ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: HUTNICTWO z. 26 Nr kol. 800

Izabella HYLA
Jan SZYMSZAL

ZASTOSOWANIE TWORZYW SZTUCZNYCH W ODLEWNICTWIE

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę możliwości zastosowania tworzyw sztucznych w odlewnictwie wraz z podaniem ich krótkiej charakterystyki. Analizę przydatności przeprowadzono w trzech grupach: wytwarzanie mas formierskich i rdzeniowych, wytwarzanie omodelowania oraz w grupie materiałów pomocniczych. Przedstawiono również korzyści ekonomiczne jakie można osiągnąć dzięki zastosowaniu tworzyw sztucznych, a także negatywne skutki jakie oddziaływanie tych tworzyw niesie dla samego człowieka i jego otoczenia.

Jednym z istotnych sposobów intensyfikacji procesów produkcji mas formierskich i wykonywania modeli jest zastosowanie niektórych tworzyw sztucznych w miejsce tradycyjnie stosowanych materiałów. Zapewnia to obniżenie kosztów produkcji, eliminację drogich i deficytowych materiałów oraz prowadzi do zmniejszenia pracochłonności.

Tworzywa sztuczne zastosowano w odlewnictwie po raz pierwszy dopiero w latach czterdziestych naszego stulecia. Prosty sposób przetwarzania, duża wytrzymałość modeli z tworzyw sztucznych i ich lekkość oraz możliwość bardzo szybkiego utwardzania mas rdzeniowych produkowanych na syntetycznych spoiwach żywicznych stanowią konkurencję w stosunku do tradycyjnie stosowanych materiałów. Obecnie, dziedziny wykorzystania tworzyw sztucznych w odlewnictwie obejmują trzy główne kierunki:

- produkcję mas formierskich,
- produkcję omodelowania odlewniczego,
- produkcję materiałów pomocniczych (pokryć ochronnych, klejów,kitów itp.).

Niestety, oprócz korzyści ekonomicznych, jakie można osiągnąć dzięki zastosowaniu tworzyw sztucznych w odlewnictwie, stosowanie tych materiałów niesie ze sobą również skutki negatywne, szczególnie jeśli chodzi o oddziaływanie na człowieka i jego środowisko.

Zastosowanie tworzyw sztucznych do wytwarzania form i rdzeni

Zastosowanie termo- i chemoutwardzalnych organicznych spoiw syntetycznych stworzyło możliwość wprowadzenia wielu w pełni nowoczesnych technologii wykonywania form odlewniczych (m.in. technologie: "Hot-Box" i "Cold-

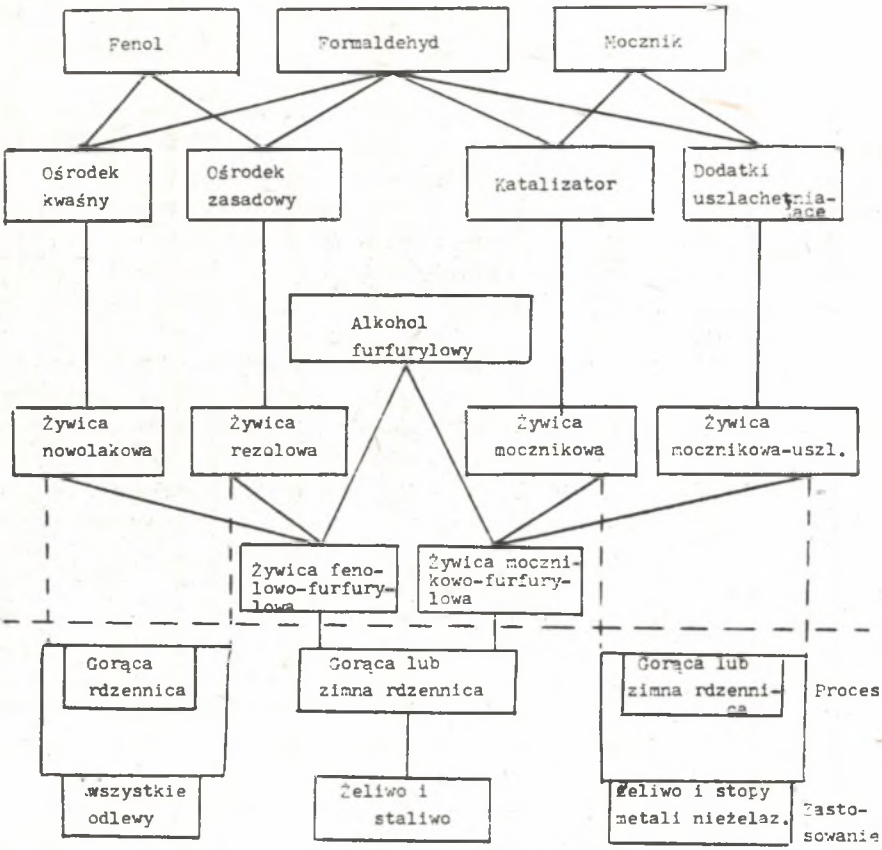
Box"). Spoiwa te, w porównaniu ze spoiwami naturalnymi, łączą w sobie prawie wszystkie wymagane parametry techniczno-ekonomiczne, a ich zastosowanie umożliwia uzyskanie odlewów o dużej dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni.

Najszerzej spośród żywic syntetycznych stosuje się w technologii formy odlewniczej żywice: mocznikowo-formaldehydowe, fenolowo-formaldehydowe i furfurylowe. Rzadko natomiast stosuje się żywice: melaminowe, alkidowe i poliuretanowe. Możliwości wykorzystania żywic syntetycznych do wytwarzania form i rdzeni charakteryzuje rysunek 1.

Żywice mocznikowo-formaldehydowe otrzymuje się przez kondensację mocznika ($CO(NH_2)_2$) z formaldehydem (CH_2O) jako żywice rezolowe. Żywice te pod wpływem ogrzewania lub oddziaływania kwaśnych katalizatorów są zdolne do reakcji utwardzania, a dzięki możliwości modyfikacji chemicznej i fizycznej mają one bardzo wszechstronne zastosowanie w odlewnictwie. Wykorzystuje się je jako spoiwa syntetyczne do mas formierskich i rdzeniowych, na kleje, tłoczywa itp. Różnorodność warunków ich utwardzania umożliwia stosowanie tych żywic w procesie zarówno gorącej, jak i zimnej rdzennicy.

Żywice fenolowo-formaldehydowe otrzymuje się z formaldehydu i fenolu (C_6H_5OH). W zależności od stopnia przereagowania tych dwu substancji produkuje się: rezol (żywica utwardzalna, rozpuszczalna i topliwa), razitol (żywica jeszcze utwardzalna, lecz trudno topliwa), rezit (żywica utwardzona, nierozpuszczalna i nietopliwa), nowolak (żywica nieutwardzona, rozpuszczalna i topliwa). Obecnie w dalszym procesie przetwórczym stosuje się wyłącznie rezole, które są dostępne w postaci emulsji wodnych, roztworów alkoholowych lub w stanie stałym oraz nowolaki, które z dodatkami sześciometylenoczteroaminy wykorzystuje się w postaci stałej. W praktyce żywice te stosuje się często z wypełniaczem, dzięki czemu uzyskuje się zróżnicowanie stopnia plastyczności materiału, zmniejszenie jego kruchości i podwyższenie wytrzymałości. Żywice fenolowo-formaldehydowe stosuje się obecnie głównie jako dodatek wiążący w masach piaskowych, laminatach i tłoczywach.

Żywice furanowe produkuje się głównie przez połączenie żywic fenolowych i mocznikowych z alkoholem forfurylowym. Furfuryl (C_5H_4OH), który jest materiałem wyjściowym do produkcji alkoholu furfurylowego, jest otrzymywany z plew zbożowych, kukurydzianych, łusek ryżu itp. Sam alkohol furfurylowy ($C_4H_3O_2\ CH_2OH$), który pod wpływem temperatury i katalizatorów polimeryzuje w stałą i twardą substancję, nie ma zastosowania jako spoiwo rdzeniowe z uwagi na swą dużą kruchość. Stosuje się go w połączeniu z żywicami fenolowymi czy mocznikowymi. Nadaje on tym żywicom bardzo dobre właściwości wiążące. Żywice furanowe można zaliczyć do najlepszych żywic termoutwardzalnych. Charakteryzują się one najkrótszym czasem utwardzania, dużą wytrzymałością oraz stosunkowo małą gazotwórczością. Żywice fenolowo-furfurylowe charakteryzują się bardzo korzystnymi własnościami, dużą plastycznością, wytrzymałością i krótkim czasem wiązania. Rdzenie wykonane z za-



Rys. 1. Schemat klasyfikacji sposobów tworzenia żywic do wytwarzania form i rdzeni [1]

stosowaniem tej żywicy mają dobrą wybijalność, a stosuje się je głównie dla grubościennych odlewów staliwnych i żeliwnych formując metodami gorącej lub zimnej rdzennicy.

Żywice mocznikowo-furfurylowe odznaczają się bardzo dobrymi właściwościami wiążącymi, krótkim czasem wiązania i wysoką wytrzymałością. Charakteryzują się one jednak niestety dużą zawartością azotu, co prowadzi do powstania wad w odlewie. Żywice furanowe mogą zawierać zmienną ilość wody i azotu. Dla odlewów żeliwnych stosuje się żywice furanowe o zawartości 4-5% N_2 i 12-20% H_2 [2], natomiast dla odlewów staliwnych zawartość tych dwóch składników powinna być niewielka. Prowadzi do wzrostu ceny mas na tych żywicach.

Żywice fenolowo-uretanowe stosuje się w odlewnictwie od około 10 lat. Właściwości fizyczne tych żywic są zbliżone do właściwości żywic furanowych, a poleca się je stosować w przypadkach niższych temperatur ciekłego metalu w porównaniu z żywicami alkidowymi [3].

Żywice uretanowe cechuje duża wszechstronność zastosowania, a utwardzenie mas z tymi żywicami przeprowadza się w temperaturze otoczenia.

Żywice melaminowe uzyskuje się przez kondensację melaminy ($C_3H_3(NH_2)_3$) z formaldehydem. Stosuje się je podobnie do żywic mocznikowych. Są one produkowane w Zakładach Chemicznych w Sarzynie i Jaśle.

Żywice alkidowe otrzymuje się przez kondensację kwasów dwukarboksylowych (np. ftalowego czy maleinowego) z alkoholami wielowodorotlenowymi (np. glikolem czy gliceryną). Żywice te, dodatkowo modyfikowane, są stosowane w procesie gorącej rdzennicy i mogą zastępować z powodzeniem żywice furanowe.

Do produkcji rdzeni wykorzystuje się obecnie najczęściej metodę gorącej rdzennicy. Rdzenie wykonuje się przez wstrzeliwanie lub wdmuchiwanie masy, składającej się z piasku kwarcowego z dodatkiem 2-3% ciekłej żywicy syntetycznej i katalizatora, do rdzennicy nagrzanej do temperatury ok. 180-280°C, gdzie następuje bardzo szybkie wiązanie masy. W technologii tej stosowane są obecnie żywice fenolowo-rezylowe, mocznikowo-formaldehydowe, fenolowe i mocznikowe modyfikowane alkoholem furfurylowym [4,5,17]. Charakterystykę techniczną żywic stosowanych w krajowym przemyśle odlewniczym przedstawiono w tablicy 1. Z żywic innych rodzajów, stosowanych równie często jak wymienione w tablicy 1, należy wymienić spoiwo - polialkohol winylowy [7] (dodawany w ilości 2-6%).

Technologię gorącej rdzennicy stosuje się szeroko w seryjnej lub masowej produkcji rdzeni o małych przekrojach poprzecznych i masie do 5 kg. Szczególnie szeroko technologię tę stosuje się w produkcji odlewów łączników i armatury domowej z żeliwa, staliwa oraz stopów Al i Cu. Rdzenie wykonane tą technologią charakteryzują się dużą wytrzymałością na zginanie, dobrą wybijalnością, małą pracochłonnością i zapewniają dobrą jakość odlewów. Wadą technologii gorącej rdzennicy jest wysoki koszt urządzeń i oprzyrządowania oraz ich eksploatacji i konserwacji; jednak zastosowanie

Tablica 1

Charakterystyka techniczna żywic stosowanych w technologii gorącej rdzennicy [4,5,15]

Typ żywicy	Zastosowanie	Gęstość g/cm^3	R_g^s, MPa po 10s utwardzania	Okres trwałości	Postać handlowa	Producent
Żywica FO-80 fenolowo-formaldehydowa modyfikowana alk. furfurylowym	spoiwo do mas rdzeniowych na odlewy z żeliwa i staliwa		7,0	3 miesiące	jednorodna ciecz barwy od jasno- do ciemnobrązowej	Zakłady Chemiczne Jasło
Żywica FM-50 fenolowo-mocznikowa	spoiwo do mas rdzeniowych do odlewów średnich z żeliwa, a gł. do grzejników CO	1,22-1,27	7,0	3 miesiące		Zakłady Tworzyw i Farb Pustków
Żywica karbafuryl. G-20. Roztwór żywicy mocznikowo-formaldehydowej w alkoh. furfurylowym i wodzie	spoiwo do mas rdzeniowych na odlewy za stopów Al i z żeliwa	1,255-1,275	6,0	3 miesiące	ciecz mętna o barwie od żółtej do brązowej	Zakłady Tworzyw i Farb Pustków
Żywica Formol S mocznikowo-formaldehydowa	spoiwo do mas rdzeniowych na odlewy ze stopów metali nieżelaznych	1,27-1,30	5,0	3 miesiące	ciecz bezbarwna lub lekko żółta, oleista	Zakłady Azotowe Kędzierzyn
Żywica RB-20 fenolowo-formaldehydowa	spoiwo do mas rdzeniowych na odlewy z żeliwa i staliwa	1,20-1,3	7,0	3 miesiące		Zakłady Tworzyw i Farb Pustków
Żywica Pololit E fenolowo-rezolowa	spoiwo do mas rdzeniowych na średnie odlewy z żeliwa		3,0	6 tygodni	ciecz przeźroczysta o barwie od żółtej do brunatnej	Zakłady Tworzyw i Farb Pustków

tej technologii, opartej na żywicach syntetycznych, przyniosło krajowym zakładom odlewniczym oszczędności wynoszące ok. 300 zł na tonę wyprodukowanych odlewów [8].

Do masowej i seryjnej produkcji rdzeni coraz częściej ostatnio stosuje się formowanie skorupowe. W technologii tej używa się piasków powleczonych żywicą, z których wykonuje się: rdzenie wewnątrz puste, rdzenie pełne (utwardzone na wskroś), rdzenie klejone (tzw. metoda Dieterta). Sposób utwardzania rdzeni skorupowych jest podobny do sposobu w metodzie gorącej rdzennicy, z tą różnicą, że w technologii formowania skorupowego używa się piasków powleczonych żywicą. Ze względu na dużą płynność piasków powleczonych (powlekanych) można osiągnąć prawie dwukrotne wydłużenie okresu trwałości kosztownego oprzyrządowania w stosunku do technologii gorącej rdzennicy.

W krajowym przemyśle odlewniczym do produkcji piasków powlekanych stosuje się dwa rodzaje żywic: KHD-II i Corlak (tabl. 2). Rdzenie wykonuje się poprzez wdmuchiwanie piasku powleczonego do rdzennicy, podgrzanej do ok. 220-280°C. Po ok. 10-20 s (w przypadku wykonywania rdzeni wewnątrz pustych) rdzennicę obraca się o 180° i nieutwardzony piasek wysypuje się z wnętrza. Po ok. 60-180 s utwardzony rdzeń usuwa się z rdzennicy za pomocą wypychaczy. Technologię formowania skorupowego stosuje się najczęściej do produkcji rdzeni o dużych przekrojach poprzecznych (np. łączników i kształtek kanalizacyjnych) oraz do produkcji rdzeni cienkościennych (np.dla odlewów rozdzielaczy hydraulicznych).

Piaski powleczone żywicą KHD-II i żywicą Corlak są przeznaczone do produkcji odlewów z żeliwa szarego, sferoidalnego i ciągliwego oraz w ograniczonym zakresie na małe odlewy cienkościenne ze staliwa. Zastosowanie technologii formowania skorupowego pozwala na uzyskanie wszystkich korzyści, jakie niesie ze sobą technologia gorącej rdzennicy. Ponadto, zużycie masy rdzeniowej na 1 t odlewów jest mniejsze o ok. 75%, gdyż rdzenie wewnątrz puste są średnio o 75% lżejsze od rdzeni pełnych. Zmniejsza się koszt wywozu zużytej ilości masy, jak również można łatwiej rozwiązać problem terenów pod wysypiska. Zastosowanie formowania skorupowego w krajowym przemyśle odlewniczym przyniosło znaczne oszczędności, np. dla rdzeni odlewów łączników - około 400 zł na tonę wyprodukowanych odlewów w porównaniu z kosztami rdzeni produkowanych na masach olejowych zagęszczanych w sposób tradycyjny [8].

Technologia wstrząsów cieplnych stanowi pewną modyfikację technologii gorącej rdzennicy. Stosuje się ją najczęściej w produkcji rdzeni do odlewów grzejników centralnego ogrzewania. Rdzenie zagęszcza się w rdzennicy nagrzanej do ok. 80°C stosując strzelarki. Do sporządzania mas stosowanych w tej technologii wykorzystuje się najczęściej żywicę fenolowo-mocznikową FM-50 (tabl. 1). Rdzenie produkowane technologią wstrząsów cieplnych nie ulegają deformacjom w trakcie ich wykonywania i stosowania.Koszt masy z żywicą FM-50 jest mniejszy od kosztu masy z tradycyjnie stosowanym

Tablica 2

Charakterystyka techniczna żywicy KHD-II
i własności piasku powleczonego żywicą KHD-II i Corlak [17]

	Własności fizykochemiczne		Postać handlowa	Producent
	temp. mięknienia °C	zawartość wolnego fenolu %		
Żywica KHD-II fenolowo-formaldehydowo-nowolakowa	54-62	8	bryły nieregularna barwy brunatnej	Zakłady Tworzyw i Farb w Pustkowie

	temp. mięknienia °C	wytrzymałość na zginanie R_g^s MPa		Producent	Dystrybutor
		kształtki gorące	kształtki ostudzone		
Piasek powleczony żywicą KHD-II i Corlak	90	minimum 4,5	powyżej 8,0	Zakłady Górniczo-Metalowe w Zębcu	PDMO Tychy

olejem lnianym; poza tym czas utwardzania rdzeni na spoiwie żywicznym jest czterokrotnie krótszy w porównaniu z czasem utwardzania rdzeni otrzymywanych z zastosowaniem mas na spoiwie olejowym. Przyczynia się to do znacznego zmniejszenia kosztów energii, pracochłonności i uciążliwości pracy.

Kolejnymi technologiami odlewniczymi, w których żywice syntetyczne znajdują zastosowanie jako spoiwa mas formierskich i rdzeniowych, są: technologia sypkich mas furanowych i technologia WZ. W obu przypadkach stosuje się żywice furanowe. W technologii sypkich mas furanowych stosuje się żywice: Karbafur Z (żywica mocznikowo-formaldehydowa modyfikowana alkoholem furylowym), Fenofur (żywica fenolowo-formaldehydowo-furfurylowa), M-15 (żywica mocznikowo-formaldehydowo-furfurylowa) oraz żywicę F (żywica formaldehydowo-furfurylowa).

Wszystkie te żywice produkuję Zakłady Tworzyw i Farb w Pustkowie. Żywice te wprowadza się do mas formierskich i rdzeniowych w ilości 1,5-2,5%. Szybkość utwardzania mas furanowych zależy w istotnym stopniu od zawartości i stężenia utwardzacza (kwas ortofosforowy lub paratoluenosulfonowy), temperatury piasku i otoczenia. Rdzenie wyjmuje się z rdzennicy bezpośrednio po stwierdzeniu utwardzenia i pozostawia na okres kilkunastu godzin, aż do zakończenia się reakcji wiązania spoiwa, po czym pokrywa się je czernidłami i zakłada do form. Technologię sypkich mas furanowych można stosować z powodzeniem do wykonywania odlewów staliwnych (żywica M-15), żeliwnych (żywica Karbafur Z) oraz z metali nieżelaznych. W wyniku zastosowania tej technologii osiąga się zmniejszenie pracochłonności i masy odlewów, eliminuje się stosowanie suszarni; istnieje również możliwość wykonywania rdzeni o skomplikowanych kształtach.

Celem przyspieszenia reakcji wiązania mas furanowych, co stanowi podstawowy warunek ich zastosowania w seryjnej produkcji rdzeni, stosuje się technologię WZ, która polega na przedmuchiwaniu rdzeni nagrzanym powietrzem. W technologii tej stosuje się te same żywice (żywica Karbafur Z i Fenofur), jak w przypadku sypkich mas furanowych wiążących na zimno, jednakże utwardzacze (katalizatory) miesza się z rozpuszczalnikami (alkohole, woda) i sam przebieg utwardzania zachodzi nieco inaczej. Zagęszczanie masy odbywa się w rdzennicach przez jej wstrzeliwanie, po czym rdzenie przedmuchuje się gorącym powietrzem w czasie 30-240 s. Zastosowanie technologii WZ pozwoliło na skrócenie czasu wykonania rdzeni oraz zmniejszenie pracochłonności ich wykonania i oczyszczania odlewów.

W Instytucie Odlewnictwa w Krakowie opracowano nową technologię wykonywania rdzeni, którą nazwano procesem Syncor. Polega ona na zastosowaniu jako spoiwa roztworu polistyrenu w trójchloroetylenie. Spoiwo to dodaje się do masy w ilości ok. 4-5%. Przygotowaną masę zagęszcza się w rdzennicach przy użyciu strzelarek. Utwardzenie masy, które następuje dzięki przepływowi powietrza w temperaturze otoczenia, trwa 10-180 s. Technologia Syncor znalazła zastosowanie do produkcji rdzeni o masie 3-40 kg, zwłaszcza o dużych przekrojach poprzecznych, produkowanych masowo lub seryj-

nie. Zapewnia ona doskonałą wybijalność rdzeni po zalaniu, małą gazotwórczość masy oraz doskonałą gładkość powierzchni odlewów. Oszczędności, jakie osiągnięto dzięki zastosowaniu technologii Syncor w porównaniu z technologią, w której używa się masy na szkle wodnym, wynoszą ok. 200 zł na tonę wyprodukowanych odlewów. Opłacalność tej technologii wynika głównie ze zmniejszenia kosztów robocizny, oprzyrządowania, transportu, magazynowania CO_2 oraz z istotnego zmniejszenia ilości braków [9].

Oprócz opisanej technologii Syncor, w Instytucie Odlewnictwa opracowano niedawno technologię sypkich mas fenolowych pod nazwą Flofen oraz technologię ciekłych mas termoutwardzalnych Floterm. W technologii Flofen jako spoiwo używa się żywicy fenolowo-formaldehydowej EO-1, nie zawierającej importowanego alkoholu furfurylowego, zaś czynnikiem powodującym wiązanie ziaren osnowy jest kwaśny katalizator BS-1. Producentem tych substancji są Zakłady Tworzyw i Farb w Pustkowie. Sypką masę fenolową poleca się głównie stosować do wytwarzania średnich i dużych rdzeni do odlewów staliwnych i żeliwnych o masie 50-3000 kg. Koszt 1 t masy fenolowej jest o około 35% mniejszy od kosztu 1 t masy z żywicą Karbafur Z. Zastosowanie mas fenolowych nie powoduje powstawania wad nakłuć w odlewach; masy te są mniej toksyczne w porównaniu do mas ze spoiwami mocznikowymi. Druga z nowo opracowanych technologii, technologia ciekłych mas termoutwardzalnych - Floterm stanowi połączenie procesu skorupowego i ciekłych mas samoutwardzalnych. Ciekłą masę żywiczną utwardza się powierzchniowo w nagrzanej rdzennicy i tworzy rdzeń skorupowy o dowolnej grubości ścianki, zależnie od parametrów procesu. Ciekła masa żywiczna charakteryzuje się dobrymi właściwościami technologicznymi (m.in. długą żywotnością) i możliwością odzysku poprzez sam proces mieszania. Technologię Floterm stosuje się do wykonywania form i rdzeni skorupowych na odlewy armatury i łączników staliwnych i żeliwnych. Ma ona poza tym charakter antyimportowy, opiera się bowiem wyłącznie na surowcach krajowych, łatwo dostępnych. Pozwala na zmniejszenie o ok. 30% pracochłonności i o ok. 60% zużycia masy rdzeniowej [12].

Ostatnimi dwoma technologiami wytwarzania form i rdzeni, w których zastosowanie znalazły tworzywa sztuczne, są technologia Synflo A i Proces V. Technologia Synflo A polega na wykonywaniu rdzeni z mas ciekłych, w których spoiwem są żywice syntetyczne (np. spoiwo Flos A, czyli żywica karbamidowa). Utwardzanie masy odbywa się pod wpływem kwaśnego katalizatora (kwas ortofosforowy). Istotną zaletą spoiwa Flos A jest niewielka zawartość wolnego formaldehydu. Ciekła masa żywiczna jest ok. 2 razy tańsza od masy furanowej. Stosowanie technologii Synflo A wiąże się również ze zmniejszeniem pracochłonności o ok. 15% w stosunku do mas furanowych, o ok. 80% w stosunku do mas utwardzanych CO_2 i o ok. 50% w stosunku do mas tradycyjnych. Proces V to nowoczesna technologia formowania bez stosowania spoiwa, opracowana i wdrożona w Japonii w 1971 r. Formę wykonuje się z suchego piasku kwarcowego, uszczelnia plastikową folią i poddaje "uszczyw-

nieniu" poprzez wywołanie podciśnienia. Jako materiał na folie stosuje się materiał typu EVA (kopolimer octanu winylu i polietylenu).

Zastosowanie tworzyw sztucznych do wytwarzania modeli

Wśród tworzyw syntetycznych znajdujących zastosowanie do wytwarzania omodelowania odlewniczego najszerzej stosowane są żywice epoksydowe i poliestrowe. Oprócz nich stosuje się również polichlorek winylu, polistyren, tworzywa poliuretanowe, tworzywa aminowe i żywice fenolowe.

Żywice epoksydowe uzyskuje się na drodze reakcji polikondensacji dianu i epichlorohydryny gliceryny w środowisku alkalicznym [6]. Charakteryzują się one bardzo dobrą przyczepnością zarówno do metali, jak i do wielu innych materiałów, wykazują dużą udarność oraz odporność na wilgoć i korozję. Do utwardzania żywic epoksydowych stosowane są poliaminy lub bezwodniki kwasów dwukarboksylowych. Właściwości żywicy utwardzonej zależą w znacznym stopniu od rodzaju utwardzacza i warunków utwardzania. Głównym producentem żywic epoksydowych w Polsce są Zakłady Chemiczne w Sarzynie. Noszą one nazwę handlową "Epidian" i produkowane są w 5 podstawowych gatunkach różniących się postacią, właściwościami i przeznaczeniem. Modele z żywic epoksydowych wykonuje się najczęściej przez odlewanie. W celu poprawienia właściwości żywicy dodaje się do niej różnego rodzaju dodatki tzw. wypełniacze (np. mączka krzemowa, gips, granit), w celu zmniejszenia kosztu i skurczu żywicy, zwiększenia twardości i odporności na ścieranie - rozcieńczalniki i barwniki. Na bazie żywic epoksydowych sporządza się również kompozycje utwardzane na gorąco w temp. ok. 120-130°C. Kompozycja żywicy epoksydowej przeobraża się w chemicznym procesie utwardzania w tworzywo nierozpuszczalne i nietopliwe. Formy do odlewania modeli epoksydowych wykonuje się najczęściej z masy formierskiej, gipsu, cementu, drewna lub metalu. Ostatnio z dużym powodzeniem jako materiał formy zastosowano kauczuk silikonowy.

Na bazie żywicy epoksydowej wykonuje się również płyty modelowe żywiczno-gipsowe dla linii formowania automatycznego Disamatic. Mają one zastosowanie m.in. w odlewni żeliwa "Metalplast" w Częstochowie. Są to płyty z powierzchnią roboczą z kompozycji żywicy epoksydowej "Epidian 5",wykonane w ramach żeliwnych. Charakteryzują się one krótkim czasem wykonania i małym kosztem, są szczególnie polecane dla formowania modeli o dużych gabarytach z kształtową powierzchnią podziału. Do zalet stosowania omodelowania z żywic epoksydowych w porównaniu z omodelowaniem ze stopów aluminium należy zaliczyć m.in.: możliwość zalewania żywic w temperaturze otoczenia, łatwość obróbki modeli, bardzo dokładne odtworzenie wnęki formy, niewielką gęstość (1200-1340 kg/m^3), odporność na ścieranie i mały skurcz odlewniczy. Ujemną stroną żywic epoksydowych jest niska temperatura początku mięknięcia (ok. 100°C), niewielka odporność na uderzania i stosunkowo duży koszt.

Żywice poliestrowe - nienasycone stanowią kolejną grupę żywic stosowaną do produkcji omodelowania odlewniczego. Otrzymuje się je przez kondensację dwuzasadowych kwasów lub ich bezwodników z glikolami w temperaturze ok. 150-200°C. Żywice tego typu są samogasnące, mają dobrą udarność, są przeźroczyste z możliwością barwienia powierzchni, są odporne na działanie kwasów i zimnej wody. Nie są natomiast odporne na działanie wrzącej wody i wodnych roztworów zasad. Do utwardzania żywic poliestrowych stosuje się nadtlenki organiczne (np. nadtlenek cykloheksanonu). W Polsce głównym producentem żywic poliestrowych są Zakłady Chemiczne w Sarzynie.Żywice te noszą nazwę handlową "Polimal" z odpowiednim symbolem cyfrowym oznaczającym gatunek. Odpowiednikami zagranicznymi żywic "Polimal" są: holenderska "Lamellon", brytyjska "Cellobond", francuska "Stratyl" i niemiecka "Polyleit". Żywice poliestrowe wykorzystuje się najczęściej do produkcji laminatów. Są to tworzywa warstwowe z żywic wzmocnionych tkaniną szklaną. Stanowią lekki materiał charakteryzujący się szczególnie dużą wytrzymałością mechaniczną dorównującą wytrzymałości metali. Są trudno palne,odporne na działanie wody i wielu czynników chemicznych oraz rozpuszczalników. Są również odporne na uderzenia. Wykonywane z laminatów poliestrowych duże i średnie modele oraz rdzennice są bardzo lekkie i mają dużą wytrzymałość. Do sporządzania laminatów metodą ręczną używa się dwóch rodzajów żywic poliestrowych: żywicy tiksotropowej (tzw. elkot) i żywicy służącej do impregnacji zbrojenia. Do produkcji laminatów używa się również żywic epoksydowych np. kompozycji Epidian 52, składającej się ze skondensowanej żywicy epoksydowej i żywicy fenolowo-formaldehydowej nowolakowej rozpuszczonej w acetonie.

W Zespole Odlewnictwa Politechniki Łódzkiej opracowano w ostatnich latach nowe tworzywo poliuretanowe i technologię otrzymywania z niego modeli, rdzennic i płyt modelowych. Mogą one być wykonywane przez odlewanie i w postaci laminatowej. Nowe tworzywo składa się z polieterów lub poliestrów rozgałęzionych, względnie mieszaniny poliestrów lub polieterów liniowych wraz z izocyjanianami aromatycznymi przy udziale wypełniaczy (pył kwarcowy, piasek kwarcowy) i środków pomocniczych (oktonian cyny,olej silikonowy). W wyniku reakcji polimeryzacji tworzywo to uzyskuje dobre właściwości mechaniczne, a szczególnie dużą udarność, twardość i odporność na ścieranie. Technologia wykonywania modeli jest prosta, gwarantuje zachowanie dobrych warunków BHP. Modele i rdzennice wykonuje się najczęściej przez odlewanie grawitacyjne. Poliole: poliestry i polietery produkują Zakłady "Zachem" w Bydgoszczy i Zakłady Chemiczne w Brzegu Dolnym. Tworzywa poliuretanowe charakteryzują się bardzo małym skurczem i zapewniają dużą gładkość powierzchni modelom. Stwierdzono [10], iż modele wykonane z tych tworzyw charakteryzują się 4-krotnie większą trwałością niż modele z tworzyw epoksydowych, stosowane przy formowaniu na formierce FKT 108.

Coraz większe zastosowanie do produkcji modeli jednorazowych znajduje ostatnio polistyren. Otrzymuje się go na drodze polimeryzacji styrenu w temperaturze ok. 80°C. W temperaturze pokojowej jest to tworzywo twarde,

kruche, bez zapachu, fizjologicznie obojętne i termoplastyczne. Spieniony polistyren jest lekki (ok. 20 kg/m^3), ma dużą stałość wymiarową, charakteryzuje się małą nasiąkliwością wody, dużą odpornością na działanie większości cieczy. Nie jest odporny na działanie rozpuszczalników organicznych. W Polsce głównym producentem polistyrenu są Zakłady Chemiczne w Oświęcimiu, wytwarzające dwa podstawowe jego typy: suspensyjny - o właściwościach przeciętnych - i wysokoudarowy. Produkt handlowy ma postać perełek o średnicy 0,1-6 mm lub granulatu. Zastosowanie procesu zgazowanych modeli przynosi szereg korzyści, między innymi nie wymaga stosowania rdzeni, najmniejsza grubość ścianek może wynosić 3 mm, nie wymaga stosowania części luźnych i podziału formy itd. Z tych też względów styropian jest dobrym materiałem na modele odlewnicze przy produkcji jednostkowych odlewów o złożonym kształcie oraz odlewów artystycznych. Jest on również bardzo chętnie stosowany w masowej produkcji modeli części układów wlewowych, a zastosowanie go na części luźne modeli drewnianych upraszcza konstrukcję modelu i wykonanie formy [11].

Podstawowym efektem stosowania modeli styropianowych są oszczędności wynikające ze zmniejszenia pracochłonności i materiałochłonności w modelarni. Stosowanie procesu pełnej formy zmniejsza pracochłonność również w odlewni - nawet o 40-50% w porównaniu z modelami drewnianymi, a także znacznie skraca czas wykonania odlewu. Z uwagi na to, iż brak jest w kraju odpowiednich gatunków styropianu, który ulegałby całkowitemu zgazowaniu, co jest warunkiem niezbędnym do uzyskania zdrowych odlewów, można obecnie stosować w odlewniach krajowych metodę usuwania modeli z form (metoda "gorącego noża") przed wlaniem ciekłego metalu.

Kolejnym tworzywem stosowanym do produkcji omodelowania odlewniczego jest polichlorek winylu (PCW), twardy, o nazwie handlowej Winidur. Tworzywo to ma barwę od beżowej do czerwono-brunatnej, jest bezwonne, niepalne i fizjologicznie obojętne. Należy do grupy tworzyw termoplastycznych. Do zalet jego należy bardzo duża odporność na działanie czynników chemicznych i niewielka gęstość (1300-1400 kg/m^3). Ulega spęcznieniu w benzynie, estrach i eterze. W Polsce PCW produkują Zakłady Chemiczne w Oświęcimiu. Omodelowanie z tego tworzywa wykonuje się przez obróbkę mechaniczną, tłoczenie, spawanie (w temp. 175-210°C w strumieniu gorącego powietrza) oraz przez sklejenie. Najszersze zastosowanie znajduje Winidur do wykładania powierzchni roboczych modeli i rdzennic drewnianych.

Szeroko stosowane w krajowym modelarstwie odlewniczym drewno staje się coraz cenniejszym materiałem w sytuacji rosnącego jego deficytu. Godne więc odnotowania są najnowsze technologie modyfikowania drewna, polegające na wprowadzeniu do niego małych cząstek tworzyw syntetycznych, jakimi są monomery, a następnie ich spolimeryzowaniu.

Zagadnieniami tymi zajmuje się Akademia Rolnicza w Poznaniu. Opracowano tam oryginalną technologię świadomego kształtowania określonych właściwości lignomeru, czyli drewna spolimeryzowanego. Lignomer, zależnie od

rodzaju drewna i zawartości polimeru, wykazuje przy ściskaniu w poprzek włókien ponad dwukrotnie większą wytrzymałość i ośmiokrotnie większą twardość w porównaniu z drewnem naturalnym. Wykonane zestawienie kalkulacyjne potwierdziło oszczędności kosztów o ok. 40% na jednym modelu przy zastosowaniu jako surowca drewna spolimeryzowanego w miejsce naturalnego. Zastosowanie Lignomeru w odlewnictwie do wykonywania omodelowania może przynieść gospodarce narodowej oszczędności, wynoszące w skali rocznej około 4000 m^3 drewna.

Ze względu na rosnące ceny żywic, umiejętne gospodarowanie nimi jest głównym sposobem zmniejszania kosztów. Celowe jest więc stosowanie materiałów tańszych wszędzie tam, gdzie nie wpływają one na pogorszenie własności gotowego modelu. Drogie tworzywa należy stosować jedynie na warstwy powierzchniowe modelu, zapewniając im odpowiednią twardość, odporność na ścieranie itd., a wewnętrzne warstwy modelu sporządzać z materiałów tanich i łatwo dostępnych. Na tym polega istota metody Combi - czyli metody kojarzącej różne materiały z żywicą (najczęściej epoksydową): "CD" (żywica + drewno), "CG" (żywica + gips), "CM" (żywica + metal) i "CP" (żywica + piaski syntetyczne). Za kompozycję na warstwy licowe,posiadającą najwyższą żywotność, uważa się mieszankę: Araldite SW-404 (100 cz.wag.) i Harter HY-404 (9 cz.wag.) produkowane przez szwajcarską firmę CIBA-GEIGY [10]. W kraju produkuje się mieszanki na bazie żywic epoksydowych o podobnych parametrach, które można stosować w zastępstwie importowanych wyrobów CIBA [10, 13].

Zastosowanie tworzyw sztucznych jako pomocnicze materiały formierskie

a) Materiały do uszczelniania odlewów

Do naprawy odlewów na powierzchniach surowych i obrabianych stosuje się kity, wytwarzane z żywicy epoksydowej. Stanowią one pastę o dobrej przyczepności i dużej zdolności wypełniania wnęk. Kity te cechują się dużą stabilnością wymiarową i nieznacznym skurczem. Kity są całkowicie nietoksyczne i bezpieczne w stosowaniu. Mają zastosowanie do naprawy takich wad, jak: niedolewy, chropowatość, pęcherze, ospowatość, nakłucia, fałdy,wgniecenia itd. W krajowym przemyśle odlewniczym stosuje się [14, 15]: Polkit, Superkit i Termokit, wytwarzane w PDMO w Tychach.

b) Kleje

Kleje, wytwarzane na bazie żywic syntetycznych, charakteryzują się dużą wytrzymałością na rozciąganie i krótkim czasem wiązania. W odlewniach krajowych do łączenia form i rdzeni wykonywanych metodą skorupową lub go-

ręcej rdzennicy stosuje się przeważnie klej o nazwie "Kohelit" lub klej w postaci proszku (spoiwo SK). Opracowane w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie nowe kleje o nazwach handlowych "Kal" i "Rk" mogą z powodzeniem konkurować z wysoko jakościowym importowanym z Wielkiej Brytanii klejem "Corfix-25". Duże zastosowanie znajdują ostatnio również kleje termoplastyczne. Są to wysoko spolimeryzowane i usieciowane związki chemiczne,które pod wpływem ciepła topią się bez dalszego termicznego utwardzania. Materiałami wyjściowymi do ich produkcji są termoplastyczne tworzywa sztuczne (kopolimery etylenu, poliamidy, poliestry) z różnego rodzaju dodatkami wpływającymi na lepkość, adhezję i płynność kleju.

Do łączenia metali krajowy przemysł produkuje 2 rodzaje klejów: BWF21 i BWF41 (utwardzana termicznie) oraz żywicę epoksydową (utwardzana chemicznie). Kleje BWF21 i BWF41 są roztworami żywicy fenolowo-formaldehydowej z dodatkiem żywic winylowych.

c) P o k r y c i a o c h r o n n e

Pokrycia typu Stalian i Staliod stanowią mieszaninę piasku cyrkonowego, syntetycznej żywicy nowolakowej (O9-N i katalizatora). Odznaczają się one dużą ognioodpornością i dobrą przyczepnością; eliminują prawie całkowicie wady powierzchni strupy i przypalenia. Przeznaczone są głównie dla staliwa węglowego i niskostopowego.

Pokrycia typu Żeliod M i Żeliod P stanowią mieszaninę wysokogatunkowego grafitu i pyłu koksu palonego z dodatkiem syntetycznej żywicy nowolakowej (O9-A) i katalizatora. Charakteryzują się doskonałą ognioodpornością, nie nasiarczają odlewów i nie są gazotwórcze. Zalecane są dla odlewów żeliwnych, wykonywanych wg technologii CMS na szkle wodnym oraz technologii tradycyjnych.

Pokrycia Carbonal 227 i Cyrkonal 300 wykonuje się również na bazie syntetycznej żywicy nowolakowej (O9-A). Nanosi się je ze pomocą pędzla lub pistoletu. Pokrycie Carbonal 227 jest przeznaczone na powłoki przy wykonywaniu odlewów żeliwnych, a pokrycie Cyrkonal 300 - na powłoki przy wykonywaniu odlewów staliwnych, a szczególnie na rdzenia wykonane z mas olejowych i żywicznych.

d) D o d a t k i a n t y a d h e z y j n e

Jako środek zabezpieczający przed przypaleniem się masy do powierzchni odlewów coraz częściej stosuje się dodatek kopolimeru etylenoprotylonowego pod nazwą Kepolen E. Wpływa on również bardzo korzystnie na chropowatość powierzchni odlewu. Jest on niestety dodatkiem drogim, lecz jego dodatek w ilości 3% całkowicie zapobiega przypaleniu się masy do powierzchni odlewów.

Tablica 3

Porównanie kosztów modeli wykonywanych z różnych tworzyw [10]

Lp.	Pozycje kalkulacyjne	Koszt modelu A w zł			Koszt modelu B w zł		
		8 sztuk na płycie			6 sztuk na płycie		
		drewniane	żywiczne	metalowe	drewniane	żywiczne	metalowe
1	Materiały bezpośrednie	3096,0	5152,0	7820,0	2461,0	4057,0	6827,3
2	Narzut kosztów zakupu 1,5% od pozycji 1	46,4	77,3	117,3	36,9	60,8	102,5
3	Razem materiały bezpośrednie (1 + 2)	3142,4	5229,3	7937,3	2497,9	4117,8	6930,0
4	Robocizna bezpośrednia	6512,0	920,0	22200,0	2331,0	1040,0	882,5
5	Narzut na płacę 42,5% od poz. 4	2767,6	391,0	9435,0	990,6	442,0	375,0
6	Razem robocizna bezpośrednia (4 + 5)	9279,6	1311,0	31635,0	3321,6	1482,0	1257,5
7	Koszty wydziałowe 180-440% od p. 6	16703,3	2359,0	126540,0	5978,8	2667,6	5030,0
8	Techniczny koszt wytworzenia (3 + 6 + 7)	29125,3	8899,0	166112,0	11798,3	8267,4	13217,5

Uwagi końcowe

W ostatnich latach przemysł odlewniczy coraz szerzej stosuje nowoczesne tworzywa sztuczne. Tworzywa te oddziałują jednak niekorzystnie na samego człowieka, a także na jego środowisko. I tak np. stosowanie żywicy fenolowej typu nowolak powoduje wydzielanie się: tlenku i dwutlenku węgla, amoniaku, fenolu, wodoru, metanu i cyjanowodoru. Gazy te mogą doprowadzić do chronicznego zatrucia pracowników. Stwierdzono również szkodliwe, powodujące choroby skóry, działanie niektórych żywic. Styren wydzielający się przy produkcji laminatów poliestrowych i zgazowaniu styropianu tworzy z powietrzem mieszaniny wybuchowe, oddziałuje bardzo szkodliwie na korę mózgową człowieka.

Aby w jak największym stopniu ograniczyć te negatywne skutki, podejmuje się kroki, które polegają m.in. na przestrzennym oddzieleniu formierni i rdzeniarni od stanowisk zalewania, wybijania i oczyszczania, wychwytywaniu gazów i par na zagrożonych stanowiskach, zapewnieniu wydanej instalacji wentylacyjnej itd.

Mimo negatywnego wpływu na człowieka i jego środowisko, tworzywa sztuczne powinny być coraz szerzej stosowane w krajowej praktyce odlewniczej. Dane zestawione w tablicy 3, oparte na indywidualnych analizach porównawczych, chronometrażu pracochłonności i zużycia materiałów oraz obserwacji produkcyjnych, w pełni potwierdzają opłacalność stosowania tych tworzyw w odlewnictwie.

Przedstawiony w artykule przegląd dokonany na podstawie literatury krajowej i zagranicznej, bezpośrednich kontaktów z kilkoma nowoczesnymi krajowymi odlewniami oraz danych z central zaopatrzenia odlewni potwierdza zainteresowanie odlewników tworzywami sztucznymi, a opracowane i wdrożone technologie potwierdzają ich pełną przydatnośc w odlewnictwie.

LITERATURA

[1] Szreniawski I.: Techniki wytwarzania-odlewnictwo. PWN, Warszawa 1980.

[2] Opracowanie redakcyjne: Foundry. t. 103, 1975, nr 11, s. 627.

[3] Kahl G.: Zur Wirtschaftlichkeit der Formherstellung aus Kaltharzgebundenem Sand mit Hilfe eines Kontinuierlichen Mischers. Giesserei t. 59, 1972, nr 22, s. 654.

[4] Lewandowski L.: Podział mas formierskich i rdzeniowych Prz.Odl.t.31, 1981, nr 7, s. 209.

[5] Sakwa W.: Materiały na formy i rdzenie odlewnicze. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1981.

[6] Hyla I.: Tworzywa sztuczne. Własności-przetwórstwo-zastosowanie. PWN, Katowice 1982.

[7] Stolar E.A.: Swiazujuszczije na osnowie poliwinilowogo spirta. Lit. Proizv. 1975, nr 6, s. 19.

[8] Praca zbiorowa: Nowoczesne metody wytwarzania form i rdzeni. Inst.Odl. Kraków 1978.

[9] Heryan A.: Zjawiska fizykochemiczne zachodzące podczas wykonywania rdzeni z zastosowaniem technologii "Syncor". Prace Inst. Odl. R.XXXI 1981, nr 1, s. 53.

[10] Praca zbiorowa: Oprzyrządowanie modelowe dla małoseryjnej produkcji odlewów w AlF. Inst. Odl., Kraków 1978.

[11] Krzemień E., Szymszal J.: Wybrane zagadnienia z odlewnictwa dla kierunku Inżynieria Materiałowa. Skrypt Pol. Śl. nr 1145, Wyd. II, Gliwice 1983.

[12] Praca zbiorowa: Nuove technologie per la fabbricazione di anime di alta gualita. Fonderia 1976, t. 25, nr 1, s. 33.

[13] Praca zbiorowa: Żywice epoksydowe. WNT, Warszawa 1982.

[14] Katalog materiałów formierskich i odlewniczych. Przeds. Dostaw Materiałów Odlewniczych, Tychy 1981.

[15] Katalog materiałów formierskich. Przeds. Dostaw Materiałów Odlewniczych, Katowice 1981.

[16] Katalog tworzyw sztucznych. WKiN, Warszawa 1974.

[17] Lewandowski L.: Przygotowanie form odlewniczych. Masy formierskie i rdzeniowe. Skrypt AGH, Kraków 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Czesław Podrzucki

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТМАСС В ЛИТЕЙНОМ ДЕЛЕ

Р е з ю м е

В работе дан анализ возможностей применения пластмасс в литейном деле. Дана характеристика этих пластмасс. Анализ проведён в трёх группах: получение формовочных и стержневых смесей, получение моделей и в группе вспомогательных материалов. Показаны также экономические выгоды и негативные последствия для человека и его среды, связанные с применением пластмасс.

APPLICATION OF PLASTICS IN FOUNDRY

S u m m a r y

Possibilities of plastics application in foundry are analyzed. Their short characteristics are given. Three classes are considered: moulding and core sands production, pattern production and auxiliary materials.

Economic advantages as well as negative effects on human beings and environment are presented.