

Materiały ścierne

stosowane we współczesnej obróbce strumieniowo-ścierniej

dr hab. inż. Kazimierz Woźniak

Obróbka strumieniowo-ścierna jest powszechnie stosowaną metodą obróbki powierzchni różnorodnych przedmiotów. Zgodnie z definicją zawartą w PN-EN ISO 8504-2:2002 obróbka strumieniowo-ścierna to „uderzanie strumieniem ścierniwa, charakteryzującego się wysoką energią kinetyczną w powierzchnię, która ma być przygotowana”. Czynnikiem rzucającym ścierniwo na obrabianą powierzchnię jest sprężone powietrze, woda lub siła odśrodkowa koła rzutowego śrutownicy.

Obróbka strumieniowo-ścierna jest metodą obróbki posiadającą 150-letnią tradycję. Jako pierwszy na świecie metodę tę zaproponował w 1870 roku amerykański chemik z Filadelfii generał Benjamin Chew Tilghman (Rys. 1). Jest on autorem pierwszego patentu amerykańskiego nr 108408 z dnia 18 października 1870 roku opisującego tę metodę [2].

Ideę wynalazku ilustruje przedstawiony oryginalny rysunek z tego patentu (rys. 2). Medium obróbkowym był piasek kwarcowy, zaś medium rzucającym ścierniwo była para wodna, woda lub sprężone powietrze. Jeszcze w tym samym roku 1870 Tilghman zgłosił w Anglii drugi patent [3], w którym zawarł pomysł wykorzystania koła rzutowego jako elementu rzucającego ścierniwo na powierzchnie obrabianą (Rys. 3). Do tych dwóch patentów należy dołożyć trzeci patent z 1872 roku autorstwa Tilghmana, który dotyczy produkcji „Cast Iron Globules” (śrutu z utwardzonego żeliwa) jako medium obróbkowego [4]. Była to próba wprowadzenia do tej obróbki sztucznie wytwarzanego metalowego ścierniwa. Swoją pierwszą firmę założył z bratem w Filadelfii, pod nazwą



Rys. 1. Twórca metody obróbki strumieniowo-ścierniej Benjamin Chew Tilghman [1]

B.C. & P.R. Tilghman, żeby produkować śrut z utwardzonego żeliwa do branży kamieniarskiej. Tilghman był też pierwszym producentem urządzeń do obróbki strumieniowo-ścierniej w założonych przez siebie firmach w Filadelfii,

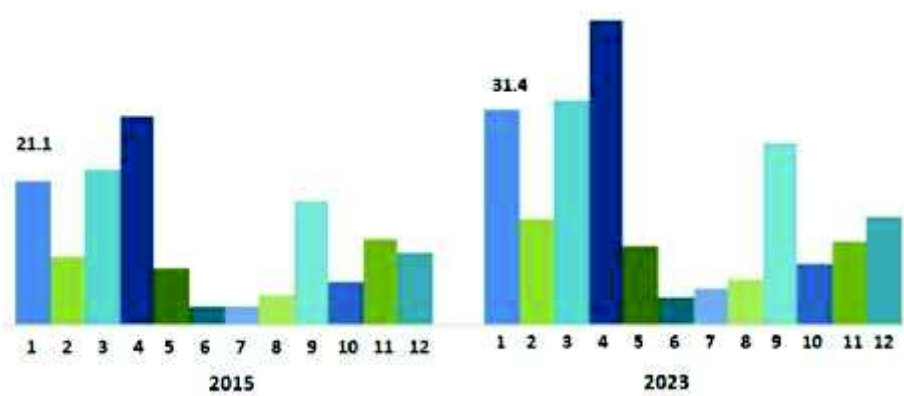
a po przeprowadzeniu się do Anglii w Sheffield [5].

Dokonując analizy zagadnień związanych z obróbką strumieniowo-ścierną należy zawsze podkreślać znaczenie pierwszych kroków, bez których nie byłoby dalszego rozwoju tej metody obróbki.

Wprowadzony przez Tilghmana jako ścierniwo piasek kwarcowy był podstawowym medium praktycznie do końca II wojny światowej. Pierwsze próby wykorzystania innego medium miały miejsce pod koniec lat dwudziestych XX wieku. Próbowano wówczas wykorzystać śrut żeliwny, w tym śrut żeliwny kanciasty. Śrut żeliwny był też pierwszym śrutem metalowym wykorzystanym w obróbce strumieniowo-ścierniej.

Dwa podstawowe czynniki spowodowały gwałtowny rozwój obróbki strumieniowo-ścierniej. Jednym z nich było upowszechnienie koła rzutowego jako elementu wprowadzającego w ruch ziarniste media kierując je na obrabianą powierzchnię. Nowoczesne urządzenia stosowane w tej obróbce, nazwane śrutownicami, wymagały dobrych i trwałych mediów. Tym drugim czynnikiem było uruchomienie produkcji nowoczes-





Rys. 4. Wielkość zużycia (tys. ton) w Europie podstawowych śrutow stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej w 2015 roku oraz prognozy na 2023 rok [6]: 1 – elektrokorundy, 2 – węgiel krzemu, 3 – śrut stalowy kanciasty, 4 – śrut stalowy okrągły, 5 – mikrokulki szklane, 6 – węgiel sodu, 7 – granulaty kukurydziany, 8 – staurolit, 9 – żużel paleniskowy, 10 – żużel miedziowy, 11 – piasek kwarcowy, 12 – granat

Do grupy materiałów ściernych otrzymywanych w specjalnych procesach technologicznych, jako syntetyczne zaliczyć można: mikrokulki szklane, mikrokulki ceramiczne, ścierniwo elektrokorundu, ścierniwo węgla krzemu, boksyt spiekany, śruty z tworzyw sztucznych, węgiel sodu.

Istotną pozycję wśród mediów stosowanych obecnie w obróbce strumieniowo-ścierniej stanowią ścierniwa otrzymane z materiałów powstających jako produkty uboczne, bądź odpadowe w określonych procesach technologicznych. Są to przede wszystkim: żużel miedziowy, żużel ponikłowy, żużel paleniskowy, żużel wielkopiecowy, stłuczka szklana.

Na ilość zużywanych poszczególnych śrutow we współczesnej obróbce strumieniowo-ścierniej wskazują dane zawarte na diagramie zamieszczonym na rys. 4. Zamieszczone tam dane pokazują, że śruty stalowe (okrągłe i kanciaste) stanowią podstawową pozycję wśród śrutow. Drugą pozycję zajmują takie syntetyczne materiały ściernie, jak elektrokorund i węgiel krzemu. Żużle stanowią też istotną pozycję wśród śrutow. Mineralne, naturalne materiały ściernie, jako najstarsze media obróbkowe w dalszym ciągu mają duże zastosowanie we współczesnej obróbce strumieniowo-ścierniej, Prognozy na lata następne przewidują proporcjonalny do roku 2015 wzrost zużycia wymienionych podstawowych śrutow.

Utrzymujące się duże zapotrzebowanie na śruty z materiałów odpadowych i naturalnych wynika przede wszystkim

z ich niskiej ceny. Należy jednak uwzględnić fakt, że w większości przypadków są to ścierniwa jednorazowe, pracujące w otwartych obiegach obróbkowych. Warunki ich wykorzystywanie, często terenowe, uzasadniają stosowanie takich ścierni, gdyż nie ma możliwości ich zawracania i ponownego wykorzystania. W tych warunkach uzasadnione jest wykorzystanie tylko tanich ścierni jednorazowego użycia. W warunkach terenowych nie jest możliwe i ekonomicznie uzasadnione stosowanie trwałych i drogich śrutow.

Dokonując przeglądu mediów stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej i ich właściwości należy uwzględnić specyfikę poszczególnych ich odmian. Poza klasyczną obróbką powierzchni metodą strumieniowo-ścierną należy do niej zaliczyć również cięcie wysokociśnieniową strugą wody ze ścierniwem (*water jet*) oraz kulowanie (ang. *shot peening*). Celem kulowania jest zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej kulowanej powierzchni metali.

Celem klasycznej strumieniowo-ścierniej obróbki powierzchni jest głównie [7]:

- oczyszczanie powierzchni poprzez usuwanie rdzy, starych powłok, czy innych zanieczyszczeń,
- wykończenie i ujednorodnienie powierzchni, w tym usunięcie skutków poprzednich obróbek,
- usunięcie zadziórów,
- rozwinięcie powierzchni poprzez nadanie jej odpowiedniej chropowatości pod powłoki ochronne bądź dekoracyjne.

Ocena czystości przygotowanej powierzchni oparta jest na kontroli wizualnej, której klasyfikacja oparta jest na stopniu oczyszczenia i zawarta w normie PN-EN ISO 8501-1. Są one podzielone na grupy obejmujące najczęściej stosowane metody przygotowania. Stopnie oczyszczenia powierzchni metodą obróbki strumieniowo-ścierniej oznaczane są symbolem Sa. Wymieniona norma wyróżnia kilka stopni oczyszczenia strumieniowo-ściernego.

Sa1 – lekka obróbka strumieniowa. Usunięty jest pył, smary i brud, luźna zgorzelina walcownicza, rdza, stare farby i inne luźne zanieczyszczenia.

Sa2 – dokładna obróbka strumieniowo-ścierna. Usunięty jest pył, smary i brud, luźna i przeważająca część zgorzeli walcowniczej, rdza, stare farby i inne luźne zanieczyszczenia. Pozostawione na powierzchni zanieczyszczenia muszą mieć bardzo dobrą przyczepność do podłoża, a ich łączna powierzchnia nie może przekraczać 20% powierzchni całkowitej.

Sa2^{1/2} – bardzo dokładna obróbka strumieniowo-ścierna. Usunięte są zanieczyszczenia pyłowe, smary i inne brudy, zgorzelina walcownicza i inne zanieczyszczenia. Tylko minimalne ślady pozostałych zanieczyszczeń mogą być widoczne jako lekkie przebarwienia lub ciemniejsze plamy, bądź smugi, a ich łączna powierzchnia nie może przekraczać 5% powierzchni całkowitej.

Sa3 – obróbka strumieniowo-ścierna do białego metalu. Pył, smary i brud, zgorzelina walcownicza, stare farby i inne zanieczyszczenia muszą być usunięte w całości. Obrobiona powierzchnia musi mieć jednorodny, metaliczny wygląd.

W praktyce obróbki strumieniowo-ścierniej, mającej na celu przygotowanie powierzchni, szczególnie do nakładania powłok malarskich, wymagany jest stopień czystości Sa2^{1/2}. Jest to obecnie dominująca klasa przygotowania powierzchni przed nakładaniem powłok.

Na uzyskane efekty obróbki strumieniowo-ścierniej bardzo duży wpływ mają czynniki związane z zastosowanym śrutem. Istotnym jest więc określenie kryteriów oceny śrutow stosowanych w różnych odmianach tej obróbki powierzchni. Większość tych kryteriów opisanych jest w normach dotyczących poszczególnych śrutow.



Tabela 1. Powszechnie używane metalowe (M) ścierniwa w obróbce strumieniowo-ścierniej do przygotowania podłoża stalowego [10]

Typ ścierniwa metalowego	Oznaczenie	Początkowy kształt ziarna ścierniwa
Żeliwo utwardzone	M/CI	G (ostrokątny-kątowy, nieregularny)
Staliwo wysokowęglowe	M/MCS	S lub G (kulisty-okrągły lub ostrokątny-kątowy nieregularny)
Staliwo niskowęglowe	M/LCS	S (kulisty-okrągły)
Śrut cięty z drutu	M/CW	C (cylindryczny-ostrokrawędziowy)

Normy dotyczące śrutów

Śrutu należą do produktów technicznych znormalizowanych w bardzo wysokim stopniu. Normy opisujące śrutu znajdują się w grupie norm dotyczących przygotowania powierzchni.

Duża ilość tych norm występuje pod tytułem: „Przygotowanie podłoża stalowych przed nakładaniem farb i podobnych produktów”. Polskie normy w tym zakresie są jednocześnie normami europejskimi EU i międzynarodowymi ISO.

Wymagania techniczne dotyczące metalowych ścierniwa stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej określa Polska Norma PN-EN ISO 11124, zaś ścierniwa niemetalowych PN-EN ISO 11126. Wymienione normy składają się z oddzielnych arkuszy/norm oznaczonych kolejnymi numerami, przy czym numerem 1 oznaczona jest norma zawierająca ogólne wprowadzenie i klasyfikację. Zestawienie ścierniwa metalowych objętych ustaleniami normy PN-EN ISO 11124/1 zamieszczono w tab. 1, zaś ścierniwa niemetalowych według normy PN-EN ISO 11126 w tab. 2.

Charakterystykę i wymagania w stosunku do poszczególnych ścierniwa metalowych zawierają normy oznaczone kolejnymi numerami:

Część 2: PN-EN ISO 11124-2 – Śrut z żeliwa utwardzonego,

Część 3: PN-EN ISO 11124-3 – Śrut okrągły i kanciasty stalowy wysokowęglowy,

Część 4: PN-EN ISO 11124-4 – Śrut okrągły stalowy niskowęglowy,

Część 5: PN-EN ISO 11124-5 – Śrut cięty z drutu.

Metody badań ścierniwa metalowych opisują kolejne polskie normy PN-EN ISO 11125:

PN-EN ISO 11125-1 – Pobieranie próbek,

PN-EN ISO 11125-2 – Oznaczanie składu ziarnowego,

PN-EN ISO 11125-3 – Oznaczanie twardości,

PN-EN ISO 11125-4 – Oznaczanie gęstości właściwej,

PN-EN ISO 11125-5 – Oznaczanie procentowej zawartości wadliwych ziaren i ich mikrostruktury,

PN-EN ISO 11125-6 – Oznaczanie zawartości ciał obcych,

PN-EN ISO 11125-7 – Oznaczanie zawartości wilgoci.

Poszczególne ścierniwa niemetalowe opisywane są przez następujące normy:

ISO 11126-2 – Piasek kwarcowy (PN jest wycofana),

PN-EN ISO 11126-3 – Żużel pomiedziowy,

PN-EN ISO 11126-4 – Żużel paleniskowy,

PN-EN ISO 11126-5 – Żużel ponikłowy,

PN-EN ISO 11126-6 – Żużel wielkopieczowy,

PN-EN ISO 11126-7 – Elektrokorund,

PN-EN ISO 11126-8 – Piasek oliwinowy,

PN-EN ISO 11126-9 – Staurolit,

PN-EN ISO 11126-10 – Almadyn/Granat.

Metody badań ścierniwa niemetalowych opisują kolejne normy PN-EN ISO 11127:

PN-EN ISO 11127-1 – Pobieranie próbek,

PN-EN ISO 11127-2 – Oznaczanie składu ziarnowego,

Tabela 2. Powszechnie używane niemetalowe (N) ścierniwa w obróbce strumieniowo-ścierniej do przygotowania podłoża stalowego [11]

Typ ścierniwa niemetalowego	Oznaczenie	Początkowy kształt ziarna ścierniwa
Naturalne	piasek kwarcowy	G (ostrokątny-kątowy, nieregularny)
	piasek oliwinowy	
	staurolit	S (kulisty-okrągły)
	granat	G (ostrokątny-kątowy, nieregularny)
Syntetyczne	żużel wielkopieczowy	G (ostrokątny-kątowy, nieregularny)
	żużel pomiedziowy	
	żużel ponikłowy	
	żużel paleniskowy	
	elektrokorund	

Tabela 3. Podstawowe media do kulowania według normy AMS 2431A [12]

Numer normy AMS	Nazwa medium do kulowania	Oznaczenie
2431/1	śrut staliny lany o twardości 45-52 HRC	ASR
2431/2	śrut staliny lany o twardości 55-62 HRC	ASH
2431/3	śrut cięty z drutu owalizowany o twardości 45-52 HRC	AWCR
2431/4	śrut cięty z drutu chromo-niklowy owalizowany	AWS
2431/5	kulki ze stali hartowanej	APB
2431/6	mikrokulki szklane	AGB
2431/7	mikrokulki ceramiczne	AZB
2431/8	śrut cięty z drutu owalizowany o twardości 55-62 HRC	AWCH

PN-EN ISO 11127-3 – Oznaczanie gęstości właściwej,

PN-EN ISO 11127-4 – Ocena twardości metodą szkiełek mikroskopowych,

PN-EN ISO 11127-5 – Oznaczanie zawartości wilgoci,

PN-EN ISO 11127-6 – Oznaczanie zanieczyszczeń rozpuszczalnych w wodzie metodą pomiaru przewodnictwa,

PN-EN ISO 11127-7 – Oznaczanie chlorów rozpuszczalnych w wodzie.

Wymienione normy nie obejmują wszystkich mediów stosowanych we wszystkich odmianach obróbki strumieniowo-ściernej. Z tego powodu, jak również ze względu na to, że w Polsce nie jest produkowana większość śrutów, wśród krajowych użytkowników stosowane są różne oznaczenia i różne kryteria oceny śrutów. Przeważająca ilość śrutów stosowanych w Polsce pochodzi z importu, a ich zagraniczni producenci oznaczenia śrutów i ich charakterystykę opierają głównie normach organizacji SAE (*The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea, Air and Space*). Normy SAE można podzielić na dwie podstawowe grupy. Jedna grupa to normy AMS oznaczone numerem 2431, a druga oznaczona symbolem J. Normy AMS dotyczą przede wszystkim śrutów do kulowania o specjalnych odpowiedzialnych zastosowaniach głównie w lotnictwie i instalacjach wojskowych. Norma AMS 2431A wymienia osiem podstawowych typów mediów do kulowania, których charakterystyka i wymagania opisywane są w normach 2431 opisanych kolejnymi numerami od 1 do 8 (Tab. 3).

Wymogi w stosunku do każdego z wymienionych w tab. 3 śrutów określone są

bardzo precyzyjnie w wymienionych w tej tabeli normach AMS oraz w normach serii J:

SAE J 441 – Śrut z drutu ciętego,

SAE J 444 – Śrut lany i specyfikacja wielkości dla kulowania i śrutowania,

SAE J 445 – Badania wytrzymałości śrutów metalowych okrągłych i ostrokątnych,

SAE J 827 – Śrut staliny wysokowęglowy,

SAE J 1173 – Klasyfikacja wielkości i charakterystyka kulek szklanych do kulowania,

SAE J 1830 – Klasyfikacja wielkości i charakterystyka kulek ceramicznych do kulowania.

Można zaryzykować stwierdzenie, że media stosowane w procesie kulowania należą do jednych z najbardziej znormalizowanych produktów technicznych. Wynika to przede wszystkim z potrzeby zapewnienia uzyskania powtarzalności efektów kulowania, które w warunkach produkcyjnych jest bardzo trudno zwerifikować.

Wymienione media śrutownicze, ale także inne tutaj nie wymienione, objęte są również odpowiednimi dodatkowymi normami międzynarodowymi oraz normami poszczególnych krajów (na przykład niemieckie DIN) lub wymaganiami ustalonymi przez producentów ścierniwi. Mikrokulki szklane na przykład opisane są również w normie amerykańskiej MIL-G-9954 (*Glass Beads for Cleaning and Peening*). Śrut ceramiczny, poza wymienionymi już normami objęty jest normą NFL 06824 (*Aerospace industry. Blast media ceramic*

beads) oraz NFL 06831 (*Aerospace series. Steel shot, glass beads and ceramic beads*). Wymagania stawiane różnym odmianom śrutów z tworzyw sztucznych zawarte są w amerykańskiej normie MIL-P-85891A i jej kolejnych nowelizacjach [13]. Wymagania w stosunku do śrutów naturalnych roślinnych określa inna amerykańska norma z serii militarnych [14]. Spośród norm dotyczących śrutów stosowanych w poszczególnych krajach należy wymienić serię niemieckich norm DIN 8201, które mają zastosowanie również na polskim rynku, gdzie stosowane są śrutu pochodzące z firm niemieckich.

Charakterystyka mediów stosowanych w obróbce strumieniowo-ściernej

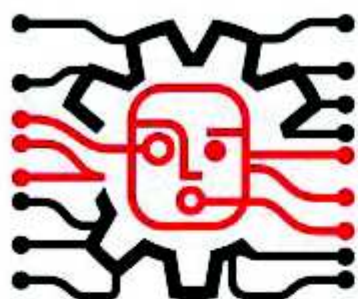
Właściwości zastosowanego ścierniwa muszą być dostosowane do zadań stojących przed określonym procesem obróbki strumieniowo-ściernej. Ponieważ zakres zastosowań tej obróbki jest bardzo szeroki, więc bardzo zróżnicowane są wymagania w stosunku do poszczególnych śrutów.

Podstawowym wymogiem jakościowym jest posiadanie przez śrut postaci ziarna. Zakres wymiarowy ziaren śrutu mieści się w zasadzie w przedziale od 50 do 2500 μm . W ramach tego przedziału poszczególne rodzaje śrutów są dzielone na frakcje ziarnowe o wąskim i ściśle określonym zakresie wymiarowym. Nie ma jednolitego systemu, dla wszystkich ścierniwi stosowanych w obróbce strumieniowo-ściernej, określania zakresu uziarnienia tych frakcji ziarnowych. Te zakresy, w odniesieniu do poszczególnych ścierniwi, określone są w normach dotyczących danego ścierniwa lub w wy-





Międzynarodowe Targi Poznańskie



ITM
POLSKA

**INNOWACJE
TECHNOLOGIE
MASZyny**

6-9 CZERWCA 2017, POZNAŃ

Biznesowa strona przemysłu

Najnowsze technologie

Międzynarodowe towarzystwo

Innowacyjne rozwiązania

Premierowe modele maszyn

Wydarzenia towarzyszące

Przemysł 4.0

W TYM SAMYM CZASIE:



MODERNLOG
Targi Logistyki,
Magazynowania
i Transportu

INFO@MODERNLOG.PL
WWW.MODERNLOG.PL

itm@miop.pl

www.itm-polska.pl



Tabela 4. Charakterystyka wybranych śrutow stosowanych w obróbce strumieniowo-ścierniej [15-17]

Nazwa śrutu	Kształt ziaren	Gęstość [g/cm ³]	Twardość materiału śrutu
Stalowy kulisty	sferyczny	min. 7,0	S: 40-51HRC/390-530HV M: 47-56HRC/470-610HV L: 54-61HRC/580-720HV
Stalowy łamany	nieregularny	min. 7,3	S: 40-51HRC/390-530HV M: 47-56HRC/470-610HV L: 54-62HRC/580-720HV H: 60HRC/700HV
Stalowy nierdzewny	sferyczny	7,8	300 HV
Stalowy drut cięty	cyldryczny	7,6	45-52HRC; 56-59HRC 57-60HRC; 59-61HRC 63-65HRC
Elektrokorund zwykły	nieregularny	3,90 – 3,94	1900-2100 HV
Mikrokulki szklane	sferyczny	2,5	44-48 HRC; 530 HK
Mikrokulki ceramiczne	sferyczny	3,76	65 HRC; 1000HV
Śrut poliamidowy	cyldryczny	1,03 – 1,16	60 – 86 HRM
Śrut poliwęglanowy	sześcienny	1,10 – 1,34	71 – 75 HRM
Drut cięty z cynku	cyldryczny	7,1	35-55 HV
Granulat kukurydziany	nieregularny	1,15	2,0 – 2,5 Mohsa
Granulat z orzecha	nieregularny	1,28	2,5 – 3,0 Mohsa

maganiach podanych przez jego producenta.

Pszczególnie frakcje ziarnowe ścierniwa charakteryzowane są następującymi parametrami:

- uziarnienie,
- kształt ziaren,
- rodzaj tworzywa ziarna,
- gęstość,
- gęstość nasypowa,
- budowa wewnętrzna i krystaliczna ziaren,
- trwałość ścierniwa.

Kształt ziaren ścierniw pochodzenia naturalnego, czy syntetycznych, takich jak: węgiel krzemowy, elektrokorund, żużle, granulaty szklane, kanciaste śrutki metalowe, większość śrutow z tworzyw sztucznych jest nieregularny. Jest to efektem procesu rozdrabniania kęsów tych substancji. Zakres ich zastosowań preferuje ziarna o ostrych krawędziach. Sprzyja to zwiększonej wydajności usuwania nadmiaru z powierzchni obrabianych przedmiotów. Owalne (okrągłe) kształty mają śrutki metalowe stalowe, stalowe chromowe i chromoniklowe, mikrokulki szklane i ceramiczne, mikro-

kulki z boksytu spiekanego oraz sferyczne śrutki poliestrowe. Większość drutow ciętych oraz większość śrutow z tworzyw sztucznych (poliamidowe) mają kształt walca, zaś śrutki poliwęglanowe również kształt sześcienny.

Na efekty obróbki przy użyciu określonego śrutu wpływ ma energia kinetyczna jaką posiada strumień śrutu uderzający w obrabianą powierzchnię. Zależy ona od prędkości nadanej ziarnom śrutu przez śrutownicę oraz ich masy. Masa pojedynczych ziaren zależy z kolei od ich wymiarów (uziarnienia) i gęstości materiału śrutu. Śrutki stosowane we współczesnej obróbce strumieniowo-ścierniej mają bardzo zróżnicowaną gęstość (Tab. 4), a tym samym w czasie obróbki uzyskują różną energię kinetyczną.

Twardość materiału śrutu musi być większa od twardości obrabianego materiału. Twardsze ścierniwa posiadają większą zdolność do chropowacenia obrabianej powierzchni. Ma to bezpośredni wpływ na zwiększenie wydajności obróbki przy użyciu takich ścierniw.

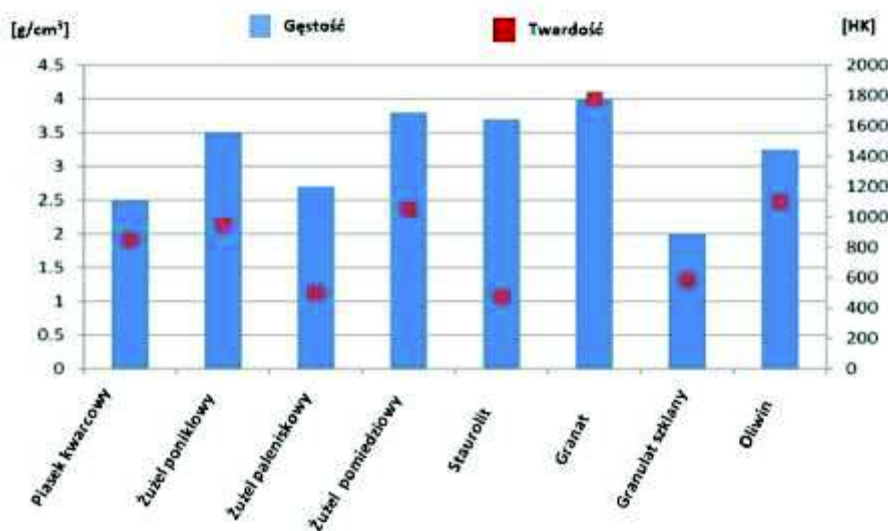
Przedstawione w tab. 4 oraz na rys. 5 dane wskazują, że do dyspozycji procesów obróbki strumieniowo-ścierniej są

media o bardzo zróżnicowanej gęstości i twardości. Umożliwia to dokonywanie optymalnego wyboru śrutu do wymogów określonego procesu obróbkowego.

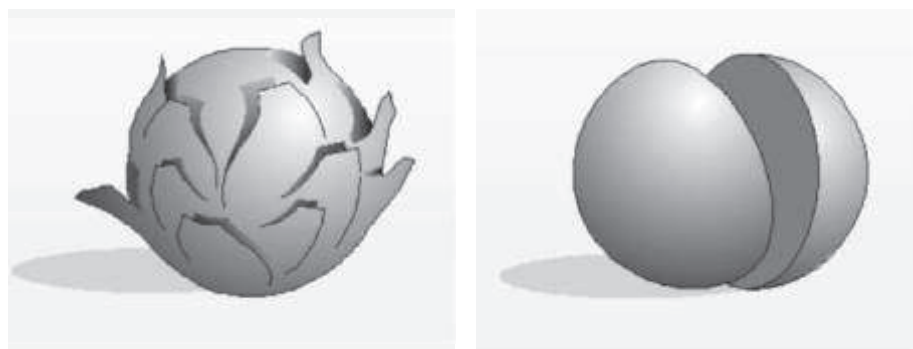
Budowa wewnętrzna ziaren śrutu ma decydujący wpływ na ich trwałość. Problem ten jest szeroko analizowany w przypadku mediów stosowanych do kulowania. Chodzi tutaj zarówno o obecność wtrąceń, jak również naprężeń wewnętrznych. Jest to problem bardzo istotny w przypadku np. mikrokulek szklanych. Powtarzalność budowy wewnętrznej gwarantuje powtarzalność masy i wytrzymałości śrutu określonej granulacji i tym samym powtarzalność efektów kulowania [19]. Test Almena jest powszechnie stosowaną metodą oceny i kontroli procesu kulowania.

Trwałość śrutow, określana najczęściej ilością cykli uderzenia strumienia śrutu w powierzchnię obrabianą, aż do ich całkowitego zużycia. Uniwersalną i powszechnie stosowaną metodą badania trwałości śrutow jest tzw. test Ervina pozwalający porównać pod tym względem śrutki różnego pochodzenia [20]. Istotnym jest aby budowa wewnętrzna ziaren śrutow zapewniała prawidłowy sposób





Rys. 5. Charakterystyka (gęstość w g/cm³ i twardość Knoopa) ścierniw mineralnych i odpadowych stosowanych w obróbce strumieniowo-ściernej [18]



Rys. 6. Sposoby zużywania się ziaren śrutu: a) prawidłowy, b) zły [20]

ich zużywania się. Nie powinno to być pękanie ziaren, a stopniowe zmniejszanie się ich średnicy, jak to pokazano na rys. 6. Stopniowe zmniejszanie się wymiarów ziaren śrutu umożliwia ich wielokrotne zawracanie, a tym samym ich dłuższe użytkowanie. Tematyka trwałości śrutów jako bardzo obszerne zagadnienie będzie przedmiotem oddzielnej publikacji.

Istotnym problemem, ale często nie uwzględnianym w praktyce obróbki strumieniowo-ściernej, jest znajomość potencjału anodowego śrutu metalowego i jego odniesienia do potencjału anodowego obrabianego metalu. Stosowanie mediów metalowych może być bowiem przyczyną występowania na metalowej powierzchni obrabianej zjawiska korozji elektrochemicznej. Ten rodzaj korozji ma miejsce, gdy spełnione są trzy warunki [20]. Po pierwsze, muszą występować w środowisku korozyjnym dwa różne metale będące ze sobą w kontakcie elektrycznym. Kontakt elektryczny

ma miejsce, gdy pomiędzy tymi metalami znajduje się ścieżka przewodząca (drugi warunek), na której są obecne jony metalu o bardziej ujemnym potencjale galwanicznym (trzeci warunek). W przypadku obróbki strumieniowo-ściernej jednym metalem jest przedmiot metalowy poddawany obróbce, a drugim stosowany w tej obróbce śrut metalowy.

Dla prawidłowego wyboru śrutu metalowego dla strumieniowo-ściernej obróbki różnych przedmiotów metalowych istotna jest znajomość ich potencjałów normalnych. W tab. 5 zamieszczono względne wartości potencjałów (w odniesieniu do złota) wybranych metali istotnych w praktyce obróbki strumieniowo-ściernej. Analiza wartości potencjałów anodowych różnych metali i stopów pokazuje jak istotnym problemem jest właściwy wybór rodzaju śrutu. Dokonując tego wyboru należy uwzględnić warunki przeprowadzania procesu obróbki oraz warunki przechowywania detali i śru-

tów. Im warunki atmosferyczne, w których przebywają poddawane obróbce przedmioty są trudniejsze (duża wilgotność powietrza, obecność zanieczyszczeń) tym problem wyboru odpowiedniego medium jest ważniejszy.

Dla szczególnie trudnych warunków (na przykład w warunkach wody morskiej) różnica potencjałów anodowych obrabianego metalu i śrutu nie powinna być większa niż 0,15 V, zaś dla normalnych warunków występujących, np. w magazynach, które nie mają kontroli temperatury i wilgotności powietrza maksymalna różnica potencjałów nie powinna przekraczać 0,25 V [22]. Tylko dla środowiska z kontrolowaną atmosferą dopuszczalna różnica potencjałów może wynosić 0,5 V. Tym można też tłumaczyć dlaczego do obróbki na przykład przedmiotów aluminiowych lepszym śrutem jest nierdzewny śrut chromowy (AISI 430) niż kwasoodporny śrut chromoniklowy (AISI 304). W wyborze śrutów metalowych należy zatem dążyć do maksymalnej zgodności potencjałów z obrabianym metalem. Zapobieganie generowaniu korozji elektrochemicznej detali poddawanych obróbce strumieniowo-ściernej, szczególnie wykonanych z aluminium, magnezu i ich stopów było przyczyną wprowadzenia do tej obróbki śrutów z metali nieżelaznych. Znaczenie przemysłowe znalazły śrutki aluminiowe, cynkowe, miedziane, niklowe i ich stopy [23].

Zakończenie

Śrutki wykorzystywane w obróbce strumieniowo-ściernej powierzchni są specjalną grupą materiałów ściernych. Charakteryzuje je bardzo duże zróżnicowanie właściwości i materiałów, z których są wykonane. Jako śrut wykorzystywany jest zarówno bardzo twarde ścierniwo elektrokorundowe jak miękkie ziarna z tworzyw sztucznych. Śrutami są metaliczne granulki oraz granulaty roślinne. Dostępność tak zróżnicowanych ścierniw umożliwia dokonanie właściwego ich wyboru dostosowanego do warunków określonego procesu obróbki strumieniowo-ściernej. Jest to też grupa ścierniw w bardzo dużym stopniu znormalizowana. Przybliżanie licznym użytkownikom obróbki strumieniowo-ściernej w Polsce wiedzy o tej dynamicznie rozwijającej się grupie materiałów narzędziowych jest uzasadnione. Będzie to przedmiotem kolejnych publikacji autora.

Tabela 5. Wartości względnych potencjałów anodowych dla wybranych metali i stopów [22]

Rodzaj metalu	Potencjał anodowy [V]
Złoto, stopy złoto-platyna	0
Rod i pokryte rodem srebro	0,05
Srebro, stop monela, wysokoprocentowy stop nikiel-miedź	0,15
Nikiel, tytan i jego stopy	0,3
Miedź, mosiądz niskocynkowy, lut srebrny, nowe srebro (mosiądz wysokoniklowy), stop nikiel-chrom	0,35
Stal kwasoodporna Cr-Ni (AISI 304)	0,35
Mosiądz i brąz	0,4
Stal chromowa nierdzewna (17% Cr wg AISI 430)	0,5
Powłoka chromowa, cynowa; stal nierdzewna chromowa - 12% Cr	0,6
Blacha stalowa ocynowana, lut cynowo-ołowiowy	0,65
Ołów, stopy ołowiu, o wysokiej zawartości ołowiu	0,7
Aluminium, stopy aluminium typu 2000 do obróbki plastycznej	0,75
Żelazo do obróbki plastycznej, szare i ciągliwe żeliwo, stal węglowa i stale niskostopowe	0,85
Stopy aluminium inne niż 2000, stopy odlewnicze krzemowe	0,9
Aluminium – stopy odlewnicze inne niż krzemowe, kadm	0,95
Stale ocynkowane ogniowo, stal galwanizowana	1,2
Cynk, stopy cynku	1,25
Magnez, stopy magnezu	1,75
Beryl	1,85

Literatura

1. B.Ch.Tilghman – Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Chew_Tilghman.

2. Tilghman B.C.: Improvement in cutting and engraving stone, metal, glass &c. Pat. USA 104408 (1870).

3. Tilghman B.C.: Blast Wheel . UK Patent 2900 (1870).

4. Tilghman B.C.: Production of iron shot. Pat. USA 187239 (1872).

5. Plater H.J.: The history and developments of the impact treatment processes. Journal of Mechanical Working Technology, 1983, nr 8, s. 203-216.

6. Sandblasting Media Market – Globally Industry Analysis Report. Trends and Forecast 2016-2023. www.gminsights.com

7. Horowitz E.I.: Oberflaechenbehandlung mittels Strahlmitteln. Vulkan-Verlag, Essen 1983.

8. Woźniak K., Herman D.: Żużel pomiedziowy jako materiał ścierny. Szkło i Ceramika 1985, nr 1, s. 29-33.

9. Woźniak K., Darkowicz J.: Kupfer-schlacken zum Strahlen in der Schiffbauindustrie. Metalloberflaeche, 1988, nr 7, s. 345-348.

10. PN-EN ISO 11124-1. Wymagania techniczne dotyczące metalowych ścierniwi stosowanych w obróbce strumieniowo-ściernej. Ogólne wprowadzenie i klasyfikacja.

11. PN-EN ISO 11126-1. Wymagania techniczne dotyczące niemetalowych ścierniwi stosowanych w obróbce strumieniowo-ściernej. Ogólne wprowadzenie i klasyfikacja.

12. Norma amerykańska AMS 2431 1996. Peening Media. General Requirments.

13. Military Specification MIL-P-85891 A (1988-2002): Plastic media for removal of organic Coatings.

14. Military Specification MIL-G-5634 C. Grain, abrasive soft, for carbon removal.

15. Materiały techniczne firm: Ervin Amasteel, Sovitec, PDC.

16. Woźniak K.: Współczesne media do obróbki strumieniowo-ściernej. Referat na XXIII Naukowej Szkole Obróbki Ściernej. Rzeszów-Myczkowice 2000.

17. PN-EN ISO 11124, PN-EN ISO 11126.

18. Materiały techniczne firmy Barton International (USA). www.barton.com

19. Nakonieczny A.: Dynamiczna powierzchniowa obróbka plastyczna. Kulowanie. Monografia IMP 2002.

20. Materiały techniczne firmy Ervin Industries Inc. (USA). www.ervinindustries.com

21. Baszkiewicz J., Kamiński M.: Korozja materiałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.

22. Roberge Pierre R.: Handbook of Corosion Engineering. Mc-Graw-Hill, New York 1999.

23. Woźniak K.: Śruty metalowe z metali nieżelaznych i ich zastosowanie w obróbce strumieniowo-ściernej. Lakiernictwo Przemysłowe, 2013, nr 3, s. 76-80. ■