

Śruty z tworzyw sztucznych jako media w obróbce strumieniowo-ściernej

Kazimierz WOŹNIAK – MARBAD Sp. z o.o., Warszawa

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2013, 67, 12, 1227–1238

Wprowadzenie

Wśród współczesnych metod obróbki powierzchni czołowe miejsce zajmuje obróbka strumieniowo-ścierna. Główny zakres jej zastosowań, to przygotowanie powierzchni różnych przedmiotów, konstrukcji i instalacji przed nakładaniem antykorozyjnych powłok ochronnych. Inne ważne zastosowanie, to usuwanie starych powłok ochronnych, nadawanie żądanej faktury powierzchni, usuwanie śladów korozji, oczyszczanie form wtryskowych, usuwanie wyływek z powierzchni detali z wtryskarek itp. Rozwój nowych technik wytwarzania wymusza też dynamiczny rozwój obróbki strumieniowo-ściernej.

Rozwój obróbki strumieniowo-ściernej dotyczy zarówno urządzeń zwanych śrutownicami, jak i mediów stosowanych w tej obróbce, zwanych śrutami. Współczesna obróbka strumieniowo-ścierna ma do dyspozycji różnorodne media. Można je podzielić na media metalowe, mineralne, z tworzyw sztucznych, roślinne i specjalne [1]. Do najbardziej dynamicznie rozwijających się należą śruty z tworzyw sztucznych. Ich wykorzystanie, szczególnie w przemyśle krajowym, nie jest wystarczające.

Wprowadzenie śrutów z tworzyw sztucznych do obróbki strumieniowo-ściernej było efektem poszukiwań łagodnego medium obróbczego, które usuwa zbędne warstwy na podłożu, nie naruszając jednocześnie struktury tego podłoża. Śrut musiał być tak dobrany, aby był bardziej twardy od usuwanej warstwy, ale bardziej miękki niż podłoże. Istotnym czynnikiem w tych poszukiwaniach było dążenie do wyeliminowania uciążliwych metod chemicznych usuwania starych powłok malarskich z delikatnych powierzchni aluminiowych czy kompozytowych. Dotyczyło to głównie przemysłu lotniczego, gdzie dopracowano techniki obróbki powierzchni, określane po angielsku jako „Plastic Media Blasting”.

Innym czynnikiem wymuszającym rozwój metod obróbki przy użyciu śrutów z tworzyw sztucznych i wprowadzanie do praktyki przemysłowej ich nowych odmian, jest dynamiczny rozwój przetwórstwa tworzyw sztucznych i gumy. Oczyszczania wymagają formy, a wytłoczki usuwania wyływek takimi metodami, które eliminują prace ręczne.

Rodzaje śrutów z tworzyw sztucznych

Kryterium podziału śrutów z tworzyw sztucznych może być sposób ich wytwarzania, rodzaj tworzywa sztucznego oraz zakres ich stosowania. Ze względu na sposób wytwarzania, można je podzielić na dwie grupy. Jedna grupa, to śruty otrzymane na drodze rozdrabniania i następnej klasyfikacji wielkościowej na klasy ziarnowe różnych tworzyw sztucznych, którymi są głównie duroplasty (ang. *Plastic Blasting Media*). Druga grupa, to termoplastyczne tworzywa formowane w postaci regularnych brył, a przede wszystkim w formie walców, sześcianów lub kul różnej wielkości (ang. *Deflashing Media*). Każda z tych dwóch grup śrutów ma inny zakres zastosowań.

Śruty otrzymywane przez rozdrabnianie półproduktów stanowią zbiór ziaren o nieregularnych kształtach, których główny zakres zastosowań, to oczyszczanie powierzchni z produktów powstających w procesach przetwórstwa tworzyw sztucznych i gumy oraz usuwanie starych powłok malarskich i kleju. Śruty o regularnych kształtach ziaren, to głównie media do obróbki detali z tworzyw sztucznych i gumy po procesie ich formowania i wyjęciu z form. W ramach grupy śrutów o formowanych ziarnach, specjalną odmianę stanowią śruty do obróbki kriogenicznej elastomerów, a przede wszystkim gumy.

Śruty o nieregularnych ziarnach

Surowcem wyjściowym do otrzymywania ziaren jest nowe tworzywo (materiał w postaci arkuszy lub bloków) wyprodukowane specjalnie jako półprodukt lub produkt odpadowy powstający przy okazji produkcji takich wyrobów z tworzyw sztucznych, jak np. guziki, galanteria kuchenna, wyroby elektrotechniczne, opakowania itp.

Zastosowanie w praktyce przemysłowej znalazło dotychczas osiem rodzajów śrutów. Przyjęło się oznaczać je kolejnymi cyframi rzymskimi od I do VIII według następującego podziału:

- Typ I – śruty poliestrowe
- Typ II – śruty mocznikowo-formaldehadowe
- Typ III – śruty melaminowe
- Typ IV – śruty fenolowo-formaldehadowe
- Typ V – śruty akrylowe
- Typ VI – śruty z poliwęglanu alilowo-diglikolowego
- Typ VII – śruty z żywicy skrobiowo-akrylowych
- Typ VIII – śruty z kompozytu nanocząstek żywicy aminowej z włóknami.

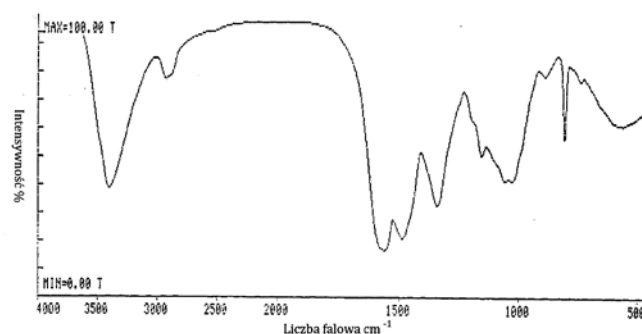
Wymagania stawiane wymienionym rodzajom śrutów z tworzyw sztucznych zawarte są w normie amerykańskiej MIL-P-85891A i jej nowelizacjach [2]. Wymagania te koncentrują się na stosowaniu tych mediów obróbczych do usuwania starych powłok malarskich; problem jest szczególnie istotny w przemyśle lotniczym.

Podstawowe kryterium oceny śrutów, to ich identyfikacja materiałowa. Żywice stosowane do otrzymywania śrutu nie mogą zawierać żadnych domieszek (poza barwnikiem), w tym wypełniaczy nieorganicznych. Jedyną dopuszczalną i wymaganą domieszką są dodatki anstatyczne.

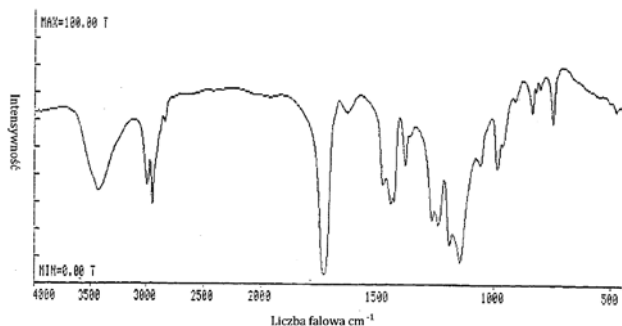
Czystość chemiczna żywicy powinna być potwierdzona badaniami metodą spektroskopii w podczerwieni. Spektrogram badanego śrutu powinien być zgodny ze spektrogramem czystego tworzywa. Wzorcowe spektrogramy w podczerwieni zamieszczone są w normie MIL-P-85891A. Na Rysunku 1 zamieszczono przykładowy spektrogram śrutu melaminowego (typ III), a na Rysunku 2 – śrutu akrylowego (typ V).

Metodą spektroskopii w podczerwieni, przez rejestrację wartości drgań charakterystycznych, możliwa jest identyfikacja grup funkcyjnych związków organicznych. Można w ten sposób jednoznacznie potwierdzić rodzaj tworzywa sztucznego i jego czystość chemiczną.

Powszechnym wymaganiem wobec wszystkich śrutów jest śladowa zawartość chloru; inne wymagania dotyczące czystości chemicznej zamieszczono w Tablicy 1.



Rys. 1. Widmo w podczerwieni śrutu melaminowego (typ III) [2]



Rys. 2. Widmo w podczerwieni śrutu akrylowego (typ V) [2]

Tablica I

Dopuszczalna zawartość popiołu i żelaza (%wag.) w poszczególnych typach śrutów [2]

Parametr	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI	Typ VII	Typ VIII
Popiół	1,0	2,0	2,0	2,0	0,5	0,5	1,0	2,0
Żelazo	0,05	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05

Śrut poliestrowe (typ I), to media otrzymywane z żywic poliestrowych, czyli produktu kopolimeryzacji rodnikowej monomeru z nienasyconą żywicą poliestrową [3]. Monomerem jest najczęściej styren, zaś nienasyconą żywicę poliestrową stanowi przeważnie produkt polikondensacji bezwodnika maleinowego i ftalowego z dodatkiem glikolu. W końcowym produkcie łańcuchy poliestru zostają połączone mostkami styrenu. Utwardzona żywica poliestrowa, to produkt o gęstości 1,15–1,25 g/cm³ i twardości 34–42 stopni Barcola.

Śrut mocznikowe (typ II), to media otrzymywane z żywic mocznikowo-formaldehadowych zaliczane do grupy aminoplastów. Powstają one w wyniku reakcji kondensacji mocznika z formaldehydem zawartym w formalinie. Ulegają one usieciowaniu w środowisku kwaśnym pod wpływem wysokiej temperatury tworząc bezbarwne tworzywo o gęstości 1,47–1,52 g/cm³ i twardości 54–62 Barcola.

Śrut melaminowe (typ III), to media otrzymywane z żywic melaminowo-formaldehadowych zaliczane, podobnie jak typ II, do aminoplastów. Jest to produkt polikondensacji formaldehydu z melaminą. Gotowy produkt, to tworzywo o gęstości 1,47–1,52 g/cm³ i twardości 64–72 Barcola. Jest to najtwardsze medium obróbcze z tworzyw sztucznych.

Śrut fenolowo-formaldehadowe (typ IV), to media otrzymywane z żywic fenolowo-formaldehadowych należące do fenoplastów. To jedno z najbardziej znanych tworzyw sztucznych o dużym znaczeniu przemysłowym. Proces jego otrzymywania polega na prasowaniu ciekłych rezoli i sproszkowanych nowolaków w mieszaninie z urotropiną i następnym ich termicznym utwardzaniu. Otrzymany produkt posiada gęstość 1,47–1,52 g/cm³ i twardość 54–62 Barcola.

Śrut akrylowe (typ V) otrzymywane są z termoplastycznego polimetakrylanu metylu PMMA, czyli produktu polimeryzacji metakrylanu metylu. Jest to jedyne tworzywo sztuczne termoplastyczne pośród śrutów tej grupy. Jego temperatura zeszczenia wynosi 105°C. Poniżej tej temperatury polimer jest sztywny, kruchy i podobny do szkła. Śrut akrylowy posiada gęstość 1,10–1,20 g/cm³ i twardość 46–54 Barcola. To bardzo popularny śrut w procesach strumieniowo-ściernego usuwania starych powłok malarskich.

Śrut z poliwęglanu allilowo-glikolowego (typ VI) otrzymywane są z tworzywa określanego skrótowo PADC lub CR39. Jest to produkt polimeryzacji węglanu allilu z glikolem dwuetylenowym. Obecność grup allilowych powoduje usieciowanie tworzywa doprowadzając do powstania duroplastu. Końcowy produkt, to stosunkowo miękkie tworzywo o twardości 20–30 Barcola i gęstości 1,28–1,39 g/cm³.

Śrut skrobiowo-akrylowe (typ VII) (ang. *Starch-g-acrylic*), to medium hybrydowe będące kopolimerem tworzywa akrylowego i skrobii. Jest to tworzywo opracowane specjalnie do usuwania powłok malarskich z delikatnych powierzchni metalowych i kompozytowych. Jest w pełni biodegradowalne, chronione patentem USA nr 5780619 (1996 r.) [4]. Jest to dość miękkie medium o twardości Shore D 65–90 i gęstości 1,38–1,43 g/cm³.

Śrut z żywicy aminowej zbrojonej włóknami (typ VIII), to produkt otrzymany z kompozytu wytworzonego z mieszaniny nanocząstek żywicy aminowej, włókien celulozowych oraz żywicy akrylowej [5]. Jest to tworzywo otrzymane metodami technologii nanomateriałów. Produkt, z którego wytwarza się śrut posiada twardość 54–60 Barcola i gęstość 1,36–1,46 g/cm³.

Do najbardziej miękkich i delikatnych śrutów należy typ I i VI, zaś najbardziej twardy i agresywny jest śrut melaminowy (typ III). Najbardziej popularny i najczęściej używany jest śrut mocznikowy (typ II). Jego udział w zużyciu śrutów z tworzyw sztucznych szacuje się na 60%. Rysunek 3 ilustruje wygląd i kształt ziaren tego śrutu.



Rys. 3. Śrut mocznikowy (typ II)

Charakterystyka śrutów o nieregularnych ziarnach

W zastosowaniach technicznych śrut o nieregularnych ziarnach występują w postaci różnych frakcji ziarnowych w przedziale wielkości ziaren od 100 do 2000 μm. Ten zakres wielkości ziaren został podzielony na 9 frakcji ziarnowych, z których najgrubsza oznaczona jest numerem 12/16 (1700–1200 μm), zaś najdrobniejsza, to nr 60/80 (250–180 μm). Wymagania dotyczące uziarnienia poszczególnych frakcji ziarnowych śrutów z tworzyw sztucznych zamieszczono w Tabelcy 2.

Wymagania te przedstawiono w formie maksymalnie dopuszczalnych wartości (%wag.), które powinny pozostać (odsiew) lub przechodzić (przesiew) przez poszczególne sита standardowe podczas próby laboratoryjnej oceny uziarnienia danej frakcji ziarnowej. W praktyce, poza podaniem numeru frakcji śrutu, podaje się również zakres rozrzutów wielkości ziaren frakcji podstawowej.

Gęstości omówionych 8 grup śrutów z tworzyw sztucznych, w porównaniu z innymi śrutami stosowanymi w obróbce strumieniowo-ściernej, są niskie i porównywalne z gęstością śrutów roślinnych. Ta istotna właściwość śrutów wskazuje na masę pojedynczego ziarna, a tym samym na energię kinetyczną, jaką uzyskują śrut napędzane przez śrutownicę. Przy tej samej prędkości ziaren uderzających w powierzchnię obrabianą czynnikiem rozstrzygającym o tej energii, jest masa pojedynczego ziarna. Śrut z tworzyw sztucznych są zatem odpowiednie do delikatnych, mało agresywnych obróbek strumieniowo-ściernych.

Gęstość nasypowa określonej frakcji ziarnowej śrutu jest funkcją gęstości i kształtu ziaren. Jest to istotny parametr jakościowy, który funkcjonuje jako podstawowe kryterium oceny jakości materiałów ściernych, w tym śrutów z tworzyw sztucznych. W Tabelcy 3 podano gęstości nasypowe wszystkich 8. rodzajów śrutów z tworzyw sztucznych o nieregularnych kształtach ziaren.

Wartości gęstości nasypowych tych śrutów mieszczą się w przedziale 0,62–0,92 g/cm³. Są to zatem relatywnie lekkie media obróbcze.

Wymagania dotyczące uziarnienia śrutów z tworzyw sztucznych (max wartości, %wag.) [2]

Nr sita	Rozmiar oczka sita w μm	12/16		12/20		16/20		20/30		20/40		20/50		30/40		40/60		60/80	
		1700–1200 μm		1700–850 μm		1200–850 μm		850–600 μm		850–420 μm		850–300 μm		600–420 μm		420–250 μm		250–180 μm	
		Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew	Odsiew	Przesiew
10	2000	0,1	–	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	1680	5,0	–	5,0	–	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	1190	–	20	–	–	15	–	0,1	–	0,1	–	0,1	–	–	–	–	–	–	–
20	853	–	5,0	–	20	–	20	15	–	15	–	15	–	–	–	–	–	–	–
25	710	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–	–	–
30	590	–	–	–	5,0	–	5,0	–	20	–	60	–	75	15	–	–	–	–	–
35	500	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–	–	–
40	420	–	–	–	–	–	–	–	0,5	–	20	–	–	–	20	5,0	–	–	–
50	297	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20	–	–	–	–	0,1	–
60	250	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,0	–	–	–	5,0	–	20	5,0	–
80	177	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20
100	149	–	1,0	–	1,0	–	1,0	–	2,0	–	2,0	–	2,0	–	3,0	–	5,0	–	5,0

Tablica 3

Gęstości nasypowe (g/cm^3) śrutów z tworzyw sztucznych

Rodzaj śrutu	Zakres wartości gęstości nasypowych
Typ I	0,69–0,77
Typ II	0,78–0,92
Typ III	0,78–0,92
Typ IV	0,78–0,92
Typ V	0,69–0,77
Typ VI	0,62–0,75
Typ VII	0,64–0,77
Typ VIII	0,62–0,72

Rozwój asortymentu i zastosowanie śrutów o nieregularnych kształtach ziaren

We wczesnych latach 80. XX w. rozpoczął się dynamiczny wzrost zainteresowania śrutami z tworzyw sztucznych. Dotyczyło to szczególnie przemysłu lotniczego USA [6], gdzie oceniano różne media pod kątem ich użycia do usuwania starych farb z kadłubów samolotów i podzespołów lotniczych i określono jako alternatywę dla chemicznych metod usuwania starych powłok malarskich. Do dyspozycji były wówczas śrutu typu I (poliestrowe), II (mocznikowe) i III (melaminowe). W wyniku tych prac wprowadzono do praktyki przemysłowej w 1988 r. następane typy śrutów: typ IV (fenolowo-formaldehadowe) oraz typ V (akrylowe). Określono wówczas, że użycie typu II do usuwania powłok malarskich wywołuje niepożądane efekty na aluminiowych podłożach w postaci wzrostu ilości pęknięć zmęczeniowych. Zastosowanie śrutu akrylowego nie wywoływało tych negatywnych skutków, ale obróbka była mniej wydajna. Śrut poliestrowy (typ I) jest rzadko używany do usuwania starych powłok malarskich, gdyż jako najbardziej miękkie medium obróbcze nie zapewnia odpowiednio wysokiej wydajności obróbki.

W 1990 r. do strumieniowej obróbki powierzchni wprowadzone zostały dwa kolejne śrutu: typ VI (poliwęglan alilowo-diglikolowy) oraz typ VII (śrut skrobiowo-akrylowy). W następnych latach te dwa nowe śrutu zostały objęte rygorami normy MIL-P-85891A.

Szczególnie dużym zainteresowaniem przy usuwaniu starych powłok malarskich cieszy się typ VII śrutu. Został on wdrożony do praktyki przemysłowej u wiodących światowych producentów lotniczych. Jest to w pełni biodegradowalny produkt, co jest bardzo ważne z punktu widzenia ochrony środowiska.

Ostatnim osiągnięciem na polu poszukiwań optymalnych śrutów do usuwania powłok malarskich jest śrut będący produktem współczesnej nanotechnologii, określane jako typ VIII. To produkt określane przez jego producenta, czyli US Technology Corporation [5], nazwą Magic. Został wprowadzony w przemyśle lotniczym do usuwania powłok malarskich z powierzchni kompozytów, włókien węglowych, grafitu i cienkich powierzchni aluminiowych.

- Współczesne zastosowania tej grupy śrutów, to przede wszystkim:
- usuwanie powłok malarskich z kadłubów samolotów
 - usuwanie powłok malarskich z aluminiowych, drewnianych oraz zbrojonych włóknem szklanym kadłubów łodzi
 - usuwanie niewielkich rąbków i wypływek z detali bez naruszania ich powierzchni i struktury
 - czyszczenie optycznych czujników pomiarowych z wycieków żywic powstających podczas wytwarzania tych produktów
 - czyszczenie struktur warstwowych zbrojonych włóknem szklanym, węglowym z nalołów
 - czyszczenie powierzchni elementów elektronicznych i przygotowanie powierzchni pod nanoszenie obwodów drukowanych
 - czyszczenie form w przemyśle gumowym, tworzyw sztucznych oraz szkła bez ryzyka uszkodzeń krawędzi tych form
 - czyszczenie powierzchni silników z nalołów
 - usuwanie resztek kleju z części klejonych bez naruszania trwałości spoiny i powierzchni tych części.

Śrutu z tworzyw sztucznych o regularnych kształtach ziaren

Śrutu z tworzyw sztucznych o regularnych formowanych kształtach, to głównie ziarna w kształcie wałców, sześciątów i kulek. Formowane są one z termoplastycznych tworzyw. Masowe zastosowanie znalazły śrutu poliamidowe i poliwęglanowe oraz, w znacznie mniejszym zakresie, polioksymetylenowe i polistyrenowe [7].

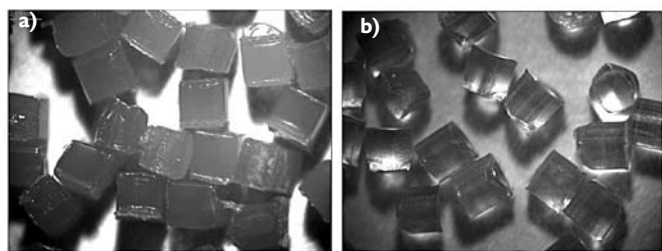
W Tablicy 4 zamieszczono podstawowe właściwości tych śrutów.

Tablica 4

Wybrane właściwości śrutów o formowanych kształtach ziaren

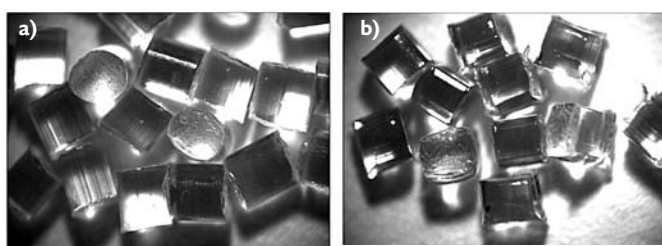
Parametr	Poliamid 6 PA	Poliwęglan PC	Polioksymetylen POM	Polistyren PS
Temp. topnienia, °C	215	225	165	190
Gęstość, g/cm^3	1,14	1,20	1,40	1,05
Twardość, MPa	60	95	85	75

Śrut poliamidowy PA, to produkt otrzymywany z poliamidów, nazywanych też nylonem, których łańcuchy są zbudowane z merów zawierających charakterystyczne ugrupowania atomów $-CO-NH-$. Najszersze zastosowanie w produkcji śrutów ma poliamid 6, który jest produktem polikondensacji lub polimeryzacji anionowej kaprolaktamu. Otrzymany produkt, to polikaprolaktam. Poliamidy mają bardzo silną tendencję do krystalizacji, dodatkowo wzmocnioną tworzeniem się wiązań wodorowych pomiędzy atomem tlenu i azotu z dwóch różnych grup amidowych. Dzięki temu są one dość twarde oraz trudno ścieralne i niełamliwe. PA, to śrut o dużej udarności (75 kJ/m^2). Śrut poliamidowy stosowane są w obróbce strumieniowo-ściernej w formie walców lub sześciątów w kolorze naturalnym lub czerwonym (Rys. 4). Zawierają one w sobie, wprowadzony na etapie formowania aminowy dodatek antystatyczny. Śrut poliamidowy składa się zatem z czystego poliamidu 6 oraz dodatku antystatycznego i ewentualnie czerwonego barwnika, (w ilości poniżej 1 %wag.)



Rys. 4. Śrut poliamidowy PA: a) sześcienny 1 mm koloru czerwonego; b) walcowy 1 mm koloru naturalnego

Śrut poliwęglanowy PC, to medium otrzymywane z termoplastycznego tworzywa sztucznego, które jest wytwarzane przez polikondensację fosgeny z dianem lub innymi fenolami węglowodortlenowymi albo glikolami. To poliestry kwasu węglowego. Gotowy produkt charakteryzuje się wysoką udarnością (60 kJ/m^2), wysoką twardością oraz stabilnością termiczną w dużym zakresie temperatur od -100°C do $+135^\circ\text{C}$. Jego temperatura topnienia wynosi 225°C . Śrut poliwęglanowy zawiera w sobie benzenowy dodatek antystatyczny. W obróbce strumieniowo-ściernej stosowane są w formie walców lub sześciątów, jako naturalnie przezroczyste ziarna lub barwione na kolor niebieski (Rys. 5).

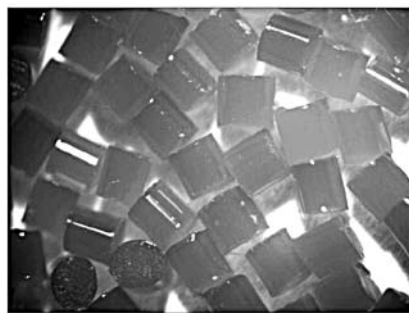


Rys. 5. Śrut poliwęglanowe PC w formie walców 1 mm (a) i w formie sześciątów (b)

Śrut polioksymetylenowy POM, to medium obróbce otrzymywane z tworzywa sztucznego nazywanego też poliacetalem lub poliformaldehydem. Otrzymuje się je w reakcji polimeryzacji formaldehydu lub trioksanu (cykliczny trimer formaldehydu). Mechaniczne właściwości tego tworzywa zależą od stopnia jego krystaliczności. Wysoki stopień krystaliczności, rzędu 70–75%, zwiększa twardość i wytrzymałość mechaniczną tworzywa. Śrut ten wyróżnia się dużą udarnością (75 kJ/m^2). Podobnie jak inne śrut, zawiera w sobie dodatek antystatyczny (aminowy). Stosowany jest on najczęściej w formie walców zabarwionych na kolor pomarańczowy (Rys. 6).

Śrut polistyrenowy PS, to medium formowane jako bardzo małe kuliste ziarna z produktu otrzymywanego w procesie polimeryzacji sty-

renu z diwinylobenzenem. Jest to bezbarwne i słabo przezroczyste tworzywo o bardzo małej gęstości. Termiczny zakres jego stosowania rozciąga się od temperatury -40°C do $+75^\circ\text{C}$.



Rys. 6. Śrut polioksymetylenowy POM w formie walców (0,85 mm)

Charakterystyka geometryczna śrutów formowanych

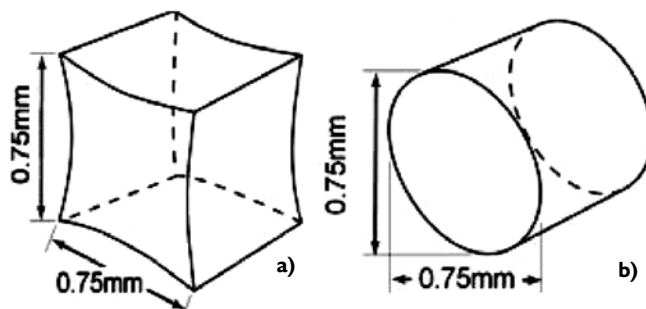
Standardowo te rodzaje śrutów formowane są w postaci walców lub sześciątów; tylko śrut polistyrenowy w postaci drobnych kulek. Zasadą formowania śrutów w kształcie walców jest równość średnicy i wysokości (długości) walca. Poszczególni producenci stosują często odmienne systemy podziału na zakresy wielkości pojedynczych granulek. Podstawowy zakres od 0,5 mm do 2,00 mm dzielony jest na 5–6 różnych wielkości, zgodnie z danymi zawartymi w Tabelcy 5.

Tabelca 5

Standardowe wielkości ziaren śrutów formowanych, mm

Śrut sześcienny			Śrut walcowy		
nr śrutu	dł. krawędzi	przekątna	nr śrutu	bok walca	przekątna
0,50	0,50	0,88	20	0,50 x 0,50	0,72
0,75	0,75	1,32	30	0,76 x 0,76	1,07
1,00	1,05	1,67	45	1,14 x 1,14	1,61
1,25	1,25	2,10	60	1,50 x 1,50	2,15
1,50	1,50	2,64	80	2,00 x 2,00	2,87
2,00	2,00	3,50			

Wybór pomiędzy śrutem o kształcie walcowym i sześciennym podyktowany jest przede wszystkim potrzebą uzyskania określonej wydajności obróbki. Śrut walcowy o tej samej co śrut sześcienny wielkości nominalnej, posiada znacznie mniejszą długość krawędzi skrawających oraz mniejszą masę pojedynczego ziarna. Zatem śrut ten uderza w obrabianą powierzchnię z odpowiednio mniejszą energią kinetyczną. Skutkuje to mniejszą wydajnością obróbki detali. Na Rysunku 7 podano długość krawędzi skrawających śrutów o nominalnej wielkości ziaren 0,75 mm, które są śrutami najczęściej używanymi.



Rys. 7. Śrut poliwęglanowe PC sześcienny (a) i walcowy (b): a) długość krawędzi skrawających 9,00 mm, masa pojedynczego ziarna 5,06 mg; b) długość krawędzi skrawających 4,7 mm, masa pojedynczego ziarna 3,98 mg

Śrut polistyrenowy, to najmniejsze granulki kuliste przeznaczone do obróbki delikatnych detali. Jest on oferowany przez różnych producentów o określonych przedziałach wielkości ziaren o maksymalnej średnicy 1,7 mm. W Tabelicy 6 zamieszczono pełny zestaw oferowanych aktualnie sferycznych śrutów polistyrenowych.

Gęstość nasypowa danej wielkości ziaren jest funkcją gęstości i kształtu ziaren. W przypadku śrutów formowanych o ustalonym kształcie ziaren, to tylko funkcja gęstości w ramach tego kształtu. W Tabelicy 7 zamieszczono wartości gęstości nasypowych wybranych śrutów formowanych jako walce. Śruty formowane wyróżniają się również bardzo niskimi gęstościami nasypowymi. Jest to efektem niskich gęstości tych tworzyw sztucznych.

Tabelica 6

Parametry geometryczne sferycznych śrutów polistyrenowych

Nazwa śrutu	Wielkość sita	Zakres uziarnienia, mm
PS-00	12/18	1,68–0,99
PS-1	18/30	0,99–0,61
PS-2	30/45	0,61–0,36
PS-2,5	35/45	0,50–0,36
PS-3	45/100	0,35–0,15
PS-4	60/100	0,25–0,15

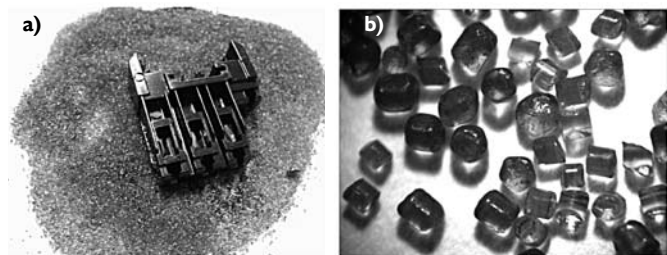
Tabelica 7

Gęstości nasypowe (g/cm³) wybranych śrutów z tworzyw sztucznych formowanych w kształcie walców

Nazwa śrutu	Wielkość frakcji, mm	Gęstość nasypowa
Poliamidowy PA	0,5	0,605
	0,95	0,575
Poliwęglanowy PC	0,50	0,630
	1,00	0,650
Polioksymetylenowy POM	0,85	0,675

Zastosowanie śrutów o regularnych kształtach w obróbce strumieniowo-ścierniej

Śrut poliamidowy PA, to idealne medium do usuwania wypyłek z mocznikowych, fenolowo-formaldehadowych i melaminowych wyprasek. Na Rysunku 8 przedstawiono przykład detali z tworzyw sztucznych na tle śrutu poliamidowego używanego do usuwania wypyłek z tych detali.



Rys. 8. Detal z tworzywa sztucznego obrabiany śrutem poliamidowym (a), śrut zowalizowany po obróbce (b)

Śrut stosowany do obróbki był w kształcie walca, zaś zawarte w mieszaninie roboczej ziarna stopniowo owalizują się. Owalizacja, to sposób zużywania się śrutu w kolejnych cyklach obróbki strumieniowo-ścierniej i stopniowej utraty ostrych krawędzi oraz spadku jego zdolności skrawnej.

Twardszy i bardziej agresywny jest śrut polioksymetylenowy POM i dlatego jest on używany tam gdzie potrzebna jest dodatkowa wytrzymałość udarowa i większa zdolność skrawna. Z tych względów śrut PM jest stosowany m.in. do usuwania wypyłek z kompozytów zbrojonych włóknem szklanym.

Najwyższą twardością i wytrzymałością udarową charakteryzuje się śrut poliwęglanowy PC. Początkowo był on wprowadzony jako medium do usuwania wypyłek z odlewów aluminiowych. Obecnie wykorzystywanie śrutu poliwęglanowego do standardowych operacji usuwania wypyłek jest ograniczone. Jest to bowiem bardzo drogie medium obróbcze. Główne zastosowanie śrutu PC, to strumieniowo-ścierna obróbka kriogeniczna.

Zakres zastosowania owalnych śrutów poliesterowych PB, to usuwanie wypyłek z delikatnych detali elektronicznych oraz delikatnych detali gumowych.

Śruty do obróbki kriogenicznej

Kriogeniczne usuwanie rąbków to metoda usuwania zbędnych resztek wypyłek z wyprasowanych detali z elastomerów po ich wyjęciu z form. W tej metodzie obróbki wykorzystuje się charakterystyczne, szczególnie dla elastomerów, zależności ich elastyczności od temperatury, w której dane tworzywo się znajduje [8]. Bardzo istotna jest znajomość dla danego tworzywa (elastomerów termoplastycznych i gumy) wartości tzw. temperatury zeszklenia (T_g) i temperatury kruchości (T_k). Temperatura zeszklenia T_g, to temperatura, w której zachodzi w elastomerze przemiana jego stanu wysokoelastycznego w stan mechaniczny sprężysty kruchy lub sprężysty z wymuszoną sprężystością. Poniżej temperatury T_g elastomery są twarde, kruche, a wszystkie makrocząsteczki zachowują względem siebie niezmiennie położenie. Łańcuchy są unieruchomione; nie wykazują żadnych ruchów. Mówi się wówczas, że elastomer jest w stanie szklistym. Przy dalszym schładzaniu dochodzi się do temperatury kruchości (T_k), w której w elastomerze zachodzi przemiana w stan mechaniczny kruchy.

Kriogeniczne usuwanie wypyłek jest procesem, podczas którego schładza się obrabiane elastomerowe detale z wypywkami poniżej temperatury zeszklenia danego elastomeru. Obrabiany detal, a szczególnie jego zewnętrzne części, stają się wówczas kruche stwarzając możliwości ich usunięcia.

Wartości temperatur zeszklenia dla wybranych rodzajów kauczuków są następujące [8]:

- kauczuk naturalny (NR) -75°C
- kauczuk etylenowo-propylenowo-dienowy (EPDM) -55°C
- kauczuk butadienowo-styrenowy (SBR) -40°C
- kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy (NBR) -30°C.

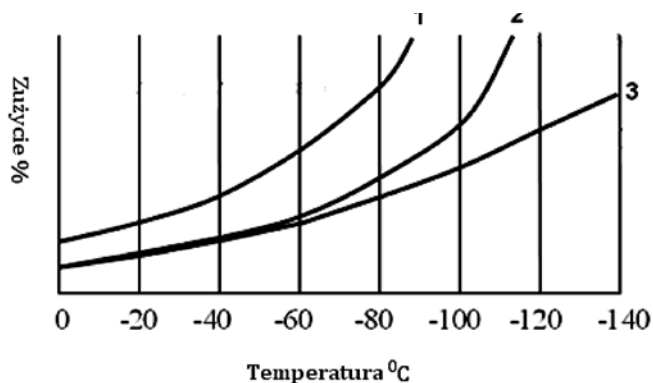
Proces schładzania detali w komorze bębna obróbczego należy prowadzić tak długo, aż osiągnie się temperaturę niższą od wymienionych wartości T_g. Czynnikiem schładzającym w nowoczesnych kriogenicznych urządzeniach do obróbki strumieniowo-ścierniej jest najczęściej ciekły azot. Obracający się bęben oczyszczarki kriogenicznej zapewnia równomierne wystawienie detali na działanie ciekłego azotu i właściwe ich schłodzenie oraz skuteczne działanie medium śrutującego. Powszechnie stosowanym medium jest śrut poliwęglanowy.

Niskie temperatury pracy śrutu w komorze kriogenicznej stawiają przed śrutem poliwęglanowym bardzo wysokie wymagania odnośnie do ich wytrzymałości udarowej i trwałości.

Producenci śrutów kriogenicznych, wykorzystując zdobycze inżynierii materiałowej tworzyw sztucznych, modyfikują poliwęglany siecując je różnymi dodatkami lub tworząc kopolimery z innymi związkami chemicznymi. Na Rysunku 9 zamieszczono ilustrację wpływu modyfikacji poliwęglanów na ich trwałość w funkcji temperatury pracy, stosowanych przez firmę PDC [7].

Standardowy śrut poliwęglanowy (1) w temperaturze -80°C przestaje być praktycznie użyteczny jako medium obróbcze. Trwałość dwóch kriogenicznych odmian poliwęglanu (2) i (3) do temperatury

-60°C jest taka sama, zaś z dalszym obniżaniem temperatury odmiana modyfikowana krzemem (3) wykazuje znacznie wyższą trwałość. Śrut ten jest dość trwały aż do temperatury -140°C.



Rys. 9. Zużycie śrutu poliwęglanowego w funkcji temperatury obróbki kriogenicznej: 1 – poliwęglan standardowy, 2 – poliwęglan modyfikowany, 3 – poliwęglan modyfikowany krzemem

Duże możliwości poprawy wytrzymałości udarowej (a tym samym trwałości) śrutów poliwęglanowych w temperaturach stosowanych w kriogenicznej obróbce strumieniowo-ściernej dają też stosowanie śrutów będących kopolimerami poliwęglanów z polimerami fluorowymi (politetrafluoroetylen P.T.F.E). Wybrane właściwości tego produktu, nazwanego przez firmę PDC śrutem Dieblast Green (Rys. 10) w porównaniu z właściwościami poliwęglanu kriogenicznego zamieszczono w Tablicy 8.



Rys. 10. Kriogeniczny śrut poliwęglanowy (1,5 mm) odmiany Dieblast Green

Tablica 8

Właściwości użytkowe kriogenicznych śrutów poliwęglanowych [7]

Parametr	Temperatura, °C	Kriogeniczny PC	Dieblast Green
Udarność, kJ/m ²	+23	60	65
	-30	20	43
Współczynnik zużycia, %	-40	3,7	2,6
	-80	4,9	3,8
	-100	7,2	5,8
Odporność na ścieranie, mg	+23	10	10
	-30	9	6

Śrutu poliwęglanowe zdominowały kriogeniczną obróbkę strumieniowo-ścierną detali. Niektórzy producenci [7] zalecają też do tej obróbki specjalne odmiany śrutów poliamidowych.

W każdym przypadku, używając ciekłego azotu, temperatura w komorze obróbczej obniża się do wartości pomiędzy -45°C a -130°C. Obrabiane detale obracane są w koszu śrutownicy z prędkością od 5 do 50 obr/min i są śrutowane medium o wielkości ziaren od 0,4 do 1,6 mm.

Temperatura, prędkość obrotowa kosza z detalami, wielkość ziaren śrutu oraz czas trwania procesu obróbki mogą być zmieniane w dość dużym przedziale, w zależności od wielkości detali, ich geometrii, wielkości wypływek, jak również rodzaju materiału, z którego obrabiane detale są wykonane. Podczas tej obróbki ostre krawędzie detali nie są zaokrąglane, zaś medium obróbcze może penetrować w zagłębienia detali i oczyszczać je z wypływek.

Obróbce kriogenicznej mogą być poddawane różnorodne detale. Są to przede wszystkim detale silikonowe, gumowe (w tym kauczuk chloroprenowy i poliuretany), polimery ciekłokrystaliczne oraz niektóre odlewy z żelaza.

Zakończenie

Śrutu z tworzyw sztucznych, będące obecnie do dyspozycji użytkowników, stwarzają duże możliwości uzyskaniażądanego efektu obróbczego. Te stosunkowo nowe media obróbcze posiadają właściwości dostosowane do wymagań współczesnej technologii wytwarzania wielu produktów technicznych. Należy oczekiwać znacznie większego zainteresowania tymi mediami przez polskich użytkowników.

Literatura

1. Woźniak K.: *Współczesne media do obróbki strumieniowo-ściernej*. XXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Rzeszów-Myczkowice, wrzesień 2000.
2. Military Specification: *Plastic media for removal of organic coatings*. MIL-P-85891A 1988–2010.
3. Florjańczyk Z., Penczek S.: *Chemia polimerów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2002.
4. USA Pat. 5780619 – Starch Graft poly (meth) acrylate. Blast Media.
5. US Technology Corporation: *Magic Composite Blast Media (Type VIII)*. Materiały informacyjne firmy.
6. Monette D., Le Blanc P., Oestreich J.: *Enhanced type VII Plastic Media, eStrip for the Military Aerospace*. The Journal of Coatings Technology, May 2002, 1–11.
7. Materiały informacyjne firmy PDC, Maxi-Blast, EMS – Chemie AG.
8. Parasiewicz W., Rzymiski W.M.: *Elastomery i przemysł gumowy*. IPGum – Politechnika Łódzka, 2006.

Dr hab. inż. Kazimierz WOŹNIAK jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej (1967). Doktorat otrzymał na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (1973) a habilitację na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH w Krakowie (1984). Pracował w przemyśle materiałów ściernych, jego zaplecze badawczo – rozwojowym (Ośrodek Badawczo – Rozwojowy w Kole), w szkolnictwie wyższym (Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie) i Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie. Obecnie pracuje w firmie MARBAD w Warszawie. Zainteresowania naukowe dotyczą materiałów ściernych i polerskich oraz technologii obróbki powierzchni luźnym ścierniwem. Jest autorem 1. książki (Materiały ściernie w WNT), 5. monografii oraz 150. artykułów w czasopismach krajowych i zagranicznych.

e-mail: k.wozniak@marbad.pl, tel. 607 510 660