały wprowadzone najwcześniej w krajach skandynawskich. Podstawą wprowadzenia tego typu zajęć były głównie przyczyny ekonomiczno-uitytarne, jak również dostrzeganie wartości wychowawczych wytwórczej pracy młodzieży. W krajach skandynawskich, gdzie od dawna było rozwinięte domowe rękodzielnictwo, rozwój produkcji przemysłowej spowodował powolny zanik wytwórczości chałupniczej. Wyroby rękodzieła, kiedyś wytwarzane w domach, zostały zastąpione produktami fabrycznymi. Spowodowało to spadek manualnych umiejętności młodzieży, co odbijało się niekorzystnie na pracy młodych robotników w fabrykach. Na tym podłożu powstała idea wskrzeszenia rękodzielnictwa przez szkołę – wprowadzenia *slöjdu* – i w ten sposób zwiększanie manualnej sprawności młodego pokolenia [7, s. 25–31, 8, s. 10]. Już od 1866 roku Finlandia wprowadziła do szkolnictwa elementarnego i seminariów nauczycielskich obowiązkowy przedmiot: pracę ręczną.

Początek *slöjdu* w Finlandii jest związany z działalnością naczelnego wizytatora w tzw. szkołach elementarnych, pastora Uno Cygnausa. Koncepcja Cygnausa wyraża się przede wszystkim w konsekwentnym dążeniu, by pracą rąk, pracą za pomocą narzędzi powiązać w procesie elementarnego nauczania z pracą umysłową na lekcjach fizyki, geometrii, a później – z wychowaniem estetycznym na lekcjach rysunków. Kojarzenie podstawowych wyobrażeń i pojęć technicznych z elementarnymi wyobrażeniami i pojęciami matematycznymi idzie u Cygnausa w parze z naciskiem na wychowawczą wartość pracy za pomocą prostych narzędzi. W Finlandii jednak nie został opracowany określony system prowadzenia tego przedmiotu.

W Szwecji główną rolę w propagowaniu idei *slöjdu* odegrał A. Abrahamson, a realizatorem jego myśli był Otton Salomon – jego siostrzeniec. System szwedzki w opracowaniu Salomona polegał na wyodrębnieniu 88 ćwiczeń, które można stosować do obróbki drewna. Ćwiczenia te były uszeregowane od najprostszych do najtrudniejszych, a więc według stopnia trudności. Zadanie, które uznano za najłatwiejsze, polegało na cięciu nożem drewna wzdłuż słojów. Salomon po ułożeniu tych 88 operacji według wzrastającego stopnia trudności dobrał do nich 55 modeli drewnianych – były to przedmioty o praktycznym zastosowaniu w gospodarstwie domowym. Modele te były tak dobrane, że do wykonania pierwszego należało zastosować ćwiczenie najłatwiejsze. Aby wykonać następne modele, należało wykorzystywać następne, coraz trudniejsze ćwiczenia. Podstawą systemu *slöjdu* szwedzkiego Salomona była systematyczność i stopniowanie trudności.

O. Salomon doszedł do przekonania, że nauczanie ręcznych robót drzewnych ma duże znaczenie w kształtowaniu umysłu i charakteru młodzieży. Wymagał jednak od uczniów bardzo dużej dokładności w pracy oraz precyzji w wykonaniu, co przekraczało ich siły i wytrzymałość. Przez to właśnie był krytykowany.

W 1870 roku władze szkolne Szwecji wprowadziły *slöjd* drzewny jako obowiązkowy przedmiot dla chłopców w szkołach podstawowych. Nauka odbywała się na zasadzie dokładnego kopiowania przez uczniów gotowych modeli mających

zastosowanie w gospodarstwie domowym, a więc na systemie Salomona. Początkowo nie było nauczycieli *slöjdu*, uczyli go rzemieślnicy, którzy nie mieli przygotowania dydaktyczno-pedagogicznego. Dlatego w 1872 roku O. Salomon założył w Naas w Szwecji pierwszą na świecie szkołę przygotowującą nauczycieli do tego przedmiotu, tzw. seminarium *slöjdu*. Do seminarium w Naas przyjeżdżali pedagodzy z niemal całego świata. Jedni po to, aby przyjrzeć się bliżej nowemu kierunkowi wychowawczemu, inni, aby się kształcić, a zdobytą wiedzę i umiejętności przenosić do swoich ojczystych krajów. Wśród nich było wielu polskich pedagogów. Ogółem seminarium w Naas wykształciło około 7000 absolwentów z różnych krajów.

Istotę *slöjdu* wyrażał napis nad bramą wejściową seminarium w Naas [12, s. 72]:

1. System polega na obróbce drzewa i uczy robót stolarskich, snycerskich (stolarstwa artystycznego) itd.
2. Praca polega wyłącznie na sporządzaniu przedmiotów użytecznych wykonywanych według wzorów.
3. Celem tego nauczania jest wychowanie ogólne, a nie proste sporządzenie mebli.
4. W szkole początkowej, przygotowującej dziecko do życia, celem *slöjdu* jest kształcenie i rozwój różnych sił ducha i ciała pożytecznych w życiu.
5. Celem wychowawczym nauki zręczności jest:
 - a) wpojenie dobrego smaku i miłości do pracy w ogóle;
 - b) wdrażanie szacunku dla ciężkiej pracy fizycznej, pracy użytecznej;
 - c) rozwój uczucia niezależności i zaufania we własne siły;
 - d) przyzwyczajanie do porządku, dokładności, czystości, schludności; rozwój oka, zmysłu dotyku, poczucia formy, jak i zręczności ręki;
 - e) przyzwyczajanie do uwagi, pomysłowości, do wytrwałości;
 - f) pobudzanie rozwoju sił fizycznych.
6. Należy także zwrócić baczną uwagę na zręczność w posługiwaniu się przyrządami oraz dokładne wykonywanie robót.
7. Ze względu na jak najłatwiejsze uzyskanie wyników postępować należy według następujących reguł:
 - a) uczeń powinien wykonywać całą pracę samodzielnie, poczynawszy od piłowania drzewa, które mu będzie potrzebne;
 - b) sporządzane przedmioty powinny mieć zastosowanie w gospodarstwie uczniów, nie powinny więc mieć charakteru wyłącznie zdobniczego;
 - c) wśród sporządzanych przedmiotów mają być wyroby rzeźbione i w ich wykonywaniu powinien się uczeń posługiwać głównie okiem, bez zastosowania miary.

Zasadniczą ujemną stroną *slöjdu* szwedzkiego było naśladowcze wykonywanie z góry narzuconych modeli, czyli tzw. praca odtwórcza. Odtwarzanie wzorów przekreśliło możliwość rozwijania samodzielności i pomysłowości technicznej. Wychowanie szło w kierunku przygotowania ludzi mało twórczych i pomysłowych.

Twórcą duńskiego *slöjdu* był Aksel Mikkelsen. Zebrawszy zdobyte doświadczenia w warsztatach stolarskich i kowalskich, w których przez wiele lat pracował, wykorzystał je do opracowania nieco odmiennego od szwedzkiego systemu. Mikkelsen wyodrębnił z obróbki drewna podstawowe ćwiczenia oraz typowe ruchy i ułożył je według wspólnych cech oraz trudności. W swoim systemie zwracał uwagę nie

tylko na umiejętności uczniów, ale również na odpowiednią postawę w czasie pracy, prawidłowe ruchy oraz dostosowanie narzędzi do ich dłoni. Opracowaną przez siebie serię ćwiczeń i modeli nazwał duńskim *slöjdem* szkolnym. Zorganizował Towarzystwo Slöjdu oraz założył w Kopenhadze Seminarium Slöjdowskie – szkołę dla kształcenia nauczycieli *slöjdu*. Był pierwszym jej dyrektorem, a później generalnym inspektorem *slöjdu* w Danii. Wydawał również podręczniki z zakresu nauczania *slöjdu*. Mikkelsen był przeciwnikiem teorii, że wytwarzane przez młodzież przedmioty powinny posiadać wartość materialną. Według niego głównym celem wykonywanych przedmiotów jest rozwój umysłowy oraz wyrabianie zręczności uczniów [5, s. 38, 7; s. 25–31].

Nie można ówczesnym pracom ręcznym odmówić znacznych wartości dydaktycznych i wychowawczych. *Slöjd* szwedzki i różne jego modyfikacje stanowiły wyraźny element unowocześnienia tradycyjnej szkoły werbalnej. Postępowe było zarówno włączenie pracy ręcznej do kształcenia ogólnego, jak i to, że nabywane umiejętności miały bezpośrednie zastosowanie w praktycznym działaniu uczniów.

Ruch *slöjdowy* w krótkim czasie przyjął się w wielu krajach europejskich, m.in. we Francji, Niemczech i w Polsce. Przeważnie wzorowano się na systemie szwedzkim, często jednak dostosowywano wzorce przedmiotów do warunków, potrzeb i charakteru rękodziela w danym kraju. Elementy *slöjdu* wzbogacają kształcenie techniczne o dalsze techniki, np. prace z metalu, tektury.

Skandynawscy zwolennicy *slöjdu* dopatrywali się również w nim środka zaradczego przeciwko nędzy i przestępczości nieletnich. Anna Hierta-Retius, autorka tłumaczonej na język polski książki *Pracownie dla dzieci*, a zarazem przedstawicielka *slöjdu* szwedzkiego, domagała się nie tylko wprowadzenia *slöjdu* do programu szkół elementarnych, ale również zorganizowania dla dzieci zajęć pozaszkolnych. Według autorki powstanie takich zajęć było wymuszone brakiem należytej opieki nad dziećmi w godzinach pozaszkolnych, gdyż coraz częściej rodzice pracowali w fabrykach i nie mogli sprawować należytej opieki nad dziećmi. Udoskonalony i unowocześniony *slöjd* przetrwał jako przedmiot nauczania w krajach skandynawskich do dnia dzisiejszego.

W Polsce początkowo *slöjd* pojawił się we wschodniej części Małopolski, wprowadzono go do Szkoły Wydziałowej w Sokalu w 1886 roku. Stąd rozprzestrzenił się do innych miejscowości we wschodniej Małopolsce, a później także zachodniej części Małopolski. Rozwój *slöjdu* na ziemiach polskich zapoczątkował Józef Siedmiograj, ówczesny dyrektor szkoły w Sokalu. W zorganizowanej tam szkole wydziałowej z kierunkiem przemysłowym zaczęto prowadzić nauki zręczności, snycerstwa, tokarstwa i rysunku technicznego. Nauka zręczności w Szkole Wydziałowej w Sokalu (która bazowała na *slöjdzie* szwedzkiej zaadaptowanym do polskich warunków) miała znaczący wpływ na kształtowanie się tego przedmiotu na całych ziemiach polskich. W roku 1891 wydany został pierwszy polski podręcznik przeznaczony dla nauczycieli prac ręcznych pt. *Nauka zręczności jako środek wychowawczy w szkole ludowej*. Podręcznik ten został opracowany przez T. Biłęńko, T. Hałasa, F. Pększyca i J. Siedmiograja. Zawierał on rysunki 100 modeli, które miały zastosowanie w gospodarstwie domowym, z opisem kolejności i metodyką realizacji ćwiczeń. Dalszym etapem unowocześnienia tego przedmiotu było udoskonalenie *slöjdu* drzewnego

przez K. Bruchnalskiego oraz wprowadzenie wzorców prac z metalu, tektury, garn-carstwa i prac introligatorskich.

Kazimierz Bruchnalski i członkowie jego grupy, którzy w większości byli nauczycielami szkół zawodowych, przyczynili się do zorganizowania kształcenia i doksztalcenia nauczycieli *slöjdu*. Wprowadzone przez Siedmiograja w wielu ośrodkach wschodniej Małopolski, a później przez Spissa w zachodniej Małopolsce, 4- i 6-tygodniowe wakacyjne kursy *slöjdu* zostały przedłużone przez Bruchnalskiego i jego współpracowników do 8 tygodni. Wtedy zaczęły się cieszyć wielkim powodzeniem i uznaniem. Co bardziej utalentowani nauczyciele mogli wyjechać na dalsze studia do Szwecji, Danii, Anglii oraz do Wiednia i Szwajcarii, gdzie nauczanie pracy ręcznej uzyskało już wysoki poziom [17, s. 111, 115].

Bibliografia

- [1] Broker W., Kuś J., *Praca-technika w szkołach podstawowych specjalnych*, Warszawa 1985
- [2] Depešová J., *Nové aktivity v technickom vzdelávaní*, [w:] Zborník Fórum pedagogiky 2001 – sekcia výchova mimo vyučovania, MC, Bratislava 2001
- [3] Duchovičová M., *Informačné vzdelávanie v technickom vzdelávaní*, [w:] *Trendy ve vzdelávaní 2008, Využití ICT ve vzdelávání a informatyka*, Olomouc 2008
- [4] Dziarski Z., Gogolin M.R. (red.), *Perspektywa kształcenia technicznego w polskim systemie oświaty*, Bydgoszcz 2006
- [5] Jaromski J., *Historia kształcenia politechnicznego młodzieży w szkolnictwie ogólnokształcącym*, Kraków 1985
- [6] Kurdybacha Ł., *Zawód nauczyciela w ciągu wieków*, Warszawa 1948
- [7] Noga H., *Istota i pogranicza dydaktyki techniki*, Kraków 2007
- [8] Pochanke H., *Dydaktyka techniki*, Warszawa 1985
- [9] Porubská G., *Postavenie a význam didaktiky v príprave učiteľov 1.stupňa ZŠ*, [w:] *Za vyššiu úroveň výchovy a vzdelávania a prestíž učiteľa ZŠ*, PdF, Nitra 1999
- [10] Pytel K., *Wpływ Internetu na rozwój i zachowanie dzieci i młodzieży*, [w:] E. Mastalerz (red.), *Cyberuzależnienia. Przeciwdziałanie uzależnieniu od komputera i Internetu*, Kraków 2006
- [11] Pytel K., *Komunikacja interpersonalna w społeczeństwie informacyjnym*, [w:] *INFORMATECH 2007, Moderni informační a komunikační technologie ve vzdělávání*, Olomouc 2007
- [12] Pytel K., *Komunikacja przez sieć komputerową jako sposób na spędzanie wolnego czasu*, [w:] *INFORMATECH 2007, Moderni informační a komunikační technologie ve vzdělávání*, Olomouc 2007
- [13] Rowie H., *Szkoła twórcza*, Warszawa 1958
- [14] Sałata E., *Kompetencje informatyczne nauczycieli we współczesnej szkole*, [w:] W. Furmanek, A. Piecuch, W. Walat (red.), *Technika–Informatyka–Edukacja. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej*, Wyd. Oświatowe Fosze, Rzeszów 2005
- [15] Sałata E., *Zastosowanie komputera w procesie nauczania-uczenia się*, [w:] M. Kajdasz-Aouil, A. Michalski, E. Podoska-Filipowicz (red.), *Edukacja techniczna i informatyczna:*

kreowanie nowoczesnego modelu kształcenia, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2005

- [16] Sałata E., *Komunikacja między nauczycielem i uczniem na lekcjach techniki i informatyki*, [w:] W. Furmanak, W. Walata (red.), *XVII Didmattech 2004. Technika – informatyka – edukacja*, Wyd. Oświatowe Fosze, Rzeszów 2004
- [17] Sałata E., *Przygotowanie pedagogiczno-psychologiczne kandydatów na nauczycieli w opinii pracowników akademickich oraz studentów*, [w:] K. Jankowski, B. Sitarska (red.), *Ja – kość kształcenia w szkole wyższej*, Wyd. Akademii Podlaskiej, Siedlce 2003
- [18] Szaniawski I., *Kształcenie Politechniczne a praca ręczna*, Warszawa 1959
- [19] Tomková V., *Grafické vyjadrovanie žiakov 9. ročníka základných škôl*, [w:] Zborník *Modernizace vysokoškolské výuky technických předmětů II*, GAUDEAMUS, Hradec Králové 2006
- [20] Tomková V., *Grafické vyjadrovanie žiakov základných škôl v edukačnom procese*, [w:] *Technika – Informatika – Edukacja*, t. V, Sandomierz 2006
- [21] Tomková V., *Grafické vyjadrovanie žiakov základných škôl*, [w:] *Trendy ve vzdelávaní 2006. Edukační technologie a inovace technického vzdělávání*, Votobia, Olomouc 2006
- [22] Tomková V., Vargová M., *Súčasný stav ovládania práce s PC u študentov učiteľstva 1. stupňa základných škôl*, [w:] *Zborník Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*, PF UKF, Nitra 2002
- [23] Vargová M., *Inovačné a alternatívne koncepcie vzdelávania v technickej výchove*, Dizertačná práca, Nitra 2005
- [24] Vargová M., Depešová J., *Poznámky k niektorým pojmom technickej terminológie*, [w:] *Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*, Zborník. 1. vyd. PF UKF, Nitra 2000
- [25] Vargová M., Tomková V., *Pracovné vyučovanie v súvislosti s prácou s počítačom*, [w:] *Zborník Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*, PF UKF, Nitra 2002

The origin of technical education

Abstract

The article presents the origin of technical education in Poland starting with the oldest traces of human activity in our country. It has been highlighted that such traces go 120 thousand years back, when the mankind was still very primitive. The role of the Commission of National Education in the development of education in Poland has also been presented as well as the importance of slojd in technical education.

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Henryk Noga, Jana Depešová

Państwowy Instytut Robót Ręcznych i jego wpływ na ewolucję nauczania techniki

Nauczanie techniki w Polsce pod koniec XIX wieku

Pod koniec XIX wieku nauczanie prac ręcznych na ziemiach polskich miało na celu przygotowanie dzieci i młodzieży do życia gospodarczego w czasach rozwoju kapitalizmu, zdobycie zawodu i możliwość pracy zarobkowej. W tym celu wprowadzono *slöjd* do szkół ogólnokształcących i organizowano szkoły zawodowe.

W 1886 roku w Sokalu rozpoczęła działalność pierwsza męska szkoła *slöjdu* na ziemiach polskich. Pierwszym nauczycielem *slöjdu* był Józef Siedmiograj, późniejszy dyrektor tejże szkoły. Wynikiem pracy J. Siedmiograja i jego zespołu było wyraźne podkreślenie charakteru *slöjdu* w Polsce. Ustalili oni, iż w nauczaniu pracy ręcznej należy:

- widzieć jej ogólnokształcący charakter,
- konsekwentnie przestrzegać porządku,
- dokładnie realizować systematyczne ćwiczenia ręczne,
- wiązać ćwiczenia techniczne z wyborem użytecznych przedmiotów,
- wyrabiać zręczność, sprawność, umiejętność i nawyki posługiwania się narzędziami [5, s. 58; 7, s. 55–61].

W 1891 roku we Lwowie ukazał się podręcznik opracowany przez Józefa Siedmiograja, Teodora Bielińskiego, Tomasza Hałasa i Franciszka Pększyca zatytułowany *Nauka zręczności jako środek wychowawczy w szkole ludowej*. W tym samym roku wydrukowano książkę pt. *Nauka zręczności – podręcznik dla nauczycieli z tablicami litograficznymi*, której autorem był wiedeński nauczyciel F.E. Reuscher, a przetłumaczył ją Michał Mekler, kierownik męskiej szkoły w Jarosławiu.

Wzorce skandynawskiego *slöjdu* odgrywały w procesie nauczania w galicyjskich szkołach bardzo ważną rolę, ale nie wszystkie wzorce szwedzkiego *slöjdu* drzewnego odpowiadały polskim potrzebom. W *slöjdowej* nauce pracy ręcznej jasno postawiono zagadnienia wyrabiania sprawności, zręczności oraz umiejętności posługiwania się narzędziami. Od 1898 roku rozpoczyna swą działalność w polskim *slöjdie* Kazimierz Bruchnalski, nauczyciel lwowskiej szkoły przemysłowej, a później jej dyrektor. Bruchnalski oprócz obróbki drewna wprowadził obróbkę metalu, a w swojej pracy otaczał się ludźmi techniki. Ze swoimi współpracownikami

zorganizował on kształcenie i doksztalcanie nauczycieli *slöjdu*, a w zasadzie przedłużył istniejące dzięki Siedmiograjowi wakacyjne kursy 4- i 6-tygodniowe do 8 tygodni. Kursy te były organizowane w Sokalu i w Krakowie. Bardziej uzdolnieni nauczyciele mogli wyjechać na dalsze studia do krajów skandynawskich, do Anglii, Austrii i Szwajcarii. Pod koniec XIX wieku w szkołach galicyjskich, oprócz *slöjdu* drzewnego i metalowego, zaczęto nauczać introligatorstwa, garncarstwa, kartoniarstwa, koszykarstwa, wykonywania odlewów gipsowych oraz tkactwa. W 1895 roku uchwałą Sejmu Galicyjskiego wprowadzono *slöjd* jako obowiązkowy przedmiot w męskich szkołach wydziałowych.

W szkołach zaboru pruskiego sytuacja była trudniejsza, gdyż władze pruskie nie dopuszczały do żadnych zmian. Mimo to W. Gaertig, nauczyciel gimnazjum w Poznaniu, działając społecznie i dzięki poparciu miejscowych władz, zorganizował w 1882 roku pracownię *slöjdu*. Uchwałą Rady Miejskiej w Poznaniu w 1904 roku *slöjd* jako przedmiot nadobowiązkowy został wprowadzony do szkół podstawowych na ziemiach zaboru pruskiego. Na przełomie XIX i XX wieku wprowadzono zajęcia rękodzielnicze również w postaci *slöjdu* w niektórych prywatnych szkołach oraz zakładach wychowawczych w Królestwie Polskim. Po opuszczeniu Warszawy przez Rosjan w 1915 roku, a później dalszych ziem Królestwa Polskiego *slöjd* jako przedmiot obowiązkowy odegrał ważną rolę w nauczaniu treści mających zastosowanie w życiu codziennym.

Nauczanie prac ręcznych w okresie międzywojennym można podzielić na dwa etapy. Etap pierwszy obejmował lata 1918–25, etap drugi – lata 1925–39. Etapy te różnią się od siebie szczególnie pod względem dydaktycznym. W latach 1918–25 nauczanie pracy ręcznej oparte było na metodzie szwedzko-duńskiej. Działo się tak dlatego, że procesem nauczania i kształcenia nauczycieli kierowały osoby, które zdobyły wykształcenie w słynnej szkole *slöjdu* w Naas i w dalszym ciągu wierne były koncepcji Salomona opartej na modelach wzorcowych. Kontynuację tej koncepcji można zauważyć w działającym w Warszawie Państwowym Rocznym Kursie Kształcenia Nauczycieli Robót Ręcznych. Drugi etap w nauczaniu prac ręcznych w okresie międzywojennym związany jest ściśle z powstaniem i działalnością Państwowego Instytutu Robót Ręcznych.

Powstanie Państwowego Instytutu Robót Ręcznych

Powstanie Państwowego Instytutu Robót Ręcznych związane jest nierozdzielnie z osobą inż. Władysława Przanowskiego. Narodziny i rozwój Instytutu to dzieło jego życia. Z wykształcenia był inżynierem mechanikiem, a z powołania nauczycielem wychowawcą. Władysław Przanowski urodził się w Słupcy 21 marca 1880 roku, zmarł w Warszawie 4 lutego 1937 roku, w zawodzie pedagogicznym pracował trzydzieści lat. „Trzydzieści lat pracy w okresie, gdy łamały się formy życia publicznego stworzone przez zaborców, gdy pękały łańcuchy niewoli, gdy wreszcie życie wymagało od nauczyciela utrwalenia nowych zdobyczy w programach nauczania i wychowania – to wielki okres zmagania, poszukiwania i realizacji” [1, s. 24; 7, s. 55–61].

Władysław Przanowski, mimo iż wysoko cenił prace Siedmiograja i Brzuchnalskiego, twierdził, że *slöjd* szwedzki, nawet nieco zmieniony, jest zbyt słabo przystosowany do polskich realiów. Przanowski na bazie *slöjdu* szwedzkiego stworzył

slöjd polski dostosowany do naszych potrzeb i warunków, charakteru narodowego i uzdolnień polskich dzieci.

11 sierpnia 1915 roku, po opuszczeniu Warszawy przez wojska carskie powołano do życia Wydział Oświecenia. Na jednym z pierwszych posiedzeń tego Wydziału został postawiony (przez członka Wydziału Oświecenia, dyrektora szkoły im. K. Szlenkiera – W. Przanowskiego) formalny wniosek utworzenia Rocznych Kursów Robót Ręcznych. Wniosek ten został przyjęty jednogłośnie. Zadaniem tego kursu było szkolenie kadr nauczycielskich zdolnych prowadzić nauczanie prac ręcznych, gdyż projekty nauczania przewidywały przeznaczenie na pracę ręczną 4–8 godzin tygodniowo w każdej klasie. Początkowe problemy z funduszami na ten cel zostały przewyżczone i zajęcia na kursach zostały rozpoczęte.

Kursy odbywały się w godzinach popołudniowych w wymiarze 24 godzin tygodniowo, w lokalu szkoły im. K. Szlenkiera. Po upaństwowieniu kursów w 1918 roku nauczanie odbywało się w godzinach przedpołudniowych, a wymiar czasowy zwiększono do 36 godzin tygodniowo. Kilkuletnie doświadczenie w kształceniu nauczycieli robót ręcznych podczas rocznych kursów wykazało, że rok to zbyt krótki okres, aby odpowiednio przygotować nauczycieli robót ręcznych do seminariów nauczycielskich i szkół średnich. Na wniosek W. Przanowskiego Ministerstwo Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego 14 kwietnia 1923 roku przekształciło Państwowe Kursy Robót Ręcznych w Państwowy Instytut Robót Ręcznych (PIRR). Instytut otrzymał również uprawnienia statutowe.

Swoój system Władysław Przanowski wiązał z problematyką przebudowy gospodarczej i społecznej Polski. W artykule *Frontem do techniki* [12] pisał: „Chcąc żyć musimy być silni, a obecnie nie można sobie wyobrazić państwa silnego bez własnego przemysłu, bez dobrych i licznych dróg, bez dostatecznej liczby samolotów i samochodów, bez wielkiej armii, zdolnych i twórczych inżynierów i techników. Kraj rolniczy nie może się ostać z krajami przemysłowymi”.

W tym samym artykule Przanowski pisał:

każdy człowiek musi posiadać elementy teoretycznej i praktycznej techniki, tak jak posiada umiejętność pisania i czytania [...]. Bez znajomości elementów techniki człowiek współczesny nie może bezpiecznie i sprawnie chodzić po ulicy, jeździć kolejami, samochodami, korzystać z telefonów i aparatów radiowych, [...] człowiek nie jest dostatecznie przygotowany do wymagań współczesnego życia, [...] szkoła ogólnokształcąca ma obowiązek nauczyć umiejętnego korzystania z urządzeń technicznych.

Działalność PIRR-u można podzielić na trzy okresy:

- okres pierwszy, trwający do lutego 1937 roku pod kierownictwem Władysława Przanowskiego.
- okres drugi, który przypada na lata okupacji,
- okres trzeci – wznowienie działalności PIRR w 1945 roku w Bielsku-Białej do zakończenia jego działalności w sierpniu 1950 roku.

Po utworzeniu w 1923 roku Państwowego Instytutu Robót Ręcznych przyjmowano na drugi rok studiów nauczycieli robót ręcznych, którzy uczyli już przedmiotu w seminariach i szkołach średnich. Ponieważ Instytut był nastawiony na kształcenie nauczycieli seminariów nauczycielskich i szkół średnich, dlatego w roku szkolnym 1924/25 powstały przy Instytucie roczne Wyższe Kursy Nauczycielskie

robót ręcznych dla nauczycieli szkół podstawowych. Szkoła im. Szlenkiera, w której W. Przanowski rozpoczynał swoją działalność, w 1920 roku została przekształcona w 7-klasową szkołę podstawową i pełniła rolę szkoły ćwiczeń dla Wyższych Kursów Nauczycielskich i Państwowego Instytutu Robót Ręcznych [6, s. 51].

Dyrektor Instytutu Władysław Przanowski, dostrzegając braki w przygotowaniu nauczycieli, wypracował nowy program nauczania dla Państwowego Instytutu Robót Ręcznych. Do programu włączono pedagogikę, metodykę nauczania pracy ręcznej, metodykę nauczania rysunku technicznego, kompozycję form zdobniczych, historię sztuki oraz ćwiczenia z obróbki drewna, metali, szkła, tektury, wyrób pomocy naukowych, a dla kobiet również szycie i roboty dziane [4, s. 125, 126; 7, s. 55–61].

W pracy Państwowego Instytutu Robót Ręcznych można zauważyć ewolucję metod nauczania. Zniknęły modele, a na ich miejsce weszły prace projektowe i konstrukcyjne. Uczniów zadawały nowe metody nauczania i chętnie włączali się do prac nad ich testowaniem i doskonaleniem.

Poszukiwanie nowych metod nauczania robót ręcznych było ważne ze względu na powiązania ich z innymi przedmiotami. Wprowadzona wówczas zasada nauczania pogładowego spowodowała, że szkoły potrzebowały pomocy naukowych. W porozumieniu z nauczycielami biologii, fizyki, geometrii i geografii nauczyciele robót ręcznych projektowali pomoce naukowe, które następnie wykonywali z uczniami. Uczniowie sami projektowali również proste pomoce naukowe. Tego typu prace były odrzuceniem tzw. szwedzkich modeli. Pozytywne cechy tych innowacji zostały potwierdzone przez późniejsze kongresy pedagogiczne.

Na pracach ręcznych uczono wszystkich podstawowych technik obróbki materiałów za pomocą narzędzi ręcznych oraz prostych narzędzi mechanicznych, takich jak wiertarki, strugarki, piły tarczowe. Każdą wykonywaną pracę poprzedzał projekt rysunkowy oraz przemyślenie toku pracy. W kształceniu stosowano indywidualny tok nauczania – każdy uczeń wykonywał inny projekt. Podczas lekcji stosowano wykład objaśniający, omawiano narzędzia i technologię materiałów oraz prowadzono demonstrację. Wymagano dokładności w pracy w zależności od użytych materiałów i narzędzi – była to dokładność logiczna, a nie bezwzględna, jak w szwedzkim *slöjdzie*.

Powyższe metody opracowano w znacznym stopniu w Państwowym Instytucie Robót Ręcznych, na czele którego stał dyrektor Władysław Przanowski oraz w Sekcji Nauczycieli Rysunku i Robót Ręcznych Związku Nauczycielstwa Polskiego, która powstała w 1926 roku. Po reorganizacji Związku wyłoniła się Sekcja Rysunku i Robót Ręcznych, która grupowała nauczycieli szkół powszechnych, średnich oraz seminariów nauczycielskich. Sekcja opracowała szereg nowych projektów programów nauczania robót ręcznych, które zostały przedstawione w ówczesnym Ministerstwie Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego i były podstawą nowych programów nauczania robót ręcznych. Programy te obejmowały cały dorobek pedagogiczny nauczycieli robót ręcznych oraz wykładowców Państwowego Instytutu Robót Ręcznych. Wskazywały one na olbrzymi postęp w szkole polskiej w okresie międzywojennym, jaki dokonał się w formach i metodach nauczania robót ręcznych.

System nauczania pracy ręcznej w Polsce w okresie międzywojennym zaliczany był do przodujących nie tylko w Europie, ale we wszystkich krajach, w których prace ręczne wprowadzono jako przedmiot nauczania w szkole.

Państwowy Instytut Robót Ręcznych przy ul. Górczewskiej 8 w Warszawie funkcjonował do wybuchu II wojny światowej. W tym czasie wykształcił 1500 nauczycieli robót ręcznych.

Rola Państwowego Instytutu Robót Ręcznych w polskim systemie kształcenia nauczycieli oraz w rozwoju prac ręcznych

Najważniejsze zadania Państwowego Instytutu Robót Ręcznych zawarte są w jego statucie [1, s. 238; 7, s. 55–61]:

- a) kształcenie nauczycieli robót ręcznych dla seminariów i szkół średnich,
- b) praca nad metodami nauczania robót ręcznych i praktycznego zastosowania robót w zakresie poszczególnych przedmiotów nauczania,
- c) opracowanie modeli, warsztatów i narzędzi slajdowych,
- d) inicjowanie wydawnictw związanych z nauczaniem robót ręcznych,
- e) udzielanie porad fachowych przy organizowaniu szkolnych pracowni slajdowych,
- f) prowadzenie badań nad wpływem nauczania robót ręcznych na rozwój umysłowy i fizyczny młodzieży.

Zadania statutowe Instytutu określały charakter pracy i badań Instytutu, którego głównym celem było przygotowanie do pracy bardzo dobrze wyszkolonego nauczyciela. Cele, jakim była podporządkowana praca w Instytucie, dokładnie sprecyzowano w „Stałym programie nauki”, który został zatwierdzony przez Ministerstwo Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego. Program ten opisuje główne zadanie Instytutu, którym jest przygotowanie w trakcie dwuletnich studiów nauczycieli robót ręcznych podejmujących pracę w szkołach średnich i seminariach. Każdy absolwent powinien opanować kilka gałęzi robót ręcznych, a zdobytą wiedzę – umieć przekazać swoim uczniom. Podczas prac w Instytucie szczególną uwagę zwracano na to, aby nauczać metodycznie, aby praca była użyteczna, a równocześnie estetyczna oraz wykonana dokładnie i precyzyjnie.

W czasie działalności Państwowego Instytutu Robót Ręcznych wiele uwagi poświęcono kursom. Część z nich była obowiązkowa, część fakultatywna. Zadaniem wszystkich było podniesienie poziomu wiedzy praktycznej przyszłych nauczycieli robót ręcznych. Organizowano różne rodzaje kursów: fotograficzny, modelarski, szkutniczy, szoferski, żeglarski, koszykarstwa, szycia. Większość z nich kończyła się egzaminami. Kursy te oprócz nabycia odpowiednich umiejętności dawały również uprawnienia instruktorskie.

W celu uwrażliwienia słuchaczy na pewne szczegółowe zagadnienia oraz kształtowania ich osobowości Instytut organizował szereg odczytów i prelekcji oraz referaty okolicznościowe z zakresu techniki, sztuk pięknych oraz nauk pedagogicznych.

Ciekawostką jest utworzenie przez osoby uczące się w Instytucie Koła Słuchaczy Państwowego Instytutu Robót Ręcznych w Warszawie. Zadaniem tego Koła była pomoc niektórym koleżankom i kolegom będącym w trudnej sytuacji materialnej. Luźna początkowo grupa osób przekształciła się z czasem w Bratnią Pomoc, która obejmowała swoją działalnością niemal wszystkich wychowanków Instytutu. Organizacja ta pozwalała na stały kontakt z uczelnią, pomagała w organizowaniu

wycieczek naukowych. Prowadziła sklepik, herbaciarnię, pomagała w wyszukiwaniu mieszkań dla nowych słuchaczy. Prowadziła również sekcję kulturalną, która zajmowała się organizowaniem zabaw, wieczorów poezji i pieśni ludowej oraz spotkań z wybitnymi osobami. Prowadzono również akcje społeczne, których zadaniem była pomoc dla szkół kresowych. Polegała ona na wykonywaniu pomocy naukowych do prawie wszystkich przedmiotów, a następnie wysyłaniu ich biednym szkołom na kresach. Wszystkie prace miały charakter charytatywny, nikt nie oczekiwał za nie wynagrodzenia. Było to charakterystyczne dla całego procesu wychowawczego Instytutu.

Bibliografia

- [1] Ambroziewicz W., *Władysław Przanowski i jego dzieło*, Warszawa 1964
- [2] Depešová J., *Nové aktivity v technickom vzdelávaní*, [w:] Zborník Fórum pedagogiky 2001 – sekcia výchova mimo vyučovania, MC, Bratislava 2001
- [3] Duchovičová M., *Informačné vzdelávanie v technickom vzdelávaní*, [w:] Trendy ve vzdelávaní 2008. Využití ICT ve vzdelávání a informatyka, Olomouc 2008
- [4] Dudek E., Noga H., Szafran R., *Jak kształcono w PIRR-ze*, „Wychowanie Techniczne w Szkole” 1994, nr
- [5] Janas R., *Dydaktyka techniki z ćwiczeniami*, Warszawa 1988
- [6] Jaromski J., *Historia kształcenia politechnicznego młodzieży w szkolnictwie ogólnokształcącym*, Kraków 1985
- [7] Noga H., *Istota i pogranicza dydaktyki techniki*, Kraków 2007
- [8] Porubská G., *Postavenie a význam didaktiky v príprave učiteľov 1.stupňa ZŠ*, [w:] Za vyššiu úroveň výchovy a vzdelávania a prestíž učiteľa ZŠ, PdF, Nitra 1999
- [9] Pytel K., *Wpływ Internetu na rozwój i zachowanie dzieci i młodzieży*, [w:] Mastalerz E. (red.), *Cyberuzależnienia. Przeciwdziałanie uzależnieniu od komputera i Internetu*, Kraków 2006
- [10] Pytel K., *Komunikacja interpersonalna w społeczeństwie informacyjnym*, INFORMATECH 2007, *Moderni informační a komunikační technologie ve vzdělávání*, Olomouc 2007, s. 164
- [11] Pytel K., *Komunikacja przez sieć komputerową jako sposób na spędzanie wolnego czasu*, INFORMATECH 2007, *Moderni informační a komunikační technologie ve vzdělávání*, Olomouc 2007, s. 385–388
- [12] Przanowski W., *Frontem do techniki*, „Praca Ręczna w Szkole” 1934, nr 3–4, s. 137–146
- [13] Retter H., *Komunikacja codzienna w pedagogice*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2005
- [14] Sałata E., *Kompetencje informatyczne nauczycieli we współczesnej szkole*, [w:] W. Furmanka, A. Piecucha, W. Walata (red.), *Technika–Informatyka–Edukacja. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej*, Wyd. Oświatowe Fosze, Rzeszów 2005
- [15] Sałata E., *Przygotowanie pedagogiczne do pracy nauczycielskiej*, [w:] E. Sałata (red.), *Pedagogiczno-psychologiczne kształcenie nauczycieli*, Wydawnictwo TE – PIB, Radom 2005

- [16] Sałata E., Bielska M., *Psychologiczno-pedagogiczne przygotowanie nauczyciela przedmiotów ogólnotechnicznych – częściowe wyniki badań*, [w:] F. Szloska (red.), *Badanie – Dojrzewanie – rozwój*, Wyd. ITE – PIB, Radom-Siedlce 2005
- [17] Sałata E., *Nauczanie techniki jako konieczność cywilizacyjna*, [w:] W. Furmanka, W. Walata (red.), *Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji technicznej i informatycznej*, Wyd. Oświatowe Fosze, Rzeszów 2003, s. 98–108
- [18] Šimonová I., *WebCT – možnosti zpětné kazby*, [w:] *Zborník príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie 10 rokov Technológie vzdelávania*, Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra 2002
- [19] Szejnberg A., *Podstawy komunikacji społecznej w edukacji*, Wyd. ASTRUM, Wrocław 2001
- [20] Vargová M., Depešová J., *Poznámky k niektorým pojmom technickej terminológie*, [w:] *Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*. Zborník. 1. vyd. PF UKF, Nitra 2000
- [21] Vargová M., Tomková V., *Pracovné vyučovanie v súvislosti s prácou s počítačom*, [w:] *Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*, Zborník. 1. vyd. PF UKF, Nitra 2002

National Institute of Manual Work and its influence over the evolution of technical education

Abstract

The first part of the article discusses technical education in Poland in the end of the 19th century. Next, it focuses on the model of Scandinavian slojd whose role in the process of education in Galician schools was significant, though not all the models of Swedish wood slojd were suitable for Polish needs. What was very important in a slojd handwork education were the development of dexterity and the ability to use tools. In the further part of the article the discussion focuses on the division of handwork education in the interwar period onto four stages. The article also shows how the National Institute of Manual Work, which is inseparably connected with engineer Władysław Przanowski, came into being.

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Henryk Noga, Mária Vargová

Wybrane zagadnienia kształcenia technicznego przełomu XIX i XX wieku

Nauczanie techniki w polskiej szkole po II wojnie światowej

Po II wojnie światowej gwałtowne akcje, które prowadziły do zeświecczenia szkoły, dążyły jednocześnie do jej ideologicznego opanowania przez marksizm. W okresie tym zlekceważono wielkie tradycje szkolnictwa polskiego i doprowadzono do wielu bolesnych zdarzeń zarówno w sferze materialnej, jak i moralnej. Zniszczono wiele pamiątek kultury i tak już w znacznym stopniu nadwyrężonych przez wojnę, przesładowano również ludzi, np. za przynależność do Armii Krajowej.

Zniszczono wtedy to, co rzeczywiście było postępowe, właśnie tradycje robót ręcznych, manualizm. Przed szkołą jako ideał postawiono jednak nie wykształconego robotnika czy rolnika, lecz „zintelektualizowanego” maturzystę i magistra, których zawody pozostawały w tej ideologii równie nieokreślone jak szkolny „intelektualizm”.

Sytuacja szkolnictwa w Polsce po II wojnie światowej była tragiczna również w zakresie nauczania prac ręcznych. Szkoły w znacznej większości były zniszczone, a wielu nauczycieli zginęło.

Próbę ratowania polskiego manualizmu jako kierunku pedagogicznego wiążącego szkołę z życiem gospodarczym, kierunku, który był rzetelny i łączył ucznia z polskim światem pracy, podjął Wiktor Ambroziewicz. Zdecydował on o kontynuowaniu pracy Przanowskiego i kolejnego dyrektora Państwowego Instytutu Robót Ręcznych, Stanisława Malca, aby ratować to, co było jeszcze do uratowania z bezcennych polskich tradycji II Rzeczypospolitej [4, s. 63–69]. Wspólnie z pozostałymi wykładowcami tej uczelni podjął on starania o odbudowę PIRR-u.

W 1945 roku Instytut wznowił pracę, przez pierwszy semestr przejściowo w Łodzi, gdzie grupa wykładowców opracowała projekt programu oraz przyjęła nazwę przedmiotu – praca ręczna. Na nauczanie tego przedmiotu przeznaczono dwie godziny tygodniowo. W tym samym czasie PIRR został przeniesiony do Bielska, gdzie znalazł lepsze warunki lokalowe. W gmachu Państwowego Instytutu Robót Ręcznych w Bielsku zorganizowano trzy zakłady powiązane pedagogicznie i organizacyjnie z uczelnią. Były to pełna szkoła podstawowa, pełna szkoła defektologiczna i dwupoziomowe przedszkole. W ten sposób stworzono ośrodek do obserwacji i badań nad skutecznością działań dydaktyczno-wychowawczych w Instytucie, jak też w podległych mu ośrodkach.

Celem dyrektora W. Ambroziewicza i jego współpracowników było stworzenie jak najlepszej bazy materialnej i wyposażenia technicznego uczelni. W toku działalności organizacyjnej opracowano zagadnienia pracy ręcznej od strony pedagogicznej. Zgodnie ze stanowiskiem uczelni praca ręczna była jedynym przedmiotem w szkole ogólnokształcącej, który mógł zapewnić dzieciom i młodzieży uzyskanie kultury technicznej na właściwym poziomie; praca ręczna i działanie mogły wyeliminować werbalizm i nudę w szkole.

W pierwszych latach powojennych główną grupę słuchaczy stanowili czynni nauczyciele szkół podstawowych. Stopniowo jednak wzrastała liczba słuchaczy bez praktyki pedagogicznej. Studenci pochodzili ze wszystkich środowisk. Dużą grupę stanowili słuchacze ze Śląska oraz z Rzeszowszczyzny, a później również z Ziemi Odzyskanych.

Ważną formą przygotowania słuchaczy do realizowania wychowawczych i dydaktycznych zadań w szkole była praktyka w szkołach ćwiczeń. Praktyka pedagogiczna na pierwszym roku studiów zaznajamiała słuchaczy z ogólną strukturą szkoły oraz organizacją pracy dydaktycznej i wychowawczej. W drugim roku odbywały się hospitacje grupowe w klasach niższych i wyższych, a słuchacze już samodzielnie prowadzili lekcje pod okiem specjalistów. W okresie powojennym nowym zagadnieniem było nauczanie pracy ręcznej w przedszkolach i klasach młodszych, co było punktem wyjścia do zdobywania przez uczniów umiejętności technicznych i nawyków pracy. Ważną rolę odgrywała praca ręczna w szkołach specjalnych, gdzie pomagała uczniom przystosować się do normalnego życia w społeczeństwie. W 1949 roku na wniosek Ministerstwa Oświaty Instytut zorganizował wystawę prac uczniowskich w Czechosłowacji. Po wystawie ukazało się w prasie wiele artykułów, w których podkreślano jej wysoką wartość dydaktyczną.

W ciągu 5 lat działalności Instytut w Bielsku, w pełni zorganizowany i rozwinięty, zaczął wykazywać swą użyteczność i osiągnięcia. Miał również sukcesy zagraniczne, jednak 15 lipca 1950 roku został zlikwidowany. Władysław Bieńkowski nazwał zamknięcie Instytutu w Bielsku „morderstwem pedagogicznym”. Od początku lat 60. nastąpiła stopniowa poprawa sytuacji godzinowej pracy ręcznej, istniejącej wcześniej w wymiarze tylko jednej godziny tygodniowo w szkole podstawowej i nieistniejącej w żadnym wymiarze w szkole średniej. W 1960 roku przywrócono ten przedmiot w wymiarze 2 godzin tygodniowo, zarówno w szkołach średnich, jak i podstawowych.

W wyniku reformy szkolnictwa od roku 1963/64 w 8-klasowej szkole podstawowej, a od roku 1967/68 w 4-klasowym liceum wprowadzono w miejsce pracy ręcznej w szkole podstawowej zajęcia praktyczno-techniczne, a w liceum ogólnokształcącym – wychowanie techniczne. Po kilku latach przerwy nastąpił rozwój kształcenia nauczycieli na SN i WSN. Podstawowym zadaniem WSN-ów było przygotowanie kwalifikowanych nauczycieli do pracy w szkolnictwie podstawowym. Kształcenie nauczycieli zajęć praktyczno-technicznych na WSN-ach trwało jedynie 6 lat. W 1974 roku rozpoczęto przekształcanie WSN-ów w 4-letnie studia magisterskie, które były prowadzone przez WSP i uniwersytety. Kształciły one nauczycieli zajęć praktyczno-technicznych, a później wychowania technicznego. W szkole podstawowej zajęcia praktyczno-techniczne były prowadzone od początku edukacji dziecka. W klasach młodszych I–III wyrabiała sprawność manualną rąk, a w klasach

IV–VIII obejmowały zakres materiału teoretycznego i praktycznego zrozumienia techniki.

W 1980 roku zmieniono nazwę przedmiotu na praca-technika, a następnie na technika. Praca-technika odgrywała ważną rolę w zakresie orientacji zawodowej, wychowania przez pracę, uczyła również organizacji pracy. Pomimo tak ważnej roli, jaką odgrywał ten przedmiot, w dużej części szkół podstawowych nauczyciele nie mieli odpowiedniego przygotowania do jego nauczania, a w wielu szkołach brakowało odpowiedniego zaplecza.

Często zajęcia techniczne uważano za przedmiot drugiej kategorii, jego godzinami nierzadko uzupełniano etat. Słabe wyposażenie klas pracowni oraz brak odpowiednio wykwalifikowanych nauczycieli powodowały, że nie cieszyły się one uznaniem wśród uczniów, a przede wszystkim pośród rodziców, gdyż to zwykle oni musieli wykonywać zadawane prace domowe, wyręczając tym samym swoje dzieci.

Jest jednak sprawą oczywistą, że w sporej ilości szkół przedmiot ten cieszył się dużym zainteresowaniem, a uczący go nauczyciele z wyjątkowym zaangażowaniem podchodzili do jego nauczania. Często to oni sami lub z pomocą rodziców pozyskiwali materiały i narzędzia do pracy, a rozbudzenie zainteresowania techniką u uczniów owocowało w następnych latach, decydując o wyborze dalszego toku nauki, a nawet zawodu.

Manualizm a kształcenie techniczne

Kiedy około 1,5 miliona lat temu człowiek pojawił się na ziemi, niezwykłym narzędziem były jego własne ręce. W dalszym rozwoju ludzkości to one były ciągle cudownym narzędziem, wzmacnianym stopniowo przez różne inne. Najpierw przypadkowe znaleziska, gałęzie, kamienie. Dopiero później człowiek zaczął sam konstruować narzędzia. Pojawiły się nieznanne w przyrodzie oszczepy, kamienne siekierki, sieci. Pierwszym narzędziem, dzięki któremu człowiek zwiększył możliwości swoich mięśni, był łuk. Konstruowane narzędzia były coraz bardziej wyspecjalizowane i było ich coraz więcej. W ciągu setek tysięcy lat człowiek przeszedł ewolucję od trudnego życia w plemionach koczowniczych aż do osiedlenia się, które było możliwe dzięki rozwojowi rolnictwa. Przez cały ten okres właśnie ręce i rozum człowieka tworzyły kolejne cywilizacje. To ręce przez miliony lat stanowiły główne narzędzie.

Około 300 lat temu nastąpił gwałtowny rozwój techniki i do pracy ludzkiej włączono energię mechaniczną. Najpierw była to energia parowa, później spalinowa i elektryczna, wreszcie – jądrowa. Dopiero wówczas czynności ludzkich rąk i ręcznych narzędzi przejęły maszyny, ale tylko częściowo. Ręce dalej są niezastąpione, szczególnie w pracy muzyków, rzeźbiarzy, malarzy, aktorów, a także w pracach projektowych oraz w usługach. Ręce są niezbędne przy wszelkich czynnościach związanych z samoobsługą.

Praca rąk wprowadziła człowieka na jego obecne miejsce w przyrodzie. Automaty zastąpiły ludzkie ręce głównie w przemyśle.

Wyniki badań przeprowadzonych przez fizjologów i psychologów informują, że duchowy rozwój ludzkości pozostaje w związku m.in. z wpływem różnorodnej pracy ręki ludzkiej na morfologiczny i funkcjonalny rozwój mózgu. Zmysł dotyku

obejmuje całe ciało ludzkie, w najwyższym stopniu jednak przejawia się w palcach ludzkiej dłoni. Nasze wyobrażenia o różnych materiałach bez wykorzystania zmysłu dotyku są niepełne. Na podstawie samego przyglądania się nie można mieć wyobrażenia o takich cechach przedmiotu, jak: wilgotność, suchość, lepkość, oleistość. Wyobrażenia te nie mogą powstać bez udziału dłoni, bez udziału palców ręki, przy czym współdziałanie kciuka i palca wskazującego odgrywa tu najważniejszą rolę. To właśnie połączenie palca wskazującego i kciuka daje rodzaj precyzyjnego narzędzia, pozwalającego odczuć różnicę w grubości czy długości, podobnie jak przy zastosowaniu suwmiarki. Dzięki dużej wrażliwości naszych palców, dającej możliwość wyczuwania nieznacznych odległości, gładkości, chropowatości oraz ilości punktów wklęsłych i wypukłych na małej powierzchni, mógł powstać alfabet Braille'a dla niewidomych.

Ręka ludzka jest nie tylko narzędziem poznawania rzeczywistości, lecz jest także organem jej przekształcania i kształtowania. Słuszne jest stwierdzenie, że umiejętność wytwarzania narzędzi i przedmiotów oraz umiejętność posługiwania się nimi jest cechą wybitnie ludzką. Mimo że zwierzęta również „budują, plotą, przędą, gromadzą”, nie jest to praca w sensie ludzkim, praca, która stworzyła i tworzy cywilizację, technikę. Również dlatego, że zwierzęta pracują za pomocą własnych narzędzi, a nie narzędzi, nie przekazują i nie kontynuują, w przeciwieństwie do człowieka, tradycji pracy swoich poprzedników, nie ulepszają metod i środków wytwarzania oraz nie wybierają sobie pracy w sposób dowolny [25].

Budowa ludzkiej ręki, jej układ kostny, unerwienie, połączenia mięśniowe czynią z niej instrument o nieprawdopodobnym bogactwie i wszechstronności ruchów. Prawdopodobnie dlatego, że przez miliony lat to ręce były najważniejszym elementem pracy ludzkiej. Aż jedna trzecia połączeń kory mózgowej prowadzi do dłoni i palców ręki. Kolejna jedna trzecia połączeń prowadzi do jamy ustnej, języka, narządu mowy. Pozostała część obsługuje głowę – w tym oczy i uszy – korpus, plecy, nogi oraz brzuch. Widać wyraźnie, jak wielką rolę odgrywają ręce w rozwoju kory mózgowej człowieka. Brak pracy ręcznej powoduje częściową bezczynność rąk, a to może się objawiać nieprawidłowościami funkcjonowania odpowiednich obszarów naszego mózgu i powodować różne schorzenia nerwowe. Do prawidłowego funkcjonowania mózgu przyczyniają się zajęcia zatrudniające nasze ręce. Jest to bardzo ważne nie tylko dla rozwoju indywidualnego, ale i dla przemian całej ludzkości.

Znalezienie źródeł manualizmu jest dosyć trudne. Manualizm bowiem na plan pierwszy wysuwa umiejętności, a pojęcie umiejętności praktycznych i wykonawczych ukształtowało się dość późno. Wysiłek fizyczny i umysłowy zaczęto rozróżniać już wcześniej, ale aż do okresu renesansu za pracę uważano wysiłek fizyczny lub czynności zarobkowe.

W stosunku do tego rodzaju pracy kształtowały się różne stanowiska. Pewna część filozofów, głównie starożytnych, wyrażała pozytywne opinie o pracy fizycznej człowieka. Filozofowie i pisarze późniejszych epok w większości gardzili pracą, która stała się symbolem zniewolenia oraz wyrazem poddaństwa – szczególnie w okresie niewolnictwa. Niewolnicy wyrażali pogardę dla wykonywanej przez siebie pracy i marzyli zarówno o wolności, jak i o porzuceniu pracy fizycznej. W późniejszych okresach różne były poglądy na temat pracy. Prawdziwe uznanie zyskała ona dopiero w XIX wieku, gdy wykształciły się filozofie przyznające jej

najwyższy status. Aby jednak powstał manualizm, praca z czynności początkowo pogardzanej musiała zyskać uznanie jako droga, która wyprowadziła człowieka z pierwotnych uzależnień i przemocy natury.

Nauczanie techniki po reformie programu nauczania w 1999 roku

Wprowadzenie we wrześniu 1999 roku reformy edukacji spowodowało recesję przedmiotu Technika. Połączenie w bloku techniki z informatyką spowodowało, że w wielu szkołach ten przedmiot zniknął z praktycznego nauczania. Pracownie techniczne w szkołach dostosowano do nauczania innych przedmiotów, a wyposażenie zostało sprzedane. W wielu szkołach nauczano tylko informatyki. Później okazało się, że było to niezgodne z zarządzeniem Ministerstwa Edukacji, gdyż przedmiot Technika zniknąłby ze świadectw uczniów gimnazjum.

Nauczyciele wykształceni w kierunku technicznym zaczęli mieć także problemy z zatrudnieniem. Niektórzy uzupełnili wykształcenie w kierunku informatyki, ale znaczna liczba szkół już wcześniej wprowadziła ją jako dodatkowy przedmiot i uprawnienia do jej nauczania miało wielu nauczycieli. Nauczyciele techniki zmuszeni byli uzupełnić kwalifikacje do nauczania innych przedmiotów, które wynikały z potrzeb szkoły, a przedmiot „technika” sprowadzono w zasadzie do wychowania komunikacyjnego ze względu na dużą liczbę wypadków wśród dzieci i młodzieży. Duże zmiany w procesach wytwórczych i technicznych nie wpłynęły w istotnym stopniu na zmianę programów nauczania w polskich szkołach. W miarę rozwoju komputeryzacji i zwiększenia dostępu do komputerów częściowo zastąpiono przedmiot Technika Informatyką. Pracownie informatyczne organizowano bardzo często kosztem pracowni techniki. Zmiany wprowadzone w usytuowaniu przedmiotu Technika doprowadziły do zwiększenia ilości materiału teoretycznego kosztem i tak mocno ograniczonej ilości zajęć praktycznych. Oczywiście jest, że uczniowie nie tylko powinni przyswajać wiadomości teoretyczne, ale także umieć zastosować je w praktyce.

Ta sytuacja trwała do 2002 roku. Okres ten można uznać za najgorszy w 200-letnim czasie realizacji treści ogólnotechnicznych w polskiej szkole, w tym w szczególności w okresie powojennym. Przy intensywnym rozwoju nowych technologii, szczególnie w ostatnim stuleciu, jeszcze nigdy nie było tak mało czasu na realizację tak dużej ilości treści programowych.

Po trzech latach reformy wyodrębniono Technikę w gimnazjum i w szkole podstawowej jako samodzielny przedmiot w wymiarze 2 godzin tygodniowo w 3-letnim cyklu kształcenia. Dodatkowo wprowadzono w szkołach ponadgimnazjalnych nowy przedmiot – Technologia informacyjna, w wymiarze 2 godzin tygodniowo w cyklu 3-letnim. Nie jest to zbyt dużo. Świat jest zdominowany przez technikę, należy więc ją poznać, aby umieć wyjaśnić napotymane sytuacje i nie gubić się w podstawowych czynnościach, jakie musimy wykonywać w życiu codziennym. Nauczyciele tego przedmiotu starają się dążyć do osiągnięcia zadowalającej efektywności nauczania, wykorzystując różne metody kształcenia. Ograniczają część zajęć praktycznych, które są czasochłonne, na rzecz innych środków dydaktycznych, głównie pokazów. Z tego faktu wynika, iż godzin do realizacji treści z techniki jest zdecydowanie za mało.

W przeciągu długiego czasu, jaki człowiek przeżył, zanim dotarł do współczesności, jego ręce tworzyły cywilizację oraz warunki życia, zdobywały żywność, tkwały odzież i budowały domostwa. 5 milionów lat trwało panowanie ręki, ale i dzisiaj nie można się bez niej obejść, chociaż ostatnie 200 lat ograniczyło funkcje i znaczenie ręki ludzkiej na rzecz maszyn i coraz bardziej doskonałych narzędzi. Zmiany zachodzące na przełomie XVIII i XIX wieku spowodowane rozwojem gospodarczym wymusiły rozwój kształcenia technicznego.

Początki edukacji technicznej w szkołach zainicjowała Komisja Edukacji Narodowej. Jej celem było wprowadzenie do szkół takich treści, aby powiązać życie ze szkołą, aby uczniowie mogli sprawnie funkcjonować w społeczeństwie. Programy nauczania szkół elementarnych były uzależnione od środowiska, z którego wywodzili się uczniowie, oraz typu szkół.

Następnym etapem w rozwoju „prac ręcznych” było wprowadzenie *slöjdu* szwedzkiego przez Józefa Siedmiograja i powstanie w 1866 roku w Szkole Wydziałowej w Sokalu przedmiotu „nauka zręczności”, który realizował *slöjd* drzewny. W okresie tym wydano pierwszy polski podręcznik dla nauczycieli prac ręcznych, który zawierał przykłady modeli mających zastosowanie w gospodarstwie domowym oraz sposób ich wykonania. Dalszy rozwój przedmiotu polegał na unowocześnieniu *slöjdu* drzewnego przez wprowadzenie prac z metalu, tektury, garncarstwa oraz prac introligatorskich. Zawdzięczamy to głównie Kazimierzowi Bruchnałskiemu, który był prekursorem tych zmian w szkole przemysłowej we Lwowie.

Odzyskanie niepodległości przynosi zmianę nazwy przedmiotu ze *slöjdu* na Roboty ręczne, a następnie na Zajęcia praktyczne. Zmiany nazw przyniosły również zmiany treści, metod oraz organizacji kształcenia tego przedmiotu. Wprowadzono do programu treści przyrodnicze oraz skorelowano zajęcia praktyczne z innymi przedmiotami, m.in. z matematyką, fizyką, chemią i biologią. Zwiększono również ilość godzin tego przedmiotu w szkołach.

Uformowanie się manualizmu jako kierunku pedagogicznego w II Rzeczypospolitej zawdzięczamy Władysławowi Przanowskiemu, twórcy Państwowego Instytutu Robót Ręcznych. Praca jego życia to narodziny i rozwój Instytutu. Wytrwała działalność W. Przanowskiego była popierana przez liczne grono osób podobnie myślących i mających zbliżone zastrzeżenia. Działalność Przanowskiego i kierowanego przezeń Instytutu Robót Ręcznych to ważny okres w rozwoju polskiego manualizmu.

W tym okresie duży wpływ na edukację techniczną miała tzw. szkoła pracy. Ten nowy system dydaktyczno-wychowawczy kładł nacisk na dziecięcą aktywność, która przejawiała się w różnych czynnościach manualnych. Zajęcia praktyczne nie miały na celu przygotowania do pracy zawodowej, lecz miały być czynnikiem rozwoju umysłowego ucznia. W niniejszej pracy przedstawiono różne koncepcje „szkoły pracy” oraz najważniejszych ich przedstawicieli. W teorii „szkoły pracy” wiele jest treści, które może przejąć współczesna pedagogika.

Kolejny okres zmian w nauczaniu manualizmu nastąpił po II wojnie światowej. Nazwę przedmiotu Zajęcia praktyczne zmieniono na Prace ręczne. Wiktor Ambroziewicz podjął starania mające na celu odbudowę PIRR-u, skupiając wokół siebie pozostałych w tej uczelni wykładowców. W momencie, gdy w pełni

zorganizowany i rozwinięty Instytut zaczął prezentować osiągnięcia, został zlikwidowany. Duży wpływ na przedmiot Prace ręczne miało kształcenie politechniczne wywodzące się z postulatów Karola Marksa.

Kolejne lata przyniosły następną zmianę nazwy przedmiotu. W latach 1961–63 w miejsce Pracy ręcznej wprowadzono Zajęcia praktyczno-techniczne, a w 1966 roku – Wychowanie techniczne. Zmiany te spowodowały szersze ujęcie tego przedmiotu oraz wprowadzenie młodzieży w zagadnienia techniki i produkcji.

Rok 1976 przyniósł kolejną zmianę nazwy, tym razem na Praca-technika. W ramach tego przedmiotu wprowadzono również obowiązkowe praktyki uczniowskie mające przygotować do świadomego wyboru zawodu. Okres ten był jednym z lepszych pod względem liczby godzin, jakie przeznaczono do realizacji tego przedmiotu w programach szkół.

Przemiany ustrojowe w 1990 roku zmieniły nieco pogląd na szkołę i jej rolę. Zmieniono też nazwę przedmiotu Praca-technika na Technika. W programach nauczania techniki zrezygnowano z praktyk uczniowskich, a w miejsce techniki zaczęto wprowadzać informatykę.

Wycofanie z niektórych szkół przedmiotu Technika okazało się jednak niezgodne z zarządzeniem Ministerstwa Edukacji. Po 2000 roku wprowadzono blok przedmiotowy Technika z informatyką i wychowaniem komunikacyjnym.

Duże zmiany procesów wytwórczych i techniki nie wpłynęły jednak w istotnym stopniu na zmianę programów nauczania w naszych szkołach. Pracownie techniki nie zostały zmodernizowane pod kątem zaistniałych zmian, a wręcz przeciwnie – to ich kosztem często organizowano pracownie informatyczne. Likwidacja wielu pracowni technicznych doprowadziła do zmian usytuowania tego przedmiotu w szkołach. Zwiększono ilość materiału teoretycznego, kosztem i tak niewielkiej ilości zajęć praktycznych.

Biorąc pod uwagę, iż szkoła powinna dbać o wszechstronny rozwój uczniów, należałoby stworzyć warunki do tego, aby uczniowie w większym niż obecnie stopniu umieli twórczo w praktyce zastosować zdobyte wiadomości. Należałoby również, korzystając np. z przedmiotu Technika, wprowadzić naukę pracy w szkołach, aby nie było tak, że absolwent nie miał w szkole do czynienia z żadną pracą, a tylko z wiedzą teoretyczną. Przeciążenie uczniów mniej zdolnych wiedzą czysto teoretyczną, często przekraczającą ich możliwości, bardzo często prowadzi do niepowodzeń szkolnych i zniechęca ich do nauki.

Nasuwać się więc pytania: Jak będzie wyglądało kształcenie techniczne w przyszłości? Jaka będzie rola i zadania tej dziedziny edukacji? Na pytania te na pewno znajdziemy odpowiedź w nadchodzących latach.

Bibliografia

- [1] Depešová J., *Nové aktivity v technickom vzdelávaní*, [w:] *Zborník Fórum pedagogiky 2001 – sekcia výchova mimo vyučovania*, MC, Bratislava 2001
- [2] Duchovičová M., *Informačné vzdelávanie v technickom vzdelávaní*, [w:] *Trendy ve vzdelávaní 2008. Využití ICT ve vzdelávání a informatika*, Olomouc 2008
- [3] Dudek E., Noga H., Szafran R., *Jak kształcono w PIRR-ze*, s. 125

- [4] Dziamski Z., Gogolin M.R. (red.), *Perspektywa kształcenia technicznego w polskim systemie oświaty*, Bydgoszcz 2006, s. 27
- [5] Jaromski J., *Historia kształcenia politechnicznego młodzieży w szkolnictwie ogólnokształcącym*, Kraków 1985
- [6] Lapis B., *U źródeł polskich refleksji nad pracą*, Warszawa 1984, s. 101–103
- [7] Noga H., *Istota i pogranicza dydaktyki techniki*, Kraków 2007
- [8] Nowacki T., *Z Polską w sercu. Rzecz o Wiktorze Ambroziewiczu*, Warszawa 1999, s. 304
- [9] Nowacki T.W., *Tworząca ręka*, Warszawa 2005
- [10] Piecuch A., *Dydaktyczne programy komputerowe – krótka analiza problemu*, Mat. Konf. „Pedagogika i Informatyka. Cieszyń 28–29 maja 2002”, Katowice 2002
- [11] Piecuch A., *Wizualne metody przekazu treści kształcenia*, [w:] W. Walat (red.), *Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej*, Technika – Informatyka – Edukacja, Rzeszów 2006
- [12] Piecuch A., *Znaczenie wizualizacji zjawisk i procesów w nauczaniu – uczeniu się techniki*, Rzeszów 2003, s. 249–258
- [13] Piecuch A., *Technologie informacyjne w nauczaniu techniki*, Velka Lomnica 2003, s. 348–353
- [14] Porubská G., *Postavenie a význam didaktiky v príprave učiteľov 1. stupňa ZŠ*, [w:] *Za vyššiu úroveň výchovy a vzdelávania a prestíž učiteľa ZŠ*, Pdf Nitra 1999
- [15] Przanowski W., *Frontem do techniki*, „Praca Ręczna w Szkole” 1934, nr 3–4
- [16] Pytel K., *Komunikacja interpersonalna w społeczeństwie informacyjnym*, INFORMATECH 2007, *Moderni informační a komunikační technologie ve vzdělávání*, Olomouc 2007
- [17] Pytel K., *Komunikacja przez sieć komputerową jako sposób na spędzanie wolnego czasu*, INFORMATECH 2007, *Moderni informační a komunikační technologie ve vzdělávání*, Olomouc 2007
- [18] Pytel K., *Wpływ Internetu na rozwój i zachowanie dzieci i młodzieży*, [w:] E. Mastalerz (red.), *Cyberuzależnienia. Przeciwdziałanie uzależnieniu od komputera i Internetu*, Kraków, 2006
- [19] Retter H., *Komunikacja codzienna w pedagogice*, GWP, Gdańsk 2005
- [20] Sałata E., Bielska M., *Psychologiczno-pedagogiczne przygotowanie nauczyciela przedmiotów ogólnotechnicznych – częściowe wyniki badań*, [w:] F. Szloska (red.) *Badanie – Dojrzwanie – rozwój*, Wyd. ITE – PIB, Radom–Siedlce 2005
- [21] Sałata E., *Kompetencje informatyczne nauczycieli we współczesnej szkole*, [w:] W. Furmanka, A. Piecucha, W. Walata (red.), *Technika–Informatyka–Edukacja. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji informatycznej*, Wyd. Oświatowe Fosze, Rzeszów 2005
- [22] Sałata E., *Nauczanie techniki jako konieczność cywilizacyjna*, [w:] W. Furmanka, W. Walata, (red.), *Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji technicznej i informatycznej*, Wyd. Oświatowe Fosze, Rzeszów 2003
- [23] Sałata E., *Przygotowanie pedagogiczne do pracy nauczycielskiej*, [w:] E. Sałata (red.), *Pedagogiczno-psychologiczne kształcenie nauczycieli*, WITE – PIB, Radom 2005

- [24] Šimonová I., *WebCT – možnosti zpětné kazby*, [in:] Zborník príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie 10 rokov Technológie vzdelávania, Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra 2002
- [25] Szaniawski I., *Kształcenie Politechniczne a praca ręczna*, Warszawa 1959, s. 176
- [26] Szejnberg A., *Podstawy komunikacji społecznej w edukacji*, Wyd. ASTRUM, Wrocław 2001
- [27] Tomková V., *Postavenie technickej výchovy v rozvoji grafickej komunikácie žiakov základných škôl*, [w:] Zborník *Technické vzdelanie ako súčasť všeobecného vzdelania*, Banská Bystrica 2005
- [28] Vargová M., Depešová J., *Poznámky k niektorým pojmom technickej terminológie*, [w:] *Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*, Zborník, PF UKF, Nitra 2000
- [29] Vargová M., *Skúsenosti z overovania metamorfózneho modelu didaktiky*, [w:] *Inovačné trendy vo výchove a vzdelávaní*, Zborník, Brezno: Hogeschool Helicon, Zeist, Holandsko, PF UKF – Centrum projektu Zmena, 2000, s. 65–70
- [30] Vargová M., Tomková V., *Pracovné vyučovanie v súvislosti s prácou s počítačom*, [w:] *Vplyv technickej výchovy na rozvoj osobnosti žiaka*, Zborník, PF UKF, Nitra 2002

Selected issues concerning with technical education at the turn of the 19th and 20th centuries

Abstract

The first part of the article presents technical education in Polish schools after the Second World War. Also, it focuses on the connection between manualism and technical education. It has been highlighted that approximately 300 years ago a rapid technical development took place and human work was accompanied by mechanical energy.. The next part of the article shows technical education after the reform in 1999 focusing on the fact that the reform in September 1999 caused the recession of the school subject called 'technology'.

School should take care of a broad development of a pupil. It seems necessary to create such conditions in which pupils would have a chance to learn – better than today – how to use their knowledge in practice. Also, it seems reasonable to introduce education of work as such, perhaps with connection with a school subject 'technology', in order to give a graduate a real possibility to work, not only to gain theoretical knowledge.

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Krzysztof Pytel

Energetyka wiatrowa jako symbioza korzyści społecznych, ekonomicznych i edukacyjnych

Energia jest życiem a człowiek płaci za potrzebę światła, ciepła, mobilności wysoką cenę, która jest kompilacją zmian klimatycznych, zanieczyszczenia atmosfery, radioaktywnych odpadów czy zdewastowanych krajobrazów. Rewolucja nauk technicznych oraz wzrost populacji ludzkiej skutkują zwyżkującym zapotrzebowaniem na zużycie energii, które, ogólnie ujmując, jest uzależnione od tempa rozwoju gospodarczego i ewolucji struktur społeczno-gospodarczych. Świat wszedł na ścieżkę ekologii, na której człowiek zaczyna interesować się losem szeroko pojętego środowiska, czystą ekologicznie produkcją energii oraz oddziaływaniem na życie każdego z osobna, a szczególnie na pozostawienie zasobów energetycznych dla przyszłych pokoleń. Groźba zmian klimatycznych, ograniczona dostępność do tradycyjnych paliw oraz coraz to nowsze i bardziej intrygujące wyzwania dotyczące możliwości pozyskania zasobów energetycznych zwiększyły zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii, w tym energią uzyskiwaną z wiatru. Zawodowa energetyka wiatrowa to przemysł stosunkowo młody, chociaż bardzo pręźnie rozwijany. To nie tylko korzyści ekologiczne wynikające z wykorzystania czystego, niewyczerpalnego surowca energetycznego, to także szeroki wachlarz korzyści ekonomicznych i społecznych. Świadomość coraz szybciej rozwijającej się myśli ekologicznej, ekonomicznej oraz piętno wywierane przez kończące się zasoby surowców kopalnych inspirują do korzystania z tego zasobu.

Społeczny aspekt inwestowania w energetykę wiatrową

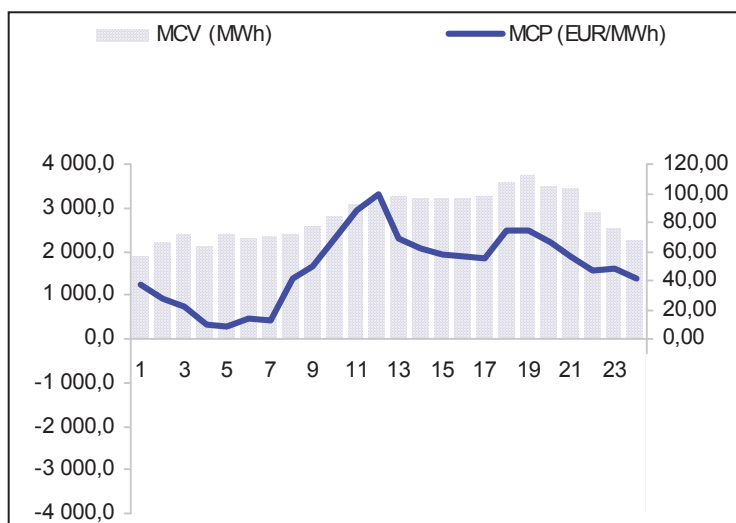
Mimo wielu zalet, energetyka konwencjonalna niesie za sobą sporo niebezpieczeństw. W fazie wytwarzania energii elektrycznej powstają zanieczyszczenia w postaci emitowanych do atmosfery pyłów i gazów, często występujące na obszarach licznie zaludnionych. Główne zagrożenia to emisja tlenków azotu i siarki odpowiedzialnych za występowanie kwaśnych deszczy, emisja dwutlenku węgla grożąca zmianami klimatycznymi, emisja pyłów, promieniowanie jonizujące i zagrożenia radiacyjne, bezzwrotne straty i zrzuty podgrzanej wody, ścieki technologiczne i hałas. Poza wymienionymi jest też skażenie powietrza produktami spalania, wyczerpanie się zasobów naturalnych źródeł energii i dewastacja terenu. Energetyka wiatrowa stanowi przykład energii źródeł odnawialnych ograniczającej zużycie paliw kopalnych. Spośród wszystkich dostępnych odnawialnych źródeł energii produkcja

z ruchu mas powietrza może być najczystsza i dostarczać wystarczających ilości energii do skutecznego zachowania tempa współczesnego postępu technicznego odznaczającego się powszechną elektryfikacją stosowanych urządzeń, zaawansowanymi procesami automatyzacji, powszechnym stosowaniem elektroniki oraz wzrostem potrzeb oświetleniowych. Szacuje się, że ludzkość zużyła blisko 2/3 całej wyprodukowanej przez siebie energii w ciągu ostatniego stulecia. Aby zabezpieczyć spożycie energii, należało przeorganizować metody jej produkcji, co wiązało się z przeobrażeniami nośników do jej pozyskiwania. Jednocześnie trzeba było ograniczyć, czy wręcz zmniejszyć energochłonność w celu utrzymania na stałym poziomie zużycia energii. Rokowanie kończących się zapasów paliw kopalnych spowodowało zwrócenie uwagi na odnawialne zasoby energetyczne i konsekwentnie doprowadziło do ich szybkiego rozwoju i stosowania. Moment przełomowy nastąpił z chwilą podpisania konwencji w Kioto w 1997 roku. Od tej pory źródła energii odnawialnej weszły w nowy i ważny etap rozwoju. Protokół z Kioto wygasa w 2012 roku, a więc konieczne jest kolejne globalne porozumienie, które przymusi państwa do dalszego zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Kontynuowane w tym celu negocjacje zakończone zostały w 2009 roku i na szczycie w Kopenhadze zarówno przedstawiciele państw bogatych, jak i mniej zamożnych opatrzyli swoimi podpisami kolejne porozumienie. Inwestycje w wykorzystanie energii wiatru nie są tanie, jednakże wiatr jest czystym i najobfitszym źródłem energii odnawialnej na kuli ziemskiej. Biorąc pod uwagę fakt, że energia wiatru była wykorzystywana przez ludzi od tysięcy lat, można zaobserwować, że niewyczerpalne źródło tej czystej ekologicznie energii znajduje coraz szersze zastosowanie i cieszy się coraz większym poparciem społecznym. Zawodowa energetyka wiatrowa zaczęła się rozwijać w drugiej połowie XX wieku głównie na terenach przybrzeżnych. Dzisiejsze elektrownie wiatrowe znacznie odbiegają zarówno wyglądem, jak i technologią wykonania od swoich prototypów, a obecnie osiągane moce rzędu MW są produkowane w bezpieczny sposób.

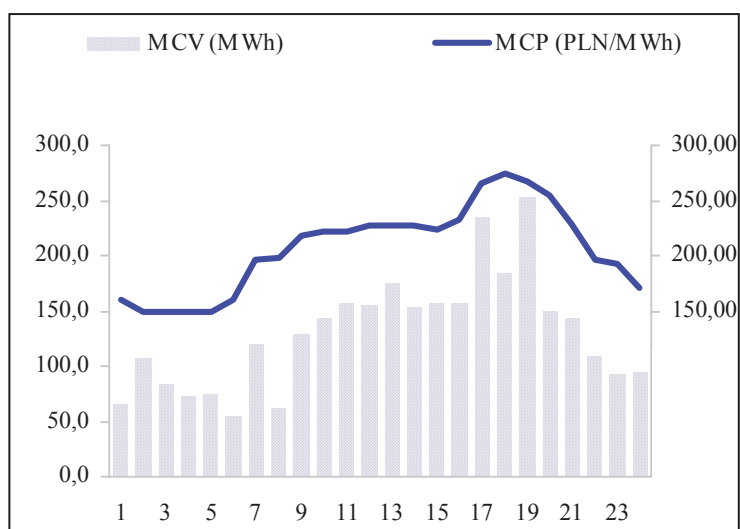
Korzyści ekonomiczne wynikające ze stosowania energii wiatru

Postęp techniczny i technologiczny jest nacechowany dużym zapotrzebowaniem na moc. Sektor energetyczny to główna gałąź gospodarki wszystkich krajów, zajmująca czołowe miejsca na liście płatników dla budżetu państwa. Zużycie energii elektrycznej rośnie w Polsce szybciej, niż zakładają prognozy.

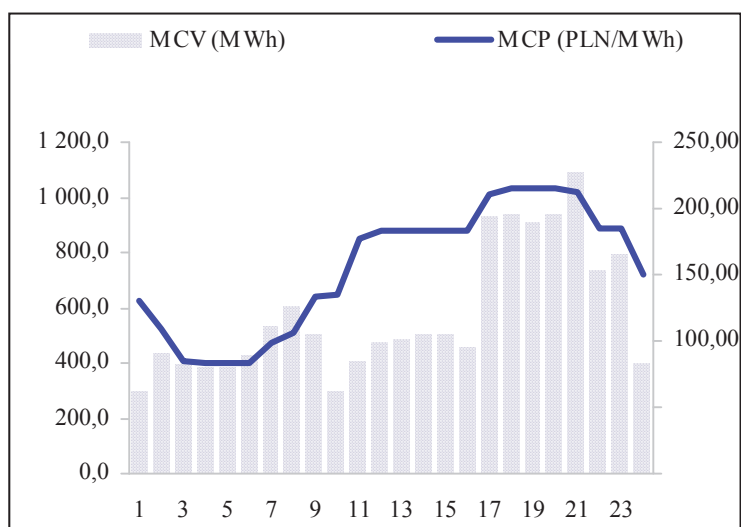
W Polsce w 2007 roku przekroczono o prawie 7% rekord poboru mocy z poprzedniego roku, a zużycie energii wzrosło faktycznie o ok. 3%. Działają platformy obrotu energią, a największe z nich to Platforma Obrotu Energią Elektryczną POEE i Towarowa Giełda Energii TGE. Na rysunkach 1–3 przedstawiono ceny i ilości energii na podstawie danych z trzech instytucji ustanowionych do obrotu energią elektryczną: APX (*Amsterdam Power Exchange*) – giełda energii elektrycznej w Holandii, Towarowa Giełda Energii oraz Internetowej Platformy Obrotu Energią Elektryczną – POEE. Jak widzimy na przedstawionych wykresach, cena energii elektrycznej może stanowić doskonały pretekst do zainwestowania w farmy elektrowni wiatrowych. Odpowiednia lokalizacja oraz nowoczesna konstrukcja może uczynić przedsięwzięcie aeroenergetyczne bardzo opłacalnym, o czym możemy przekonać się, obserwując rozkwit energetyki wiatrowej w wybranych krajach UE.



Rys. 1. Ceny i ilości energii na APX na dzień dostawy 19 stycznia 2008



Rys. 2. Ceny i ilości energii na TGE na dzień dostawy 18 stycznia 2008



Rys. 3. Ceny i ilości energii na POEE na dzień dostawy 18 stycznia 2008

W Polsce istnieją możliwości wspierania efektywności energetycznej i odnawialnych źródeł energii dzięki promowaniu zrównoważonej polityki energetycznej. Jednym z czynników pozytywnie wpływających na opłacalność inwestycji jest możliwość sytuowania ich na terenach o małej gęstości zaludnienia i braku sieci elektrycznej. Postęp nauki i techniki przyniósł nowe technologie, które umożliwiają obecnie wykorzystywanie energii wiatru ze zwiększoną sprawnością i co za tym idzie, ze zwiększoną opłacalnością. Energetykę wiatrową czeka pewny i dynamiczny rozwój na całym świecie, czego podstawową przyczyną jest całkowita darmowość, możliwość lokalizacji w miejscach odosobnionych i na nieużytkach, a jednocześnie możliwość pełnego wykorzystania terenu w bezpośrednim sąsiedztwie elektrowni do celów rolniczych. Równocześnie wykorzystywanie energii wiatru w pewien sposób wpływa na oszczędność paliw i nie powoduje emisji żadnych szkodliwych związków do atmosfery ani powstawania odpadów. Nawet wysokie koszty inwestycyjne nie są w stanie zniechęcić inwestorów do zainteresowania się tym naturalnym zasobem energetycznym.

Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej jest w Polsce bardzo prawdopodobny. Opierając się na wieloletnich obserwacjach kierunków i prędkości mas powietrza, zauważymy, iż tereny uprzywilejowane pod względem zasobów i możliwości wykorzystania wiatru stanowią ponad 50% powierzchni kraju. Ponadto lokowanie kapitału w energetykę wiatrową staje się opłacalnym sposobem zapewnienia stabilnych przychodów. Oprócz rynku pierwotnego, możemy również spotkać się z rynkiem wtórnym elektrowni wiatrowych oferującym konkurencyjne oferty. Te obniżone koszty inwestycyjne mogą skrócić okres zwrotu nakładów i przybliżyć czas osiągnięcia zysków.

Każde nowe przedsięwzięcie z punktu widzenia inwestora ma na celu przyniesienie zysków. W przypadku elektrowni wiatrowych występuje taka sama procedura. Z komercyjnego punktu widzenia zwrot nakładów, a w późniejszym okresie

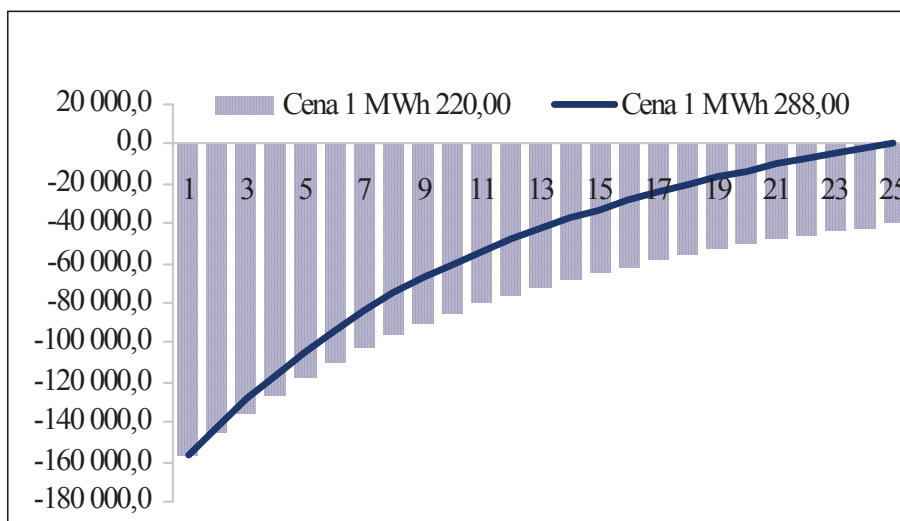
także zyski są ważnym czynnikiem determinującym sukces i sens inwestowania w ten rodzaj energetyki. Przeprowadzenie analizy ekonomicznej planowanej inwestycji jest szczególnie ważne w przypadku przedsięwzięć, takich jak energetyka wiatrowa, gdzie okres zwrotu nakładów trwa kilkanaście lat, a koszt inwestycji liczony jest w milionach złotych. W trakcie przygotowań do realizacji przedsięwzięcia wykonywana jest kompleksowa analiza ekonomiczna planowanego pomysłu inwestycji. Efektem takiego postępowania jest przedstawienie wariantów realizacji konkretnego projektu, będące podsumowaniem studiów problemowych i studium programowo-przestrzennego. Studium mówi o inwestycji rynkowej, analizuje koszty inwestycyjne na podstawie ogólnodostępnych wskaźników i danych, prezentuje analizę potencjalnych zagrożeń i spodziewanych korzyści na podstawie założonych warunków sprzedaży energii do sieci elektroenergetycznej. Spośród wariantów, jakimi dysponujemy, wybieramy opcję najbardziej efektywną z komercyjnego punktu widzenia. W analizie ekonomicznej stosowane są różne metody wyznaczania wskaźników, określających efektywność finansową przedsięwzięć inwestycyjnych.

Można się spotkać ze wskaźnikami statycznymi, które nie uwzględniają zmiany wartości pieniądza w czasie (wartość pieniądza jest taka sama niezależnie od momentu pozyskania tej kwoty) i ze wskaźnikami dynamicznymi, które uwzględniają taką zmianę, a podstawą do ich wyliczania jest zdyskontowana wartość przepływów pieniężnych. Zgodnie z zaleceniami UNIDO proponuje się stosowanie następujących wskaźników efektywności ekonomicznej: czas zwrotu nakładów PBT, prosty czas zwrotu nakładów SPBT, wartość bieżąca netto NPV, wskaźnik wartości bieżącej netto NPVR, wewnętrzna stopa zwrotu IRR czy wreszcie zdyskontowany czas zwrotu nakładów DPBT. Poniżej zostaną przedstawione wybrane wyniki i wnioski z przeprowadzonych analiz. Rozpatrywano wariant, w którym założono średnią moc elektrowni wiatrowej 58,00 MWh/rok. Symulowano przepływy pieniężne dla następujących danych:

- koszty inwestycyjne: 156 000,00 [zł],
- koszty eksploatacyjne: 1 [%] x koszty inwestycyjne,
- moc turbiny: 30 [kW],
- prędkość wiatru: 6 [m/s],
- prognozowana moc: 58,00 MWh/a,
- środki własne [%]: 100%,
- okres obliczeniowy eksploatacji: 25 lat,
- okres budowy: 6 miesięcy.

Dla wariantu inwestycji policzono IRR, NPV, okres zwrotu inwestycji. Zmiany IRR, NPV oraz okresu zwrotu inwestycji w zależności od ceny energii przedstawiono na rysunku 4 oraz w tabeli 1.

Na podstawie wyników analizy dynamicznej zauważono, że inwestycja nie przyniesie zysków przez cały okres jej eksploatacja dla rynkowej ceny sprzedaży energii. Minimalna cena energii produkowanej przez elektrownię, która spowoduje, że eksploatacja elektrowni nie przyniesie strat to 288 zł/MWh. W przypadku ustalenia ceny sprzedaży energii na poziomie 1,5-krotnie wyższym od ceny rynkowej inwestycja będzie charakteryzowała się wewnętrzną stopą zysku 9,8%, zaktualizowana wartość netto wyniesie ponad 37 631 zł, natomiast inwestycja przyniesie pełny zwrot kosztów zainwestowanego kapitału po blisko 15 latach.



Rys. 4. Skumulowana wartość NCF projektu w latach dla dwóch wariantów cenowych

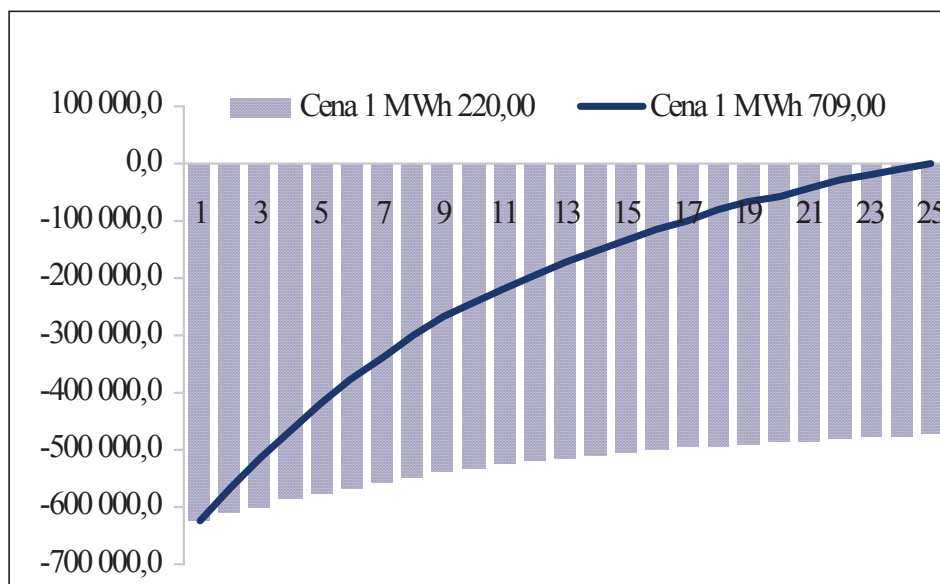
Tab. 1. Parametry ekonomiczne inwestycji

Lp.	Cena energii [zł/MWh]			
	Parametr	220	288	350
1	Wewnętrzna stopa zwrotu	2,3	7,0	9,8
2	Zaktualizowana wartość netto	-40 136	542	37 631
3	Okres zwrotu inwestycji	> 25 lat	24	15

Następnie rozpatrywano wariant, w którym założono średnią moc elektrowni wiatrowej 94 MWh/rok. Symulowano przepływy pieniężne dla następujących danych:

- koszty inwestycyjne: 624 000,00 [zł],
- koszty eksploatacyjne: 1 [%] x koszty inwestycyjne,
- moc turbiny: 160 [kW],
- prędkość wiatru: 4 [m/s],
- prognozowana moc: 94,00 MWh/a,
- środki własne [%]: 100%,
- okres obliczeniowy eksploatacji: 25 lat,
- okres budowy: 6 miesięcy.

Dla każdego wariantu inwestycji policzono IRR, NPV, okres zwrotu inwestycji. Zmiany IRR, NPV oraz okresu zwrotu inwestycji w zależności od ceny energii przedstawiono na rysunku 5 oraz w tabeli 2.



Rys. 5. Skumulowana wartość NCF projektu w latach dla dwóch wariantów cenowych

Tab. 2. Parametry ekonomiczne inwestycji

Lp.	Parametr	Cena energii [zł / MWh]		
		220	709	350
1	Wewnętrzna stopa zwrotu	-6,4	7	-0,9
2	Zaktualizowana wartość netto	-473 683	415	-347 645
3	Okres zwrotu inwestycji	> 25 lat	24	>25 lat

Na podstawie wyników analizy zauważono, że inwestycja nie przyniesie żadnych zysków przez cały okres jej eksploatacji dla rynkowej ceny sprzedaży energii. Cena energii produkowanej przez elektrownię, która spowoduje, że eksploatacja elektrowni nie przyniesie strat, to 709,00 zł/MWh. W przypadku ustalenia ceny sprzedaży energii na poziomie 1,5-krotnie wyższym od ceny rynkowej inwestycja również nie będzie dochodowa

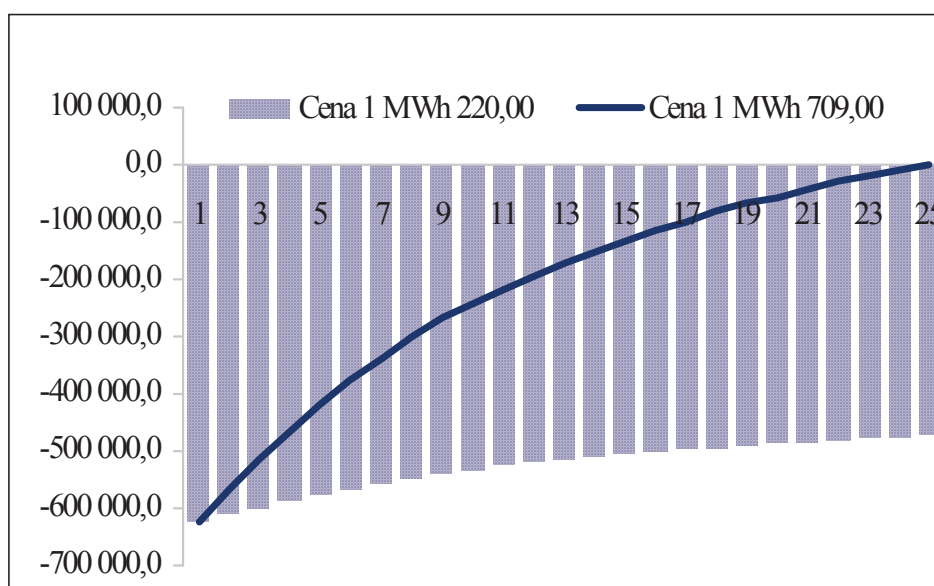
W wariancie kolejnym założono średnią moc elektrowni wiatrowej 179,00 MWh/rok. Symulowano przepływy pieniężne dla następujących danych:

- koszty inwestycyjne: 624 000,00 [zł],
- koszty eksploatacyjne: 1 [%] x koszty inwestycyjne,
- moc turbiny: 160 [kW],
- prędkość wiatru: 5 [m/s],
- prognozowana moc: 179,00 MWh/a,
- środki własne [%]: 100%,
- okres obliczeniowy eksploatacji: 25 lat,
- okres budowy: 6 miesięcy.

Dla każdego wariantu inwestycji policzono IRR, NPV, okres zwrotu inwestycji. Zmiany IRR, NPV oraz okresu zwrotu inwestycji, w zależności od ceny energii przedstawiono na rysunku 6 oraz w tabeli 3.

Tab. 3. Parametry ekonomiczne inwestycji

Lp.	Parametr	Cena energii [zł / MWh]		
		220	709	350
1	Wewnętrzna stopa zwrotu	-1,1	0,4	6,2
2	Zaktualizowana wartość netto	-280 809	1 663	-40 800
3	Okres zwrotu inwestycji	> 25 lat	24	>25 lat



Rys. 6. Skumulowana wartość NCF projektu w latach dla dwóch wariantów cenowych.

Na podstawie obserwacji wyników analizy odnotowano, że inwestycja nie przyniesie żadnych profitów przez cały okres jej eksploatacji dla rynkowej ceny sprzedaży energii. W przypadku ustalenia ceny sprzedaży energii na poziomie 1,5-krotnie wyższym od ceny rynkowej inwestycja będzie charakteryzowała się 6,2% wewnętrzną stopą zysku, zaktualizowana wartość netto wyniesie nieco mniej niż w przypadku zakupu bezpiecznych weksli oferowanych przez NBP, a w związku z tym nie uda się osiągnąć zakładanego zysku przez cały okres eksploatacji elektrowni.

Każde z przedstawionych powyżej rozwiązań niesie z sobą niepokój związany z niepewnością inwestycji i koniecznością wieloletniej lokaty kapitału bez gwarancji zysków. Powyższe rozwiązania są nieopłacalne pod względem ekonomicznym, jednakże w literaturze można znaleźć szereg intratnych rozwiązań. Są to przeważnie farmy elektrowni o dużych mocach. Ponadto miliony euro lokowane w inwestycje aeroenergetyczne nie mogą przynieść strat.

Korzyści ekologiczne wynikające ze stosowania energii wiatru

W polemikach nad stanem dzisiejszego społeczeństwa jedno z priorytetowych miejsc zostało przypisane zagadnieniom z zakresu ekologii. Batalie podejmowane w celu rozwiązania problemów ekologicznych są ukierunkowane na tłumienie konsekwencji niebezpieczeństw w środowisku oraz na wyszukiwaniu proekologicznym systemów wartości. Dominującą rolę w tych zachowaniach przejęła edukacja ekologiczna, która znalazła swoje miejsce w toku aktywizowania społeczeństwa do pragmatycznych zachowań na rzecz środowiska. Edukacja jest tu traktowana nie jako przekazywanie podręcznikowych wiadomości o otaczającym nas środowisku, lecz kształcenie, wychowanie i kształtowanie społeczeństwa wobec świata. W społeczeństwach, w których następują poważne transformacje społeczne, gospodarcze i polityczne szkoła dzieli odpowiedzialność za dorastającą generację. Rola szkoły nie polega na opóźnianiu i degradacji toczącego się w niej procesu edukacyjnego, ale wymaga się od niej propagowania nauki opartej na praktyce. Rola nauczyciela ogranicza się do bycia przewodnikiem i doradcą, a nie kreatorem wartości. Zgodnie z wytycznymi restrukturyzacji systemu edukacji, innowacyjne programy nauczania kładą nacisk na kształtowanie umiejętności praktycznych i integrację międzyprzedmiotową. Realizacja takich zamierzeń przymusza nauczyciela do nauczania przedmiotowego, w kierunku szukania korelacji i przedstawiania uczniom całokształtu rzeczywistości, a nie tylko fragmentarycznej wiedzy opartej wybiórczo na fragmentarycznych zjawiskach. Realizację takiej polityki umożliwi idea ścieżek międzyprzedmiotowych, która funkcjonuje już od dawna. Wynika to z uznania ważności integracji międzyprzedmiotowej w tworzeniu obrazu świata u ucznia. Twórcy realizowanej aktualnie reformy nadali tej koncepcji ramy prawne, wprowadzając wymóg realizacji ścieżek edukacyjnych na II etapie edukacyjnym (kształcenie blokowe) oraz na III etapie edukacyjnym (gimnazjum). Forma ścieżki edukacyjnej daje szkole możliwość wybrania do prezentacji jej treści najlepiej przygotowanego nauczyciela bądź paru nauczycieli. Na III etapie kształcenia obok przedmiotów (bloków przedmiotowych) wprowadzono ścieżki edukacyjne, wśród których jest edukacja prozdrowotna i edukacja ekologiczna.

Program ścieżki ekologicznej ukierunkowuje i koreluje pracę dydaktyczną i wychowawczą nauczyciela. Pozostaje on w ścisłym związku z programem poszczególnych przedmiotów i łączy je wspólnymi celami oddziaływania w zakresie ekologii. Realizowany jest przez integracyjne nauczanie, w którym jeden przedmiot wspomaga i uzupełnia wiadomości i umiejętności innego. Realizacja programu ekologicznej ścieżki edukacyjnej odbywać się będzie na zajęciach lekcyjnych, zajęciach pozalekcyjnych, poprzez realizację zadań wynikających z planu pracy gimnazjum i samorządu uczniowskiego, czy na różnorodnych formach proponowanych przez Centrum Edukacji Ekologicznej. W ramach ścieżki ekologicznej wyodrębniono 7 bloków tematycznych, wśród których jest powietrze oraz energetyka. Dobór bloków tematycznych uzasadnia występowanie ścisłego związku między działalnością człowieka a składnikami środowiska naturalnego. W zadania i cele programowe ścieżki ekologicznej doskonale wpisują się zagadnienia związane z energetycznym wykorzystaniem wiatru. Nauczyciele biorący udział w edukacji młodego pokolenia, będący niejednokrotnie dla uczniów autorytetem, doskonale mogą uświadamiać szereg zagrożeń środowiska przyrodniczego ze strony nieodpowiedzialnych działań

człowieka. Wszelakie działania ekologiczne podejmowane w najbliższym otoczeniu i we własnym życiu powodują u ucznia rozbudzenie szacunku do pracy, a jednocześnie umożliwiają kształtowanie proekologicznych postaw. Uświadamianie faktu, że każde działanie ma wielokierunkowy wpływ na środowisko doskonale obrazują wszelakie działania z zakresu aeroenergetyki, które nie tylko nie przyczyniają się do osiągnięcia wymiernych celów gospodarczych i ekonomicznych, ale także umożliwiają realizację postulatu tworzenia społeczeństwa opartego na trwałym, zrównoważonym rozwoju. Cele programu ekologicznej ścieżki edukacyjnej mogą być realizowane na przykładzie analizy możliwości energetycznego wykorzystania wiatru.

Edukacja ekologiczna, opracowania, wdrożenia i badania efektywności techniczno-ekonomicznej ekologicznego systemu wytwarzania energii to poważne przedsięwzięcie. Podstawowy cel przedsięwzięcia aeroenergetycznego to uzyskanie korzyści z wykorzystania źródeł energii odnawialnych oraz w aspekcie dydaktycznym popularyzacja i promocja źródeł energii odnawialnej. Analiza ostatnich kilku dziesięcioleci wskazuje na wykładniczy charakter konsumpcji energii i skażenia środowiska naturalnego produktami spalania. Bez wprowadzenia środków zaradczych, takich jak oszczędzanie energii, wdrażanie nowych technologii, zastępowanie tradycyjnych nośników energii innymi, bardziej przyjaznymi dla środowiska naturalnego i niekonwencjonalnymi jej formami, trudno będzie zahamować dalszą degradację środowiska naturalnego. Działania, takie jak wdrażanie i propagowanie nowych, niekonwencjonalnych źródeł energii, głównie odnawialnych oraz poszukiwanie i eliminowanie wszelkich strat energii – zwłaszcza cieplnej i elektrycznej – w dużej mierze mogą przyczynić się do zahamowania degradacji środowiska naturalnego.

Bibliografia

- [1] Gumuła S., Pytel K., Stępniewski Ł., *Wpływ parametrów konstrukcyjnych wirnika elektrowni wiatrowej na sprawność konwersji energii wiatru w energię mechaniczną*, *Mechanika (Kraków)*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2001, z. 4, t. 20, s. 401–414
- [2] Gumuła S., Pytel K., Stępniewski Ł., *Wpływ warunków pracy wirnika elektrowni wiatrowej na konwersję energii wiatru w energię mechaniczną*, *Mechanika (Kraków)*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków 2001, z. 4, t. 20, s. 425–433
- [3] Noga H., *Ekologia stanowiska komputerowego*, Wychowanie Techniczne w szkole 1998, nr 5, s. 296–298

Wind energy as a symbiosis of social, economic and educational benefits

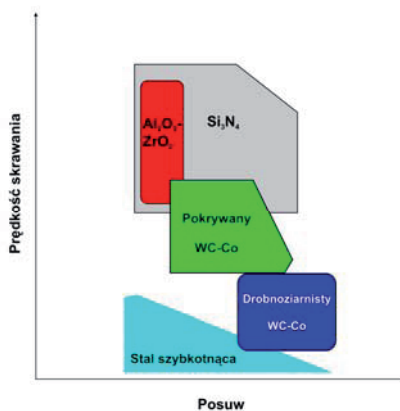
Abstract

Energy industry is the cornerstone of the economy of each country, because wind energy is used by all sectors of the economy commerce. It is possible to estimate the price of energy in the energy market and to adapt it to invest in renewable energy sources. Analysis of the profitability of investing in wind energy was conducted. In this publication were presented aspects of social, economic and educational of wind energy projects.

Keywords: wind energy, ecology, RES

*Magdalena Szutkowska, Barbara Smuk***Kompozyty ceramiczne na osnowie tlenku glinu**

Najbardziej znaną i najstarszą grupę ceramicznych materiałów narzędziowych stanowi ceramika tlenkowa, tzw. biała ceramika bazująca na chemicznie i termicznie stabilnym tlenku glinu. Spieki $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ charakteryzują się kombinacją szeregu użytecznych właściwości fizycznych, lecz ich szersze zastosowanie w przemyśle narzędziowym jest ograniczone z powodu ich kruchości. Zaletą zaawansowanych konstrukcyjnych materiałów ceramicznych jest to, że zachowują one dobre właściwości wytrzymałościowe do wysokich temperatur przy dużych prędkościach skrawania (rys. 1).



Rys. 1. Porównanie wybranych materiałów narzędziowych z punktu widzenia dopuszczalnego posuwu i prędkości skrawania [1]

Wybór materiału przeznaczonego na ostrza narzędzi skrawających, szczególnie w przypadku dokładnej i wysokowydajnej obróbki, jest kompromisem pomiędzy materiałem o wysokiej odporności na zużycie ścierne, jego odpornością na kruche pękanie i pasywnością chemiczną pomiędzy materiałem obrabianym i materiałem narzędzia. W celu zwiększenia odporności na pękanie spieków z tlenku glinu, wykorzystuje się technikę dyspersji cząstek drugiej fazy o znacznej różnicy współczynnika rozszerzalności cieplnej w stosunku do materiału osnowy. Wprowadzając przez odpowiednie zabiegi technologiczne tlenek cyrkonu ZrO_2 w ilości 3–15% (obj.) do

Al_2O_3 , otrzymujemy kompozyt ziarnisty typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$. Zjawisko wzmacniania transformacyjnego, oparte na przemianie polimorficznej o charakterze martenzytycznym odmiany tetragonalnej tlenku cyrkonu $\text{ZrO}_2^{(t)}$ w odmianę jednoskośną $\text{ZrO}_2^{(o)}$, podczas studzenia od temperatury spiekania do temperatury otoczenia powoduje wzrost wytrzymałości i/lub odporności na pękanie tych tworzyw. Maschio [2] przypisuje metastabilnej tetragonalnej fazie ZrO_2 również rolę czynnika wpływającego na wzrost zarówno wytrzymałości, jak i odporności na pękanie. Wynika to ze zmiany objętości i kształtu towarzyszącemu przemianie polimorficznej, wywołanej przez pole naprężeń rozciągających na końcu pęknięcia. Natomiast obecność odmiany jednoskośnej z kontrolowanymi mikrospeknięciami decyduje o zwiększeniu odporności na pękanie. Przebieg tej przemiany zależy głównie od wielkości cząstek ZrO_2 . Krytyczna wielkość ulegających przemianie tetragonalnej ziaren $D_c^{(t)}$, jak również krytyczna wielkość ziaren powodujących mikropęknięcia $D_c^{(o)}$ zależą od czynników związanych z doбором materiału i stosowanym procesem technologicznym. Efekt podwyższania wielkości krytycznej cząstki ZrO_2 i obniżenia temperatury przemiany polimorficznej można uzyskać przez wprowadzenie do ZrO_2 stabilizatora w postaci np. MgO , Y_2O_3 , CaO , CeO_2 . Badania [3,4] potwierdziły istnienie granicznego udziału stabilizatora, powyżej którego tetragonalna czy regularna odmiana ZrO_2 staje się niezdolna do przemiany, a zatem nieprzydatna do wzmacniania ceramicznych tworzyw tlenkowych. Dlatego też przez dokładne i umiejętne dozowanie dodatku ZrO_2 o określonej wielkości cząstek oraz/lub przez jego częściową stabilizację dodatkami Y_2O_3 można otrzymać ceramikę tlenkową wzmocnioną, o zwiększonej w porównaniu z ceramiką tlenkową Al_2O_3 wytrzymałości na zginanie (o ok. 40%) i/lub odporności na pękanie, przy równoczesnym zachowaniu odporności na zużycie ścierne [5].

Badania własne

Technologię kompozytów typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ oparto na bazie tlenku glinu zawierającego 90% odmiany alfa, czystości 99,8% i średniej wielkości krystalitów submikronowych ok. 0,5 μm oraz o rozmiarach nanometrycznych. Badania przeprowadzono w dwóch grupach tworzyw, które w stanie wyjściowym oprócz tlenku glinu zawierały 4,2÷35% (mas.) dodatku ZrO_2 , różniące się składem fazowym oraz tworzyw z dodatkiem TiC o wielkości krystalitów poniżej 130 nm. W pierwszej grupie zastosowano proszek ZrO_2 częściowo stabilizowany 5,3% (mas.) Y_2O_3 -(ZY5) zawierający dwutlenek cyrkonu w odmianie jednoskośnej, tetragonalnej i regularnej (tworzywo 1, 2, 3) oraz mieszaninę drobnoziarnistych proszków jednoskośnego $\text{ZrO}_2^{(o)}$ z 5,3% (mas.) Y_2O_3 (tworzywo 4, 5). W drugiej grupie bazowano na tworzywach o składzie Al_2O_3 (85% masy)- $\text{ZrO}_{2(\text{Y2O3})}$ (10% masy)- TiC (5,0% masy). Tlenek glinu oraz tlenek cyrkonu częściowo stabilizowany Y_2O_3 stanowił mieszaninę proszków submikronowych i nanometrycznych. Oznaczenie oraz skład wyjściowy wybranych sześciu wariantów materiałów przeznaczonych do badań przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Oznaczenie oraz skład wybranych materiałów

Oznaczenie tworzywa	Skład tworzywa w % (mas.)				
	Al_2O_3	ZY5	$\text{ZrO}_2^{(j)}$	$\text{ZrO}_2^{(j)} + 5,3\%$ (mas.) Y_2O_3	TiC
1	80,0	20,0	–	–	
2	70,0	30,0	–	–	
3	80,0	–	20,0	–	
4	80,0	–	–	20,0	
5	70,0	–	–	30,0	
6	85,0 (45nm+45μm)	10,0 (5,0 nm +5,0 μm)		–	5,0 (<130 nm)

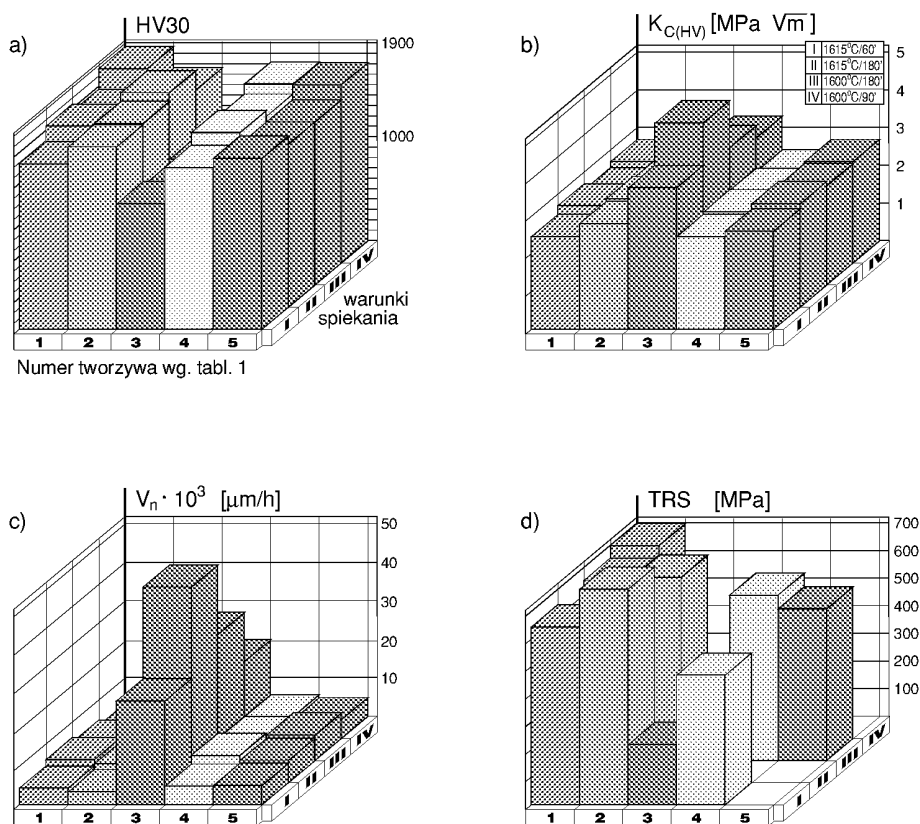
Zestawy tworzyw po ujednorodnieniu, uplastycznieniu i suszeniu granulowano. Próbkę do badań wykonano w postaci wałeczków o średnicy 8 mm (gęstość, twardość, odporność na pękanie powierzchniowe $K_{C(HV)}$), beleczek $5 \times 5 \times 12 \pm 0,1 \text{ mm}^3$ (doraźna wytrzymałość na zginanie TRS) oraz płytek kwadratowych $16,5 \times 16,5 \times 6,5 \text{ mm}^3$ do prób skrawania. Dogęszczone izostatycznie próbki pod ciśnieniem ok. 250 MPa suszono, a następnie spiekano w piecu elektrycznym wysokotemperaturowym ze stałą szybkością grzania i chłodzenia pieca do maksymalnej temperatury 1600 i 1615°C, stosując czas wytrzymania 60, 90 i 180 min. Próbkę z dodatkiem TiC spiekano w piecu próżniowym typu MOV 3 Balzers przy temperaturze ok. 1700°C przez 60 min. Dla badanych materiałów wykonano pomiary: twardości Vickersa $HV30$, doraźnej wytrzymałości na zginanie TRS , odporności na pękanie powierzchniowe $K_{C(HV)}$, odporności na zużycie ściernie wyznaczonej z szybkości ubytku masy. Obserwację struktury próbek trawionych w próżni przeprowadzono na mikroskopie skaningowym. Badania rentgenowskie umożliwiły identyfikację odmian krystalograficznych ZrO_2 występujących w proszkach wyjściowych oraz ilościową ocenę udziału odmiany jednoskośnej (j) i tetragonalnej (t) w wybranych spiekach. Właściwości użytkowe badanych materiałów sprawdzono podczas prób eksploatacyjnych. Z badanych spieków wykonano płytki SNGN 12 08 12 i przeprowadzono testowe próby skrawania stali 38HMJ przy następujących parametrach: prędkość skrawania– $v_c=150\text{m/min}$, posuw– $f=0,15 \text{ mm/obrot}$, głębokość skrawania– $a_p=0,50 \text{ mm}$.

Wyniki badań

Wyniki uzyskane z badań właściwości mechanicznych kompozytu ceramicznego typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ dla różnych cykli spiekania przedstawiono na rys. 2.

Kompozyty ceramiczne na bazie Al_2O_3 z dodatkiem 20 i 30% (mas.) ZrO_2 (ZY5) spiekane przy parametrach 1615°C przez 60 min. wykazały najlepsze właściwości mechaniczne i skrawne spośród badanych składów tworzyw.

Właściwości fizyczne i mechaniczne kompozytów z dodatkiem węgla tytanu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$ przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 2. Właściwości mechaniczne kompozytów ceramicznych typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$: a) twardość HV30, b) odporność na pękanie powierzchniowe $K_{C(HV)}$, c) odporność na ścieranie V_n , d) doraźna wytrzymałość na zginanie TRS.

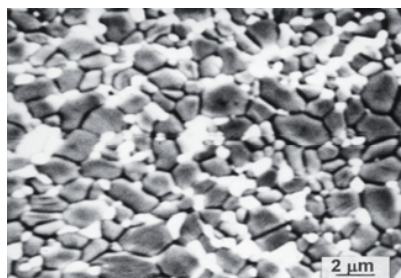
Tab. 2. Właściwości fizyczne i mechaniczne kompozytów $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$

Oznaczenie spieku	Gęstość pozorna ρ_p [g/cm^3]	Porowatość P_o [%]	Gęstość teoretyczna ρ_t [g/cm^3]	Moduł Younga E [GPa]	$v_n \cdot 10^3$ [$\mu\text{m}/\text{h}$]	Twardość HV1	Odporność na pękanie
6	4,062	0,0	96,4	358	4,85	1832	4,37

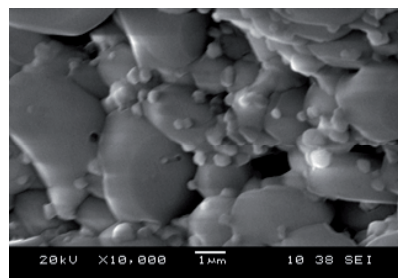
Kompozyt typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$ z dodatkiem nanoproszków charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi, a jego odporność na pękanie jest najwyższa spośród badanych tworzyw spiekanych ($4,37 \text{ MPa m}^{1/2}$).

Mikrostrukturę kompozytów z dodatkiem ZrO_2 częściowo stabilizowanym (ZY5)- (próbka 2) oraz kompozytu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$ (próbka 6) przedstawiono na rys. 3.

a)



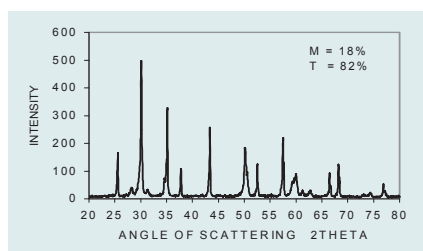
b)



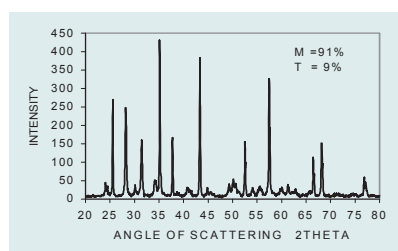
Rys. 3. Mikrostruktura kompozytów: a) typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ z udziałem 30% (mas.) ZY5; b) typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$

Analizę składu fazowego kompozytu z dodatkiem ZrO_2 : stabilizowanego (ZY5)–próbka 2 i kompozytu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$ (próbka 6) przedstawiono na rys. 4.

a)



b)



Rys. 4. Dyfraktogram kompozytu typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ z dodatkiem: a) stabilizowanego ZrO_2 (ZY5), b) niestabilizowanego jednoskośnego ZrO_2 ⁽¹⁾.

Podwyższenie odporności na zużycie ścierne i doraźnej wytrzymałości na zginanie jest związane z obecnością metastabilnej tetragonalnej odmiany ZrO_2 ^(t) w ilości ponad 80%. Udział (ok. 90%) niestabilizowanej jednoskośnej odmiany ZrO_2 ^(j) powoduje znaczne obniżenie odporności na zużycie ścierne spieku (3), a tym samym staje się on materiałem nieprzydatnym na narzędzia skrawające.

Próba toczenia stali 38HJ o twardości 229 HB w czasie $T=30$ min. wykazała trzykrotnie mniejsze zużycie kompozytu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$ z dodatkiem nanoproszków w porównaniu do płytek skrawających wykonanych z kompozytu o tym samym składzie z udziałem proszku o wielkości ziaren od 0,5 do 1,5 μm .

Wnioski

1. Nowy gatunek kompozytu narzędziowego $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiC}$ z dodatkiem nanoproszków charakteryzuje się najwyższymi właściwościami wytrzymałościowymi i użytkowymi spośród badanych tworzyw spiekanych.
2. Zastosowanie tych materiałów w próbach skrawania przyczyni się do powiększenia obszaru zastosowania ceramiki zarówno do obróbki średniodkładnej, jak i zgrubej żeliwa oraz stali węglowej.

Bibliografia

- [1] Riedel R., *Handbook of Ceramic Hard Materials*, vol. 1, 2, Wiley-Vch, 2000
- [2] Maschio S., *Mechanical Properties and Microstructure of CeO₂ Stabilized ZrO₂/Al₂O₃ Composites*, Interceram 1995, no 44, p. 2
- [3] Tomaszewski H., Kulczycki A., *Wpływ stopnia stabilizacji ZrO₂ tlenkiem itrowym na właściwości termomechaniczne ceramiki z układu Al₂O₃ – ZrO₂*, Inżynieria Materiałowa 1990, s. 6
- [4] Lin C.L., [et al.], *The Effects of TiO₂ Additions on the Microstructure and Transformation of ZrO₂ with 3 and 6 Mole % Y₂O₃*, Mater. Sci. Eng., A 129 1990
- [5] Wysiecki M., *Nowoczesne materiały narzędziowe*, WNT, Warszawa 1997

Ceramic composites with alumina matrix

Abstract

A series of zirconia toughened alumina ceramics (ZTA) of Al₂O₃-ZrO₂ having different forms and amounts of ZrO₂ (unstabilized monoclinic ZrO₂^(m), partially stabilized ZrO₂ with Y₂O₃) and composites type Al₂O₃-ZrO₂-TiC were tested. Al₂O₃-ZrO₂ composites with zirconia stabilized (ZYS) and Al₂O₃-ZrO₂-TiC composites with addition of nanopowders are characterized by the best mechanical properties. These composites give the greater wear resistance, transverse rupture strength (even about 80%), durability of cutting edge and the better toughness at the same hardness, in comparison with pure Al₂O₃ ceramics.

Key words: alumina, ceramic composites, nanopowder

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

*Ireneusz Telejko, Henryk Adrian, Renata Staśko,
Katarzyna Pakiet, Marcin Pakiet*

Badanie hartowności niskostopowego staliwa konstrukcyjnego

Zagadnienie doboru materiału, dającego gwarancję bezpiecznej pracy projektowanej części, sprowadza się do ustalenia koniecznego minimum istotnych właściwości, a następnie znalezienie materiału, który spełnia te wymagania przy najmniejszym koszcie. Określenie koniecznego minimum właściwości wymaga znajomości warunków pracy danej części na podstawie obliczeń konstrukcyjnych, uprzedniego doświadczenia lub prób praktycznych.

Najczęściej maszyny i urządzenia narażone są na obciążenia mechaniczne, środowisko w którym pracują nie jest agresywne pod względem chemicznym, a temperatura pracy mieści się w zakresie 40–300°C. Materiały takie kwalifikuje się jako materiały konstrukcyjne.

Uważa się, że wystarczającą charakterystyką materiałów konstrukcyjnych są ich właściwości mechaniczne. Spośród odlewniczych stopów metali najważniejszym materiałem konstrukcyjnym jest staliwo. Powszechnie stosowanym sposobem badania właściwości mechanicznych staliwa jest próba rozciągania. Wielkości określone z wykresu w próbie rozciągania: umowna granica plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie – uważa się za miarę wytrzymałości materiału, natomiast wydłużenie i przewężenie są miarami ciągliwości. Inne ważniejsze właściwości mechaniczne to: twardość, udarność, odporność na zmęczenie, wytrzymałość na ściskanie, zginanie, skręcanie. Uważa się, że znajomość wymienionych właściwości jest wystarczająca dla prawidłowego doboru materiału na określony wyrób.

Hartowność jako kryterium doboru gatunku staliwa konstrukcyjnego

Wymieniony zestaw informacji o staliwie nie uwzględnia bardzo ważnego, niekiedy decydującego wymogu: dobór gatunku staliwa powinien zapewnić właściwości mechaniczne zapobiegające skutkom działania naprężeń o określonej wartości, jakie powstają w czasie pracy w strefie materiału w stanie odlanym leżącego na określonej głębokości pod jego powierzchnią. Staliwo o strukturze składającej się z kulestego, o dużym stopniu dyspersji cementytu, równomiernie rozmieszczonego w ferrycie charakteryzuje się najlepszym połączeniem właściwości wytrzymałościowych i plastycznych, a także największym stosunkiem R_e/R_m , który jest bardzo ważnym wskaźnikiem jakości materiałów konstrukcyjnych. Taką strukturę można

uzyskać tylko za pośrednictwem martenzytu. Jedynie w przypadku zahartowania na martenzyt staliwo po odpuszczaniu w niskiej temperaturze ma największą twardość, po odpuszczaniu w wysokiej – najlepszą ciągliwość. Gdy struktura staliwa po operacji hartowania nie jest martenzytyczna, granica plastyczności po odpuszczaniu przy tej samej wytrzymałości i twardości jest niższa (a tym samym niższy stosunek R_e/R_m) niż wówczas, gdy po hartowaniu otrzymuje się martenzyt. Na rodzaj struktury po hartowaniu, podobnie jak granica plastyczności reaguje przewężenie, a w jeszcze silniejszym stopniu udarność. Przy zmianie struktury ze 100 do 80% martenzytu obniżenie właściwości mechanicznych nie jest duże, ale przy strukturze zawierającej mniej niż 50% martenzytu obniżenie może być bardzo znaczne. Ogólnie można stwierdzić, że im większa jest zawartość martenzytu w strukturze hartowanego staliwa, tym lepsze są jego właściwości mechaniczne po odpuszczaniu. Przez hartowanie i różne temperatury odpuszczania można uzyskiwać różne właściwości tego samego staliwa, odpowiednio do wymagań odpowiadających warunkom pracy tej czy innej części.

Zdolność staliwa do tworzenia struktury martenzytycznej w procesie hartowania nazywa się hartownością. Określa ona, jak głęboko można zahartować staliwo na martenzyt. Jeżeli ścianka odlewu nie jest zahartowana na wskroś na martenzyt i zamiast martenzytu występują w jej rdzeniu produkty dyfuzyjnego rozpadu przechłodzonego austenitu, to wystąpi niejednorodność właściwości mechanicznych na przekroju ścianki. Właściwości mechaniczne stref zewnętrznych zahartowanych na martenzyt są wyższe od właściwości mechanicznych w rdzeniu.

W temperaturze pokojowej lub nieznacznie się od niej różniącej właściwości mechaniczne różnych gatunków staliwa konstrukcyjnego zahartowanego na martenzyt i następnie odpuszczonego do tej samej twardości wykazują tylko niewielkie różnice (są praktycznie jednakowe), niezależnie od składu chemicznego stali. Dostateczna hartowność (wymagana zawartość martenzytu w strukturze po hartowaniu) w ogromnej większości zastosowań praktycznych zapewnia otrzymanie podstawowych właściwości mechanicznych staliwa w stanie ulepszonym cieplnie, wystarczających dla normalnych wymagań konstrukcyjnych. Obróbka cieplna staliwa o niedostatecznej hartowności nie pozwala uzyskać w środkowych warstwach wyrobu maksymalnych dla danego staliwa właściwości mechanicznych; może to obniżać wartość użytkową przedmiotu z tego staliwa. Jednocześnie zwiększenie hartowności pociąga za sobą większe zużycie pierwiastków stopowych; zbyt duża hartowność to marnotrawstwo pierwiastków stopowych i niepotrzebne powiększanie kosztu wyrobu.

Z przedstawionych rozważań wynika, że znajomość hartowności umożliwia najwłaściwszy dobór składu chemicznego staliwa stosowanego na części maszyn i urządzeń. Znajomość hartowności jest wprost niezbędna dla doboru gatunku staliwa na określony wyrób aby, w zależności od wymiarów i kształtu wyrobu, otrzymać strukturę odpuszczonego martenzytu w założonym przekroju (w całym albo tylko w jego części) hartowanego przedmiotu. Zawartość pierwiastków stopowych w staliwie nie powinna być większa niż konieczna dla zapewnienia hartowności dostosowanej do wymiarów przedmiotu i sposobu hartowania. Jeżeli rozkład naprężeń w przekroju pracującej części jest taki, że naprężenia, największe w warstwie powierzchniowej zmniejszają się w kierunku do jego środka, można stosować staliwo

o hartowności mniejszej, ale dostatecznej dla zapewnienia właściwości odpowiednich do obciążenia poszczególnych części przekroju.

Miarą hartowności jest idealna średnica krytyczna D_i , to jest maksymalna średnica pręta, przy której po zahartowaniu w ośrodku o nieskończenie dużej zdolności chłodzącej uzyskuje się w osi pręta strukturę o określonej zawartości martenzytu, lecz nie mniejszej niż 50%. Struktura półmartenzytyczna ma szczególne znaczenie dlatego, że zawartość 50% martenzytu w środku przekroju jest wystarczająca dla większości zastosowań praktycznych staliwa. Bardzo przydatnym miernikiem liczbowym, służącym do porównania hartowności różnych gatunków staliwa, jest średnica krytyczna D_k , to jest średnica pręta o strukturze rdzenia półmartenzytycznej hartowanego w ośrodku o znanej zdolności chłodzącej. Średnicę krytyczną wyznacza się metodą doświadczalną lub obliczeniową.

Metodą doświadczalną stosowaną do stali i staliw konstrukcyjnych jest próba hartowania od czoła [1]. Według powszechnie akceptowanej metody obliczeniowej, opracowanej w 1942 roku przez Grossmanna [2], wpływ pierwiastków stopowych i wielkości ziarna austenitu na wartość idealnej średnicy krytycznej oblicza się za pomocą określonych doświadczalnie współczynników hartowności. Niewątpliwą zaletą metody obliczeniowej jest krótki czas i niski koszt uzyskania wyników. Metoda ma jednak zasadniczą wadę; wpływ tego samego pierwiastka na hartowność jest różny i zależy od składu chemicznego stali. Jest to zrozumiałe, ponieważ pierwiastki stopowe rozpuszczone w austenicie oddziałują wzajemnie na aktywność chemiczną, a przez to na kinetykę rozpadu austenitu. W literaturze opublikowano dużą liczbę różniących się danych dotyczących wpływu składu chemicznego stali na wartość idealnej średnicy krytycznej. Ich obszerny przegląd przedstawił Doane [3]. Stal jest materiałem przerobionym plastycznie, jej struktura wykazuje znaczne różnice w stosunku do staliwa o tym samym składzie chemicznym - materiału w stanie lanym, nie poddanego przeróbce plastycznej. Powstaje zatem pytanie, czy dane literaturowe do obliczania hartowności stali można przenosić na staliwo. Celem pracy było sprawdzenie, czy publikowane dane do obliczania D_i stali konstrukcyjnych mogą być stosowane do przewidywania hartowności staliwa, oraz dobór tych danych dla zapewnienia zgodności obliczeń z pomiarami hartowności staliwa.

Materiał i metodyka badań

Do przeprowadzenia badań zostały wykorzystane dwa gatunki staliwa konstrukcyjnego L20HM oraz L20G. Staliwo wytapiano w 7-tonowym piecu elektrycznym łukowym o wyłożeniu zasadowym według technologii z pełnym utlenieniem. Spust stali o temperaturze 1630°C przeprowadzono do kadzi wyłożonej materiałem ogniotrwałym kwaśnym. Do kadzi dodano 1 kg/Mg aluminium w celu odtlenienia staliwa. Następnie z kadzi odlano wlewki próbne o kształcie trójkątnej koniczyny według normy PN-76/H-04309. Wlewki zostały poddane procesowi wyżarzania normalizującego w temperaturze 850°C. Skład chemiczny wytopionych gatunków staliwa podano w tabeli 1.

Tab. 1. Skład chemiczny badanych gatunków staliwa

Gatunek staliwa	Skład chemiczny (%)											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Al	V	Nb
L20HM	0,17	0,60	0,50	0,019	0,011	0,62	0,11	0,39	0,003	0,14	0,003	0,004
L20G	0,25	1,16	0,56	0,014	0,029	0,07	0,08	0,05	0,03	0,05	–	–

Z wlewków próbnych przygotowano standardowe próbki do pomiaru hartowności metodą Jominy'ego. Nagrzewanie próbek przeprowadzono w komorowym piecu elektrycznym z atmosferą ochronną argonu. Oznakowane próbki austenitzowano w dwóch temperaturach: 920 oraz 1020°C. Czas wygrzewania próbek w piecu wynosił 30 minut. Próbki wyciągnięte z pieca przeniesiono do urządzenia do badania hartowności w czasie nie dłuższym niż 5 sekund i poddano próbie hartowania od czoła. Po procesie hartowania, w celu dokonania pomiarów twardości, zostało wykonane szlifowanie czterech równoległych do osi próbki powierzchni na głębokość 0,5 mm. Powierzchnie na których badano twardość były przesunięte względem siebie o kąt 90°. Do pomiarów został użyty twardościomierz Rockwella.

Z próbek Jominy'ego wycięto odcinki o długości 30 mm od czoła, które zostały poddane automatycznemu szlifowaniu oraz polerowaniu przy użyciu szlifierko-polerki Struers TegraPol-11. Aby ujawnić granice ziarn byłego austenitu staliwa, próbki trawiono w nasyconym wodnym roztworze kwasu pikrynowego z dodatkiem środka zmniejszającego napięcie powierzchniowe. Czas trawienia wynosił 25–30 min. Powierzchnie zgłądów obserwowano, wykorzystując mikroskopy świetlne: Nikon, Olympus i Leica. Zarejestrowane obrazy zostały wykorzystane do ilościowej oceny długości cięciw ziarn byłego austenitu przy pomocy programu komputerowego Sigma Scan Pro [4].

Do obliczenia idealnej średnicy krytycznej oraz sporządzenia krzywej hartowności badanych gatunków staliwa wykorzystano program komputerowy Har_Temp, opisany w pracy [5]. Program służy do obliczania idealnej średnicy krytycznej metodą analityczną Grossmanna oraz pozwala na obliczanie krzywej hartowności. W programie wykorzystuje się dane [2; 6–8] dotyczące wpływu pierwiastków stopowych na wartość idealnej średnicy krytycznej, informacje o wpływie zawartości węgla na twardość struktur zawierających 50–100% martenzytu [9], zależność pomiędzy idealną średnicą krytyczną a odległością od chłodzonego czoła strefy półmartenzytycznej [10]. Ponadto opierając się na danych [11–14] można obliczyć krzywą hartowności na podstawie znajomości wartości D_i oraz krzywą rozkładu twardości na przekroju pręta o założonej średnicy, chłodzonego z temperatury austenitzowania w ośrodku o znanej intensywności chłodzenia przeprowadza się, wykorzystując dane Craftsa i Lamontsa [15].

Wyniki badań

Pomiary twardości

W celu wyznaczenia odległości od czoła strefy półmartenzytycznej l_k , dokonano pomiarów rozkładu twardości względem odległości od ciała na czterech uprzednio zeszlifowanych powierzchniach próbki Jominy'ego. Dla każdej odległości od czoła obliczono wartość średnią twardości HRC_{sr} . Wyniki pomiarów zamieszczono w tabelach 2–5.

Tab. 2. Wyniki pomiarów twardości na próbkach Jominy'ego ze staliwa L20HM po hartowaniu w temperaturze 920°C

l (mm)	HRC_1	HRC_2	HRC_3	HRC_4	HRC_{sr}
1,5	45	44,5	54,5	54	44,75
3	44,5	43,5	41	52,5	44,00
5	41,5	39	36	64	40,25
7	37	33,5	44	40,5	35,25
9	32,5	32	30	36,5	32,25
11	29,5	29	29	33,5	29,25
13	27,5	28	25	29	27,75
15	26,5	26	23,5	26	26,25
20	23	24,5	30	25	23,75
25	22,5	22	33	21	22,25
30	20,5	21,5	20	24	21,00
35	20,5	21	29,5	18	20,75
40	20	19,5	40	18,5	19,75
45	19,5	19	17	17	19,25
50	19	18	18	16	18,50

Tab. 3. Wyniki pomiarów twardości na próbkach Jominy'ego ze staliwa L20HM po hartowaniu w temperaturze 1020°C

l (mm)	HRC_1	HRC_2	HRC_3	HRC_4	HRC_{sr}
1,5	46,5	46,5	52,5	42,5	47,00
3	46,5	46,5	41,5	41	43,88
5	43,5	41	39	37,5	40,25
7	40	37,5	34,5	34,5	36,63
9	37	34	32	32	33,75
11	35	32,5	30	30	31,88
13	33	31	27	27,5	29,63
15	32	30,5	28	27	29,38
20	30,5	27	25	25	26,88
25	29,5	27	24	24	26,13
30	29,5	26	22,5	23,5	25,38
35	26	25,5	22	22	23,88
40	26	24,5	21,5	21,5	23,38
45	25	25,5	21	21,5	23,25
50	24,5	24	20,5	22	22,75

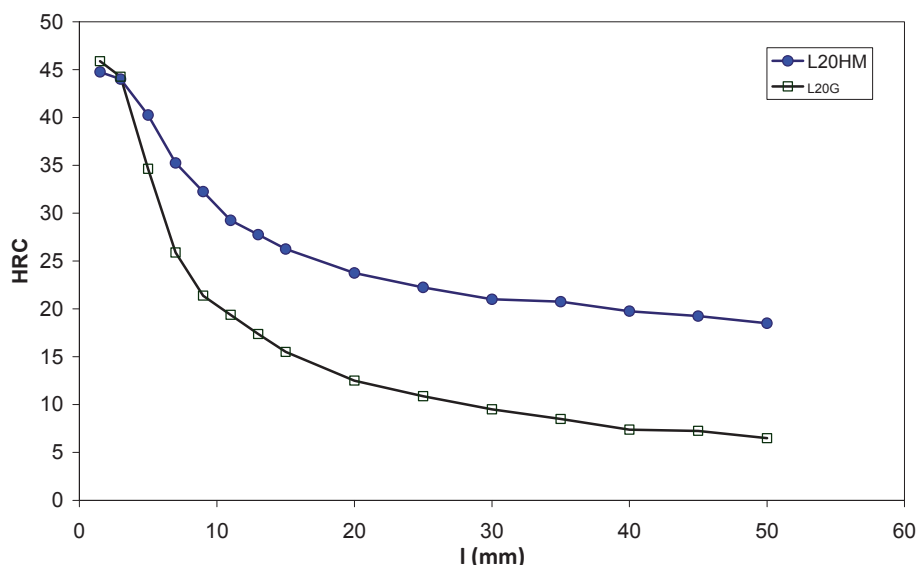
Tab. 4. Wyniki pomiarów twardości na próbkach Jominy'ego ze staliwa L20G po hartowaniu w temperaturze 920°C

l, mm	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC _{fr}
1,5	49	49	43,5	42	45,88
3	48	47	42	40	44,25
5	36	38,5	33	31	34,63
7	27	28	24	24,5	25,88
9	22	23	20,5	20	21,38
11	20,5	20	19	18	19,38
13	18,5	19	16	16	17,38
15	17	17	14	14	15,50
20	13,5	13,5	11,5	11,5	12,50
25	12,5	11,5	10	9,5	10,88
30	10	10	9	9	9,50
35	9,5	9	8,5	7	8,50
40	9	7,5	7	6	7,38
45	8,5	7,5	7	6	7,25
50	8,5	6	6	5,5	6,5

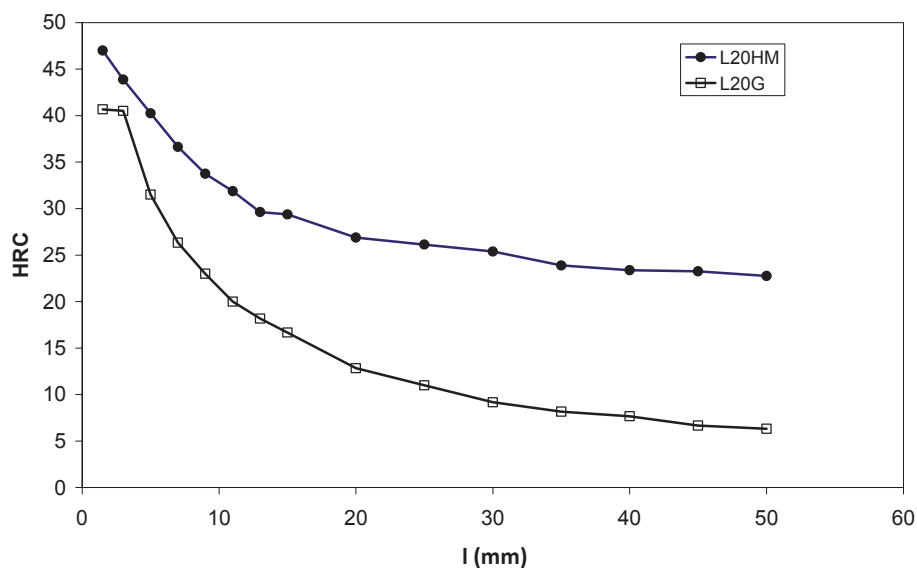
Tab. 5. Wyniki pomiarów twardości na próbkach Jominy'ego ze staliwa L20G po hartowaniu w temperaturze 1020°C

l, mm	HRC ₁	HRC ₂	HRC ₃	HRC ₄	HRC _{fr}
1,5	37	44	28,5	41	40,67
3	41,5	46	28	34	40,50
5	31,5	38	24	25	31,50
7	26,5	29,5	23	23	26,33
9	23,5	26	21	19,5	23,00
11	21	24	20	15	20,00
13	19,5	21	20	14	18,17
15	18,5	19	17,5	12,5	16,67
20	14	14	12,5	10,5	12,83
25	12	12,5	10	8,5	11,00
30	11	10,5	8,5	6	9,17
35	9	9,5	7,5	6	8,17
40	9	8,5	7	5,5	7,67
45	7,5	7	5,5	5,5	6,67
50	7	6,5	6,5	5,5	6,33

Jak widać, wyniki pomiarów twardości poszczególnych próbek wykazują różnice, zwłaszcza w pobliżu czoła próbki, co świadczy o występowaniu niejednorodności składu chemicznego staliwa. Wyniki średnich twardości HRC_{sr} posłużyły do sporządzenia krzywych hartowności badanych gatunków staliwa (rys. 1 i 2). Jak widać, przy obu temperaturach austenitzowania krzywa hartowności wytopu L20G leży poniżej krzywej wytopu L20HM.



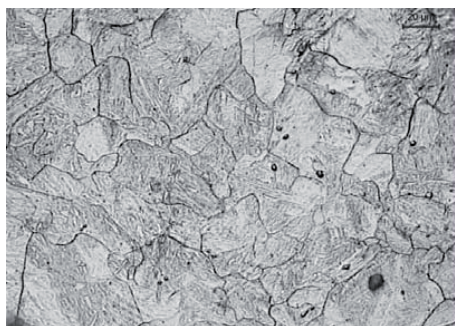
Rys. 1. Krzywe hartowności Jominy'ego staliwa L20G i L20HM po austenitzowaniu w temperaturze 920°C



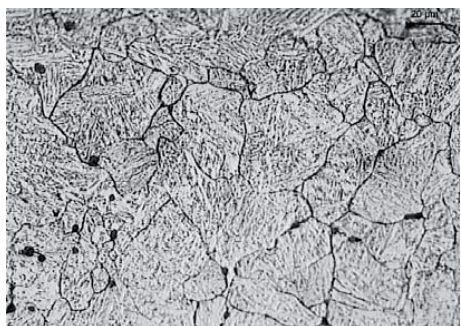
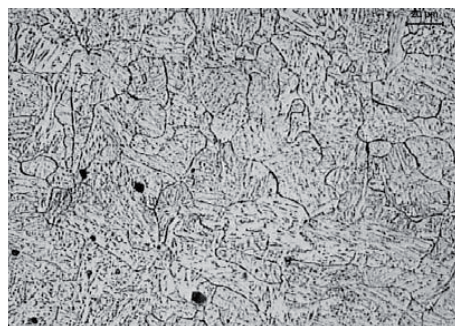
Rys. 2. Krzywe hartowności Jominy'ego staliwa L20G i L20HM po austenitzowaniu w temperaturze 1020°C

Przykłady mikrostruktur z ujawnionymi wielkościami ziarna byłego austenitu

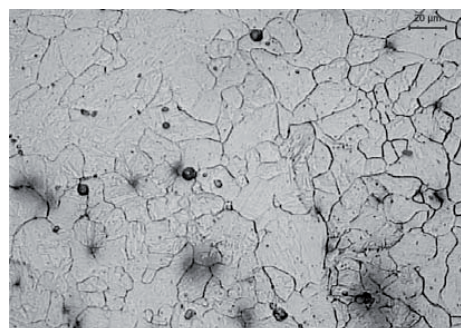
Przykłady mikrostruktur z ujawnionymi granicami ziarn byłego austenitu przy temperaturze austenitzowania 920 i 1020°C są zaprezentowane: dla staliwa L20HM na rys. 3 i 4, dla staliwa L20G – na rys. 5 i 6. Przy tej samej temperaturze austenitzowania staliwo L20G wykazywało większe ziarno austenitu. Wyniki pomiarów wielkości ziarna byłego austenitu zamieszczono w tabeli 3.



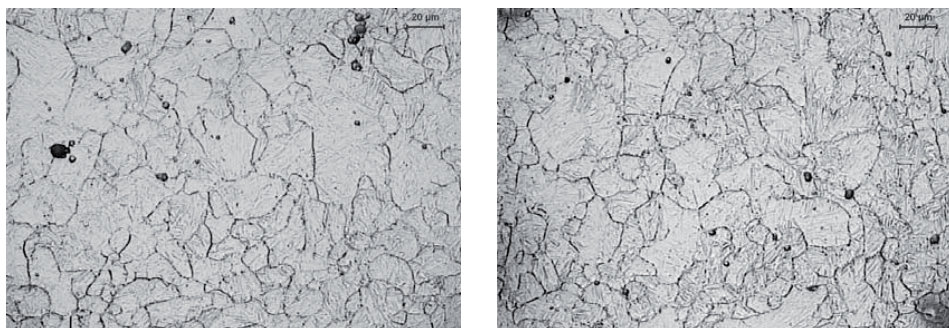
Rys. 3. Przykłady mikrostruktury staliwa L20HM austenitzowanego w temperaturze 920°C, z ujawnionymi granicami ziarn byłego austenitu



Rys. 4. Przykłady mikrostruktury staliwa L20HM austenitzowanego w temperaturze 1020°C, z ujawnionymi granicami ziarn byłego austenitu



Rys. 5. Przykłady mikrostruktury staliwa L20G austenitzowanego w temperaturze 920°C, z ujawnionymi granicami ziarn byłego austenitu



Rys. 6. Przykłady mikrostruktury staliwa L20G austenitowanego w temperaturze 1020°C, z ujawnionymi granicami ziarn byłego austenitu

Wyznaczanie parametrów hartowności

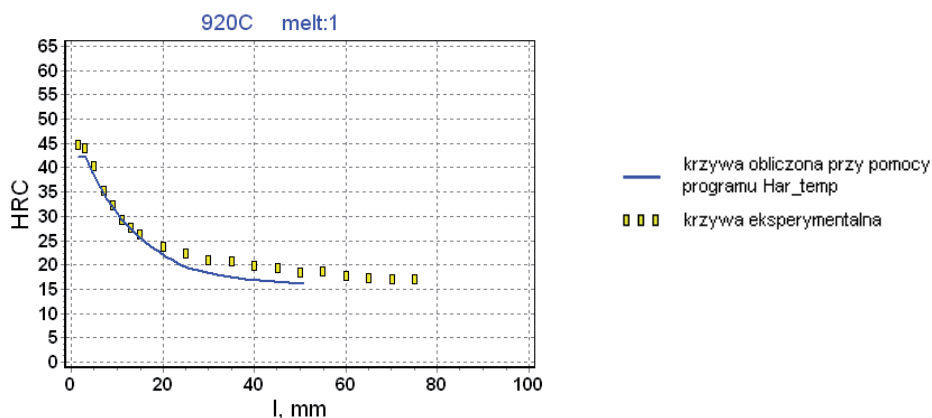
Do wyznaczenia wartości parametrów charakteryzujących hartowność badanych staliw wykorzystano doświadczalne krzywe hartowności zamieszczone na rysunkach 1 i 2. Korzystając z programu Har_Temp, na podstawie zawartości węgla w staliwie, określono twardość strefy półmartenzytycznej HRC_{50} , następnie znaleziono odpowiadające tej twardości odległości strefy półmartenzytycznej l_k oraz obliczono wartości idealnej średnicy krytycznej D_{ij} . Dla porównania obliczono – na podstawie znajomości składu chemicznego i wielkości ziarna austenitu – wartości idealnej średnicy D_i . Wykorzystując wartości D_i , obliczono również krzywe hartowności. Zestawienie wartości D_{ij} oraz D_i wraz z parametrami pośrednimi (HRC_{50} i l_k) oraz średniej długości cięciwy l i numeru wielkości ziarna austenitu według skali ASTM, numer ziarna zamieszczono w tablicy 3. Jak widać z zamieszczonych wyników, przy temperaturze 920°C uzyskano bardzo dobrą zgodność wartości idealnych średnic krytycznych określonych metodą doświadczalną i obliczeniową a różnice pomiędzy wartościami D_{ij} i D_i nie przekraczały 1 mm. Przy temperaturze 1020°C różnice te były większe i wynosiły ponad 8 mm dla staliwa L20HM i niecałe 6 mm dla staliwa L20G.

Tab. 6. Parametry hartowności staliwa i wielkości ziarna austenitu L20HM i L20G

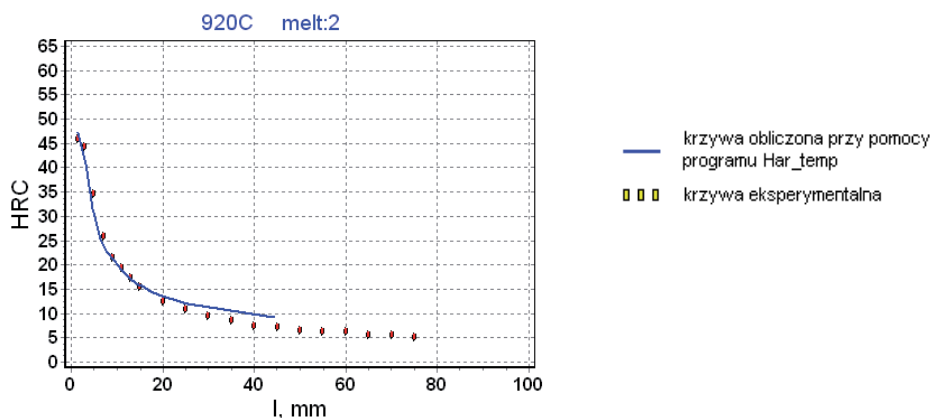
Gatunek	T_h (°C)	HRC_{50}	l_k (mm)	D_{ij} (mm)	D_i (mm)	l (μm)	Nr ziarna
L20HM	920	30,37	10,25	65,08	64,97	16,53	8,5
	1020	30,37	12,33	74,07	65,33	16,91	8,4
L20G	920	34,94	4,93	33,05	32,13	10,13	9,9
	1020	34,94	4,23	28,36	34,34	12,96	9,2

Na rys. 7 porównano krzywe hartowności badanych staliw dla temperatury hartowania 920°C, obliczone przy pomocy programu komputerowego Har_Temp na podstawie składu chemicznego i wielkości ziarna austenitu z krzywymi eksperymentalnymi. W obu wytopach stwierdzono bardzo dobrą zgodność krzywych, szczególnie w zakresie odległości od czoła nie przekraczających 20 mm, w którym mieści się odległość strefy półmartenzytycznej.

a)



b)



Rys. 7. Krzywe hartowności eksperymentalne oraz obliczone według programu Har_Temp. a) staliwo L20HM, b) staliwo L20G

Omówienie wyników

Przeprowadzono badania porównawcze hartowności dwu gatunków niskostopowych stali konstrukcyjnych, L20HM i L20G przy zastosowaniu eksperymentalnej metody hartowania od czoła i metody obliczeniowej Grossmanna. Badane staliwa znacznie różniły się hartownością ze względu na różnice w składzie chemicznym. Wyższą hartowność wykazywało staliwo L20HM zawierające 0,6% Mn, 0,62% Cr i 0,39% Mo, w porównaniu ze staliwem L20G, zawierającym 1,16% Mn. Dodatkową przyczyną niższej hartowności staliwa L20G było drobniejsze ziarno austenitu tego staliwa, które zawierało 0,03% Ti i 0,05% Al. Oba te pierwiastki sprzyjają drobnoziarnistości stali ze względu na powstające wydzielenia węglikoazotku

Ti(C,N) i azotku AlN, hamujące migrację granic ziarn austenitu w podwyższonych temperaturach. Jak wiadomo, zmniejszenie wielkości ziarna austenitu powoduje spadek hartowności, gdyż granice ziarn ułatwiają zarodkowanie produktów przemian dyfuzyjnych rozpadu przechłodzonego austenitu.

Przy temperaturze 920°C uzyskano bardzo dobrą zgodność obliczonych metodą analityczną Grossmanna i określonych na podstawie eksperymentalnej próby hartowania od czoła idealnych średnic krytycznych D_i i D_{ij} , które wynosiły ok. 65 mm i ok. 32–33 mm dla staliw odpowiednio L20HM i L20G. Świadczy to o tym, że metody stosowane do oceny hartowności stali są w pełni przydatne do oceny hartowności staliw. Tego należy się spodziewać, jeśli staliwo ma podobny do stali skład chemiczny, a w jego strukturze nie występują segregacje pierwiastków stopowych i odlew nie wykazuje porowatości. Oba te czynniki zmniejszają hartowność stopu. W badanych staliwach nie stwierdzono występowania porów, natomiast występowały segregacje składu chemicznego, powodujące występowanie różnic krzywych hartowności mierzonych w różnych miejscach tej samej próbki. Pomimo tych różnic obliczone wartości D_i i D_{ij} dla obu staliw były zbliżone. Na podkreślenie zasługuje również zadowalająca zgodność obliczonych i eksperymentalnych krzywych hartowności obu stali. Przy wyższej temperaturze austenitowania – 1020°C – różnice pomiędzy wartościami D_i i D_{ij} były większe.

Wnioski

1. Badane staliwa L30HM i L20G różniły się wielkością ziarna austenitu, przy stosowanych temperaturach austenitowania 920 i 1020°C. Mniejsze ziarno austenitu występowało w staliwie L20G, zawierającym 0,05% Al i 0,03% Ti.
2. Wyższą hartowność wykazywało staliwo L20HM w porównaniu do L20G ze względu na większą zawartość pierwiastków stopowych.
3. W staliwach prawdopodobnie występowały segregacje węgla i pierwiastków stopowych, powodujące występowanie różnic pomiędzy krzywymi hartowności mierzonych w różnych miejscach tych samych próbek Jominy'ego.
4. W obu staliwach stwierdzono bardzo dobrą zgodność określonych eksperymentalnie i obliczonych metodą analityczną Grossmanna (z wykorzystaniem danych [2]) wartości idealnych średnic krytycznych, przy temperaturze hartowania równej 920°C.
5. Stwierdzono zadowalającą zgodność eksperymentalnych i obliczonych (według danych [12]) krzywych hartowności obu staliw, przy temperaturze hartowania równej 920°C.

Bibliografia

- [1] Polska norma PN-EN ISO 642, Stal. Badanie hartowności metodą oziębiania (próba Jominy'ego)
- [2] Grossmann M.A., Trans. AIME, 1942, 150, 227–255
- [3] Doane D.V., *Hardenability Concepts with Application to Steels*, ed. D.V. Doane., AIME, 1979, s. 351–379
- [4] SigmaScan Pro Automated Image Analysis Software, User's Manual, Jandel Scientific Software, 1995

- [5] H. Adrian, R. Staśko, HUTNIK-Wiadomości Hutnicze 2006, nr 3, s. 113–120
- [6] Kramer I.R., Siegel S., Brooks G., Trans. AIME, 1946, vol. 167, pp. 670–697
- [7] DeRetana A.F., Doane D.V., Metal Progress, 1971, Sept., s. 65–69
- [8] Moser A.I., Legat A., Härterei-Techn. Mitt., 1969, vol. 24, pp. 100–105
- [9] Hodge J.M., Orehoski M.A., Trans. AIME, 1946, vol. 167, pp. 627–642
- [10] Grossmann M.A., *Elements of Hardenability*, American Society for Metals, Cleveland 1952
- [11] Boyd L.C., Field J., AISI Contribution to the Metallurgy of Steel, 1945, no. 12
- [12] Sponzilli J.T., Keith C.J., Walter C.H., ASM Metal Progress, 1975, vol. 108, s. 86–87
- [13] Eldis G.T., Calculation of the Jominy Curve for Carburising Steels, Climax Molibdenum Co. of Michigan, Report L-193–94, cyt. w "Hardenability Concepts with Application to Steels", ed. D.V. Doane., AIME, 1979, s. 372
- [14] Standard Method for End-Quench Test for Hardenability of Steel, Designation: A255-88
- [15] Crafts W. i Lamont J.L., *Hartowność i dobór stali*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1958

Investigation of the hardenability of cast steel

Abstract

The aim of the investigation was to verify if published data for calculation of the hardenability of steel can be used for calculation of hardenability of cast steel and the optimal selection of these data for obtaining the best agreement between calculated and experimental data. The analysis of the hardenability of low alloy cast steel was carried out using Jominy test and analytical Grossmann method. The optimal data for calculation of ideal critical diameter, D_i and Jominy curve were selected. The hardenability curves of cast steel measured on different planes of Jominy test show scatter on the contrary to forged steel. Results of investigations prove that data for calculation of hardenability parameters used for steel can be applied with sufficient accuracy for calculation the hardenability of cast steel. The hardenability of cast steel shows scatter of results. The analysis of the hardenability of cast steel can be carried out using the same data as for forged steel.

Keywords: hardenability, Jominy test, Grossmann method, calculation of Jominy curve

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Agnieszka Twardowska, Łukasz Łętocha

Technologie laserowe w inżynierii powierzchni

Intensywnie rozwijający się przemysł stawia coraz wyższe wymagania zarówno wobec materiałów konstrukcyjnych, jak i technologii ich wytwarzania. Najszybszy wzrost zapotrzebowania obserwuje się w obszarze tworzyw, które cechuje wysoka twardość, wytrzymałość zmęczeniowa, odporność na działanie wysokich temperatur, zużycie ścierne i korozję. Projektanci tworzyw konstrukcyjnych zmuszeni są zatem do opracowywania nowych materiałów lub udoskonalania już istniejących, np. poprzez odpowiednie uformowanie ich warstwy wierzchniej.

Warstwa wierzchnia, zgodnie z PN-87/M-04250, to „obszar materiału przylegający do powierzchni wraz z tą powierzchnią, którego właściwości fizyczne różnią się od pozostałej części materiału nazywanej rdzeniem” [1]. Właściwości użytkowe warstwy wierzchniej zależą od rodzaju materiału rdzenia i jego stanu wyjściowego oraz od rodzaju zastosowanej obróbki (mechanicznej, cieplnej lub cieplno-chemicznej). Warstwę wierzchnią charakteryzuje szereg cech, do których należą: chropowatość, mikrostruktura oraz właściwości fizyko-chemiczne, które są wynikiem zastosowanej technologii wytwarzania elementu.

Pojęcie „powłoka” definiowane jest przez PN/H-04609 i PN/H-01015. Określenie dotyczy warstwy materiału nałożonej trwale na powierzchnię przedmiotu obrabianego (podłoża), który pozostaje w tym samym stanie, w jakim był przed naniesieniem powłoki. Głównym celem nanoszenia powłok jest zabezpieczenie podłoża przed degradacją np. w wyniku działania wysokich temperatur bądź czynników atmosferycznych (korozja, erozja), zużyciem mechanicznym, rzadziej powłoki nakładane są w celach dekoracyjnych.

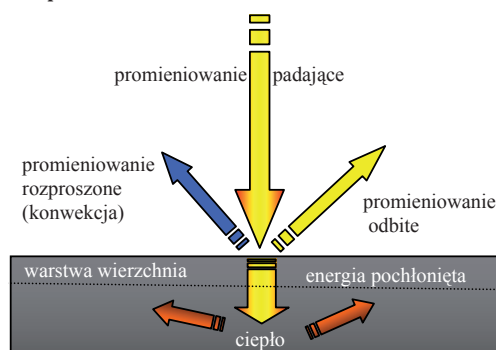
Zastosowanie wiązki laserowej w inżynierii powierzchni

Wiązka laserowa pozwala na skupienie energii na małym obszarze i w następstwie oddziaływania wiązka–materiał obrabiany na przekazywanie tej energii (w formie ciepła) w głąb materiału przez warstwę wierzchnią, stwarzając tym samym możliwość prowadzenia obróbki bez przetapiania, jak i z przetopieniem warstwy wierzchniej czy częściowym jej odparowaniem. Natomiast ze względu na zmiany objętości i masy obrabianych przedmiotów, techniki laserowe używane do formowania struktury i właściwości warstw wierzchnich klasyfikowane są jako techniki bezprzyrostowe, które nie powodują zmiany objętości i masy przedmiotu, oraz tzw. techniki przyrostowe, w efekcie których następuje zmiana wymiarów

i masy przedmiotów. Takie możliwości oraz szereg innych zalet technik laserowych decydują o ich uniwersalności i atrakcyjności w kontekście możliwości zmian właściwości obrabianych materiałów [2, 3].

Oddziaływanie wiązki laserowej z materiałem

Wynik oddziaływania wiązki promieniowania laserowego na materiał uzależniony jest przede wszystkim od gęstości mocy, metody oddziaływania promieniowania na materiał (laser o pracy ciągłej czy impulsowej), czyli czasu trwania impulsu, częstotliwości repetycji, długości fali, kąta padania wiązki i modulacji parametrów wiązki, czyli położenia ogniska wiązki względem materiału, rozkładu energii w wiązce, średnicy wiązki i jej kształtu oraz błędów w ogniskowaniu; ciśnienia i rodzaju nadmuchiwanego gazu (azot, hel, tlen, dwutlenek węgla, argon, acetylen), kształtu i położenia dyszy gazowej; rodzaju i właściwości fizycznych materiału (ciepło właściwe, przewodnictwo cieplne, temperatura topnienia, temperatury przemian fazowych); stanu powierzchni.



Rys. 1. Oddziaływanie promieniowania laserowego z materiałem na podst. [2]

Wydzielające się ciepło na powierzchni materiału, będące efektem pochłaniania promieniowania laserowego przez obrabiany materiał (rys. 1), zależnie od gęstości energii wiązki i rodzaju materiału obrabianego (i szeregu innych parametrów procesu – tab. 1) może doprowadzić do jego nagrzania (przy powierzchniowej gęstości energii promieniowania poniżej 10^4 W/cm^2), topienia (gęstość energii w przedziale $10^4\text{--}10^6 \text{ W/cm}^2$) czy parowania (powierzchniowa gęstość energii promieniowania laserowego powyżej 10^6 W/cm^2).

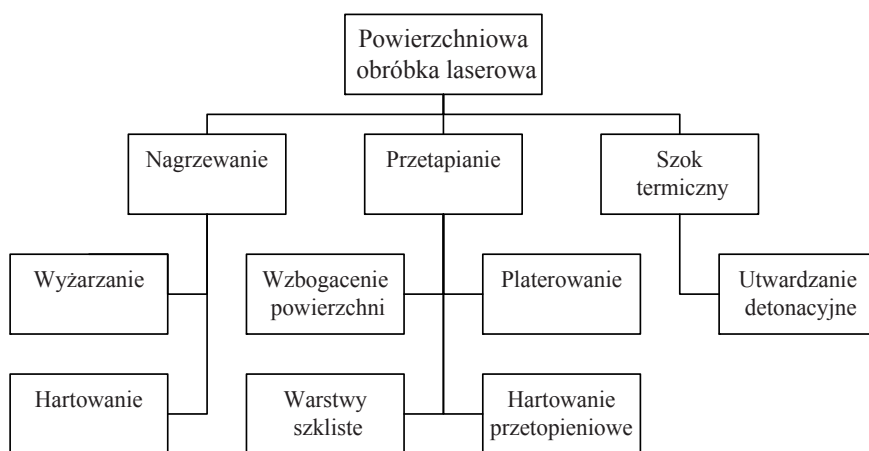
Tab. 1. Zastosowanie laserów do różnych operacji obróbki powierzchniowej [1]

Rodzaj operacji	Gęstość mocy [W/cm^2]	Orientacyjny czas ekspozycji	Rodzaj lasera
Hartowanie powierzchniowe	$3 \cdot 10^2 \div 10^4$	s	ciągły
Stopowanie	$5 \cdot 10^4 \div 10^6$	ms	ciągły, impulsowy
Natapianie (platerowanie)	$5 \cdot 10^4 \div 10^6$	ms	ciągły, impulsowy
Natapianie (szklwienie)	$10^5 \div 10^7$	μs	ciągły, impulsowy
Utwardzanie detonacyjne (udarowe)	$10^8 \div 10^{10}$	ns	impulsowy

Stosowane do obróbki powierzchniowej promieniowanie laserowe kształtuje strukturę warstwy wierzchniej poprzez:

- przemiany fazowe w stanie stałym, a następnie szybkie lub powolne chłodzenie (przesycanie, wyżarzanie, hartowanie...),
- przetopienie cienkiej warstwy powierzchniowej, a następnie jej gwałtowne krzepnięcie (przetopienie, stopowanie, platerowanie...),
- udarowe odkształcenie powierzchniowej warstwy wtedy, gdy powstająca fala uderzeniowa w wyniku działania impulsów laserowych o dużej mocy prowadzi do detonacyjnego odparowania powierzchniowej warstwy materiału.

Spośród ww. procesów w obróbce powierzchniowej najszerze zastosowanie znalazły techniki laserowej modyfikacji warstwy wierzchniej poprzez przemiany fazowe w stanie stałym oraz poprzez przetopienie cienkiej warstwy powierzchniowej. Klasyfikację procesów laserowej obróbki powierzchniowej przedstawiono na poniższym schemacie (rys. 2).



Rys. 2. Schemat klasyfikacji powierzchniowej obróbki laserowej [3]

Technologie przebiegające bez przetapiania warstwy wierzchniej obrabianego materiału

Hartowanie powierzchniowe (ang. *surface hardening*) to proces polegający na zwiększeniu twardości, wytrzymałości statycznej i zmęczenia oraz odporności na korozję i zużycie przez tarcie materiału w warstwie podłoża, w skutek zastosowania wiązki laserowej do obróbki cieplnej materiału. Prędkość nagrzewania wynosi 10^6 K/s, natomiast prędkość chłodzenia osiąga wartość 10^4 K/s [1]. Chłodzenie następuje gwałtownie i samodzielnie, spowodowane jest zjawiskiem przewodnictwa cieplnego. Hartowanie powierzchniowe przy użyciu lasera funkcjonuje jako proces samodzielny bądź w połączeniu z innymi procesami obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej [1].

Technologie z przetopieniem warstwy wierzchniej obrabianego materiału

Stopowanie (ang. *alloying*) lub wtapianie jest procesem polegającym na równoczesnym stopieniu powierzchni podłoża oraz materiału stopującego nałożonego na tą powierzchnię. Podczas przetapiania, w wyniku ruchów konwekcyjnych i grawitacyjnych oraz ciśnienia, jakie wywiera gaz osłonowy towarzyszący wiązce laserowej na powierzchnię powstałej cieczy, następuje mieszanie stopionych materiałów, a po zatrzymaniu akcji laserowej zachodzi szybkie krzepnięcie stopu, który powstał w wyniku tego procesu. Stopowanie może być realizowane jako:

- wtapianie laserowe, jeśli do podłoża wprowadzamy materiał stopujący w formie cząstek stałych, np. proszku bądź drutu oraz gazów,
- przetapianie laserowe, jeśli materiał stopujący jest nanoszony na powierzchnię w formie powłoki i przetapiany razem z cienką warstwą podłoża. Po roztopieniu obu warstw następuje wymieszanie ich materiału, w wyniku rozpuszczenia materiału stopującego w materiale podłoża powstaje warstwa różniąca się strukturą, właściwościami fizycznymi i chemicznymi od zarówno materiału stopującego jak i podłoża.

Materiał stopujący może być nanoszony na podłoże zarówno przed rozpoczęciem obróbki laserowej (poprzez malowanie, natryskiwanie zawiesinami, pokrywanie proszkami lub pastami, natryskiwanie cieplne, naparowywanie, osadzanie elektrolityczne, nakładanie cienkiej folii czy obróbkę elektroiskrową) lub w jej trakcie – przez pneumatyczny nadmuch komponentów stopowych będących pod postacią gazu lub cząstek ciała stałego do roztopionego materiału podłoża. W wyniku stopowania następuje zwiększenie odporności na ścieranie, korozję chemiczną, atmosferyczną oraz temperaturową. Stopowanie realizowane jest przy gęstościach mocy w zakresie $5 \cdot 10^4 \div 10^6$, przy czasie ekspozycji od dziesiątych do tysięcznych części sekundy [1].

Natapianie (ang. *cladding*), nazywane też platerowaniem albo napawaniem laserowym, to proces polegający na stopieniu grubej warstwy materiału natapianego wraz z cienką warstwą podłoża [1]. Celem natapiania jest stworzenie warstw odpornych na procesy korozyjne, zużycie ścierane oraz erozyjne odpornych na utlenianie i działanie temperatur dochodzących do 1000°C (warstwy żaroodporne i żarowytrzymałe). Natapianie laserowe stosowane jest do uzyskiwania zarówno warstw metalicznych, ceramicznych czy kompozytowych, charakteryzujących się wysoką gęstością i znakomitą powiązaniem z podłożem, niezależnie od jego składu chemicznego czy temperatury topnienia.

Metody nakładania materiału natapianego na podłoże materiału:

- przez rozpoczęciem obróbki laserowej – w trakcie procesu przetapiania wskutek akcji laserowej skierowanej z góry powstają defekty (pęcherze, niedotopienia) w bliskiej okolicy podłoża materiału. Spoiwo dodawane do proszków, którego zadaniem jest zapewnienie dostatecznej przyczepności warstwy do podłoża, również służy tworzeniu się defektów,
- w trakcie obróbki laserowej – proces polegający na doprowadzeniu w sposób nieprzerwalny przez dyszę gazową materiału natapianego (proszku) nad powierzchnię materiału. Następnie pod wpływem działania wiązki laserowej proszek ulega częściowemu stopieniu, pewna część energii dociera do podłoża (proszek nie absorbuje całej energii), co prowadzi do nadtopienia cienkiej warstwy materiału

podłoża. W wyniku rozgrzania się proszku następuje jego opadanie na nadtopioną warstwę podłoża, wskutek kontaktu z podłożem ulega całkowitemu stopieniu i wymieszaniu z nim.

Nadtapianie (ang. *glazing*) to stopienie warstwy wierzchniej podłoża albo warstwy wierzchniej nałożonej na podłoże. Celem tego procesu jest otrzymanie po zastygnięciu warstwy chemicznie i strukturalnie bardziej jednorodnej niż przed przetopieniem. Przykładowe zmiany mikrostruktury dla stopu AA2091 przedstawiono na rys. 3. W wyniku zachodzącego stopienia warstwy wierzchniej możemy uzyskać np. struktury drobnoziarniste, o poszerzonym zakresie rozpuszczalności składników stopowych, dzięki czemu uzyskane struktury charakteryzują się zwiększonymi właściwościami antykorozyjnymi, wyższą odpornością na ścieranie, korozję i erozję. Drugi proces, czyli stopienie warstwy wierzchniej nałożonej na podłoże prowadzi do uszczelnienia powłok poprzez usunięcie zarysowań i pęknięć powłok galwanicznych, a także do wygładzenia powierzchni oraz zniwelowania porowatości.

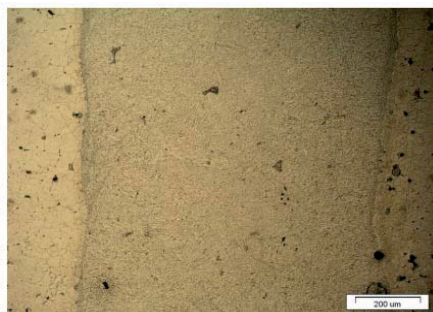
W zależności od otrzymanych właściwości warstw powierzchniowych natapianie może być realizowane jako:

- czyste natapianie, dzięki któremu otrzymujemy drobnoziarniste struktury bądź nieprzepuszczalne powłoki,
- szkliwienie (albo amorfizację), dzięki której warstwa wierzchnia ma budowę bezpostaciową.

Natapianie czyste stosuje się w celu rozpuszczenia istniejących w warstwie wierzchniej podłoża zanieczyszczeń mających niepożądany wpływ na jego właściwości. Po rozpuszczeniu zanieczyszczenia nie wydzielają się ponownie lub wydzielają się w innej postaci i formie. Natapianiu czystemu poddawane są np. żeliwa szare czy stale nierdzewne w celu utwardzenia powierzchni wyrobów oraz zwiększenia ich odporności na zużycie ścierne i korozję.

Szkliwienie – proces polegający na uformowaniu powłoki ochronnej poprzez powierzchniowe przetopienie materiału wiązką laserową w celu utwardzenia, zwiększenia wytrzymałości, odporności na czynniki chemiczne i atmosferyczne (wilgoć, korozję) lub wygładzenia powierzchni.

a)



b)



Rys. 3. Zmiany mikrostruktury stopu AA 2091 po powierzchniowym przetopieniu przy użyciu wiązki lasera
a) CO₂ CW, b) Nd: YAG o działaniu impulsowym [4]

Technologie laserowe przebiegające z odparowaniem warstwy wierzchniej obrabianego materiału

Utwardzenie detonacyjne lub uderowe (*shock hardening*) zachodzi w wyniku działania silnie skoncentrowanej wiązki laserowej o dużej energii na cienką warstwę materiału podłoża. W skutek tego oddziaływania następuje nagłe jej odparowanie i wytworzenie się obłoku plazmy, następstwem tych działań jest powstanie ogromnej fali uderzeniowej, która napotykając na swojej drodze nieodparowany materiał, utwardza go swoją siłą uderzeniową. Natomiast powstający obłok plazmy sprawia, że obrabiany materiał jest chroniony przed średniofalowym promieniowaniem podczerwonym. Wytwarzająca się plazma rozplywa się po powierzchni obrabianego materiału, a następnie zlewa się do powstałego krateru i umacnia swoim ciśnieniem ścianki krateru.

Technologie laserowe przebiegające z odparowaniem – materiału tarczy – osadzanie powłok przy użyciu wiązki lasera o działaniu impulsowym metoda PLD (ang. *Pulsed Laser Deposition*)

Energia wiązki lasera o działaniu impulsowym wykorzystywana jest do formowania powłok poprzez odparowanie materiału tarczy, przeniesienie go w próżni, a następnie osadzenie na podłożu. Metoda ta po raz pierwszy na świecie zastosowana została w 1965 roku przez Smitha Turnera do otrzymania cienkich warstw półprzewodnikowych i dielektrycznych, a rozszerzona przez Dijkampa i współpracowników, którzy w roku 1987 roku rozpoczęli otrzymywanie z jej zastosowaniem warstw i nadprzewodników wysokotemperaturowych [2].

Formowanie cienkich powłok metodą ablacji laserowej zalicza się do procesów fizycznego osadzania par w próżni PVD. W tym celu są stosowane lasery emitujące promieniowanie w zakresie nadfioletu, ponieważ materiały metaliczne, jak i niemetaliczne mają największą absorpcję tego zakresu promieniowania: są to głównie lasery ekscimerowe lub Nd-YAG wyposażone w szybki przełącznik Q-switch. Za pomocą tego rodzaju laserów otrzymywane są gęstości energii w impulsie w zakresie 1–30 J/s, przy czasach trwania impulsu rzędu nano-, a coraz częściej femtosekundy, przy powtarzalności impulsów w zakresie od kilku do ponad 100 Hz.

Charakterystyka metody PLD [1]:

- szybkość osadzania, która może dochodzić do 0,03 nm/impuls,
- rozkład kątowy w strudze, występuje silna zależność pomiędzy grubością osadzonej powłoki a rozkładem kątowym,
- przenoszenie składu stechiometrycznego, skład stechiometryczny osadzonej powłoki jest zbliżony do składu odparowywanej tarczy,
- kropelki w osadzonej powłoce, które pojawiają się w otrzymywanej powłoce,
- powłoki uzyskiwane metodą PLD charakteryzują się dobrą adhezją do podłoża,
- uzyskuje się wyższy stopień przesycenia w stosunku do powłok otrzymywanych innymi metodami,
- jednorodność powłok jest większa od identycznych powłok tworzonych techniką rozpylania magnetycznego,
- naprężenie własne w powłoce na poziomie 1–8 GPa,
- powłoki posiadają strukturę nanokrystaliczną,
- powłoki otrzymywane metodą PLD wyróżniają się dobrze wykształconą teksturą krystalograficzną.

Techniki laserowe stanowią ważną grupę metod stosowanych w inżynierii powierzchni, stwarzając szerokie możliwości zastosowań. Wynik oddziaływania wiązki promieniowania laserowego na materiał uzależniony jest przede wszystkim od rodzaju materiału i pozostałych parametrów prowadzonego procesu. Obserwowany dynamiczny rozwój technik laserowych jest konsekwencją badań nad efektywnością technik laserowych w zakresie poprawy trwałości i wytrzymałości obrabianych elementów, tak na drodze modyfikowania ich powierzchni, jak i wytwarzania warstw i powłok o żądanych właściwościach: np. wysokiej odporności na korozję, erozję, działanie wysokich temperatur, czy też zużycie ściernie.

Praca finansowana w ramach projektu badawczego własnego MNiSW numer N N507 451434

Bibliografia

- [1] Burakowski T., Wierzchoń T., *Inżynieria powierzchni metali*, WPW, Warszawa 1992
- [2] Twardowska A., „Tworzenie struktury stopów na bazie Al-Li-Zr podczas krystalizacji w procesie laserowego spawania”, praca doktorska, AGH, Kraków 2000
- [3] Kusiński J., *Lasery i ich zastosowanie w inżynierii powierzchni*, Akapit, Kraków 2000
- [4] Twardowska A., *Zmiany mikrostruktury stopu Al-Li-Cu-Zr pod wpływem działania lasera Nd-YAG, Problemy współczesnej techniki w aspekcie inżynierii i edukacji*, Kraków 2005, s. 159

Laser beam in surface engineering application

Abstract

Laser beam as a source of energy with its specific characteristics give opportunity to be widely used in material processing. In this work, the basis of techniques used for material properties enhancement by means of wear, hardness, friction coefficient, high temperature, corrosion and erosion resistances are presented, realized by surface modification (glazing, surface hardening, amorphysation, shock hardening, alloying, cladding) or coating (pulsed laser ablation).

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Miluše Vítečková, Antonín Víteček, Kazimierz Jaracz

Dobór nastaw regulatorów o dwóch stopniach swobody dla obiektów całkujących z opóźnieniem

Obiekty całkujące występują w przemyśle bardzo często [1–3]. Jeśli zakłócenia oddziałują na ich wejścia, to żeby usunąć uchyby ustalone, należy stosować regulatory o działaniu całkującym. Niestety regulatory te powiększają stopień astatyzmu układu regulacji, a tym samym powodują występowanie dużych przeregulowań i skłonność do oscylacji, a nawet mogą przy niewielkich zmianach parametrów obiektów spowodować utratę stabilności [6–9]. Dlatego dobór nastaw regulatorów całkujących należy do zadań trudniejszych [1–5].

Założmy, że obiekt regulacji opisany jest transmitancją

$$G_{OB}(s) = \frac{k_1}{s} e^{-T_o s} \quad (1)$$

gdzie: k_1 jest współczynnikiem wzmocnienia, T_o – opóźnieniem.

Standardowe regulatory typu PID i PI (z jednym stopniem swobody) mają transmitancje o postaciach odpowiednio

$$G_R(s) = k_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2)$$

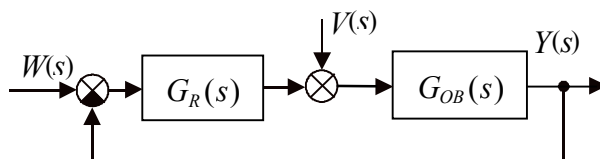
$$G_R(s) = k_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (3)$$

gdzie: k_P jest wzmocnieniem regulatora, T_I – czasem zdwojenia (izodromu), T_D – czasem wyprzedzenia (różniczkowania).

Problemy występujące w układach z regulatorami całkującymi

Przy zastosowaniu regulatorów całkujących występują niekiedy istotne problemy, które zostaną krótko omówione w dalszej części artykułu.

Dla układu regulacji przedstawionego na rysunku 1 z regulatorem standardowym o jednym stopniu swobody, $E(s)$, $W(s)$, $U(s)$, $V(s)$ oraz $Y(s)$ oznaczają odpowiednio: transformaty uchybu regulacji $e(t)$, wielkości zadanej $w(t)$, wielkości sterującej $u(t)$, wielkości zakłócającej $v(t)$ oraz wielkości regulowanej $y(t)$, $G_R(s)$ – jest transmitancją regulatora, $G_{OB}(s)$ – transmitancją obiektu.



Rys. 1. Schemat układu regulacji z regulatorem z jednym stopniem swobody

Zgodnie z rysunkiem 1 dla standardowego regulatora typu PID o transmitancji (2) transformaty składowych uchybów regulacji $E_w(s)$ oraz $E_v(s)$ spowodowanych odpowiednio skokami wielkości zadanej $w(t)$ oraz zakłócającej $v(t)$, wyrażonych transformatami odpowiednio:

$$W(s) = \frac{w_0}{s}, \quad V(s) = \frac{v_0}{s} \quad (4)$$

dane są zależnościami:

$$E_w(s) = \frac{1}{1 + G_R(s)G_{OB}(s)} = \frac{T_I w_0 s}{T_I s^2 + k_1 k_p (T_I T_D s^2 + T_I s + 1) e^{-T_o s}} \quad (5)$$

$$E_v(s) = -\frac{G_{OB}(s)}{1 + G_R(s)G_{OB}(s)} = -\frac{k_1 T_I v_0}{T_I s^2 + k_1 k_p (T_I T_D s^2 + T_I s + 1) e^{-T_o s}} e^{-T_o s} \quad (6)$$

gdzie: w_0 oraz v_0 są amplitudami skoków.

Wyrażenia (5) i (6) dla $T_D = 0$ są również ważne dla standardowego regulatora typu PI.

Według oczekiwań dla uchybów ustalonych na podstawie wzorów (5) i (6) otrzymuje się

$$e_w(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} [sE_w(s)] = 0 \quad (7)$$

$$e_v(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} [sE_v(s)] = 0 \quad (8)$$

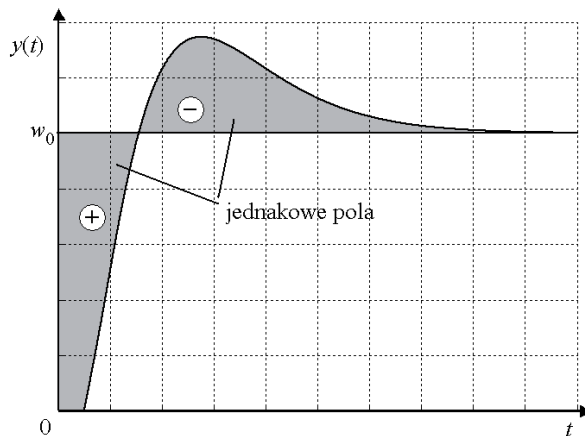
Właśnie wymaganie zerowych wartości uchybów ustalonych (7) i (8) jest powodem stosowania regulatorów z działaniem całkującym.

Na podstawie transformat uchybów (5) i (6) można łatwo obliczyć całki odpowiednich składowych uchybów, które wynoszą:

$$\int_0^{\infty} e_w(t) dt = \lim_{s \rightarrow 0} E_w(s) = 0 \quad (9)$$

$$\int_0^{\infty} e_v(t) dt = \lim_{s \rightarrow 0} E_v(s) = -\frac{T_I v_0}{k_p} \neq 0 \quad (10)$$

Bardzo ważna jest interpretacja uzyskanych wyników. Z zależności (9) wynika, że przy zastosowaniu standardowych regulatorów typu PID oraz PI (tj. regulatorów z działaniem całkującym) dla obiektów całkujących nie można osiągnąć odpowiedzi bez przeregulowania przy skokowej zmianie wielkości zadanej (4). Jest to przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Interpretacja geometryczna zależności (9)

Z zależności (10) wynika natomiast, że odpowiednim doбором nastaw standardowych regulatorów typu PID oraz PI dla obiektów całkujących można osiągnąć przy skokowej zmianie wielkości zakłócającej (4) odpowiedzi aperiodycznej bez przeregulowania.

Powyższe wnioski są ważne nie tylko dla obiektu (1), ale dla jakichkolwiek obiektów całkujących (z całkowaniem pierwszego rzędu).

Jeśli zatem jest wymagana odpowiedź aperiodyczna bez przeregulowania przy skokowej zmianie wielkości zadanej (4), to należy zastosować ograniczenie szybkości narastania wielkości zadanej $w(t)$ lub filtr wejściowy. Najwygodniejszym sposobem jest zastosowanie regulatorów z dwoma stopniami swobody, które umożliwiają dobór nastaw przy zmianach zarówno wielkości zakłócającej $v(t)$, jak i wielkości zadanej $w(t)$.

Przy zastosowaniu regulatora standardowego typu PID występuje jeszcze problem z początkową wartością wielkości sterującej $u(0)$.

Transmitancja układu regulacji przedstawionego na rysunku 1 dla relacji sygnałów „wielkość zadana–wielkość sterująca” ma postać

$$G_{wu}(s) = \frac{U(s)}{W(s)} = \frac{G_R(s)}{1 + G_R(s)G_{OB}(s)} = \frac{k_p(T_I T_D s^2 + T_I s + 1)s}{T_I s^2 + k_1 k_p (T_I T_D s^2 + T_I s + 1) e^{-T_o s}} = \quad (11)$$

$$= \frac{k_p T_D s}{1 + k_1 k_p T_D e^{-T_o s}} + \frac{k_p (T_I s + 1)s}{[T_I s^2 + k_1 k_p (T_I T_D s^2 + T_I s + 1) e^{-T_o s}](1 + k_1 k_p T_D e^{-T_o s})}$$

Wartość początkowa wielkości sterującej $u(0)$, przy określonej wyrażeniem (4) wielkości $W(s)$ dana jest wyrażeniem

$$u(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} [s G_{wu}(s) W(s)] = k_p T_D w_0 \delta(t) + k_p w_0 \quad (12)$$

tzn. wielkość sterująca w chwili $t = 0$ zawiera impuls Diraca (teoretycznie o amplitudzie nieskończenie wielkiej).

Wniosek ten jest ważny dla idealnej postaci transmitancji standardowego regulatora PID. W praktyce składowa różniczkująca zawsze posiada pewną inercję wynikającą z filtracji filtrem o transmitancji

$$\frac{T_D s}{T_f s + 1} \quad (13)$$

gdzie: T_f jest stała czasowa filtracji składowej różniczkującej.

W regulatorach rzeczywistych stała czasowa filtracji najczęściej spełnia nierówność [2, 5, 6]

$$5 \leq \frac{T_D}{T_f} \leq 20 \quad (14)$$

Transmitancja standardowego regulatora PID z filtracją składowej różniczkującej po przekształceniu ma postać

$$G'_R(s) = k_p \left(1 + \frac{T_f}{T_I} \right) \left[1 + \frac{1}{T_I \left(1 + \frac{T_f}{T_I} \right) s} + \frac{T_D + T_f}{1 + \frac{T_f}{T_I}} s \right] \frac{1}{T_f s + 1} \quad (15)$$

W tym przypadku wartość początkowa wielkości sterującej jest

$$u(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} \left[s \frac{G'_R(s)}{1 + G'_R(s)G_{OB}(s)} W(s) \right] = k_p \left(1 + \frac{T_D}{T_f} \right) w_0 \quad (16)$$

Po uwzględnieniu zależności (14) otrzyma się

$$6k_p \leq \frac{u(0)}{w_0} \leq 21k_p \quad (17)$$

Widać zatem, że i w tym przypadku wartość początkowa wielkości sterującej $u(0)$ jest bardzo duża.

Problem bardzo dużej wartości początkowej wielkości sterującej występuje przy zastosowaniu regulatorów typu PID dla obiektów całkujących i w zasadzie nie można go całkowicie usunąć nawet dla regulatorów z dwoma stopniami swobody.

Dla porównania przy zastosowaniu standardowego regulatora PI z zależności (12) dla $T_D = 0$ otrzymuje się

$$u(0) = k_p w_0 \quad (18)$$

Dla regulatora PI występuje zatem znacznie mniejsza wartość początkowa wielkości sterującej.

Regulatory z dwoma stopniami swobody

Konwencjonalny regulator PID z dwoma stopniami swobody opisany jest zależnością [2]

$$U(s) = k_p \left[bW(s) - Y(s) + \frac{1}{T_I s} [W(s) - Y(s)] + T_D s [cW(s) - Y(s)] \right] \quad (19)$$

gdzie: b jest wagą wielkości zadanej dla składowej proporcjonalnej, c – wagą wielkości zadanej dla składowej różniczkującej.

Zakłada się, że obydwie wagi mogą przyjmować wartości z przedziału 0–1.

Układ regulacji z regulatorem o dwóch stopniach swobody (19) może zostać przedstawiony w postaci standardowego regulatora typu PID (2) oraz filtra wejściowego wielkości zadanej, jak to pokazano na rysunku 3. Wtedy

$$G_F(s) = \frac{W'(s)}{W(s)} = \frac{cT_I T_D s^2 + bT_I s + 1}{T_I T_D s^2 + T_I s + 1} \quad (20)$$

Dla $T_D = 0$ z zależności (19) uzyska się regulator PI z dwoma stopniami swobody, któremu w schemacie przedstawionym na rysunku 3 odpowiada filtr wejściowy o transmitancji

$$G_F(s) = \frac{W'(s)}{W(s)} = \frac{bT_I s + 1}{T_I s + 1} \quad (21)$$

oraz standardowy regulator typu PI o transmitancji określonej relacją (3).

Dla $b = c = 1$ z zależności (19) otrzymuje się standardowy regulator PID (2) oraz dla $T_D = 0$ i $b = 1$ standardowy regulator PI (3).

Zgodnie z rysunkiem 3 nastawy filtra wejściowego $G_f(s)$ dobierane są z punktu widzenia śledzenia wielkości zadanej $w(t)$, natomiast nastawy standardowego regulatora $G_R(s)$ dobierane są z punktu widzenia maksymalnego stłumienia wpływu wielkości zakłócającej $v(t)$.

Metoda wielokrotnego bieguna dominującego

Metoda wielokrotnego bieguna dominującego zakłada istnienie stabilnego bieguna rzeczywistego z wielokrotnością równą liczbie nastawialnych parametrów regulatora powiększonej o jedność [4, 6–9].

Quasi-wielomian charakterystyczny dla zamkniętego układu regulacji ze standardowym regulatorem typu PID (przekształcony mianownik wyrażeń (5) i (6)) ma postać

$$N(s) = s^2 e^{T_o s} + k_1 k_p \left(T_D s^2 + s + \frac{1}{T_I} \right) \quad (22)$$

Wielokrotny biegun dominujący oraz nastawy standardowego regulatora PID można obliczyć z układu równań:

$$\frac{d^i N(s)}{ds^i} = 0 \quad \text{dla } i = 0, 1, 2, 3 \quad (23)$$

tj.

$$\begin{aligned} s^2 e^{T_o s} + k_1 k_p \left(T_D T_I s^2 + s + \frac{1}{T_I} \right) &= 0 \\ (T_o s^2 + 2s) e^{T_o s} + 2k_1 k_p T_D s + k_1 k_p &= 0 \\ (T_o^2 s^2 + 4T_o s + 2) e^{T_o s} + 2k_1 k_p T_D &= 0 \\ T_o^2 s^2 + 6T_o s + 6 &= 0 \end{aligned} \quad (24)$$

Z układu równań (24) otrzymuje się czterokrotny biegun dominujący

$$s_4^* = -\frac{3 - \sqrt{3}}{T_o} \quad (25)$$

oraz kolejno pozostałe nastawy:

$$\begin{aligned} k_p^* &= \frac{6(2\sqrt{3} - 3)}{k_1 T_o} e^{\sqrt{3} - 3} \doteq 0,784 \frac{1}{k_1 T_o} \\ T_I^* &= (2 + \sqrt{3}) T_o \doteq 3,732 T_o \\ T_D^* &= \frac{3 + \sqrt{3}}{18} T_o \doteq 0,263 T_o \end{aligned} \quad (26)$$

Podobnie dla $T_D = 0$ w quasi-wielomianie charakterystycznym (22) dla standardowego regulatora PI z układu równań (23) dla $i = 0, 1, 2$ otrzyma się trzykrotny biegun dominujący

$$s_3^* = -\frac{2 - \sqrt{2}}{T_o} \quad (27)$$

oraz nastawy:

$$k_P^* = \frac{2(\sqrt{2} - 1)}{k_1 T_o} e^{\sqrt{2}-2} \doteq 0,461 \frac{1}{k_1 T_o} \quad (28)$$

$$T_I^* = (3 + 2\sqrt{2})T_o \doteq 5,828T_o$$

Transmitancje zamkniętego układu regulacji z regulatorem typu PID oraz PI z dwoma stopniami swobody zgodnie z rysunkiem 3 mają odpowiednio postacie:

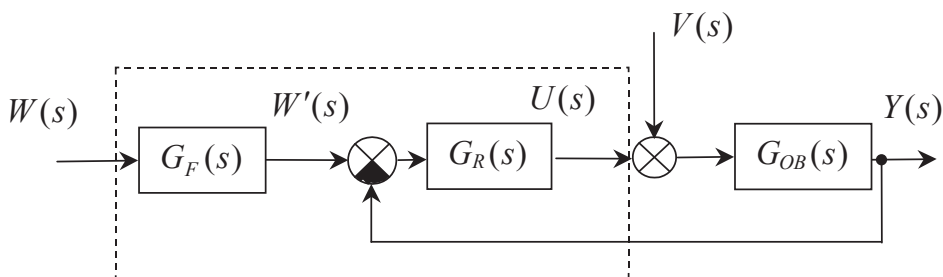
$$G_{wy}(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{cT_I^*T_D^*s^2 + bT_I^*s + 1}{\frac{T_I^*}{k_1k_P}s^2 + (T_I^*T_D^*s^2 + T_I^*s + 1)e^{-T_o s}} e^{-T_o s} \approx$$

$$\approx \frac{cT_I^*T_D^*s^2 + bT_I^*s + 1}{\left(\frac{1}{|s_4^*|}s + 1\right)^4} e^{-T_o s} \quad (29)$$

$$G_{wy}(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{bT_I^*s + 1}{\frac{T_I^*}{k_1k_P}s^2 + (T_I^*s + 1)e^{-T_o s}} e^{-T_o s} \approx$$

$$\approx \frac{bT_I^*s + 1}{\left(\frac{1}{|s_3^*|}s + 1\right)^3} e^{-T_o s} \quad (30)$$

Duże przeregulowania odpowiedzi skokowych spowodowanych wielkością zadaną $w(t)$ powodują zera stabilne w licznikach transmitancji zamkniętych układów regulacji z regulatorami standardowymi. Dlatego przy zastosowaniu regulatorów z dwoma stopniami swobody liczniki te zostaną skompensowane (skrócone) przez odpowiednie mianowniki transmitancji filtrów wejściowych (20) lub (21). Najczęściej dobiera się wagi wielkości zadanej o wartościach $b = c = 0$. Uzyskuje się wtedy odpowiedzi skokowe na wielkość zadaną $w(t)$ bez przeregulowań.



Rys. 3. Schemat układu regulacji z dwoma stopniami swobody

Odpowiedzi te można dodatkowo przyspieszyć, jeżeli wagi wielkości zadanej b i c w transmitancjach filtrów wejściowych zostaną dobrane tak, żeby w przypadku regulatora PID z dwoma stopniami swobody licznik filtru wejściowego (20) skompensował dwa bieguny dominujące (25) oraz, w przypadku regulatora PI z dwoma stopniami swobody, żeby licznik filtru wejściowego (21) skompensował jeden biegun dominujący (27).

Dla regulatora PID z dwoma stopniami swobody można więc napisać następujące równanie [zob. (20) i (29)]

$$\left(\frac{1}{|s_4^*|} s + 1 \right)^2 = c T_I^* T_D^* s^2 + b T_I^* s + 1 \quad (31)$$

oraz po podstawieniu (25) i (26) do (31) otrzymuje się

$$b^* = \frac{3 - \sqrt{3}}{3} \doteq 0,423; \quad c^* = \frac{3 - \sqrt{3}}{2} \doteq 0,634 \quad (32)$$

Podobnie dla regulatora PI z dwoma stopniami swobody można z równania [zob. (21) i (30)]

$$\frac{1}{|s_3^*|} s + 1 = b T_I^* s + 1 \quad (33)$$

po podstawieniu (27) i (28) do (33) otrzymuje się

$$b^* = \frac{2 - \sqrt{2}}{2} \doteq 0,293 \quad (34)$$

Metoda eksperymentalna

Na podstawie wielokrotnych eksperymentów oraz doświadczeń określono nastawy regulatorów z dwoma stopniami swobody dla obiektu o transmitancji (1):

– regulator PID z dwoma stopniami swobody

$$k_P^* = \frac{1}{k_1 T_o}; \quad T_I^* = 3T_o; \quad T_D^* = 0,35T_o; \quad b^* = 0,3; \quad c^* = 0,3 \quad (35)$$

– regulator PI z dwoma stopniami swobody

$$k_P^* = 0,6 \frac{1}{k_1 T_o}; \quad T_I^* = 4,15T_o; \quad b^* = 0,25 \quad (36)$$

Przykład

Dla obiektu o transmitancji

$$G_{OB}(s) = \frac{0,05}{s} e^{-5s}$$

należy dla regulatorów PI oraz PID z dwoma stopniami swobody dobrać ich nastawy tak, żeby odpowiedzi na skokowe zmiany wielkości zadanej $w(t)$ i wielkości zakłócającej $v(t)$ oddziaływającej na wejściu obiektu były aperiodyczne bez przeregulowań (opóźnienie wyrażono w sekundach).

Rozwiązanie

Dla parametrów obiektu $k_1 = 0,05 \text{ s}^{-1}$ oraz $T_o = 5 \text{ s}$ obliczono nastawy i zamieszczono w tabeli 1.

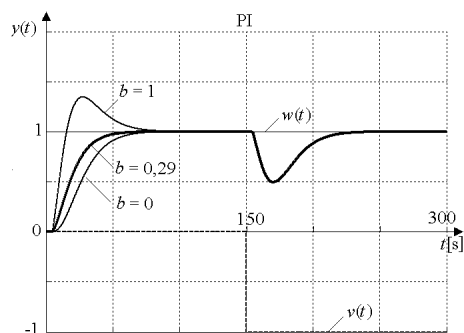
Odpowiedzi skokowe dla obu metod dla różnych wartości wag b oraz c wielkości zadanej $w(t)$ pokazano na rysunkach 4 oraz 5. Widać, że dla proponowanych wartości wag odpowiedzi są znacznie szybsze.

Na rysunkach 6 oraz 7 przedstawiono wpływ zmian opóźnienia T_o o $\pm 20\%$. Obydwie metody wykazują stosunkowo dobrą odporność, a więc nadają się do praktycznego wykorzystania.

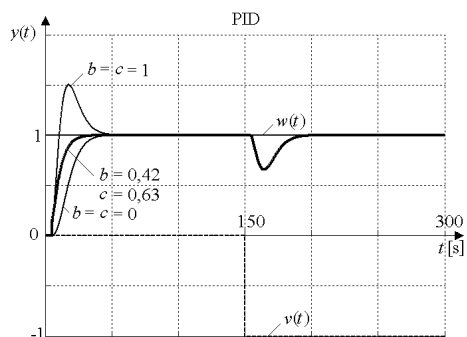
Tab. 1. Obliczone nastawy regulatorów z przykładu 1

Metoda	Regulator z dwoma stopniami swobody					
	TYP	k_P^*	T_I^*	T_D^*	b^*	c^*
Wielokrotnego bieguna dominującego	PI	1,84	29,14	–	0,29	–
	PID	3,14	18,66	1,32	0,42	0,63
Eksperymentalna	PI	2,5	20,75	–	0,25	–
	PID	4	15	1,75	0,3	0,3

a)

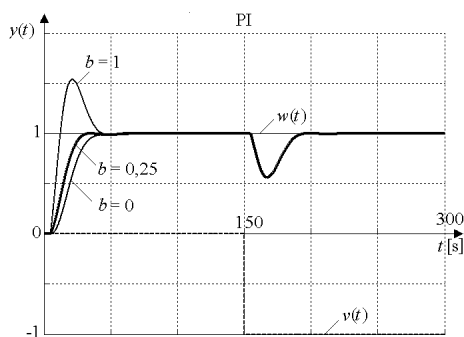


b)

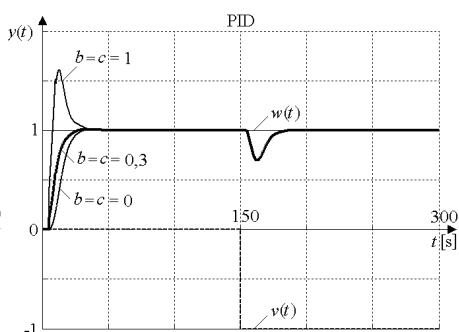


Rys. 4. Odpowiedzi skokowe układu regulacji z regulatorem z dwoma stopniami swobody dla metody wielokrotnego bieguna dominującego: a) PI, b) PID

a)

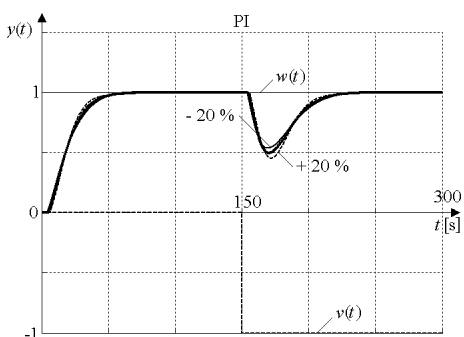


b)

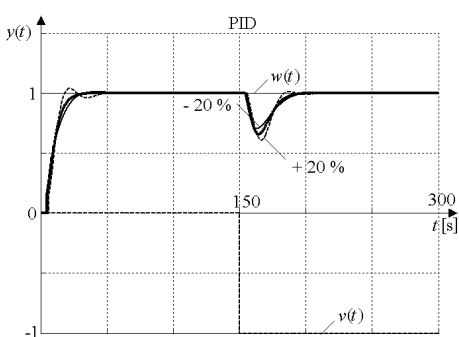


Rys. 5. Odpowiedzi skokowe układu regulacji z regulatorem z dwoma stopniami swobody dla metody eksperymentalnej: a) PI, b) PID

a)

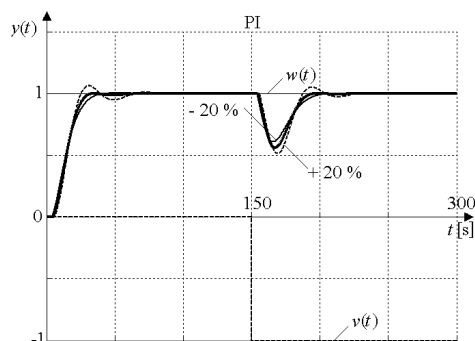


b)

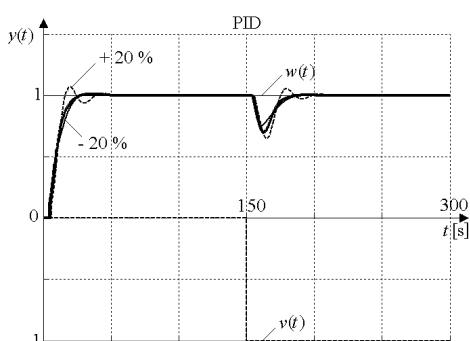


Rys. 6. Odpowiedzi skokowe układu regulacji z regulatorem z dwoma stopniami swobody dla metody wielokrotnego bieguna dominującego dla zmian opóźnienia $\pm 20\%$: a) PI, b) PID

a)



b)



Rys. 7. Odpowiedzi skokowe układu regulacji z regulatorem z dwoma stopniami swobody dla metody eksperymentalnej dla zmian opóźnienia $\pm 20\%$: a) PI, b) PID

Wnioski

W artykule zaprezentowano dwie metody doboru nastaw regulatorów typu PID oraz PI z dwoma stopniami swobody. Metoda wielokrotnego bieguna dominującego jest metodą w pełni analityczną i dlatego bardzo dobrze nadaje się również do celów dydaktycznych. Zapewnia dobrą jakość procesu regulacji i jest dostatecznie odporna. Metoda eksperymentalna zapewnia szybsze odpowiedzi skokowe, co wymaga większych wartości wielkości sterującej. Jej odporność na zmiany opóźnienia jest nieco niższa niż w metodzie wielokrotnego bieguna dominującego. Obydwie metody są bardzo proste i zapewne znajdą wiele zastosowań w praktyce.

Artykuł powstał w ramach prac nad projektem grantowym GAČR nr 102/09/0894.

Bibliografia

- [1] Alenay A., Abdelrahman O., Ziedan I., *Rules of PID Controllers for Integrator/Dead Time Processes*, In: ACSE 05 Conference, 19–21 December 2005, Cairo, Egypt, pp. 6
- [2] Åström K.J., Hägglund T., *Advanced PID Control*. Research Triangle Park: ISA – Instrumentation, Systems, and Automatic Society, 2006
- [3] Chidambaram M., Sree R.P., *A Simple Method of Tuning PID Controllers for Integrator/Dead-Time Processes*, Computer and Chemical Engineering 27, 2003, p. 211–215
- [4] Górecki H., *Analiza i synteza układów regulacji z opóźnieniem*, WNT, Warszawa 1971
- [5] O'Dwyer A., *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules*, Imperial College Press, London 2006
- [6] Šulc B., Vítečková M., *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2004
- [7] Vítečková M., Víteček A., *Controller Tuning for Integral Plus Time Delay Plants*, Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava. Mechanical Series, vol. LIII, no. 2/2007, p. 159–166
- [8] Vítečková M., Víteček A., *Two-degree of Freedom Controller Tuning for Integral Plus Time Delay Plants*, ICIC Express Letters, vol. 2, no. 3, September 2008, p. 225–229

- [9] Vítečková M., Jaracz K., *Metoda doboru nastaw regulatorów przy pożądanym modelu matematycznym układu regulacji*, *Anales Academiae Paedagogicae Cracoviensis. Studia Technica I*, Folia 32, Kraków 2006, s. 129–135

Tuning of Controllers with two Degree of Freedom for Integrating Plants with Time Delay

Abstract

The article describes two tuning methods of PID and PI controllers with two degree of freedom for integrating plants with time delay. The first multiplied dominant pole method is fully analytical method, while the second method is purely empirical. The use of both methods is shown in the example, from which follows possibility of their wide practical using.

Key words: controller tuning, controllers with two degree of freedom, integrating plant, time delay, PID

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Jolanta Zielińska

Wykorzystanie komputera do badań audiometrycznych

Ogólna charakterystyka audiometrii komputerowej

Zalety wykorzystania techniki komputerowej w badaniach audiometrycznych są niezaprzeczalne. Komputer jako urządzenie multimedialne posiada odpowiednie funkcje umożliwiające połączenie atrakcyjnej formy prezentacji graficznej z procesem wytwarzania dźwiękowych sygnałów testowych o precyzyjnie kontrolowanych parametrach. Należą do nich również sygnały tonowe i sygnały mowy w szumie. Komputer to urządzenie interaktywne, co pozwala na łatwe i skuteczne przeprowadzenie wywiadu z osobą badaną, przykładowo w formie elektronicznej ankiety. Uzyskiwane w ten sposób dane można poddać archiwizacji lub przesyłać do centralnego ośrodka opieki medycznej za pośrednictwem sieci komputerowych. Automatyczna analiza wyników otrzymanych przy pomocy ankiety oraz testów dźwiękowych pozwala na postawienie wstępnej diagnozy o prawidłowości słyszenia lub ewentualnym rodzaju i charakterze wady słuchu [3].

Odpowiednio przygotowany system komputerowy umożliwia dostęp do zasobów informacyjnych dotyczących zagadnień z zakresu audiologii, fizjologii i patologii słuchu. Z racji możliwości techniki komputerowej informacje te posiadają atrakcyjną i nowoczesną formę multimedialną. Odpowiednio oprogramowany komputer może w określonym zakresie spełnić rolę lekarza pierwszego kontaktu, zdiagnozować i skierować do specjalistycznego ośrodka medycznego.

Audiometria komputerowa opiera się na działaniu multimedialnych urządzeń współpracujących z komputerem i jest wysoce przydatna na etapie poprzedzającym proces usprawniania, czyli w procesie wczesnej diagnozy. Na rynku dostępna jest szeroka oferta audiometrów komputerowych oferujących całą gamę typów pomiarów audiometrycznych, w tym: tonowy, Bekesego, audiometrię słowną, pomiary ABLB, TT Decay, SISI. Sterowanie audiometrem podłączonym za pomocą złącza równoległego do komputera odbywa się za pośrednictwem oprogramowania. Pierwszy moduł realizuje pełen zakres pomiarów typowej audiometrii klinicznej, natomiast drugi jest przeznaczony do współpracy z dziećmi i posiada formę gry komputerowej. Wyniki pomiarów są przechowywane we wspólnej bazie danych.

Nowoczesne, profesjonalne rozwiązania w zakresie audiometrii komputerowej są wynikiem współpracy Katedry Inżynierii Dźwięku i Obrazu Politechniki Gdańskiej z Instytutem Fizjologii i Patologii Słuchu w Warszawie. Jest to rozwiązanie

systemowe masowych badań przesiewowych, oparte na zastosowaniu współczesnych technologii teleinformatycznych, w formie zestawu nowoczesnych narzędzi komputerowych do badania słuchu. Opracowane aplikacje i systemy mają w znacznej mierze charakter oryginalny, w ich ramach zrealizowano m.in. [1]:

- multimedialny system do przesiewowego badania słuchu metodą audiometrii tonowej i słownej w szumie, przy użyciu standardowego zestawu komputerowego,
- oprogramowanie do prowadzenia pomiarów audiometrycznych przy wykorzystaniu komputera,
- wielokanałowy audiometr behawioralny do badania sprawności słuchu u bardzo małych dzieci,
- zminiaturyzowany elektroniczny kalibrator poziomu dźwięku,
- oprogramowanie do doboru protez słuchu i do symulacji działania aparatów słuchowych.

Audiometr komputerowy stanowi symulację programową przyrządu audiometrycznego średniej klasy, wyposażonego w zaawansowany system baz danych. Pozwala to na zarejestrowanie i zarchiwizowanie wyników pomiarów audiometrycznych. Warunkiem dokładności wykonanych pomiarów jest wykorzystanie podczas pracy z programem odpowiednich, wykalibrowanych słuchawek audiometrycznych.

System symulacji działania protez słuchu i doboru aparatów słuchowych, działający w postaci oprogramowania multimedialnego, może być wykorzystany zarówno do doboru nastaw aparatów słuchowych, jak i implantów ślimakowych, a także do prowadzenia szeroko pojętych badań rozumienia mowy. Opiera się on na wykorzystaniu sygnałów mowy filtrowanej dynamicznie w szumie dla potrzeb dopasowania protezy w taki sposób, aby jej nastawy zostały zoptymalizowane pod kątem zdolności rozumienia mowy przez osobę z uszkodzonym słuchem [3]. W celu uwiarygodnienia wyników badań opracowano miniaturowy elektroniczny kalibrator poziomu sygnałów audiometrycznych. Współpracuje on ze słuchawkami audiometrycznymi i umożliwia precyzyjne ustawienie poziomu sygnałów testowych odbieranych przez badaną osobę.

Dodatkowo łączność komputerowa z lokalnymi ośrodkami medycznymi pozwala na zainstalowanie systemów zdalnych konsultacji medycznych, przykładowo w postaci systemu wideokonferencyjnego. Zapewnia to kontakt z audiologiem o charakterze wideofonicznym, oparty na tzw. chacie, czyli wymianie tekstu on-line. Pozwala na uszczegółowienie diagnozy, wyjaśnienie ewentualnych wątpliwości i co najważniejsze – ukierunkowanie dalszych działań. Stanowi istotny element pomocy, zwłaszcza dla rodziców dzieci dotkniętych wadą słuchu, którzy niejednokrotnie nie wiedzą, jak zachować się w zupełnie nowej, trudnej życiowo sytuacji stwierdzenia niepełnosprawności ich dziecka. Podłączenie serwisu wideokonferencyjnego do jednej z wersji systemu „Słyszę” umożliwia kontakt audiowizualny badanej osoby lub jej opiekuna z audiologiem. Można przypuszczać, że ten posiadający wiele zalet sposób komunikowania się osoby badanej z lekarzem, w obliczu rozwoju sieci komputerowych i telemedycyny, może stać się w przyszłości nie tylko pożądanym, ale również powszechnym [2].

Tradycyjnie stosowane metody pomiarowe opierają się przede wszystkim na trójtonej audiometrii tonalnej. Prezentowana metoda komputerowa bazuje na

dotadowym wykorzystaniu audiometrii mowy w szumie. Jako sygnałów testowych obok tonów prostych używa się w niej sygnałów mowy zmiksowanych w odpowiednich proporcjach z sygnałem szumu.

Komputerowa audiometria, jeśli ma odegrać rolę profesjonalnego narzędzia diagnostycznego, powinna spełnić określone wymagania metodyczne:

- oparcie badań na wykorzystaniu komputera osobistego,
- poprzedzenie badań ankietą komputerową, rejestracja poprzez nią danych osobowych oraz innych dodatkowych informacji wspomagających proces przesiewu,
- opracowanie przebiegu badań w formie testu zamkniętego,
- oparcie metody badawczej na audiometrii mowy w szumie,
- wykorzystanie jako szumu maskującego sygnału mowy szumu CCITT lub Fastla,
- zachowanie w czasie testu stałego stosunku poziomów sygnału mowy do sygnału szumu,
- próg zrozumiałości mowy należy wyznaczyć eksperymentalnie poprzez przeprowadzenie testów pilotażowych, a wiarygodność uzyskanego wyniku poddać ocenie statystycznej,
- audiometr musi spełniać wymagania kalibracyjne określone odpowiednimi normami.

Badania audiometryczne przeprowadzane z wykorzystaniem komputera adresowane są głównie do dzieci i młodzieży. Stąd przy konstrukcji badań preferowane jest użycie testu zamkniętego. Posiada on wiele zarówno wad, jak i zalet, z których najważniejsza to fakt, że taki test nie wymaga od osoby badanej wpisywania odpowiedzi słownych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku badań małych dzieci, które nie opanowały umiejętności pisania z użyciem klawiatury. Zastosowanie w tym przypadku procedury badawczej polegającej na wyborze proponowanych odpowiedzi na monitorze komputera za pomocą myszki jest zdecydowanie bardziej wskazane. Testy dla najmłodszej grupy dzieci powinny być dodatkowo wzbogacone o odpowiednie elementy graficzne, w tym również zabawowe.

Procedura badawcza oparta na audiometrii mowy w szumie jest uzasadniona szczególnie w przypadku testów przesiewowych dzieci. Testy wykorzystujące audiometrię mowy, w odróżnieniu od klasycznych metod opartych na audiometrii tonalnej, pozwalają nie tylko na badanie mechanizmu słyszenia, lecz dodatkowo na sprawdzenie mechanizmów percepcji mowy. Pożądane efekty to wykorzystanie szumu maskującego ucho badane, minimalizującego niepożądany wpływ szumów tła akustycznego oraz fakt, że warunki pomiarów wykorzystujących szum maskujący ucho badane są zbliżone do warunków naturalnych. W testach audiometrycznych mowy można zastosować kilka rodzajów szumu. Należą do nich:

- szum biały,
- szum różowy,
- szum mowy,
- szum typu „cocktail-party”.

Dwa pierwsze rodzaje szumów, czyli szum biały i różowy stosowane są w audiometrii mowy niezwykle rzadko. Częściej używany jest szum typu „cocktail-party”, czyli nagranie kilku lub kilkunastu osób mówiących jednocześnie. Najczęściej stosowany jest szum mowy. Charakterystyka amplitudowa jego widma zbliżona jest do uśrednionej charakterystyki amplitudowej widma sygnału mowy. Przykładem

szumu mowy wykorzystywanym w audiometrii komputerowej jest szum CCITT wymieniony wcześniej w zaleceniach metodycznych. Posiada on charakter pasmowy o częstotliwości środkowej około 500 Hz, którego długoterminowa obwiednia amplitudowa zaznaczona krzywą łamaną jest stała w czasie. Innym przykładem szumu mowy jest wymieniony jako alternatywny szum Fastla. W odróżnieniu od szumu CCITT ten posiada charakterystykę czasową zbliżoną do charakterystyki czasowej sygnału mowy. Jego widmowa charakterystyka amplitudowa jest taka sama, jak w przypadku szumu zalecanego przez CCITT. Różnica dotyczy charakterystyki czasowej, gdyż w przypadku szumu Fastla obwiednia amplitudowa jest zmienna w czasie. Szum ten można uzyskać z wykorzystaniem szumu CCITT poprzez zmodulowanie go amplitudowo sygnałem szumu pasmowego o częstotliwości środkowej 4 Hz. Jest to istotna wskazówka praktyczna dotycząca organizacji audiometrii komputerowej i realizacji badań [1].

W dalszej kolejności jako rozwiązanie praktyczne zostaną zaprezentowane konkretne rozwiązania sprzętowe stosowane w audiometrii komputerowej: multimedialny audiometr komputerowy o nazwie MAK oraz wielokanałowy multimedialny audiometr behawioralny

Multimedialny audiometr komputerowy MAK

Multimedialny audiometr komputerowy MAK stanowi przykład praktycznego zastosowania techniki multimedialnej w audiologii, a tym samym diagnozie słuchu [1]. Jego podstawową zaletą jest fakt, że działa w systemie operacyjnym Windows. Poza MAK skonstruowano szereg innych rozwiązań audiometrycznych, np. AudioStation czy Digital Audiometr. Ich podstawową wadą są specyficzne wymagania sprzętowe związane z wykorzystywaniem możliwości wielozadaniowych platform sprzętowych. Oparte są one na działaniu mało popularnych platform sprzętowych. Wymienione rozwiązania, wymagające przetwarzania równoległego, bazują na stosunkowo mało popularnej platformie NeXT, a tym samym na możliwościach systemu operacyjnego NeXTStep, będącego odmianą systemu Unix.

Prezentowany multimedialny audiometr komputerowy MAK pozwala na prowadzenie badań audiometrycznych przy pomocy standardowego sprzętu komputerowego, bez konieczności korzystania z kosztownej, tradycyjnej aparatury audiometrycznej. Oprogramowanie wymaga jednak współpracy z odpowiednim zestawem słuchawkowo-kalibracyjnym. Zastosowanie bazy danych daje możliwość zbierania i przetwarzania dużej ilości wyników badań audiometrycznych, ich kategoryzowanie, porównywanie i opracowywanie statystyczne. Możliwa jest bezpośrednia transmisja wyników badań audiometrycznych przez Internet do centralnego serwera, gdzie wyniki są gromadzone i archiwizowane. Sygnały do prowadzenia badań audiometrycznych odtwarzane są bezpośrednio ze ścieżek fonicznych płyt CD-ROM, na których zostały wcześniej zarejestrowane. Wskaźnik strumienia CD-Audio kontrolowany jest poprzez ustawienia wartości urządzeń sterowania interfejsu użytkownika aplikacji audiometru komputerowego i jest dodatkowo korygowany ze względu na krzywą normalnego słyszenia oraz stosownie do charakterystyk częstotliwościowych wykorzystywanych słuchawek [3].

Stosowane oprogramowanie umożliwia prowadzenie pomiarów w dwóch trybach. W pierwszym z nich zmiana częstotliwości sygnału używanego do pomiarów

i jego poziomu jest sterowana ręcznie przez prowadzącego badanie. W drugim trybie zmiany następują automatycznie, odtwarzane są kolejne ścieżki z nagraniem sygnałów testowych odpowiadających poszczególnym częstotliwościom pomiarowym. Ma to miejsce w porządku odpowiadającym narastaniu poziomu dźwięku. Tak jak w tradycyjnym badaniu audiometrycznym w momencie osiągnięcia przez sygnał właściwego dla danej osoby poziomu progowego badany sygnalizuje obecność dźwięku w słuchawkach. Informacja ta zostaje natychmiast wprowadzona do komputera za pomocą naciśnięcia klawisza myszy komputerowej. Odpowiada to zaznaczeniu punktu charakteryzującego progową czułość słuchu dla bodźca o danej częstotliwości na charakterystyce audiometrycznej, która jest rysowana na skali „częstotliwość i poziom dźwięku” [1].

Kolejno ma miejsce zmiana częstotliwości bodźca i odczytanie ścieżki z zapisem sygnałów akustycznych. Odpowiadają one oczywiście sygnałom akustycznym o nowej częstotliwości, odtwarzanym, jak poprzednio, w kolejności odpowiadającej narastaniu poziomu dźwięku. Takie konsekwentne działanie prowadzi do uzyskania na ekranie komputera charakterystyki audiometrycznej dla badanej osoby. W dalszej kolejności charakterystyka zostaje zarchiwizowana w bazie danych wchodzącej w skład programu lub wydrukowana na drukarce podłączonej do komputera. Przykładowo: wykorzystywane do badań częstotliwości sygnałów bodźcowych będące sygnałami harmonicznymi to: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 10 kHz. W celu przeprowadzenia badań każdy sygnał musi zostać zapisany cyfrowo z następującymi poziomami: -10 dB, -5 dB, 0 dB, 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB, 55 dB, 60 dB, 65 dB, 70 dB, 75 dB, 80 dB, 85 dB, 90 dB, 95 dB, 100 dB, 105 dB, 110 dB, 115 dB. Istnieją wersje oprogramowania, które umożliwiają zagłuszanie aktualnie nie badanego ucha poprzez odtwarzanie szumu. Jego fragmenty o różnych poziomach natężenia w zakresie 10–100 dB są również zapisywane na dysku komputera razem z sygnałami testowymi.

Traktując całościowo przedstawianą problematykę zastosowania techniki komputerowej w audiometrycznych badaniach słuchu, należałoby odnieść się dodatkowo do dokładności pomiarów czułości słuchu, uzyskiwanych za pomocą audiometru komputerowego. Przeprowadzone badania porównawcze badań prowadzonych z użyciem audiometru tradycyjnego oraz komputerowego audiometru AD-841, MADSEN Midimate 622 i MAK wskazały na porównywalność wyników, zwłaszcza w grupie dzieci i osób młodszych [1]. Tradycyjne audiometry stosowane powszechnie w diagnostyce słuchu różnią się znacznie pomiędzy sobą czułością w skali częstotliwości. Audiometr komputerowy w pełni mieści się w tych granicach. Stąd może, a nawet powinien być on stosowany w badaniach diagnostyczno-przesiewowych słuchu.

W dalszej części zostanie omówiony oparty na innym rodzaju audiometrii niż prezentowana do tej pory – na audiometrii behawioralnej – wielokanałowy multimedialny audiometr behawioralny.

Wielokanałowy multimedialny audiometr behawioralny

Audiometria behawioralna stanowi efektywne narzędzie diagnostyki słuchu zwłaszcza małych dzieci, od 6 miesiąca życia do 3 lat, oraz osób upośledzonych. W tych grupach przeprowadzenie badań standardowych metodami audiometrii

tonalnej lub audiometrii mowy jest ograniczone, lub wręcz niemożliwe. Ocena przeprowadzana jest na podstawie reakcji badanego na podawany bodziec dźwiękowy. Stąd zasadnicza trudność i podstawowe zadanie testów polegające na wyćwiczeniu wymaganej reakcji u badanego i nauczaniu go tej czynności. Do najczęściej stosowanych metod tego rodzaju audiometrii należy przykładowo badanie słuchu metodą zabawową, jej odmiana o nazwie projekcyjna lub filmowa, czy też metoda oddziaływania poprzez wzmocnienie bodźców wzrokowych, poprzez jednoczesną prezentację dźwięku i obrazu [1].

Działanie audiometru spełnia podstawowe założenia zalecane w audiometrii behawioralnej w zakresie stosowania sygnałów dźwiękowych. Są to:

- czas trwania dźwięku około 5 s,
- możliwość wyboru różnego rodzaju dźwięków, zarówno naturalnych znanych z bezpośredniego kontaktu z otoczeniem, jak również syntetycznych, takich jak szумы czy sygnały modulowane (tabela 1),
- możliwość generowania dźwięków przypisanych do jednego z trzech podstawowych zakresów częstotliwości: niskiego, średniego i wysokiego,
- wyrównana dynamika postaci czasowej sygnału,
- atrakcyjność i łatwość spostrzegania sygnałów dźwiękowych, przykładowo zwiększona przez wprowadzenie kluczowania czasowego,
- opracowanie testów dźwiękowych umożliwiających określanie progu słyszenia u małych dzieci, uwzględniających ich zdolności w lokalizowaniu źródła dźwięku.

Wymagania te doprowadziły do opracowania zestawienia sygnałów naturalnych, które mogłyby stać się przykładowymi dźwiękami testowymi z szacunkową kwalifikacją do trzech głównych zakresów częstotliwości, możliwymi do potencjalnego zastosowania w audiometrii behawioralnej. Prezentuje je tabela 1.

Tab. 1. Źródła dźwięków naturalnych potencjalnie znanych badanemu dziecku, z szacunkową kwalifikacją do trzech głównych zakresów częstotliwości, możliwe do zastosowania w audiometrii behawioralnej [1]

Częstotliwości niskie (zakres 50–750 Hz)	Częstotliwości średnie (zakres 750–3000 Hz)	Częstotliwości wysokie (zakres 3–20 kHz)
warkot silnika (różne rodzaje)	odgłos dzwonu	piszczałki, gwizdki
bieganie po schodach (drewnianych, betonowych)	grające zabawki	zabawki gumowe
pojazdy: pociąg, tramwaj, autobus, samochody osobowe, winda	dzwonek telefonu (różne rodzaje), budzik	dzwonki (różne rodzaje) średnie, małe, klucze, trójkąt
stukanie młotem w ścianę	lejąca się woda	świerszcze
wiertarka	kapiący kran (krople spadające na różne powierzchnie)	odgłosy zwierząt: kanarki, ptaki leśne
bębny (różne rodzaje)	grzechotki: kukurydza, groch w różnych pojemnikach, tamburyn	grzechotki (metalowe przedmioty w szklanym pojemniku), piasek w puszcze

dźwięki zwierząt: krowa, baran, koń niedźwiedź, sowa, pies (różne), wrona	dźwięki zwierząt: kaczki, kury (koguty), papugi, słoń, żaby, gęsi, kaczki, koty (różne), mewy	
odkurzacz, pralka	tluczone szkło	
bicie serca	oklaski	
	klakson samochodowy	

W trakcie prac naukowo-badawczych opierano się na doświadczeniach związanych ze stosowaniem transpozera widma do poprawy rozumienia mowy osób z dużymi ubytkami słuchu. Charakteryzuje się one występowaniem tzw. audiogramu narożnego, reprezentującego wąskie pole słyszenia resztkowego w zakresie niskich częstotliwości i wysokich poziomów dźwięku.

Zasadniczym i najważniejszym celem prac w zakresie badań audiometrycznych jest skonstruowanie takiego narzędzia diagnostycznego, które można byłoby w prosty sposób dostosować do aktualnych potrzeb badań słuchu. Znanych jest co najmniej kilka sposobów przygotowania testów dźwiękowych do audiometrii behawioralnej. Niektóre wymagają przyjęcia założeń odnośnie do profilu testu, liczby analizowanych pasm, kroku, z którym zmienia się głośność sygnału, jego rodzaju, kierunku, z którego ma być odtworzony oraz odpowiedniego przygotowania płyt CD/DVD.

W innych sposobach wykorzystuje się komputer. Podstawowym elementem jest wtedy wybór, według indywidualnych wymagań użytkownika odpowiadającej mu platformy komputerowej i metody konfiguracji testu. W prezentowanym wielokanałowym multimedialnym audiometrze behawioralnym użytkownik sam wybiera bezpośrednio przed badaniem taki profil testu, jaki uważa za najbardziej wskazany w danym przypadku.

Jak pokazano na kilku wybranych przykładach, udział techniki komputerowej w badaniach audiometrycznych słuchu jest znaczny. Zmieniła ona w zasadniczy sposób podejście i możliwości w zakresie badania słuchu, wnosząc w audiometrię nowe metody i treści. W najbliższym czasie można spodziewać się dalszych zmian, a tym samym nowych szans dla osób z uszkodzonym słuchem. Im lepsze, powszechniejsze i bardziej dostępne metody pomiarowe, a przy tym nowocześniejsze, tym większa szansa na szybszą i trafniejszą diagnozę, a tym samym rewalidację.

Bibliografia

- [1] Czyżewski A., Kostek B., Skarżyski H., *Technika komputerowa w audiologii, foniatrii i logopedii*, PWN, Warszawa 2002
- [2] Zielińska J., *Technika medialna w edukacji osób niepełnosprawnych. Szanse i wyzwania*, [w:] *Osoba-Edukacja-Dialog*, t. 2, red. M. Ledzińska, G. Rudkowska, L. Wrona, Wyd. Naukowe AP, Kraków 2002
- [3] Zielińska J., *Komputer w rozwoju sprawności komunikacyjnej dzieci niesłyszących*, Wyd. Adam Marszałek, Toruń 2005

Application of Computer for Audiometric Research

Abstract

In the paper possibilities of a computer technology application for audiometric hearing ability were presented. A general concept of computer audiometry was overviewed and modern tools for hearing testing were described. The usage of the modern multimedia audiometer MAK and the multichannel behavioral audiometer was discussed. This way the theoretical and the practical aspects were combined in simple examples.

Keywords: audiometer, computer, hearing fault

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

Jerzy Zieliński, Marek Olifierczuk

Systemy projekcyjne – kierunki i perspektywy rozwoju

Displeje projekcyjne umożliwiające jednoczesną obserwację ekranu przez wielu odbiorców przeżywają w ostatnich kilku latach wprost lawinowy wzrost sprzedaży. W związku z obniżeniem się ich ceny wzrasta zainteresowanie nimi, zwłaszcza takimi systemami, które pozwalają na przedstawienie obrazu graficznego lub wideo, oczywiście koniecznie barwnego. Poza klasycznymi, profesjonalnymi zastosowaniami do zobrazowania sytuacji (np. w: centrach kierowania i dowodzenia, centrach konferencyjnych, w dużych audytoriach i aulach wykładowych, w centrach symulacji i treningu, na stadionach i innych dużych obiektach). Displeje coraz częściej wykorzystywane są do prezentacji dla kilku, kilkunastu słuchaczy na wykładach w szkole, na uczelni, w odprawach i naradach w przedsiębiorstwie, banku, czy wreszcie jako projektory telewizji – alternatywa dla wielkowymiarowych telewizorów plazmowych i ciekłokrystalicznych. Jak widać już z tego niepełnego zestawienia, powinny to być projektory o rozdzielczości co najmniej klasy XGA (768x1024 pikseli kolorowych), a najlepiej SXGA lub HDTV (1280x1024 pikseli kolorowych). Dodatkowo obraz musi charakteryzować odpowiedni kontrast i luminancja, która dla projektorów dla małych sal konferencyjnych nie powinna być mniejsza niż 200 lumenów, natomiast dla dużych centrów kontroli musi to być około 2000 lumenów.

W publikacji zostaną przedstawione aktualne rozwiązania stosowanych systemów projekcyjnych oraz potencjalna perspektywa możliwości zastosowania tych rozwiązań w projektorach multikina cyfrowego.

Historia systemów projekcyjnych

Pierwszy patent opisujący system projekcyjny pochodzi z 1884 roku. W systemie tym miał być retransmitowany obraz 18 linii. Świadomie piszę „miał”, albowiem nie ma potwierdzenia, że taki system kiedykolwiek został zbudowany [1].

Pierwszy pracujący system został zaprezentowany w 1902 roku, projekcja 12,5 linii obrazu z częstotliwością 40 Hz odbywała się za pomocą dysku obracającego się z prędkością 30 000 obr./min. Uzyskany obraz był tak słaby, że mógł być obserwowany tylko w zupełnych ciemnościach.

Kolejne lata to czas pierwszych poważnych prac nad telewizją CRT, które to prace zepchnęły inne systemy trochę na dalszy plan. Ale również wówczas myślano o tym, jak powiększyć mały obraz z ekranu telewizora. W 1936 roku jeden z twórców systemu Microvision, (który umożliwiał uzyskanie obrazu o przekątnej 3"

z odległości 6") powiedział: „nie wierzę, że ludzie będą woleli oglądać mały obraz jeśli za podobną cenę będą mogli nabyć system zobrazowania wielkoformatowego”.

Pierwszy poważny przełom w zainteresowaniu systemami projekcyjnymi pojawił się tak naprawdę w czasie II wojny światowej i bezpośrednio po niej, i był związany z koniecznością zobrazowania sytuacji widzianej przez radar. Kolejny krok milowy to 1946 rok i pierwszy programowalny komputer ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*). Te przełomowe odkrycia uczyniły z systemów projekcyjnych nie tylko domową wideozabawkę, ale poważny system profesjonalnego kierowania i śledzenia obiektów.

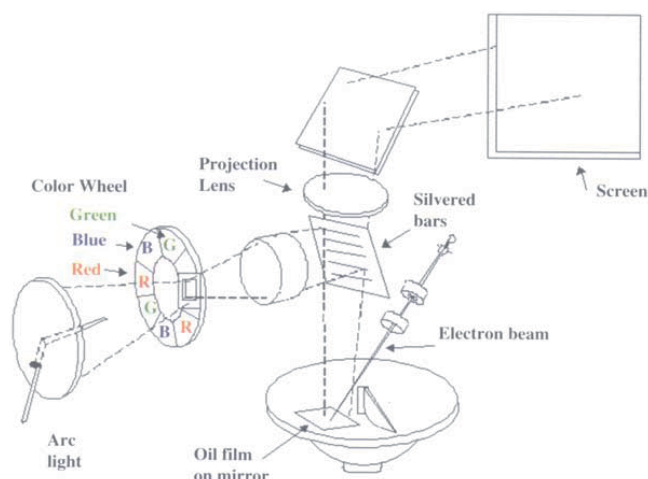
Systemy projekcyjne z warstwą olejową

Pierwszy projektor tego systemu został skonstruowany w latach 1940–43 w neutralnej Szwajcarii [2] przez prof. Fritza Fishera pracującego w Technical Physics Department of the Swiss Federal Institute of Technology w Zurichu.

Systemy projekcyjne z warstwą olejową stosowane były do zobrazowania informacji w centrach kierowania lotami od II wojny światowej (początkowo były to systemy monochromatyczne). Nowsze wersje, pomimo bardzo wysokiej ceny, są (co prawda rzadko) wykorzystywane również dzisiaj. Ich podstawową zaletą jest bowiem bardzo duża jasność (dochodząca do 5000 lumenów) umożliwiająca pracę w bardzo dużych pomieszczeniach i jednocześnie obserwację nawet przez zespół kilkudziesięciu osób [3].

Typowy układ takiego systemu został przedstawiony na rysunku 1. Jest to połączenie Schilerenowskiego układu optycznego z modulującym wiązkę medium w postaci przezroczystej warstwy olejowej. Źródłem informacji jest działło elektronowe umieszczone poza osią wirującego talerzowego zwierciadła z warstwą olejową. Siły elektrostatyczne na powierzchni warstwy olejowej są źródłem deformacji o amplitudzie proporcjonalnej do intensywności zaburzenia wiązką elektronów. Źródłem światła jest lampa, która oświetla warstwę olejową przez serię zwierciadeł, w tym zwierciadło Schilerenowskie, które jest umieszczone tuż przed systemem soczewek rzutujących. Sferyczne zwierciadło z warstwą olejową odbija padające promienie. Światło z obszaru niezdeformowanego (klarownego) nie dociera do soczewek rzutujących i ten obszar na ekranie jest czarny. Światło z obszarów zdeformowanych daje natomiast impulsy na ekranie. Obraz kolorowy uzyskuje się przez złożenie trzech niezależnych systemów. Oczywiście system zapisu informacji pracuje w próżni.

Systemy „olejowe” są w pełni profesjonalne i komercyjne, i mogą odtwarzać obraz klasy HDTV o rozdzielczości 1125 linii. Typowa sprawność tego typu przetworników to 0,5–1,0 lumena/W. Ich wadą jest natomiast bardzo wysoka cena, jak i duże bieżące (codzienne) koszty eksploatacji [4–6].



Rys. 1. Olejowy przetwornik obrazu do systemów projekcyjnych (Eidophor, koncepcja F. Fischera ze Szwajcarskiego Federalnego Instytutu Technologicznego)

Systemy projekcyjne z lampami CRT

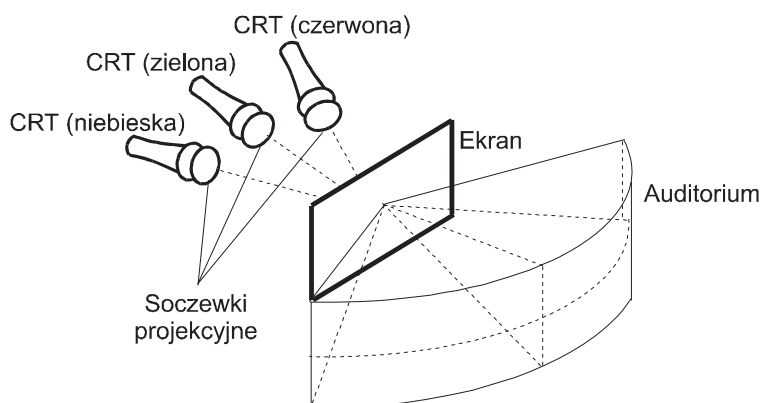
Wspomniane wyżej systemy rozwijane i badane praktycznie od odkrycia lampy Browna. Ich największa popularność przypadła na lata 70. i 80., obecnie – w nowo budowanych systemach – wykorzystywane coraz rzadziej. Szczytowym momentem w rozwoju projekcyjnych systemów z lampami CRT była komercyjna projekcja cyfrowego filmu *Gwiezdne wojny* w dwóch kinach Los Angeles i Nowego Jorku w 1999 roku [7]. W ten sposób zademonstrowano najdoskonalsze projektory z lampami CRT.

Elektronopromieniowe lampy projekcyjne swoją budową i konstrukcją odbiegają od tych, do jakich jesteśmy przyzwyczajeni w naszych domowych telewizorach, czy też komputerach. Przede wszystkim muszą one zabezpieczyć bardzo dużą jasność uzyskiwanego obrazu, taką aby możliwa była dalsza jego projekcja. Odbywa się to oczywiście kosztem czasu pracy takiej lampy oraz jej wielkości. Dlatego też typowe lampy projekcyjne są monochromatyczne i mają przekątną ekranu nie większą niż 10".

W praktyce najczęściej wykorzystywany jest system oparty na trzech lampach projekcyjnych o przekątnej 5, 7, 9 lub 13 cali. Każda z lamp daje obraz monochromatyczny – czerwony, zielony lub niebieski, który następnie jest rzutowany na ekran, gdzie uzyskujemy obraz w pełni barwny. Rzutowanie może odbywać się albo z każdej lampy przez jej indywidualny układ soczewek bezpośrednio na ekran, lub też po jego złożeniu wewnątrz projektora przez jedną soczewkę i jeden układ projekcyjny. Ten drugi system jest oczywiście bardziej uniwersalny i np. po zmianie położenia projektora względem ekranu nie wymaga dodatkowego justowania.

W systemach projekcyjnych z lampami CRT wzajemnie sprzeczne są żądania jednoczesnego uzyskania dużej luminancji i rozdzielczości obrazu. Dla danego napięcia przyspieszającego wzrost luminancji wymaga większego prądu, co jest możliwe przez zwiększenie średnicy plamki elektronów, a zatem pośrednio wpływa na zmniejszenie rozdzielczości. Dodatkowo większa luminancja powoduje wyższą

temperaturę luminoforu, co dodatkowo wpływa na skrócenie czasu życia lampy CRT oraz wymusza stosowanie drogich systemów jej chłodzenia.



Rys. 2. System projekcyjny wykorzystujący lampy CRT (schemat działania)

Systemy ze zwielokrotnionymi lampami CRT są stosowane w złożonych układach profesjonalnych dla wielkich sal wykładowych i domów handlowych. Przez wykorzystanie do projekcji 6–12 lamp, czyli zestawienie 2–4 poprzednich systemów, można uzyskać znaczną poprawę zarówno luminancji, jak i rozdzielczości przy zachowaniu czasu bezawaryjnej pracy układu. Niestety uzyskiwane parametry są jeszcze niewystarczające zwłaszcza w zakresie rozdzielczości, aby można było stosować system do zobrazowania sytuacji, np. na stanowiskach kontroli lotów lub wysoko rozdzielczej grafiki komputerowej. System taki może być co najwyżej wystarczający do wiernego odtwarzania obrazów w standardzie NTSC. Kolejny ważny problem to trwałość luminoforu narażonego na bardzo trudne warunki pracy. Czas pracy luminoforu można zwiększyć albo zmniejszając maksymalną moc generowaną przez luminofor, albo obudowując lampę projekcyjną systemem chłodzącym.

Ze względu na fakt wykorzystania wielu lamp jednocześnie, znacznej komplikacji ulega układ optyczny, który musi skompilować jeden sygnał wyjściowy, barwny, o bardzo dużej rozdzielczości. Kolejnym problemem jest czas pracy lampy, który w profesjonalnych systemach graficznych nie przekracza 1000 godzin [8]. Dlatego też systemy projekcyjne z lampami CRT powoli wychodzą z użytku.

Wiek XXI należy do jakościowo nowych systemów, które, rozwijane od połowy lat 70., w bieżącym stuleciu osiągnęły dojrzałość technologiczną, co w połączeniu z rozwojem innych elementów, takich jak lampy, soczewki, integratory, czy wreszcie filtry, pozwoliły na znacząco poprawę jakości obrazu lub potanieenie projektora do poziomu średniej jakości telewizora. Mamy więc obecnie na rynku trzy nowe systemy projekcyjne:

- układy ciekłokrystaliczne, adresowane zarówno matrycą pasywną, jak i aktywną,
- systemy mikromechaniczne adresowanych cyfrowo DMD,
- ciekłokrystaliczne przetworniki obrazu.

Dwa pierwsze mają szansę spopularyzować projekcję obrazów wideo lub cyfrowych do poziomu powszechności telewizji, natomiast dwa ostatnie już w najbliższym czasie mogą zmienić obraz naszych kin. Dlatego też poniżej spróbujemy bliżej

przyjrzeć się zasadzie pracy tych systemów i ocenić ich potencjalne możliwości i bariery.

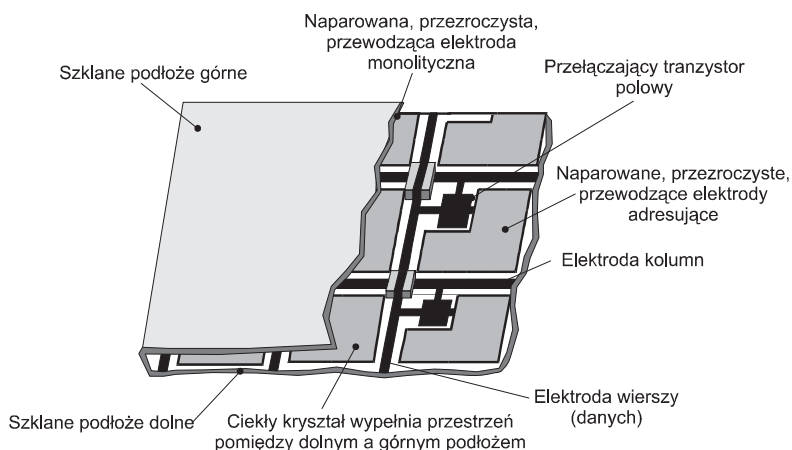
Systemy projekcyjne z dysplejami ciekłokrystalicznymi

Systemy adresowane elektronicznie

Displeje ciekłokrystaliczne wprowadziły bardzo poważne zmiany na rynku systemów zobrazowania, w tym również w zakresie wykorzystania systemów projekcyjnych. Były to pierwsze projektory o zwartej konstrukcji, stosunkowo lekkie, łatwe do przewożenia i uruchomienia w dowolnym miejscu, a dodatkowo niezbyt drogie. Pierwsze systemy pozwalały na dokładne przedstawienie prezentacji naukowej i biznesowej, później doszły projekcje krótkich filmów i wreszcie osiągnięto poziom wiernej prezentacji grafiki komputerowej i wideo na poziomie kina domowego. W systemach takich mogą być wykorzystywane displeje adresowane zarówno matrycowo, jak i analogowo [9].

Najogólniej rzecz ujmując, adresowanie matrycowe polega na wykorzystaniu struktury dyskretniej, która jest adresowana przez przyłożenie w odpowiednim czasie impulsów adresujących. Displeje adresowane analogowo – często nazywane przetwornikami obrazu – nie mają takiej dyskretniej struktury, a obraz jest przetwarzany „całą powierzchnią” displeja.

Schemat budowy ciekłokrystalicznego displeja adresowanego matrycą aktywną został przedstawiony na rysunku 3. Jedno podłoże, np. dolne, wykonane ze szkła lub kwarcu, jest podłożem „punktowym” zawierającym elektrody adresujące połączone ze sterującymi tranzystorami polowymi, które tworzą linie kolumn i wierszy. Drugie podłoże jest monolityczną elektrodą.



Rys. 3. Schemat budowy displeja ciekłokrystalicznego adresowanego matrycą aktywną

W tranzystorze sterującym konkretnym pikselem bramka jest podłączona do elektrod adresujących wierszem, natomiast źródło i dren do elektrod kolumn. Matryca takich tranzystorów jest adresowana przez odpowiednie *drivery*, które w przypadku wyświetlaczy dla systemów projekcyjnych mogą być zewnętrzne lub

monolityczne (zintegrowane) z matrycą aktywną. Dla displeja o dużych pojemnościach dodatkowo poza tranzystorem polowym formuje się kondensator „wspomagający pamięć”. To wszystko dla 768x1024x (3 kolory) lub 1024x1280x (3 kolory) oddzielnych punktów obrazu na powierzchni typowego przezrocza, czyli o przekątnej 1,3–3”.

Dla utrzymania stabilnej w czasie jakości obrazu w systemie projekcyjnym konieczne jest utrzymanie napięcia na pikselu z dokładnością lepszą niż 10%, co określa wymagania na stabilność parametrów ciekłego kryształu w czasie eksploatacji projektora (czyli kilka lat).

Wymagania na produkcję wyświetlaczy LC do systemów projekcyjnych spełniają tylko wybrane technologie (spośród możliwych do wykorzystania półprzewodnikowych technologii matryc aktywnych):

- tranzystory TFT na amorficznym krzemie (α – Si),
- tranzystory TFT na polikrystalicznym krzemie (poly – Si), formowane w wysokich temperaturach ($\sim 1050^{\circ}\text{C}$),
- tranzystory MOSFET formowane na monokrystalicznym krzemie (C – Si).

Zaletą **technologii α – Si** jest możliwość osadzania warstwy aktywnej krzemu w stosunkowo niskich temperaturach – poniżej 450°C . W ten sposób szkło na podłożu nie musi spełniać ostrych wymagań temperaturowych. Cechą charakterystyczną struktur α – Si TFT jest ograniczona ruchliwość nośników, co wpływa bezpośrednio na szybkość przełączania i możliwość budowy projektorów wideo o dużych rozdzielczościach. Niewątpliwą zaletą technologii α – Si TFT jest natomiast możliwość wytwarzania różnych typów ciekłokrystalicznych displejów α – Si zarówno tych do obserwacji bezpośredniej, jak i projekcyjnych na jednych liniach produkcyjnych. Wpływa to na znaczące obniżenie kosztów.

Technologia poly – Si może być realizowana w jednej z dwóch wersji:

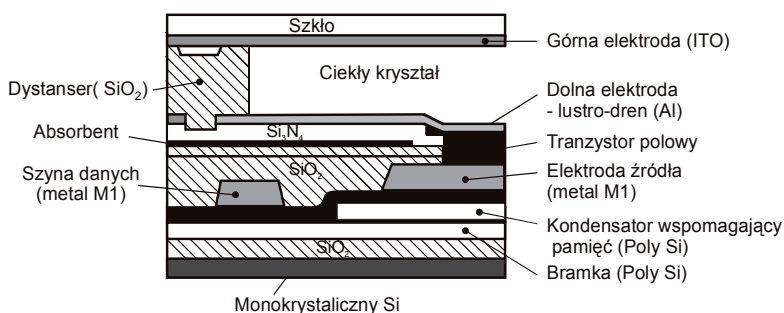
- wysokotemperaturowej HT – poly Si wymagającej temperatur rzędu 1000°C i więcej, i w tych warunkach podłożem musi być kwarc,
- niskotemperaturowej LT – poly Si wymagającej temperatur rzędu 600°C , w której podłożem może być również szkło.

Zaletą stosowania technologii HT – poly Si jest możliwość otrzymania struktur o niewielkich wymiarach geometrycznych, co pozwala na otrzymywanie wyświetlaczy o dużej pojemności i rozdzielczości przy jednocześnie dużej aperturze – ok. 60% dla piksela $32\text{ }\mu\text{m}$ (apertura – stosunek powierzchni przez którą przechodzi światło do całkowitej powierzchni punktu obrazu).

Ważną cechą displejów budowanych za pomocą technologii α – Si i poly – Si jest utrzymanie w obszarze aktywnym warstwy przezroczystej dla światła widzialnego. Dzięki przezroczystości warstwy aktywnej w polu czynnym tego wyświetlacza może on pracować w modzie transmisyjnym zapewniającym dużą jasność otrzymanego obrazu oraz wierność odtworzonych barw.

Technologia bazująca na **krzemie monokrystalicznym** jest badana i stosowana głównie w budowie małych displejów – głównie przetworników odbiciowych. W tym przypadku cała struktura piksela i elektroniki bliższej jest wykonywana w jednej „bryle” monokrystalicznego krzemu klasycznymi technologiami stosowanymi przy wytwarzaniu układów CMOS. Jedyną modyfikacją technologii CMOS dla potrzeb LCD jest wytworzenie elektrody „dolnej” i pokrycie warstwą metalicznego

lustra o dużym współczynniku odbicia. Przekrój przez pojedynczy piksel takiej struktury jest przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Przekrój poprzeczny przez pojedynczy piksel dysплея odbiciowego wykonanego w technologii monokrystalicznego krzemu

Bardzo ważnym problemem technologii na krzemie monokrystalicznym jest „wypoziomowanie” wszystkich mikrolusterek odpowiadających pojedynczym punktom obrazu – pikselom. W przeciwnym przypadku (gdy lustro nie są wypoziomowane) nie jest możliwe uzyskanie obrazu dobrej jakości. Dzieje się to dlatego, że już niewielkie nierówności położenia lusterek powodują niekorzystne, interferencyjne efekty optyczne w obrazie finalnym.

Biorąc pod uwagę, że cała struktura sterująca jest zbudowana w bryle półprzewodnika, apertura takiego dysплея jest znacznie większa niż dla technologii α -, poly – Si naniesionego na podłoże szklane, gdzie struktura tranzystora sterującego musi być wykonana powierzchniowo. W tej strukturze nie ma również problemów z poprowadzeniem doprowadzeń wewnętrznych oraz wykonaniem dodatkowych układów sterujących i adresujących, które mogą być wykonane klasycznymi technikami stosowanymi w technologii układów scalonych.

Problemem jest natomiast potrzeba budowania bardziej złożonego układu optycznego do projekcji obrazu odbiciowego.

W tabelach 1 i 2 zestawiono wykorzystanie przetworników ciekłokrystalicznych do budowy systemów projekcyjnych.

Tab. 1. Typowe technologie przetworników ciekłokrystalicznych do budowy systemów projekcyjnych

Technologie	Przetwornik LC/wymiar	Firmy budujące (w oparciu o niego) systemy projekcyjne
α – Si krzem amorficzny	Sharp /6,4 cala	3M, Telex, Lightware & CTX, Sharp, Proxima, Prolux
	Sharp /3,1 cala	Sharp
	Fujitsu /3,1 cala	Fujitsu
poly – Si krzem polikrystaliczny	Sony /1,3 cala	Sony, CTX, Lightware, Sharp, Hitachi, Sanyo Eiki, Toshiba Elmo
	Epson / 1,3 cala	Epson, In Focus, ASK, NEC, Panasonic, JVC, Philips
krzem monokrystaliczny	IBM /1,3 cala	APTl, Electrohome
	JVC /0,9 cala	JVC
	Pioneer /0,9 cala	Pioneer

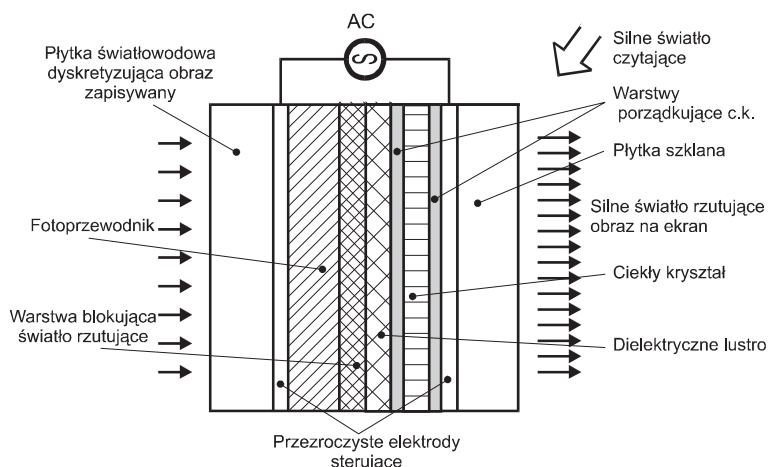
Tab. 2. Przykładowe matryce aktywne LCD wykorzystywane w systemach projekcyjnych.

Technologie	Producent	Przekątna (cale)	Rozdzielczość (liczba pixeli)	Apertura (%)
α -Si diody PIN DZR	FPD	5,8	756x756	43
TFD-R	FPD	2,8	640x480	45
α -Si:H TFT	NEC	4,2	1280x1024	35
HT p-Si TFT kolor	Seiko Epson	1,3	640x3x480	41
HT p-Si TFT	Sony	1,35 (HDTV)	1068x480	40
HT p-Si TFT	Sharp	2 (HDTV)	1280x1024	27
HT p-Si TFT	HDTEC	3,7 (HDTV)	1440x1024	70
HT p-Si TFT	Toshiba	3,3 (HDTV)	1840x1035	36
p-Si TFT PDLC	Mitsubishi	2,8	720x480	51,2

W przetwornikach dla systemów projekcyjnych przeważnie wykorzystywany jest efekt skręconego nematyka. Ma on bowiem tę niewątpliwą zaletę, że uzyskany efekt optyczny jest achromatyczny, a aktywny układ sterujący umożliwia uzyskanie nawet ponad 100° szarości, co w sumie daje bardzo wierne odtworzenie kolorów na ekranie. Dodatkowa zaleta to bogata baza mieszanin ciekłokrystalicznych umożliwiającą budowanie displejów pracujących w temperaturach 10°C – 70°C bez żadnych specjalnych układów stabilizujących.

Systemy adresowane optycznie – przetworniki obrazu

Poza elektronicznym adresowaniem matrycowym, wyświetlacze ciekłokrystaliczne mogą być **adresowane równolegle projekcyjnie**, np. za pomocą wysoko-rozdzielczej lampy CRT. Schemat budowy takiego przetwornika został pokazany na rysunku 5. Układ taki często jest nazywany wzmacniaczem obrazu, ponieważ obraz wejściowy o stosunkowo małej jasności jest wzmacniany przez przetwornik do wysokiej jasności przydatnej do rzutowania na dużym ekranie.

**Rys. 5.** Schemat budowy ciekłokrystalicznego wzmacniacza obrazu

Najważniejszą częścią (warstwą) wzmacniacza obrazu LCD, której jakość, jednorodność i właściwości fizyczne decydują o jakości przetwornika, jest warstwa

fotoprzewodnika. W stanie gdy na przetwornik z lewej strony nie jest rzutowany żaden obraz, napięcie na elektrodach sterujących jest dobrane tak, aby napięcie przyłożone do warstwy ciekłego kryształu było bliskie napięcia progowego. W chwili gdy z lewej strony jest rzutowany obraz wejściowy, padające światło powoduje proporcjonalne do swojej intensywności zmiany oporności fotoprzewodnika. Zmniejszenie (proporcjonalne do intensywności padającego światła) oporu elektrycznego fotoprzewodnika w pewnych obszarach analizowanego obrazu powoduje w tych miejscach wzrost napięcia na warstwie ciekłego kryształu i w ten sposób rzutowany obraz „odtwarza się” w warstwie ciekłego kryształu. W warstwie ciekłego kryształu dostajemy zatem pasywny „slajd”, który po oświetleniu z prawej strony mocnym światłem jest rzutowany na ekran. Jasność rzutowanego obrazu zależy od źródła oświetlającego i może być wielokrotnie większa od jasności lampy CRT. Z racji odbiciowego charakteru omawianego przetwornika LC ważną rolę odgrywają warstwa lustra dielektrycznego i warstwa blokująca. Warstwy te muszą zapewnić maksymalny współczynnik odbicia światła czytającego i zupełne jego zablokowanie – niedopuszczenie do warstwy fotoprzewodnika od lewej strony. W przeciwnym przypadku mocny strumień światła czytającego zakłóciłby obraz wczytywany w warstwie ciekłego kryształu.

Zazwyczaj w ciekłokrystalicznych wzmacniaczach obrazu stosuje się wysoce specjalizowane, wielowarstwowe lustra dielektryczne. Pojawiły się również rozwiązania z lustrem metalicznym mozaikowym izolowanym czarnym izolacyjnym matrixem. Lustro takie zapewnia lepszy współczynnik odbicia. Przyjmuje się, że dla dobrej pracy przetwornika do warstwy foto-przewodzącej nie może docierać więcej niż 10^{-6} światła „czytającego” [10].

W ciekłokrystalicznym dyspleju wzmacniacza obrazu wykorzystywane są różne efekty elektrooptyczne, przy czym najczęściej jest to efekt TN o skróceniu 45° . Właśnie opierając się na tego typu przetworniku obrazu, zbudowano i zaprezentowano na konferencji SID'99 w San Jose projektor ILA® pierwszy ciekłokrystaliczny projektor o jakości umożliwiającej wyświetlanie panoramicznego obrazu kinowego.

W przypadku ILA® źródłem sygnału jest lampa CRT, zaś przetwornik ciekłokrystaliczny o strukturze przedstawionej na rys. 5. ma powierzchnię czynną 51×38 mm. Przetwornik jest adresowany napięciem 10 V (2 kHz) przyłożonym do elektrod sterujących. Uzyskano w tym systemie szybkość przełączania lepszą niż 10 msek, czyli w zupełności wystarczającą do przedstawienia obrazu w ruchu. System ten ma trzy niezależne tory dla transmisji obrazu czerwonego, niebieskiego i zielonego, które przez trzy obiektywy są rzutowane na ekran. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe parametry systemu. Wśród nich ważny jest stosunkowo wysoki współczynnik kontrastu. Wstępnie uważano, że wystarczający będzie współczynnik na poziomie 250:1. Jednak na ekranie kinowym taki obraz był niewyraźny.

Tab. 3. Parametry pierwszego ciekłokrystalicznego projektora ILA® dla systemów kina cyfrowego

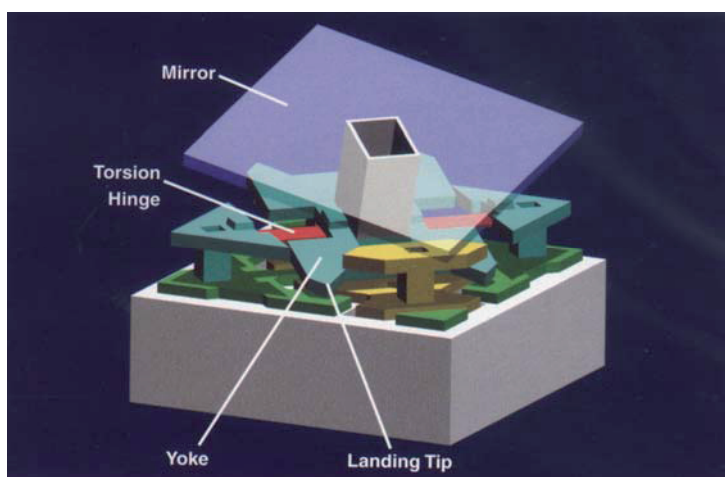
Apertura, stosunek wymiaru ekranu (możliwa jest ciągła zmiana)	1,33:1÷2,4:1
Lampa projekcyjna ksenonowa o mocy [kW]	7,0
Luminancja wyjściowa [lm] dla białego piksu 5600 [K]	17,000

Pozioma częstość przemiatania [Hz] (synchronizacja automatyczna)	15÷19
Pionowa częstość przemiatania [Hz] (synchronizacja automatyczna)	45÷120
Pasmo Video [MHz]	150
Zniekształcenia:	
Poziome	$\pm 2^\circ$
Pionowe	$\pm 15^\circ$
Współczynnik kontrastu	>1500:1
Rozdzielczość [liczba linii TV]	>2000

Jednym z bardzo ważnych elementów toru optycznego systemu projekcyjnego są źródła światła. Dla systemów projekcyjnych lampa powinna dawać światło białe o bardzo dużej jasności. Nie ma na razie idealnego źródła światła. W profesjonalnych projektorach filmowych najczęściej wykorzystuje się lampy ksenonowe. Ich ogromną zaletą jest „kolor” światła, bardzo zbliżony do koloru światła słonecznego. Niestety lampy te wymagają specjalnych bezpiecznych sposobów mocowania – ze względu na wysokie ciśnienie panujące w lampie, oraz specjalnych źródeł zasilania dających wysokie napięcie zapłonu lampy i niższe napięcie pracy [8].

Mikrolusterkowe systemy projekcyjne

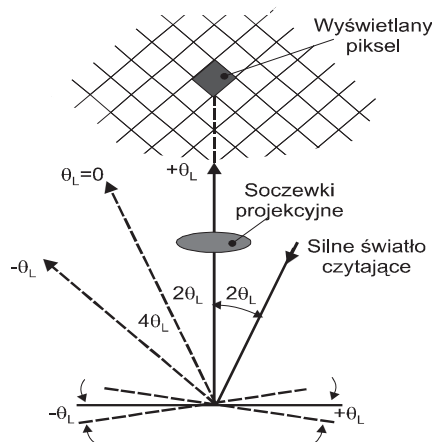
System Digital Micromirror Device (DMD) stanowi rozwinięcie idei pracy wcześniej opisanych systemów olejowych, których kolejnymi wersjami były dyspleje wyposażone w elastyczne folie odkształcone polem elektrycznym, zaś opracowany przez Texas Instrument i wdrożony do sprzedaży w 1995 roku system DMD oparty na odchylanych elektrostatycznie sztywnych mikroz zwierciadełkach jest niemal doskonałym zwieńczeniem tego ciągu badań.



Rys. 6. Schemat budowy piksela systemu DMD

Podstawowym elementem displeja DMD jest układ scalony, z odchylonymi polem elektrycznym mikrozwierciadłami o powierzchni $16 \mu\text{m}^2$ każde, który sterowany cyfrowo pozwala na rzutowanie obrazu piksela (ON-OFF) na ekran (rys. 6). Mikrozwierciadełko jest umieszczone w taki sposób, że może wykonywać niewielkie obroty $\pm 10^\circ$ w stosunku do położenia podstawowego. Kiedy zwierciadło jest w położeniu $+10^\circ$, światło z zewnętrznego źródła odbija się od niego i przez układ soczewek jest rzutowany na ekran, gdzie jest wyświetlany jako jasny punkt. Kiedy zwierciadło odchyli się do stanu OFF (-10°), światło jest odbijane tak, że nie trafia na układ soczewek rzutujących i na ekranie otrzymujemy czarny punkt (rys. 7).

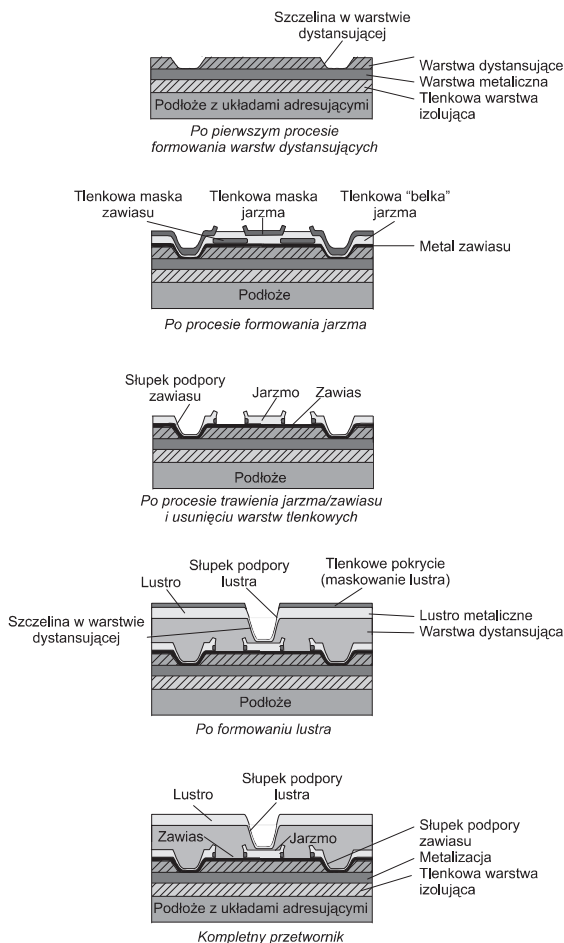
Układ jest wykonany w technologii typowej dla struktur scalonych (rys. 8). Przestrzeń jest wytwarzana trawieniem plazmowym pomiędzy warstwą metalu a strukturą układu. Przestrzeń ta pozwala na obrót struktury wokół dwóch zawiasów. Lustro jest połączone z jarzmem i wisi w powietrzu na dwóch „bardzo cienkich” zawiasach, które określają jego położenie.



Rys. 7. Warunki uzyskiwania obrazu w systemie DMD

Jarzmo jest elektrostatycznie przyciągane przez elektrody adresujące. Lustro z jarzmem obraca się, aż do chwili mechanicznego zatrzymania ruchu w jednym z położów równowagi. Położenia równowagi są określone przez pozycję lusterka $+10^\circ$, -10° stopni. Które lustro jest aktualnie obracane, wybiera natomiast układ adresujący. Kąt obrotu jest jednoznaczny, jest on bowiem ograniczony wymiarami geometrycznymi, a nie tylko siłami oddziaływań elektrostatycznych. Cyfrowy sposób adresowania wybranego lusterka i te powyższe jednoznaczne granice obrotu lusterek gwarantują bardzo wysoką jakość uzyskiwanego obrazu zarówno pod względem jasności, jak i jednorodności optycznej. Tak zbudowany układ zapewniał uzyskanie kontrastu na poziomie 200:1 jest to wartość zupełnie dobra dla zastosowań standartowych, ale dla systemów profesjonalnych konieczne było poprawienie kontrastu. Uzyskano to przez dodatkowy obrót lusterka (system SRV – *Small Rotated Via*), który pozwolił na poprawienie kontrastu do 310:1, właśnie taki układ został przedstawiony na rys. 6. Kolejne systemy to SMG – *Small Mirror Gap* – zmniejszenie lusterek do 12 nm^2 , kontrast 410:1. Wreszcie najnowsze układy, w których

zlikwidowano odbicia od warstw wewnętrznych, pozwoliły na uzyskanie kontrastu 1000:1 w zupełności wystarczającego do realizacji projekcji kinowej. Opierając się na takich rozwiązaniach, pracuje m.in. system DLP Cinema™ opracowany przez Texas Instruments wraz z firmami współpracującymi.



Rys. 8. Schemat procesu wytwarzania struktur DMD

Elektrody adresujące zwierciadełko i jarzmo są połączone do wspólnej strony struktury układu scalonego, natomiast same jarzmo i zwierciadełko każdego pikse-la są połączone do elektrod odchylających wykonanych z potrójnej warstwy metalicznej. Odpowiednio regulując czas przykładanego sygnału, można uzyskać wiele stopni szarości zobrazowywanego obrazu. Przy 8-bitowym adresie obrazu może być przedstawiony w 256 stopniach szarości. Oczywiście układ pozwala na rzutowanie i przedstawienie obrazów kolorowych. Może to się odbywać przez zastosowanie trzech niezależnych torów rzutowania. Taki system zapewnia bardzo dużą jasność uzyskiwanego obrazu i wierność odtwarzania barw.

Systemy projekcyjne dla kin

Pierwszy publiczny pokaz porównawczy dwóch systemów kina cyfrowego: ciekłokrystalicznego i mikrolusterkowego odbył się w czasie konferencji SID w 1999 roku w San Jose. Pokaz ten był zwieńczeniem cyklu badań i inauguracją nowego pola zastosowań systemów projekcyjnych nowej generacji.

Poza systemem ILA, którego parametry przedstawiono w tabeli 3, uruchomiono i przetestowano kilka innych systemów ciekłokrystalicznych, m.in. system SHD (*Super High Definition*) opracowany przez JVC (*Victor Company of Japan*), system kompleksowy złożony z serwera wideo, dekodera czasu realnego i projektora SHD. System był testowany w wielu kinach na całym świecie, a wyniki tych testów można w skrócie ująć następująco: system pozwala na uzyskanie obrazów o doskonałej rozdzielczości (3840x2048), bardzo dobrze odwzorowuje kolor, ale prezentowany obraz ma za małą jasność i kontrast. Najważniejszy w tym jest jednak fakt, że zaprezentowano system kompleksowy od serwera do projektora. Pozwala to na pełną ocenę możliwych korzyści i niebezpieczeństw wynikających z wykorzystania tej techniki.

Jednocześnie w wielu miejscach sprawdzono projektor DLP Cinema™ opracowany przez Texas Instruments wraz z firmami współpracującymi. Dotychczas zorganizowano ponad 30 000 projekcji w 40 miastach, które obejrzało ponad 2,5 mln. widzów. Wnioski z tych prezentacji, a zwłaszcza z pokazów równoległych – gdzie obok projekcji DLP był prezentowany klasyczny obraz z projektora kinowego – pozwalają na stwierdzenie, że obraz jest bardzo dobrej jakości, ostry, o dobrze odwzorowanych kolorach. Problemem jest natomiast stabilność tych kolorów w czasie projekcji.

W wyniku tych prac i badań w roku 2003 sformułowano wymagania rozdzielczości projektorów kinowych, i tak wprowadzono dwie normy:

- system 4k, pozwalający na projekcję panoramiczną super kina 4096x2048,
- system 2k, pozwalający na projekcję HDTV i kin średnich wymagań 2048x1080.

Otworzyło to nową erę kina, w której zniknie taśma celuloidowa, a w jej miejsce pojawi się dysk z pamięcią. Jednocześnie znacznie działać nowy wielki rynek systemów projekcyjnych. Oczywiście tych o najwyższej jakości, ale ułamki tych opracowań na pewno wpłyną na poprawę jakości systemów prostszych.

Bibliografia

- [1] Brennessoltz M.S., *The Evolution of Projection Displays. Part I: From Mechanical Scanners to Microdisplays*, Information Display 5/08, 36, 2008
- [2] Johannes H., *The History of the EIDOPHOR Large Screen Television Projector*, Gretag Aktiengesellschaft, 1989, p. 110
- [3] Glenn W.E., *Principles of simulated color projection television using fluid deformation*, SMPTE Journal, 79, pp. 788–794, 1970
- [4] <http://www.cinephoto.co.uk/eidophor.htm>
- [5] Glenn W.E., *New color projection system*, J. Opt. Soc. Am. 48, pp. 841–843 1958
- [6] True T.T., *High-performance video projector using two oil-film light valves*, SID Symposium Digest Tech Papers 18, pp. 68–71, 1987

- [7] Sterling R.D., Bleha W.P., *D-ILA technology for electronic cinema*, SID Symposium Digest Tech Papers 31, 310, 2000
- [8] Stupp E.H., Brennessolts M.S., *Projection Displays*, Wiley 1999
- [9] Behlmer C., – *Electronic Cinema Is Inevitable*. Information Display. v 15 nr 12, pp. 18-19, 1999
- [10] Hornbeck L.J. i in., *DLP Cinema™ Projectors, Enabling Digital Cinema*, SID 00 Digest, pp. 314-317, 2000

Projection systems – trends and development prospects

Abstract

In our paper the principle of the projection display work was introduced. It the principle of work and possible to obtainment parameters for: oil layers, lamp CRT, liquid crystals transducers, and micromirror systems was introduced. The perspective of utilization these systems in projectors of digital cinema was showed.

Krzysztof Ziewiec

Nowe perspektywy zastosowań stopów z niemieszalnością w stanie w stanie ciekłym

Duży potencjał w tworzeniu nanokrystalicznych kompozytów metalicznych oraz ceramiczno-metalicznych posiada wykorzystanie zakresu niemieszalności w stanie ciekłym [1–5]. Przemiana monotektyczna $L_1 \rightarrow S + L_2$, w której jedna macierzysta faza ciekła L_1 rozkłada się równocześnie na jedną fazę stałą i drugą ciekłą L_2 , jest obserwowana w wielu stopach posiadających zakres braku mieszalności w stanie ciekłym. Przemiana ta, obejmująca jednocześnie zarodkowanie i kooperatywny wzrost dwóch lub więcej faz w jednej w fazie ciekłej, stanowi ciekawy przykład skomplikowanej przemiany fazowej występującej w procesach krzepnięcia [2]. Ponadto pewne stopy monotektyczne, takie jak Cu-Pb, Al-Pb, Al-Bi, Al-In oraz Fe-Mn-S, są potencjalnymi materiałami na zaawansowane łożyska ślizgowe w przemyśle motoryzacyjnym. Podstawowe cechy, którymi powinny się one charakteryzować, to duża dyspersja i jednorodne rozmieszczenie faz. Czynnikiem umożliwiającym ich spełnienie jest m.in. zastosowanie przyspieszonego chłodzenia. Obecnie główny nurt zainteresowania stopami monotektycznymi koncentruje się wokół kierunkowego krzepnięcia oraz przyspieszonego chłodzenia.

Złożoność procesów związanych z zakresem niemieszalności w stanie ciekłym sprawia, że badania układów z monotektyką są bardzo interesujące pod względem poznawczym. Zjawiska występujące wraz z obniżaniem się temperatury od obszaru jednofazowego powyżej binody do obszaru dwufazowego, aż do wystąpienia całkowitego krzepnięcia można przedstawić w następujący sposób [3]:

- rozkład cieczy $L \rightarrow L_1 + L_2$,
- przestrzenna separacja faz, rozwój mikrostruktury w stanie ciekłym (np. tworzenie się i wzrost kropli lub wzajemnie łączących się siatek),
- krzepnięcie występujące przy temperaturze monotektycznej $L \rightarrow S + L_1$.

Badanie procesów związanych z niemieszalnością w stanie ciekłym nastrocza więcej problemów badawczych, niż ma to miejsce w przypadku układów z niemieszalnością w stanie stałym. Pierwszy z problemów jest związany z występowaniem efektów zależnych od grawitacji, wpływających na procesy rozkładu i rozdziału faz. Drugi polega na tym, że efekty powierzchniowe mogą grać znaczącą rolę szczególnie pod nieobecność siły ciężenia.

Poza tym transport masy w cieczach jest bardzo szybki w porównaniu z ciałami stałymi. W dyfuzyjnych przemianach w stanie stałym, które są zwykle prze-

prowadzane przy połowie temperatury topnienia stopu, współczynnik dyfuzji jest rzędu $10^{-18}\text{m}^2\text{s}^{-1}$, podczas gdy w cieczach wynosi $10^{-9}\text{m}^2\text{s}^{-1}$.

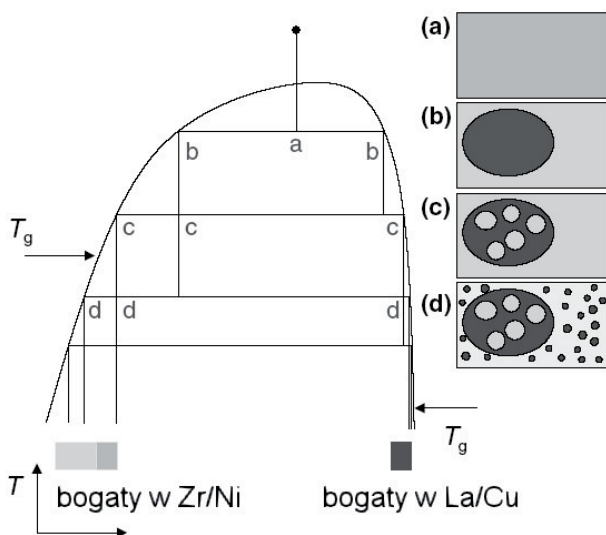
Należy wreszcie wspomnieć, że sedimentacja Stokesa i ruch Marangoni, który prowadzi zarówno do ruchu kropli względem otaczającej fazy macierzystej (osnowy), jak również do ogólnych ruchów konwekcyjnych, które częściowo zabierają ze sobą krople, spowoduje koalescencję i koagulację, tzn. kolizje kropli i tworzenie nowych kropli. W zależności od wielkości oraz ułamka objętościowego kropli, proces ten może być bardzo szybki, tak że swoją szybkością przewyższy nawet wzrost dzięki samej dyfuzji.

Ponieważ mieszanina dwóch cieczy stanowi punkt wyjścia do wytwarzania kompozytu amorficzno-krystalicznego, wszystkie wyżej wymienione efekty decydują o jego końcowej mikrostrukturze. Zależy ona bowiem od proporcji ilościowych faz ciekłych w mieszaninie, ich dyspersji i przestrzennego rozmieszczenia.

W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie wzbudzają nowe wieloskładnikowe stopy tworzące szkła metaliczne, takie jak La-Al-Ni [8], Zr-Ni-Al-Cu [9], Mg-Cu-Y [10], Zr-Ti-Cu-Ni-Be [11], Fe-Si-Cu-Nb-B [12], które wykazują bardzo dużą skłonność do tworzenia szkła. Niektóre z tych materiałów charakteryzują się bardzo niskimi krytycznymi szybkościami chłodzenia ($0,1\text{ K/s}$), co sprawia, że możliwe jest otrzymywanie odlewów o strukturze amorficznej o grubościach ścianki sięgających nawet 50 mm. Bardzo dobre własności szkieł metalicznych czynią z tych materiałów obiecującą grupę nowych materiałów konstrukcyjnych o wytrzymałości sięgającej 2,5 GPa i twardości na poziomie 600 HV oraz wysokim odkształceniu sprężystym dochodzącym do 2% [13]. Mimo swoich wspaniałych właściwości mechanicznych stopy amorficzne posiadają jednak bardzo małą ciągliwość w warunkach rozciągania. W celu poprawy ciągliwości prace światowych laboratoriów projektujących stopy metali dążą do opracowania kompozytów na osnowie szklistej zawierających ciągliwą fazę nanokrystaliczną wytworzoną *in situ* [14, 15].

Jak wiadomo, tworzeniu szkła sprzyjają stopy o wysokiej homologicznej temperaturze zeszklenia, $T_{\text{rg}} = T_g/T_l$, gdzie T_g jest temperaturą zeszklenia a T_l – temperaturą likwidus [16]. Zarodkowanie kryształów może być zatem łatwo stłumione podczas oziębiania ze względu na niską siłę pędną dla zarodkowania oraz w związku z niższą ruchliwością atomów w stopie, występującą przy niskich przechłodzeniach. Faktycznie, wszystkie znane stopy ulegające łatwemu zeszkleniu posiadają składniki bliskie eutektykom układów wieloskładnikowych. Ponadto składniki te posiadają wysokie ujemne ciepła mieszania dla wszystkich możliwych kombinacji. Dlatego w przypadku głębokiej eutektyki atomy pierwiastków stopowych mieszają się w sposób jednorodny, tworząc konfiguracje o gęstym upakowaniu. Rozdział faz jest możliwy, jeśli ujemne ciepła mieszania mają różne wartości. Jeśli np. w układzie czteroskładnikowym A-B-C-D dwie pary A-B i C-D silnie oddziałują między sobą, gdy wszystkie kombinacje układów podwójnych posiadają ujemne ciepła mieszania, wystąpi tendencja do rozdziału na fazy bogate w A i B oraz fazy bogate w C i D. Jednak w przypadku, gdy siła pędna będzie zbyt mała, aby pozwolić na rozdział blisko temperatury zeszklenia, wynikające z tego różnice stężeń mogą być niewykrywalne eksperymentalnie. Z tego powodu opracowywanie szkieł metalicznych z tendencją do silnej segregacji faz napotyka na pozorną sprzeczność ze skłonnością do zeszklenia. Należy znaleźć taki układ, który zawiera przynajmniej jedną parę pierwiastków

o dodatnim cieple mieszania, aby wymusić rozdział faz, mając jednocześnie wysokie ujemne ciepła tworzenia dla pozostałych par pierwiastków ze względu na skłonność do amorfizacji. W literaturze można odnaleźć informacje o udanych próbach znalezienia takiego układu domieszek stopowych w przypadku układu La-Zr-Al-Cu-Ni [16]. Model, który tłumaczy powstawanie „fraktalnej” struktury kompozytu podczas chłodzenia, jest przedstawiony na rysunku 1 [16]. Niniejszy szkic przedstawia schematycznie zakres niemieszalności od strony bogatej w Zr/Ni do strony bogatej w La/Cu zaznaczony na odciętej. Przy wysokiej temperaturze ciecz jest jednorodna. W przypadku ciągłego chłodzenia ciecz osiąga temperaturę krytyczną wystarczającą do rozkładu i zostaje przechłodzona do punktu a o mikrostrukturze przedstawionej na schemacie (a). Przy wystarczającym przechłodzeniu ciecz ulega rozdziałowi na składki odpowiadające zakresowi niemieszalności i tworzy strukturę o składach punktów b, przedstawioną schematycznie na rysunku (b). Stop w miarę dalszego chłodzenia i formowania nowych faz osiąga przechłodzenie wystarczająco duże, aby doszło do ponownej separacji faz, podczas gdy druga faza pozostaje przy swych składach odpowiadających punktom (c) oraz strukturze na rysunku (c). Proces ten przebiega aż do momentu, gdy fazy są przechłodzone poniżej swoich temperatur zeszklenia T_g , gdzie ich struktura nie ulega zmianie ze względu na dostatecznie duży wzrost lepkości.

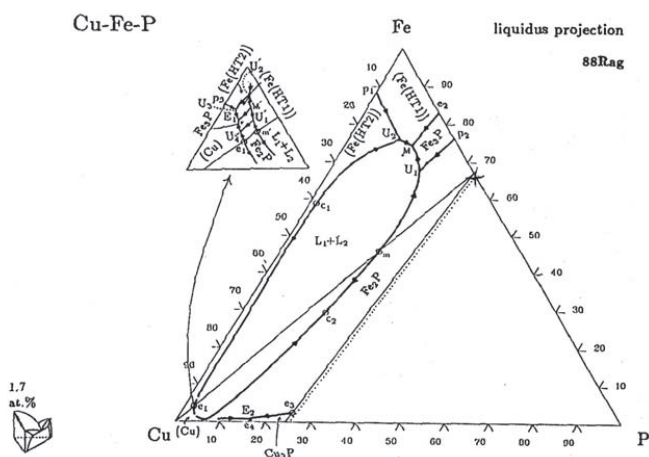


Pozycje liter (a)-(d) na wykresie odpowiadają schematycznym mikrostrukturom (a)-(d) [16]

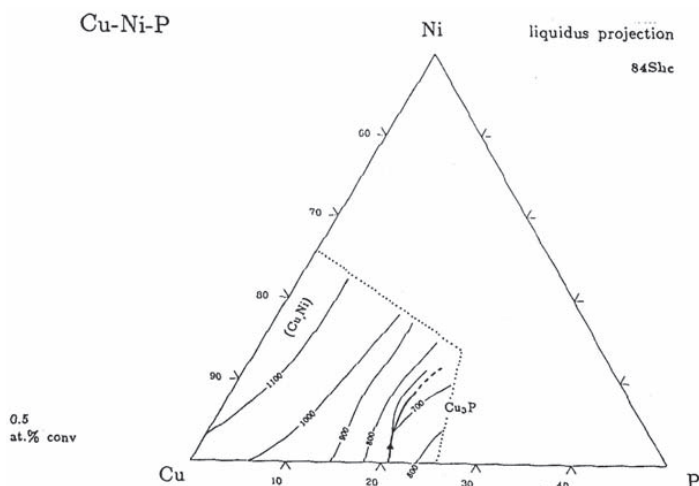
Rys. 1. Szkic wykresu fazowego oraz sekwencji chłodzenia dla stopów w układzie La-Zr-Al-Cu-Ni

Przykład układu stopowego na osnowie La-Zr [16] z możliwością zeszklenia faz ciekłych może świadczyć o tym, że podobna sytuacja jest możliwa do uzyskania w przypadku układów zawierających bardziej pospolite pierwiastki stopowe. Na podstawie analizy dostępnych układów równowagi [7] wiadomo, że zakres niemieszalności w stanie ciekłym występuje np. w stopach miedzi i żelaza z takimi pierwiastkami, jak krzem, bor, fosfor (rys. 2), stopach nikiel-srebro-fosfor, miedź-

srebro-tytan. Wiadomo także, że dzięki obecności głębokich eutektyk w stopach żelaza z krzemem i borem oraz miedzi z niklem i fosforem obserwuje się możliwość występowania zwiększonej skłonności do tworzenia struktury szklistej. Dlatego można przypuszczać, że stosując odpowiednie dodatki stopowe, można otrzymać kompozyt z udziałem fazy szklistej i krystalicznej, wykorzystując zakres braku rozpuszczalności w stanie ciekłym.



Rys. 2. Przebieg linii likwidus w układzie potrójnym Cu-Fe-P [7]. Występowanie braku mieszalności w stanie ciekłym (obszar L_1+L_2)



Rys. 3. Przebieg linii likwidus w układzie potrójnym Cu-Ni-P. Występowanie głębokiej eutektyki [7]

Wyjątkowa struktura kompozytu charakteryzująca się fraktalnym rozmieszczeniem kulistych [17] cząstek faz, na przemian krystalicznych i amorficznych, może posiadać również szczególne właściwości fizyczne i mechaniczne. Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie badań wstępnych struktury wybranych stopów z układów, w których spodziewane jest wystąpienie niemieszalności w stanie ciekłym.

Badania

Wykonano serię stopów modelowych w trzech układach stopowych, tzn. Fe-Ni-Cu-P-Si-B, Ni-Ag-P, Ti-Cu-Ag o następujących składach chemicznych: $\text{Fe}_{32}\text{Ni}_{28}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Fe}_{39}\text{Ni}_{36}\text{Cu}_5\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{30}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{30}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Fe}_{60}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$, $\text{Ni}_{78}\text{Ag}_{220}$, $\text{Ti}_{50}\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{20}$. Syntezę stopów przeprowadzono w piecu łukowym z atmosferą ochronną argonu oraz getterem tytanowym. Atmosferę ochronną uzyskano poprzez wytworzenie próżni 10^{-2} Tora oraz wypełnienie komory pieca argonem. Za każdym razem cykle odpompowania i wprowadzania gazu ochronnego przeprowadzano trzykrotnie. Następnie przetapiano getter tytanowy w celu związania resztek gazów reaktywnych. Ostatecznie przetapiano próbki stopów modelowych. Przetapianie wykonywano pięciokrotnie. W celu zapewnienia możliwie najlepszej jednorodności próbek, po każdym przetapianiu próbka była odwracana „do góry nogami” i przetapiana ponownie. Tak wykonane wlewki przecinano w płaszczyźnie pionowej, zatapiano w żywicy, a przecinaną powierzchnię szlifowano i polerowano mechanicznie, a następnie trawiono chemicznie i poddawano obserwacjom metalograficznym.

Wyniki obserwacji metalograficznych były rejestrowane przy pomocy mikroskopu metalograficznego OLYMPUS GX-51.

Wyniki badań

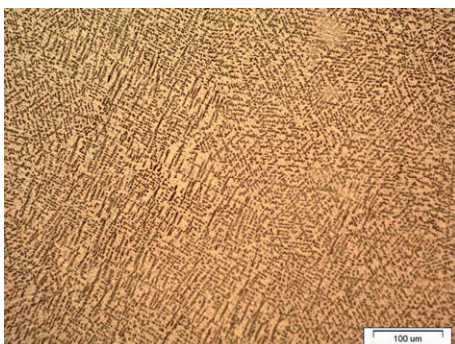
Poniżej przedstawiono przykłady mikrostruktur oglądanych w mikroskopie metalograficznym, stopów wytworzonych i badanych przez autora, powstających w układach stopowych wykazujących brak mieszalności w stanie ciekłym. Analiza mikrostruktur na podstawie zglądów metalograficznych dostarcza podstawowej informacji, która pozwala na zweryfikowanie, czy założona mikrostruktura danego stopu odpowiada oczekiwaniom wynikającym z analizy dostępnych danych literaturowych. W tym przypadku wytopy stopów modelowych służyły wstępnej weryfikacji, czy konkretny stop wieloskładnikowy posiada skład chemiczny zapewniający wystąpienie niemieszalności w stanie ciekłym. Rysunki 4, 7–11 przedstawiają struktury stopów, w których ten cel osiągnięto, natomiast rysunki 5 i 6 pokazują strukturę stopu, który krystalizował z jednorodnej fazowo cieczy. Wśród stopów wykazujących podział fazowy jeszcze w fazie ciekłej obserwowano stopy, które tworzyły strukturę makroskopowo niejednorodną (rys. 8, 9, 11), oraz takie, które wykazywały makroskopową jednorodność i posiadały tendencję do formowania jednej z faz ciekłych w postaci dyspersyjnych cząstek (4, 7). Warto zauważyć, że tylko niektóre spośród badanych stopów tworzyły w warunkach chłodzenia zapewnianych przez tygiel miedziany tzw. strukturę fraktalną (rys. 9). Można przypuszczać, że w przypadku takich stopów wiąże się to ze znacznym zakresem temperaturowym występowania niemieszających się cieczy. Na podstawie danych z literatury można przypuszczać, że układy stopowe, takie jak Ni-Ag-P oraz Ti-Cu-Ag posiadają również znaczny zakres termiczny występowania niemieszalnych cieczy [7], jednak w tych przypadkach nie obserwowano struktury fraktalnej, tylko silną tendencję do separacji na obszary niemieszalne w stanie ciekłym (rys. 11). Należy zwrócić uwagę, że wszystkie z badanych stopów posiadają pewien udział mikrostruktur eutektycznych. Dlatego można przypuszczać, że posiadają one także pewną skłonność do tworzenia struktury szklistej.



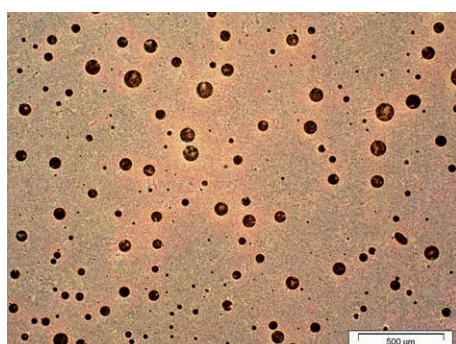
Rys. 4. Stop $\text{Fe}_{32}\text{Ni}_{28}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$. Widoczny w centrum obszar bogaty w miedź z wydzielinami bogatymi w żelazo powstały w efekcie rozdziału faz w stanie ciekłym



Rys. 5. $\text{Fe}_{39}\text{Ni}_{36}\text{Cu}_{10}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$. Dendryty bogate w nikiel i miedź na tle eutektyki. Brak niemieszalności



Rys. 6. Stop $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{10}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$. Dendryty bogate w nikiel i miedź na tle eutektyki. Brak niemieszalności w stanie ciekłym



Rys. 7. Stop $\text{Ni}_{30}\text{Fe}_{30}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$. Występuje niemieszalność w stanie ciekłym, jednak ciemniejsze obszary bogate w miedź występują w dużej dyspersji



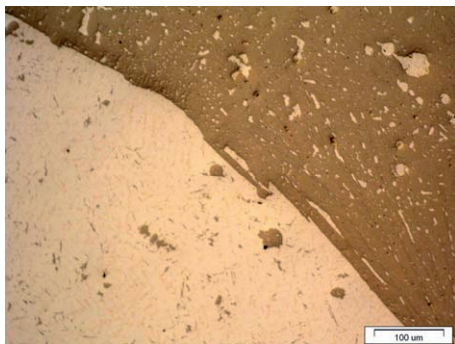
Rys. 8. Stop $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$. Widoczne są obszary bogate w miedź tworzące owalne formy na tle osnowy zawierającej składnik eutektyczny, dendryty bogate w nikiel oraz sferoidalne obszary bogate w miedź



Rys. 9. Stop $\text{Fe}_{60}\text{Cu}_{20}\text{P}_{10}\text{Si}_5\text{B}_5$. Struktura fraktalna złożona ze sferoidalnych obszarów bogatych w miedź w osnowie eutektycznej Fe-P-Si-B



Rys. 10. Stop $\text{Ni}_{78}\text{Ag}_2\text{P}_{20}$. Wytrawione na ciemno sferulityczne obszary krystalicznego srebra w osnowie złożonej z eutektyki $\text{Ni}/\text{Ni}_3\text{P}$ oraz dendrytów bogatych w nikiel



Rys. 11 Stop $\text{Ti}_{50}\text{Cu}_{30}\text{Ag}_{20}$. Widoczna silna segregacja powstająca w stanie ciekłym na obszary jasne bogate w srebro oraz obszary ciemne bogate w miedź i tytan

Cechy niektórych mikrostruktur badanych stopów świadczą o występowaniu zakresu niemieszalności w stanie ciekłym. Ponadto w większości stopów modelowych zaobserwowano mikrostruktury eutektyczne. Dlatego przeprowadzone obserwacje wybranych stopów pozwalają przypuszczać, że niektóre z nich w warunkach przyspieszonego chłodzenia będą umożliwiały wytworzenie stopów kompozytowych złożonych z osnowy amorficznej oraz krystalicznych wydzieliń tworzących się z fazy ciekłej o niższej skłonności do tworzenia szkła.

Pracę wykonano dzięki finansowaniu w ramach projektu MNiSzW nr N508 024 32/1876.

Bibliografia

- [1] Kundig A.A., i. in. *In Situ Formed Two-phase Metallic Glass with Surface Fractal Microstructure*, Acta Materialia 2004, t. 52, s. 2441–2448
- [2] Wang N., Wei B., *Phase Separation and Structural Evolution of Undercooled Fe–Sn Monotectic Alloy*, Materials Science and Engineering 2003, A345, s. 145–154
- [3] Ratke L., Diefenbach S., *Liquid Immiscible Alloys*, Materials Science and Engineering, Liquid immiscible alloys, 1995, R15, s. 263–347
- [4] Mattern N., *Microstructure Analysis in Materials Science*, Freiberg 2005
- [5] Mattern N., i in., *Scripta Materialia, Microstructure and Thermal Behavior of Two-Phase Amorphous Ni–Nb–Y Alloy*, 2005, t. 53, s. 271–274
- [6] Aoi I., i in., *Influence of Growth Direction on the Microstructure of Unidirectionally Solidified Cu–Pb Monotectic Alloy Using Zone-Melt Technique*, Journal of Crystal Growth, 2001, vol. 222, s. 806
- [7] Villars P., Prince A., Okamoto H., *Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams*, ASM International, The Materials Information, Society 1995
- [8] Jiang Q.K., i in., *Glass Formability, Thermal Stability and Mechanical Properties of La-based Bulk Metallic Glasses*, Journal of Alloys and Compounds 2006, vol. 424, s. 183–186

- [9] Iqbal M. i in, *Synthesis and Mechanical Properties of an Amorphous Zr-Ni-Al-Cu Alloy*, Journal of Alloys and Compounds 2006, 422, s. 218–222
- [10] Busch R., *Glass Formation from Viscous Metallic Liquids*, Ann. Chim. Sci. Mat. 2002, 27/5, s. 3–9
- [11] Kuhrt C., Herzer G., *The Residual Amorphous Phase in Nanocrystalline Soft Magnetic FeSi-CuNbB*, IEEE Transactions on Magnetics, 1996, vol. 32/5, s. 4881–4883
- [12] Kaloshkin S.D., Tomilin I.A., *The Crystallization Kinetics of Amorphous Alloys*, Termochimica Acta 1996, vol. 280/281, s. 303–317
- [13] Lee A.K., *Mechanical Properties of Fe-Ni-Cr-Si-B*, Materials Science and Engineering, 2007, A449–451, s. 181–184
- [14] Conner R.D., Dandliker R.B., Johnson W.L., *Mechanical Properties of Tungsten and Steel Fiber Reinforced Zr_{41.25}Ti_{13.75}Cu_{12.5}Ni₁₀Be_{22.5} Metallic Glass Matrix Composites*, Acta Materialia 1998, vol. 46, s. 6089–6102
- [15] Szuëcs F., Kim C.P., Johnson W.L., *Mechanical Properties of Zr_{56.2}Ti_{13.8}Nb_{5.0}Cu_{6.9}Ni_{5.6}Be_{12.5} Ductile Phase Reinforced Bulk Metallic Glass Composite*, Acta Materialia, 2001 vol. 49, s. 1507
- [16] Kundig A.A., i in., *In Situ Formed Two-Phase Metallic Glass With Surface Fractal Microstructure*, Acta Materialia 2004, vol. 52, s. 2441–2448
- [17] Kozieł T., Kędzierski Z., Zielińska-Lipiec A., Ziewiec K., *The Microstructure of Liquid Immiscible Fe-Cu-based in Situ Formed Amorphous/crystalline Composite*, Scripta Materialia 2006, vol 54, s. 1991–1995

New prospects for applications of immiscible liquid alloys

Abstract

A number of literature data provide information on possibility of formation the amorphous matrix composites. Such composites can be produced alternatively, by introducing the particles prior to casting, or by “in situ” formation of the crystalline phase. The latter aim can be carried out by crystallization of the amorphous matrix or the formation of the crystalline phase during casting. Production of the composite directly from the liquid state, using miscibility gap, presents a new possibility and is justified as regards energy saving because no additional heat treatment to produce the fine crystalline phase is necessary. On the other hand, Fe-Cu-P, Fe-Cu-Si, Fe-Cu-B systems have a miscibility gap in the liquid phase, therefore we considered the Fe-Cu-Ni-P-based alloys for a series of microstructural experiments. The work presents exemplary microstructures revealed in such alloys. There are the two essential features enabling formation of the amorphous-based composites with miscibility. The first is the presence of a large volume fraction of the eutectic microstructures and the second one is surface-fractal microstructure typical for the systems with tendency for demixing of liquids.

Keywords: amorphous alloys, miscibility, composites, microstructure

Spis treści

Krzysztof Bryła, Marcin Kowalski Symulacje przepływu płynów z wykorzystaniem aplikacji inżynierskich	3
Sylwia Dąbroś, Andrzej Baliński Przemiany fazowe i temperaturowe odpadowego popiołu lotnego	10
Jan Dutkiewicz, Piotr Malczewski Możliwości i wykorzystanie skaningowego mikroskopu elektronowego Philips 525M	20
Paweł Figiel, Lucyna Jaworska, Marcin Rozmus Metody formowania materiałów ceramicznych	28
Tomasz Heilig Zestaw dydaktyczny do programowania mikrokontrolerów AT89S8252	37
Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz Wpływ parametrów algorytmu ewolucyjnego na jakość optymalizacji na przykładzie problemu komiwojażera	48
Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz Wspomagane komputerowo przybliżone obliczanie wartości skutecznych przebiegów sinusoidalnych o zmieniającej się amplitudzie	54
Marcin Kowalski, Mariusz Krzysztofik, Jerzy Jura Komputerowa analiza połączeń spawanych	59
Piotr Kulinowski, Przemysław Dorożyński Możliwości różnicowania <i>in vitro</i> układów złożonych z matrycy polimerowej i substancji czynnej metodą Magnetycznego Rezonansu Jądrowego w kontekście układów farmaceutycznych o kontrolowanym uwalnianiu	64
Krystyna Kuźniar, Maciej Zajac, Łukasz Chudyba Wybrane zagadnienia całkowania przebiegów drgań	72
Elżbieta Mastalerz W poszukiwaniu wykładowcy doskonałego	81
Krzysztof Mroczka, Katarzyna Walawska Badania powierzchni stopu aluminium 2017A polerowanej elektrolitycznie	87

Henryk Noga, Krzysztof Pytel	
Geneza kształcenia technicznego	103
Henryk Noga, Jana Depešová	
Państwowy Instytut Robót Ręcznych i jego wpływ na ewolucję nauczania techniki	112
Henryk Noga, Mária Vargová	
Wybrane zagadnienia kształcenia technicznego przełomu XIX i XX wieku	119
Krzysztof Pytel	
Energetyka wiatrowa jako symbioza korzyści społecznych, ekonomicznych i edukacyjnych	128
Magdalena Szutkowska, Barbara Smuk	
Kompozyty ceramiczne na osnowie tlenku glinu	139
Ireneusz Telejko, Henryk Adrian, Renata Staško, Katarzyna Pakiet, Marcin Pakiet	
Badanie hartowności niskostopowego staliwa konstrukcyjnego	145
Agnieszka Twardowska, Łukasz Łętocha	
Technologie laserowe w inżynierii powierzchni	157
Miluše Vítečková, Antonín Víteček, Kazimierz Jaracz	
Dobór nastaw regulatorów o dwóch stopniach swobody dla obiektów całkujących z opóźnieniem	164
Jolanta Zielińska	
Wykorzystanie komputera do badań audiometrycznych	176
Jerzy Zieliński, Marek Olifierczuk	
Systemy projekcyjne – kierunki i perspektywy rozwoju	184
Krzysztof Ziewiec	
Nowe perspektywy zastosowań stopów z niemieszalnością w stanie w stanie ciekłym	198

Contents

Krzysztof Bryła, Marcin Kowalski Fluid flow simulation using engineering software	3
Sylwia Dąbroś, Andrzej Baliński Phasic and temperature transformations of the fly-ash	10
Jan Dutkiewicz, Piotr Malczewski Parameters and application scanning electron microscope Philips 525M	20
Paweł Figiel, Lucyna Jaworska, Marcin Rozmus Methods of forming ceramic materials	28
Tomasz Heilig Didactic set to programming microcontroller AT89S8252	37
Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz Influence of evolutionary algorithm's parameters on optimization quality, on the basis of travelling salesman problem	48
Wiktor Hudy, Kazimierz Jaracz Computer-aided root-mean-square value's approximate calculation of sinusoidal courses with variable amplitude	54
Marcin Kowalski, Mariusz Krzysztofik, Jerzy Jura Computer analysis of welded joints	59
Piotr Kulinowski, Przemysław Dorożyński <i>In vitro</i> evaluation of differences between systems comprised of polymer matrix and active substance by means of Magnetic Resonance methods – the case of controlled release dosage forms	64
Krystyna Kuźniar, Maciej Zając, Łukasz Chudyba Selected problems of vibrations integration	72
Elżbieta Mastalerz In search of the perfect lecturer	81
Krzysztof Mroczka, Katarzyna Walawska Studies of 2017A aluminum alloy electropolished	87
Henryk Noga, Krzysztof Pytel The origin of technical education	103

Henryk Noga, Jana Depešová

National Institute of Manual Work and its influence over
the evolution of technical education 112

Henryk Noga, Mária Vargová

Selected issues concerning with technical education at the
turn of the 19th and 20th centuries 119

Krzysztof Pytel

Wind energy as a symbiosis of social, economic and educational benefits 128

Magdalena Szutkowska, Barbara Smuk

Ceramic composites with alumina matrix 139

Ireneusz Telejko, Henryk Adrian, Renata Staško, Katarzyna Pakiet, Marcin Pakiet

Investigation of the hardenability of cast steel 145

Agnieszka Twardowska, Łukasz Łętocha

Laser beam in surface engineering application 157

Miluše Vítečková, Antonín Víteček, Kazimierz Jaracz

Tuning of Controllers with two Degree of Freedom for
Integrating Plants with Time Delay 164

Jolanta Zielińska

Application of Computer for Audiometric Research 176

Jerzy Zieliński, Marek Olifierczuk

Projection systems – trends and development prospects 184

Krzysztof Ziewicz

New prospects for applications of immiscible liquid alloys 198