

Otrzymano: 19 czerwca 2017 / Zaakceptowano: 24 września 2017 / Zamieszczono na WWW: 17 listopada 2017

*obróbka strumieniowo-ścierna, wirniki rzutowe,
test Almena, efekty obróbki strumieniowo-ścierniej*

Piotr ZYZAK^{1*}

WYBRANE ASPEKTY BADAŃ I OCENY PROCESU OBRÓBK STRUMIENIOWO-ŚCIERNEJ

Artykuł dotyczy problematyki badawczej strumieniowo-ściernego oczyszczania odlewów. Omówiono wyniki wybranych badań i oceny procesu oczyszczania z wykorzystaniem oczyszczarek wirnikowych miotających strumień śrutu na oczyszczane powierzchnie. Zwrócono również uwagę na problematykę rejestracji strumienia rzucanego śrutu oraz wielkości charakteryzujących stan powierzchni odlewów po oczyszczeniu. Przedstawiono zakres i wyniki badań celem oceny parametrów strumienia śrutu wskaźnikami próby z użyciem płytek kontrolnych Almena. Analizowane wielkości omówiono w zależności od parametrów procesu. Zaprezentowano wyniki badań własnych, przeprowadzonych na stanowisku doświadczalnym turbiny rzutowej TR-100 firmy Technical z Nowej Soli oraz przy użyciu oczyszczarek przemysłowych.

1. WPROWADZENIE

Oczyszczanie strumieniowo-ścierne jest metodą stosowaną powszechnie przy obróbce powierzchni wyrobów metalowych, w tym odlewów. Stosowane są przy tym oczyszczarki z jednym lub z zespołem wirników rzutowych.

Oczyszczanie strumieniowo-ścierne zostało po raz pierwszy wprowadzone w 1870 roku przez Beniamina Chew Tilgmana. Opracował on metodę obróbki powierzchni wyrobów metalowych strumieniem piasku [1]. Z czasem zaczęto wprowadzać inne rodzaje ścierniwa. Dużym osiągnięciem w tej dziedzinie było wprowadzenie, w 1920 roku, w miejsce piasku metalicznych środków czyszczących [2,3,4].

Istotą procesu oczyszczania jest wytworzenie strumienia ścierniwa (najczęściej metalowego, ale i szklanego) i skierowanie go na płaszczyzny oczyszczane. Oczyszczanie ścierne jest wtedy skuteczne, gdy:

- spełnione są warunki konstrukcyjne mechanizmów wytwarzających strumień ścierniwa (czyściwa),
- ścierniwo jest materiałem o właściwościach zdefiniowanych wymaganiami technologicznymi,
- strumień ścierniwa (śrutu) jest optymalnie kształtowany pod względem geometrycznym, kinematycznym i dynamicznym,

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji, Bielsko-Biała

* E-mail: pzyzak@ath.bielsko.pl

- warunki działania strumienia gwarantują uderzanie ziaren ścierniwa w całkowite pole powierzchni oczyszczanej.

Wymienione zagadnienia w różnym stopniu składają się na bardzo złożony proces oczyszczania, którego efektem powinna być wysoka jakość powierzchni odlewów.

Do oczyszczania powierzchni odlewów stosuje się wyłącznie urządzenia zmechanizowane, które realizują oczyszczanie odlewów metodą mechaniczno-udarową. W metodzie tej jedną z grup stanowi oczyszczanie strumieniowo-ściernie, gdzie zgodnie z definicją zawartą w PN-EN ISO 8504-2:2000 obróbka strumieniowo-ścierna to „uderzanie strumieniem ścierniwa, charakteryzującego się wysoką energią kinetyczną w powierzchnię, która ma być przygotowana”.

Podstawy teoretyczne obróbki strumieniem ścierniwa zostały opracowane przez Aksjonowa P.N. [5,6] oraz Orłowa G.M. [4].

Prace dotyczące rodzajów środków czyszczących były prowadzone głównie w USA oraz NRF [1]. Dla potrzeb badań opracowano metody określania jakości ścierniwa, w tym jego trwałości oraz ocenę sprawności czyszczenia. Dla oceny efektu działania uderzającego ścierniwa, Almen J.O. w 1940 r opracował pośrednią metodę pomiaru energii kinetycznej ziaren ścierniwa. Metoda ta jest wykorzystywana przede wszystkim przy określaniu i kontrolowaniu parametrów utwardzania warstwy powierzchniowej wyrobów.

W kraju w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie prowadzone były badania środków czyszczących stosowanych w oczyszczarkach. Podsumowaniem tych badań była publikacja Małeckiego B. [1] oraz monografia Lempickiego J. i Paradysza J. [2].

Efektywność obróbki powierzchniowej odlewów zależy przede wszystkim od pracy zespołów rzutowych, które miotają strumień śrutu. Strumień ten jest charakteryzowany takimi parametrami jak: natężenie masowe strumienia śrutu, prędkość i energia kinetyczna, skupienie, zasięg, kąt natarcia [3,4,5].

Istotne znaczenie ma również rozkład wielkości ziaren śrutu; w miarę liczby obiegów w oczyszczarce wzrasta rozdrobnienie śrutu [5].

Badania zespołów rzutowych sprowadzają się głównie do wyznaczania energii strumienia śrutu przez rejestrację ruchu ziaren lub też rejestrację efektów czyszczenia. Stosowanie obu metod pozwala na opracowanie kompleksowej charakterystyki procesu oczyszczania strumieniowo-ściernego.

2. METODYKA I ZAKRES BADAŃ

Podjęcie tematyki związanej z oceną przebiegu, realizacją i badaniami procesu obróbki strumieniowo-ścierniej wynikało bezpośrednio z braku dostatecznej wiedzy o tym dynamicznym procesie. Analiza publikacji oraz specjalistycznych opracowań nie pozwala stwierdzić jak optymalnie prowadzić proces oczyszczania odlewów, aby efekty tej obróbki - jakość i czystość powierzchni były najlepsze. W procesie oczyszczania strumieniowo-ściernego wytwarzane są strumienie śrutu i bezpośrednio, poprzez zespoły rzutowe, kierowane są na oczyszczane odlewy.

W pierwszej kolejności należy określić charakterystykę techniczną wybranych mechanizmów realizujących proces oczyszczania. Charakterystyka ta powinna zawierać

szczególne dane techniczne oczyszczarki, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zespół lub zespoły rzutowe, których podstawą są turbiny rzutowe, komorę oczyszczania, ewentualnie w zależności od konstrukcji oczyszczarki urządzenia jazdy i obrotu zawiesia lub obrotu stołu. Opracowana charakterystyka służy do przedstawienia metodyki badań. Efektywność oczyszczania zależy od parametrów kinetyczno-dynamicznych strumienia i jego kształtu określonego szerokością i wysokością. Wymiary geometryczne strumienia tworzą przestrzeń efektywnego oczyszczania.

Wyznaczenie kształtu strumienia śrutu prowadzono poprzez pośredni pomiar efektu oczyszczania wraz z rejestracją fotograficzną. W tej metodzie zastosowano ekran z blachy stalowej (S235J2) i ustawiono go w osi toru jazdy zawiesia równolegle do wirników rzutowych, a prostopadle do kierunku wyrzucanych strumieni śrutu. W wyniku działania strumienia śrutu na powierzchni ekranu powstaje powierzchnia oczyszczona obrazująca geometrię strumienia śrutu. W celu skonstruowania tej powierzchni ekran pokrywa się lakierem, który w trakcie procesu ulega ścieraniu w miejscach działania strumienia śrutu. Zarysy powierzchni oczyszczonej dokumentowano techniką fotografowania cyfrowego, co następnie umożliwiło opracowanie wyników metodą wspomaganą komputerową.

Badania dla wytypowanej oczyszczarki OWH-1,0×1,5 przeprowadzono wg następującej procedury:

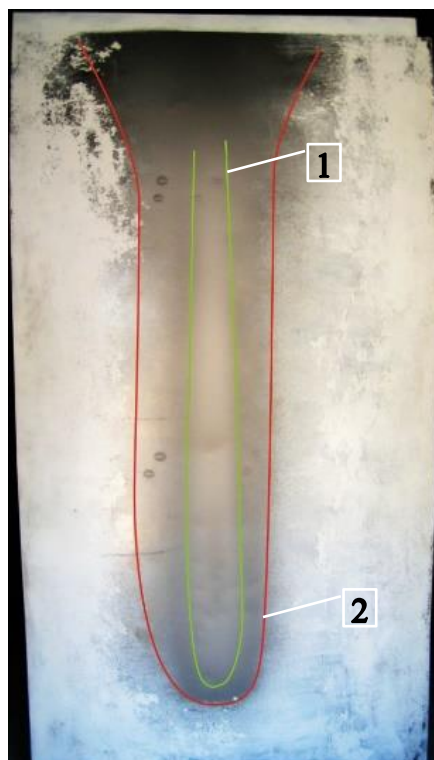
- nastawy parametrów ruchowych mechanizmów rzutowych przyjęto zgodnie z zaleceniami producenta oczyszczarki,
- ustalono obroty wirników równe 3000 obr/min,
- obciążenie wirników strumieniem śrutu poprzez pomiar natężenia prądu. Obciążenie wynosiło 17 A,
- ustawienie ekranu w osi toru jazdy zawiesia,
- czas pracy wirników liczony od momentu rozpoczęcia podawania śrutu przyjęto 30 s. Pomiar realizowano w trzech etapach.
- Etap I obejmował badanie wirnika dolnego. Podczas badań wirnik górny był odłączany od zasilania śrutem.
- Etap II obejmował badanie wirnika górnego. Analogicznie jak w I etapie, podczas badań wyłączany był wirnik dolny.
- Etap III obejmował badanie procesu przy równoczesnym włączeniu wirnika dolnego i górnego.

Każdorazowo poszczególny etap był dokumentowany w/w techniką. Ponadto, po każdym etapie, ekran był pokrywany ponownie lakierem, aby stan początkowy powierzchni ekranu był identyczny do badania kolejnych wirników. Badaniami objęto wirniki uzbrojone w łopatki płaskie i wklęsłe. Profil łopatek dotyczy powierzchni roboczej, po której przemieszcza się porcja śrutu.

Wybrane wyniki badań kształtu strumienia śrutu z wirnika dolnego przedstawiono na rysunku 1.

W rezultacie badań charakteru strumienia śrutu miotanego z wirników rzutowych otrzymano na powierzchni ekranu dwa obszary o zróżnicowanej barwie (czystości blachy po usunięciu warstwy lakieru). Obszar wewnętrzny jaśniejszy i obszar zewnętrzny ciemniejszy wokół obszaru wewnętrznego rozłożony niesymetrycznie. Oznacza to, że struga śrutu jest niejednorodna i składa się z części strumienia skoncentrowanego (wewnętrznego)

i rozproszonego (zewnętrznego). Dynamika strumienia skoncentrowanego jest o większej sile uderzenia śrutem w ekran od dynamiki strumienia rozproszonego. Następstwem takiego zjawiska będzie zróżnicowana skuteczność oczyszczania odlewów znajdujących się w przestrzeni działania strumienia skoncentrowanego i rozproszonego.



Rys. 1. Powierzchnia efektywnego działania skoncentrowanego (1) i rozproszonego (2) strumienia śrutu z wirnika dolnego; obraz rzeczywisty

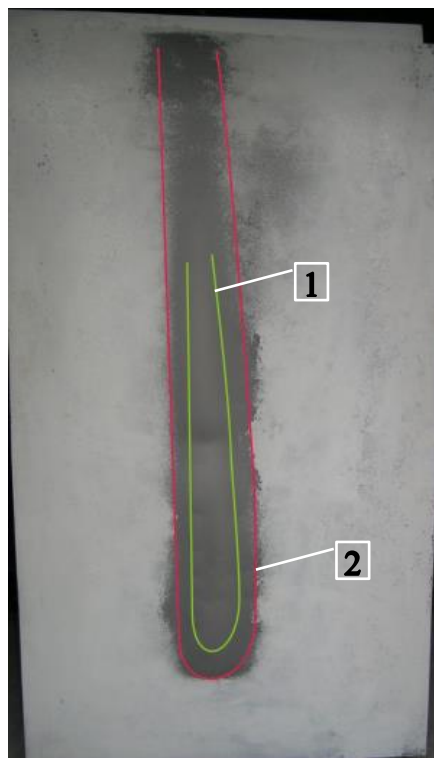
Fig. 1. Surface of effective action, concentrated (1) and dispersed (2) stream of shot from lower impeller; real picture

Rozproszenie strumienia śrutu może być także spowodowane niedokładnością wykonania elementów konstrukcji okna wylotowego z wirnika. Strumień trafiając w odlewy odbija się i ulega deformacji niekontrolowanej, a tym samym traci energię i spada w dół na dno oczyszczarki. Oprócz strumienia skoncentrowanego występuje strumień rozproszony o kształcie rozszerzającym się w kierunku wylotu z kierownicy wirnika rzutowego. Rozproszenie strumienia wzdłuż zewnętrznych jego zarysów spowodowane jest znaczną siłą tarcia wzdłuż krawędzi łopatki, i spadkiem energii wyrzutu ziaren śrutu znajdujących się w zewnętrznym zarysie strumienia.

Przeprowadzono również ocenę działania strumienia śrutu z wirnika dolnego, górnego oraz obu wirników pracujących jednocześnie, a uzyskane efekty zarejestrowano na fotografii ekranu (rys. 2). Podobnie jak w przypadku łopatek płaskich uzyskano obraz odwzorowujący strumień skoncentrowany i rozproszony. Obydwa strumienie są zdecydowanie węższe od strumieni uzyskanych z wirników z łopatkami płaskimi. Krawędzie zewnętrzne strumienia rozproszonego są bardziej wyraźne na całej wysokości ekranu. Również zabarwienie powierzchni jest jaśniejsze w dolnej części obrazu, które zanika w kierunku do góry ekranu.

Taki stan obrazu można wytłumaczyć następująco:

- strumień śrutu na łopatkę jest bardziej zwarty i zawężony gdyż powierzchnia robocza łopaty ma profil zbliżony do kształtu korytowego,
- taki kształt łopaty profiluje strugę śrutu nadając mu większą energię kinetyczną, która zależy od gęstości jednostkowej strumienia śrutu,
- zwartość i gęstość strumienia są z kolei przyczyną zmniejszania zasięgu strumienia na wysokości. W tej sytuacji odlewy zawieszane na górnym poziomie zawiesia, prawdopodobnie będą czyszczone z mniejszym skutkiem.



Rys. 2. Powierzchnia efektywnego działania skoncentrowanego (1) i rozproszonego (2) strumienia śrutu z wirnika dolnego; obraz rzeczywisty

Fig. 2. Surface of effective action, concentrated (1) and dissipated (2) stream of shot from lower impeller; real picture

Problematyka badawcza z zakresu oczyszczania mechanicznego, strumieniowego dotyczy również oceny jakości powierzchni odlewów oraz możliwych zmian w strukturze warstwy przypowierzchniowej odlewów z różnych tworzyw.

Badania własne przeprowadzone na stanowiskach wyposażonych w oczyszczarki wirnikowe, miały na celu ocenę efektywności procesu oczyszczania (przygotowania powierzchni) dla różnych materiałów. Ocenę efektów procesu prowadzono również w oparciu o charakterystykę strumienia śrutu, który ma zasadnicze znaczenie dla jakości powierzchni.

Z użyciem kamery do rejestracji szybkozmiennych procesów Photron Fastcam Super 10K (model 3000/3000C), umożliwiającej rejestrację z szybkością 30-3000 klatek/s, oraz stanowiska badawczego turbiny rzutowej TR-100 przeprowadzono badania mające na celu określenie charakterystyki strumienia śrutu – prędkości oraz pośrednio energii kinetycznej.

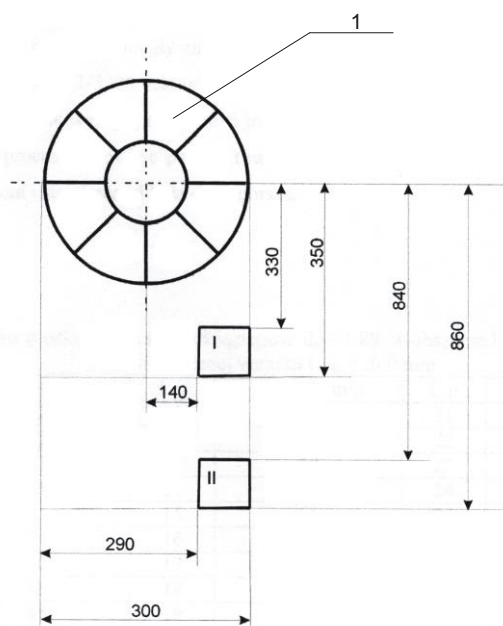
Pomiary prędkości strumienia śrutu dokonywano przez obserwację zmian położenia ziaren w obrębie dwóch obszarów: I – oddalonego od poziomej osi wirnika $L_{I\dot{s}r}=340$ mm oraz II – przy $L_{II\dot{s}r}=850$ mm (rys. 3) [4]. Wykorzystano śrut żeliwny 3K o zawartości pierwiastków: C 3,00 ÷ 3,40 %, Mn 0,30 ÷ 1,00 %, Si 1,00 ÷ 1,50 %, P 0,10 ÷ 0,30 %, S 0,07 ÷ 0,17 %, ziarnistości nominalnej $d_{90}=2,5\div 3,5$ mm i twardości 61 ÷ 64 HRC.

Komputerowa obróbka zapisanych obrazów polegała na wyznaczaniu zmian położenia wybranych ziaren śrutu w czasie. Opracowanie wyników badań obejmowało wyznaczenie średnich wartości prędkości śrutu w filmowanych obszarach oraz energii kinetycznych. Wartość energii strumienia śrutu wyznaczano w oparciu o zależność:

$$E_{sek} = m \cdot v^2 \cdot n \cdot \frac{i}{(2 \cdot 60)} \quad (1)$$

gdzie: m – masa (średnia) ziarna śrutu w kg, v – prędkość (średnia) ziarna śrutu w m/s, n – liczba obrotów na minutę ($n=2920$ obr/min), i – liczba łopatek wirnika ($i=8$).

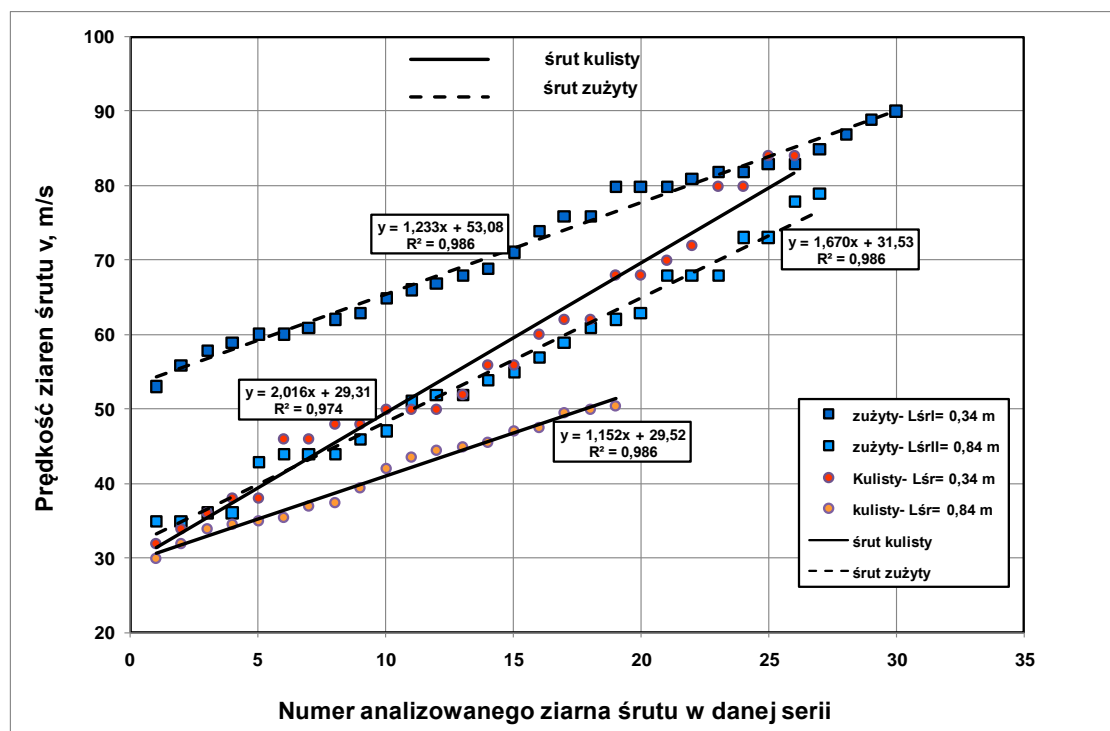
Na rysunku 4 przedstawiono wybrane wyniki badań dwóch rodzajów śrutu: nowego i zużytego (liczba obiegów śrutu w oczyszczarce < 80). Dotyczą one wyznaczenia wartości prędkości w dwóch obszarach komory roboczej. Wyniki zamieszczone na wykresach zostały opracowane po uszeregowaniu ziaren według rosnącej prędkości. Takie podejście pozwala usystematyzować wyniki pomiarów i regresja ma wówczas większy sens.



Rys. 3. Obszary pomiaru prędkości: 1 –wirnik, I – obszar pierwszy rejestracji ziaren śrutu, II – obszar drugi rejestracji ziaren śrutu

Fig. 3. Regions of measurement of the speed: 1 –impeller, I – the first region of recording of shot's balls, II – the second region of recording of shot's balls

W takim przedstawieniu (rys. 4), zakłada się, że na linii o równym oddaleniu od wylotu z głowicy rzutowej, występują ziarna o różnej prędkości. Jednak jeżeli układają się na prostej – to można wnioskować, że nie ma uprzywilejowanych prędkości w strumieniu w danym zakresie.

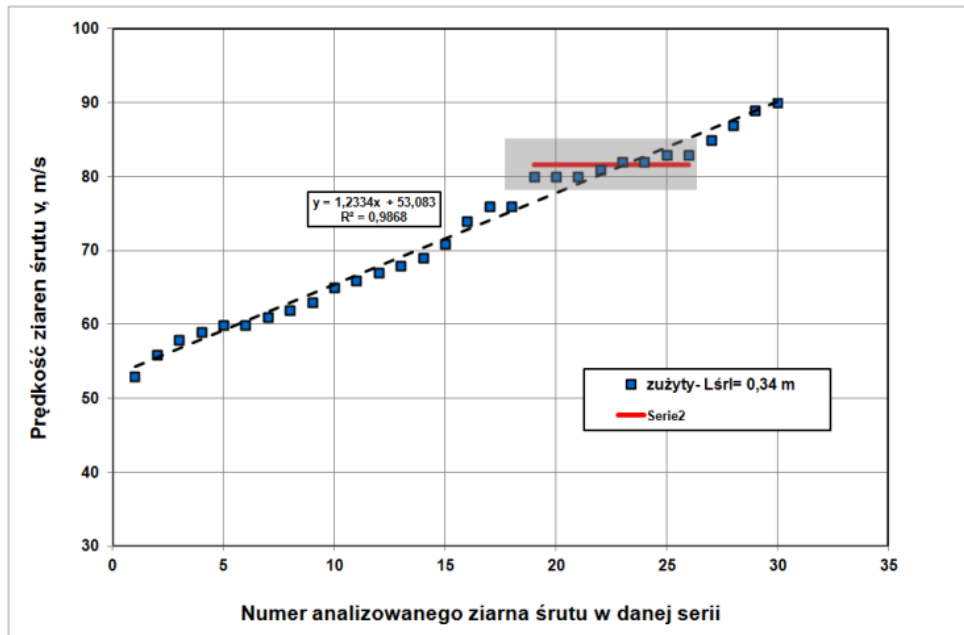
Rys. 4. Zmiana wartości prędkości dla śrutu żeliwnego $\dot{G}=100$ kg/min, $n=2920$ obr/minFig. 4. Change of speed of the cast iron shot $\dot{G}=100$ kg/min, $n=2920$ rpm

W przypadku zarejestrowania i przeanalizowania większej liczby wyników mogłoby się okazać, że w zbiorze ziaren przecinających tę linię jest więcej ziaren o określonej prędkości. Wówczas w tak przyjętym układzie współrzędnych powinny wystąpić skupienia punktów o tej samej prędkości. Taki efekt zaobserwowano – na podstawie wyników badań. Przykładowo na rysunkach 5 i 6, zaznaczono takie zbiory ziaren o zbliżonej prędkości.

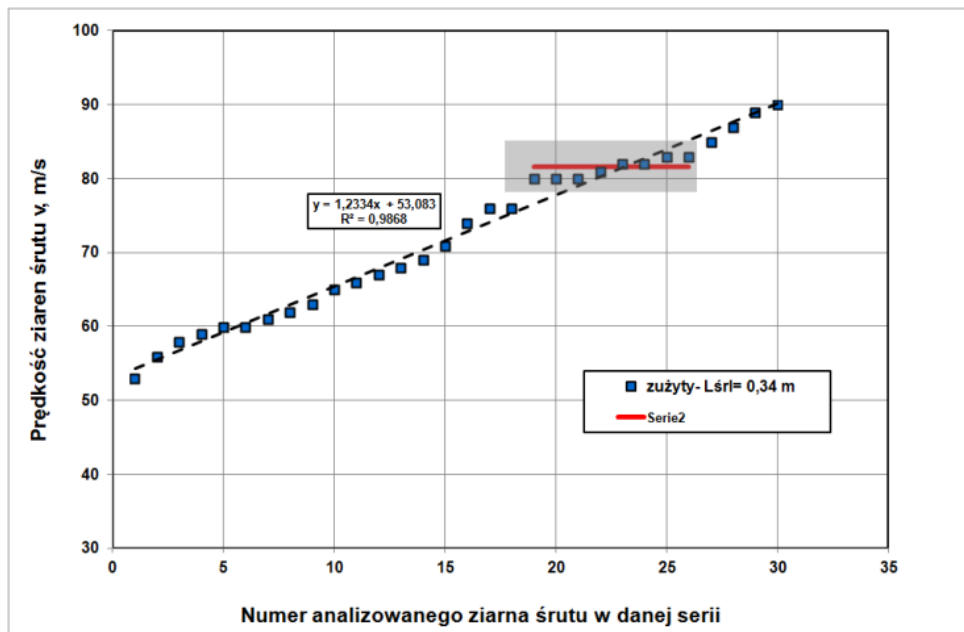
Dla śrutu zużytego (rys. 5) i kulistego (rys. 6) – zbiór ziaren o zbliżonej prędkości, w celu lepszej interpretacji, wyróżniono seria²

Na rysunku 7 przedstawiono zmianę wartości energii kinetycznej strumienia śrutu. Zaprezentowane wyniki odnoszą się do badań doświadczalnych przeprowadzonych na stanowisku wyposażonym w turbinę rzutową TR-100. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wyznaczone wartości prędkości ziaren śrutu odpowiadają zakresom podawanym w specjalistycznych opracowaniach traktujących o obróbce strumieniowości. Prędkość ruchu ziaren śrutu w strefie oczyszczania wynika z prędkości obrotowej wirnika oraz średnicy koła rzutowego. Parametry strugi śrutu zależą ponadto od szerokości łopatek rzutowych, kształtu i rodzaju ich powierzchni roboczych, wymiarów i położenia okna wylotowego w tulei regulacyjnej, wymiarów, kształtu i położenia szczelin wirnika rozdzielającego, natężenia podawania śrutu (wydajności) oraz rodzaju, kształtu i średnicy ziaren śrutu.

Istotnego znaczenia nabierają w chwili obecnej badania działania zdzierającego i uderzającego [4], od których zależy efekt oczyszczania. Różnica w hipotetycznym oddziaływaniu strumienia śrutu na powierzchnię odlewu wynika z prędkości v ziaren ścierniwa oraz kąta β ($5^\circ \leq \beta \leq 50^\circ$) padania.

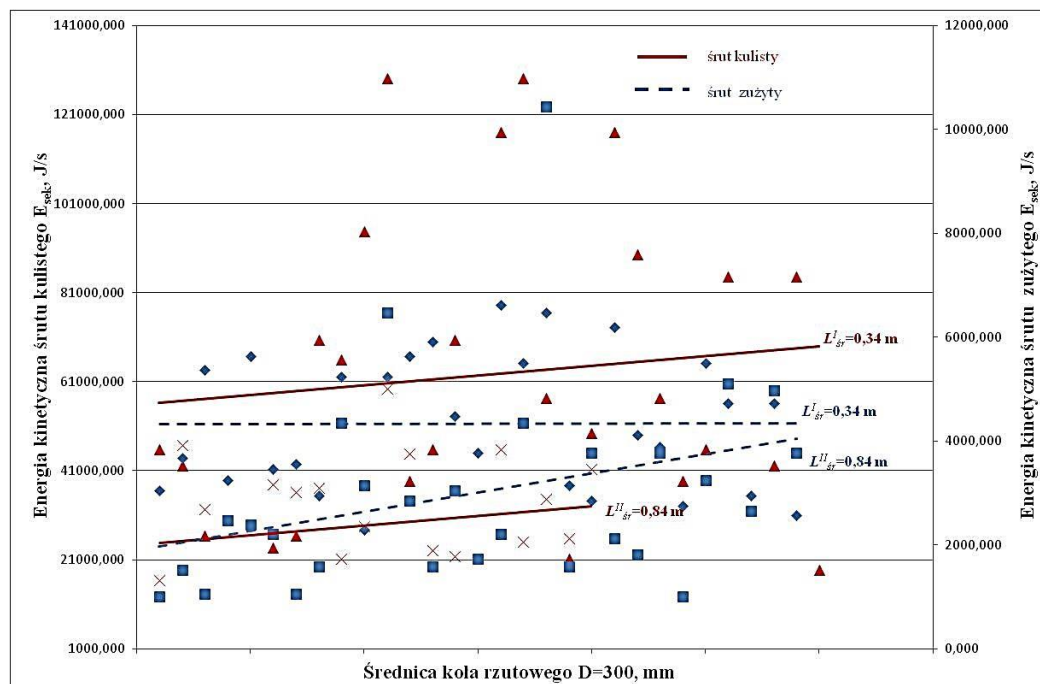


Rys. 5. Zmiana wartości prędkości dla śrutu zużytego $\dot{G} = 100 \text{ kg/min}$, $n = 2920 \text{ obr/min}$
 Fig. 5. Change of speed of the worm out shot $\dot{G} = 100 \text{ kg/min}$, $n = 2920 \text{ rpm}$



Rys. 6. Zmiana wartości prędkości dla śrutu kulistego $\dot{G} = 100 \text{ kg/min}$, $n = 2920 \text{ obr/min}$
 Fig. 6. Change of speed of the ball-shaped shot $\dot{G} = 100 \text{ kg/min}$, $n = 2920 \text{ rpm}$

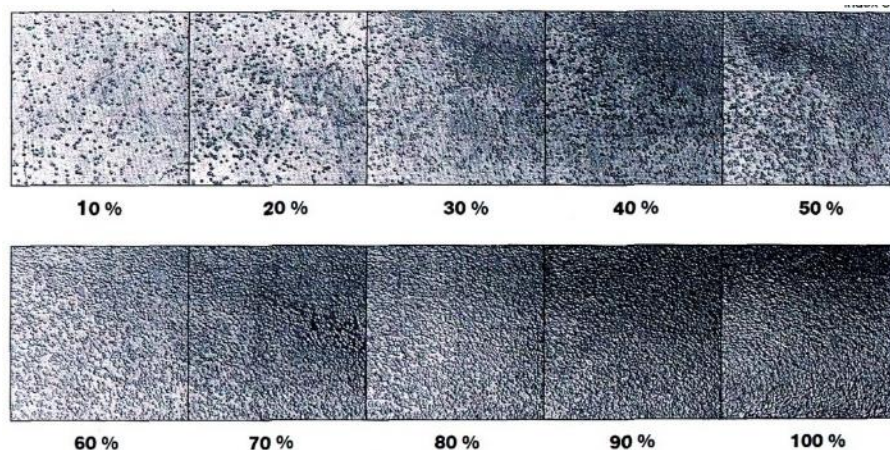
W zależności od tych parametrów możliwe są zmiany stanu powierzchni począwszy od odkształcenia i deformacji, a skończywszy na skrawaniu i deformacji. Zakres tych zmian opisuje teoria Bittera J.G. [7]. Badanie efektów działania zdzierającego przeprowadza się poprzez wyznaczanie ubytków masy w zależności od parametrów charakteryzujących tworzywo obrabianego wyrobu, tworzywo czysciwa oraz parametry procesu.



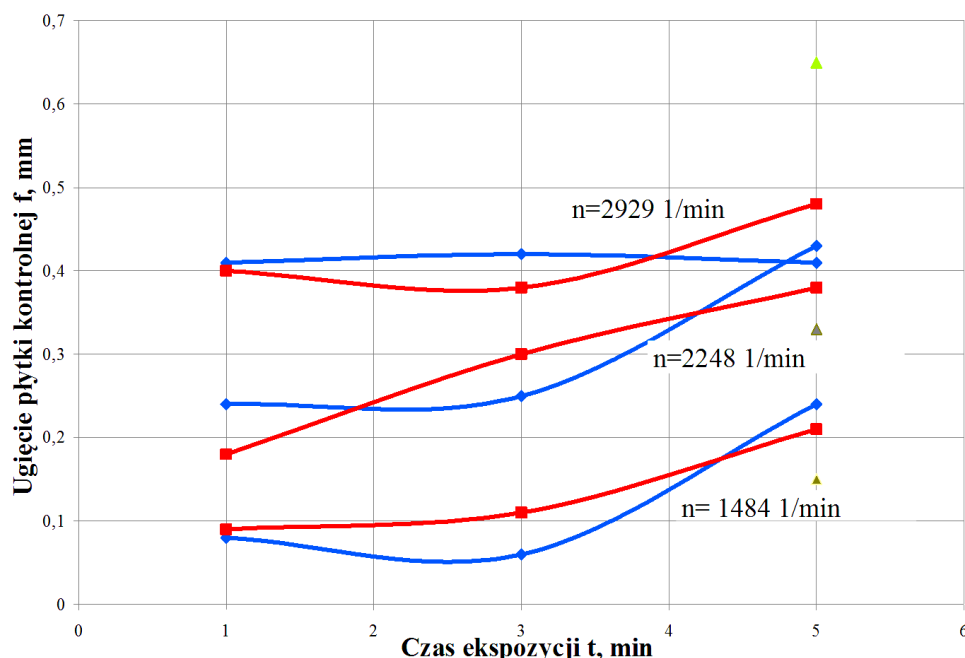
Rys. 7. Zmiana wartości energii kinetycznej dla śrutu żeliwnego $\dot{G}=100$ kg/min, $n=2920$ obr/min
 Fig. 7. Change of value of kinetic energy of the cast iron shot $\dot{G}=100$ kg/min, $n=2920$ rpm

Działanie udarowe powoduje odkształcenie plastyczne powierzchni oczyszczanej lub jej rozkruszenie. W wyniku tego, krucha warstwa powierzchniowa przedmiotu czyszczonego odpada. Intensywność działania uderzającego jest określona wartością krzywizny płytki „Almena” [8] odkształconej w wyniku jej jednostronnej obróbki. Dla różnego zakresu intensywności oddziaływania strumienia śrutu są stosowane płytki N, A i C o różnicowanej grubości. Płytki kontrolne charakteryzują się odpowiednią płaskością oraz twardością. Parametrem ściśle wiążącym się z intensywnością kulowania i mającym istotny wpływ na jakość obróbki jest stopień obróbki – pokrycia powierzchni próbek kontrolnych Almena oraz powierzchni wyrobów (rys. 8). Stopień obróbki określa również gęstość padania ziaren na powierzchnię.

Efektem przeprowadzonych badań z użyciem stanowiska przemysłowego oczyszczarki wirnikowej OWS-1000 Firmy Technical było określenie strzałki ugięcia płytek kontrolnych Almena oraz stopnia pokrycia powierzchni dla określonych warunków prowadzenia procesu obróbki strumieniowo-ściernej. Podstawowe parametry zespołów rzutowych używanego stanowiska były następujące: liczba wirników rzutowych – 2, średnica koła rzutowego – $D=300$ mm, wydajność zespołu rzutowego – $\dot{G}=50-150$ kg/min, liczba obrotów wirnika – $n=1400-3000$ obr/min, szerokość łopatek – $b=75$ mm, moc zainstalowana – $P=20$ kW. W badaniach wskaźników próby z użyciem płytek kontrolnych stosowano odlewy z różnych tworzyw: staliwa (L30GS), żeliwa (żeliwo białe) oraz stopów metali nieżelaznych (BK331 – CuSi3Zn3Mn, AK7 – AlSi7Mg). Pomiary zrealizowano wykorzystując śrut stalowy kulisty S280, S330, S550 firmy Wheelabrator Allevar. Wyniki badań, w celu lepszej interpretacji, opracowano w formie graficznej i zamieszczono na rysunkach 9 i 10.



Rys. 8. Wzorce powierzchni obrabianego wyrobu [4]
 Fig. 8. Master samples of machined product's surface [4]



Rys. 9. Wpływ czasu ekspozycji, prędkości obrotowej wirnika na wartość strzałki ugięcia płytki kontrolnej typu C; śrut S280, $\dot{G}=220$ kg/min, $t=1, 3, 5$ min, $n=1484-2929$ obr/min [4]

Fig. 9. Effect of exposure time, rotational speed of the impeller on deflection value of type C control plate; shot S280, $\dot{G}=220$ kg/min, $t=1, 3, 5$ min, $n=1484-2929$ rpm [4]

Rysunek 9 przedstawia wyniki badań ugięcia płytek Almena przy oczyszczaniu śrutem stalowym, kulistym S280. Wydajności wirników rzutowych: dla śrutu S280 wynosiły odpowiednio $\dot{G}=100$ kg/min, $\dot{G}=220$ kg/min. Każda z prób była przeprowadzona przy stałej odległości płytek od wylotu z wirnika rzutowego wynoszącej odpowiednio 1185 mm. Przykładową płytkę Almena po obróbce strumieniowo-ściernej przedstawiono na rysunku 10. W sposób wyraźny, daje się zauważyć, usuniętą warstwę lakieru kontrastowego po przeprowadzonej obróbce strumieniowo-ściernej. Celem oceny stopnia pokrycia

powierzchni płytek kontrolnych Almena zastosowano mikroskop elektronowy skaningowy JEOL JSM-5500LV oraz mikroskop optyczny Leica MZ6.



Rys. 10. Widok powierzchni płytki Almena ze śladami uderzeń śrutu, stanowisko oczyszczarki OWS-1000, śrut staliwny kulisty [4]

Fig. 10. Fig. 10. Surface view of the Almena plate with traces of strokes of shot, stand of the cleaner of the OWS-1000 type, cast iron, ball-shaped shot [4]

3. PODSUMOWANIE

Oczyszczanie jest procesem złożonym, trudnym do pełnego analitycznego ujęcia. Proces oczyszczania strumieniem piasku (realizowany od lat 70. XIX wieku) oraz ścierniwem metalowym (od lat 20. XX wieku) doczekał się matematycznego ujęcia dopiero w latach 50.-60. ubiegłego wieku. Zależności, podane przez Aksjonowa P.N., Orłowa G.M. i innych, pozwoliły usystematyzować wpływ podstawowych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych na możliwości obróbkowe strumienia ścierniwa oraz scharakteryzować jego parametry. Dorobek tych prac jest bardzo istotny i ciągle aktualny. Stanowi podstawę teoretyczną procesu uzupełnianą, w niewielkim stopniu, w dalszych latach. Należy przy tym mieć na uwadze, że założenia upraszczające dotyczące kształtowania się porcji ścierniwa, rodzaju tarcia oraz przybliżone wartości współczynników ruchu tylko w pewnym stopniu pozwalają ująć ilościowo przebieg procesu – opisywać, w zadawalającym stopniu, rzeczywistość oraz prognozować efekty tym bardziej, że ścierniwo jest mieszanką ziaren o różnym zakresie średnic i kształtu.

W pracy podano w sposób ogólny wpływ podstawowych czynników na przebieg i efekty oczyszczania strumieniowo-ściernego. Uwzględniono czynniki kształtujące parametry strumienia śrutu na wyjściu z koła rzutowego oraz na poziomie oczyszczanych wyrobów.

Analiza wpływu parametrów strumienia śrutu na jakość powierzchni oczyszczonych odlewów wymaga przedstawienia charakterystyki ruchu ziaren aż do zderzenia się z powierzchnią obrabianą.

Metodę badania parametrów strumienia z użyciem płytek (próbek) kontrolnych można z powodzeniem wykorzystać do ustalania warunków prowadzenia procesu oczyszczania oraz jego optymalizacji. Jest to jedyna próba, która pozwala ująć w sposób kompleksowy

wpływ wielu czynników. Pozwala ustalać warunki dla uzyskiwania powtarzalnych efektów w zależności od tworzywa odlewów oraz charakterystyki ścierniwa i zespołu/zespołów rzutowych.

Efekty obróbki są zależne od kierunku uderzenia ziaren śrutu o obrabianą powierzchnię. Strumień śrutu w sposób naturalny charakteryzuje się rozrzutem, co prowadzi do padania ziaren śrutu pod różnymi kątami. W konsekwencji ma się do czynienia z obróbką skrawającą lub odbijająco-wykruszającą. Skrawanie powierzchni uzyskuje się przy kierunkowych, ukośnych uderzeniach ziaren ścierniwa. Odkształcenia plastyczne powierzchni prowadzące do wykruszania warstwy powierzchniowej są rezultatem działania ziaren uderzających prostopadle do powierzchni. Skrawaniu sprzyja większy rozrzut strumienia, wykruszaniu natomiast skupiony strumień śrutu. Każdorazowo jednak rozrzut strumienia śrutu powinien odpowiadać powierzchni ułożenia odlewów w komorze roboczej oczyszczarki. Charakterystykę i efekty działania ziaren śrutu również przeprowadza się z użyciem płytek kontrolnych wyznaczając stopień pokrycia powierzchni odciskami ziaren i ich wymiarami.

LITERATURA

- [1] MAŁECKI B., 1963, *Środki czyszczące stosowane w oczyszczarkach wirnikowych i metody ich badań*, Przegląd Odlewnictwa, 45.
- [2] ŁEMPICKI J., PARADYSZ J., 1979, *Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i stalowych*, WNT, Warszawa.
- [3] PIOSIK T., 2001, *Wirnikowe oczyszczarki strumieniowo-ściernie*, Materiały Sympozjum, Metody i środki do strumieniowo-ściernego przygotowania podłoża metali pod powłoki ochronne, Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Hajnówka, 89.
- [4] ZYZAK P., 2010, *Analiza wpływu parametrów strumienia śrutu na jakość powierzchni oczyszczonych odlewów*, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- [5] AKSJONOW P.N., 1965, *Wybrane zagadnienia z teorii maszyn odlewniczych*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- [6] AKSJONOW P.N., 1977, *Oborudowanije litejnych ciechow*, Izdatelstvo Maszinostrojenie, Moskwa.
- [7] KILARSKI J., STUDNICKI A., SUCHOŃ J., BARTOCHA D., 2005, *Zastosowanie teorii Bitterera do oceny materiałów stosowanych na elementy maszyn i urządzeń pracujących w warunkach zużycie ściernego*, Przegląd Odlewnictwa, 284.
- [8] NAKONIECZNY A., 2001, *Dynamiczna obróbka plastyczna - kulowanie*, Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa.

SOME SELECTED ASPECTS OF TESTING AND ASSESSMENT OF ABRASIVE BLASTING PROCESS

This paper concerns research issues of abrasive blasting cleaning process of a castings. Results of selected investigations and results of evaluation of the cleaning process with use of impeller-type cleaner with blasting stream of shots on cleaned surfaces were discussed. Attention has been also paid to the problem of recording the stream of blasted shot and to values which characterize conditions of a castings after the cleaning. The scope and results of the research work were presented to evaluate parameters of the shot stream with indicator of the test, using the Almen control plates. Analyzed quantities were discussed depending on parameters of the process. The results of our own research work carried out on the experimental stand of blasting turbine of TR-100 type, produced by Technical Company from Nowa Sol, and with use of an industrial cleaning machines were presented.

Keywords: *shot-blasting treatment, the throwing wheel, Almen test, effects of shot-blasting treatment*