

Adam Barylski

# Szkodliwość eksploatacyjna skażenia powierzchni ścierniwem po procesie docierania technologicznego

JEL: L64 DOI: 10.24136/atest.2019.142

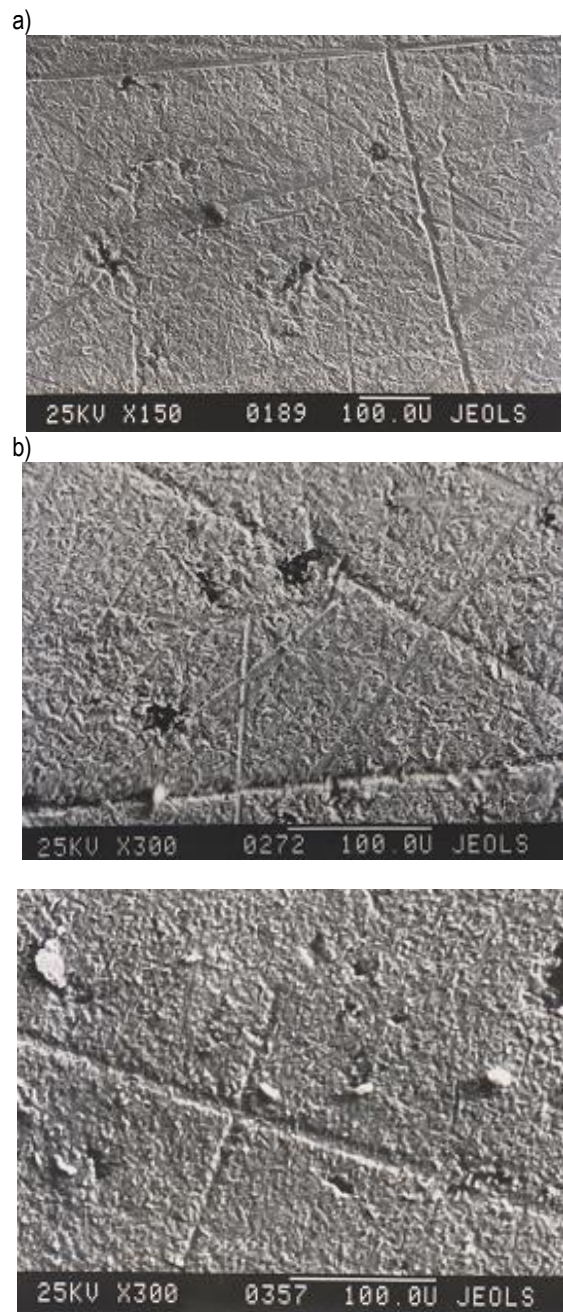
Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

Przedstawiono metodykę i wyniki jakościowych i ilościowych badań skażenia powierzchni mikroziarnami ściernymi oraz wpływ warunków docierania na intensywność zjawiska. W badaniach wykorzystano mikroskopię skaningową i mikroanalizę rentgenowską.

**Słowa kluczowe:** docieranie, żeliwa, skażenie powierzchni, ścierniwo, analiza.

## Wstęp

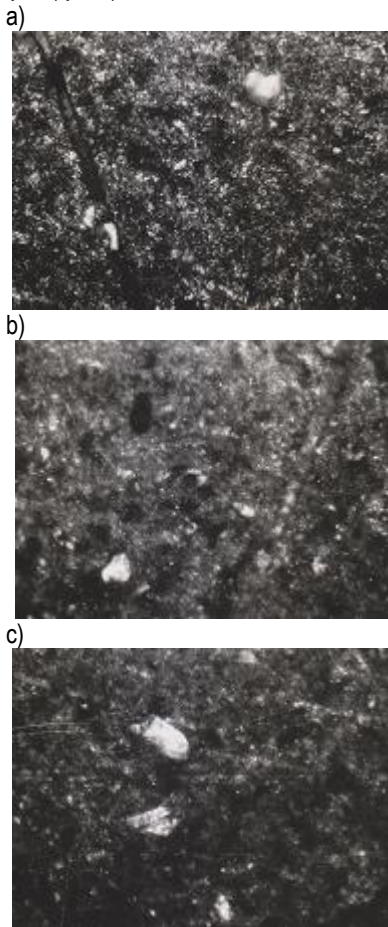
W procesie docierania technologicznego luźnym ścierniwem, oprócz wgniatania się mikroziaren ściernych w powierzchnię czynną metalowego docieraka, ma miejsce skażenie powierzchni obrabianych ścierniwem. Istnieje duże podobieństwo w przebiegu tych zjawisk w strefie obróbki [1,13,16,19]. Skażenie powierzchni obrabianej mikroziarnami ściernymi jest jedną z głównych wad docierania materiałów o niskiej twardości lub zawierających miękkie składniki strukturalne [3,4,7,20]. Zjawisko to jest bardzo niekorzystne zarówno w aspekcie technologicznym, jak i użytkowym. Mikroziarna wgniecione w powierzchnię obrabianą w docieraniu wstępnym trafiają w strefie obróbki podczas docierania wykończeniowego do zawiesziny ścierniej, zmieniają skład ziarnowy dawkowanych mikroziaren i utrudniają zmniejszenie chropowatości powierzchni elementów (rys. 1). W okresie użytkowania skażonego przedmiotu następuje znaczny wzrost zużycia ściernego współpracujących ruchowo elementów. Problem wpływu zanieczyszczeń na zużycie ściernie jest często tematem badań tribologicznych. Wskazują one na zależność intensywności zużycia od właściwości fizycznych i mechanicznych materiałów współpracujących elementów, oraz twardości, koncentracji i wielkości rozmiarów mikroziaren ściernych [6,9-12,15,18]. Mając na uwadze szkodliwość skażenia powierzchni ścierniwem należy dążyć do tego, aby maksymalnie zmniejszyć intensywność tego zjawiska w procesie obróbki. Ze względu na stosunkowo szerokie wykorzystywanie obróbki przez docieranie, a to z uwagi na stawiane wymagania elementom zespołów konstrukcyjnych środków transportu, w artykule pokrótce scharakteryzowano zalecane metody badań skażenia powierzchni ścierniwem oraz przykłady wykonanych obserwacji w docieraniu żeliw szarych i sferoidalnych oraz stali.



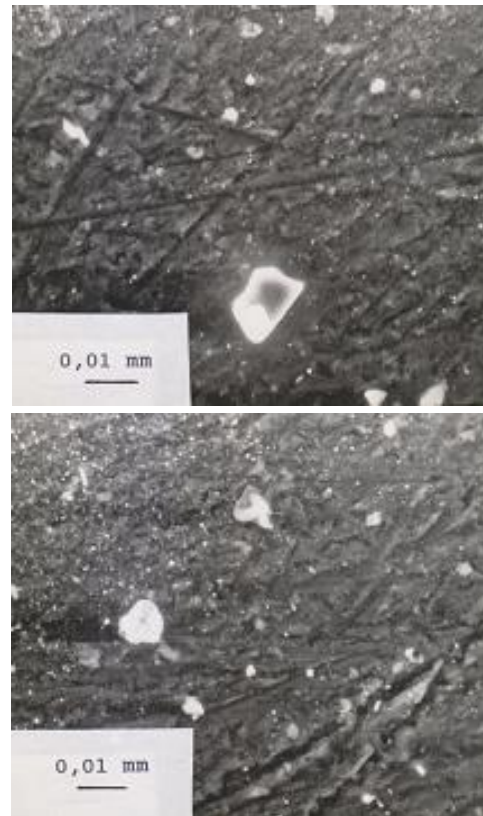
**Rys. 1.** Przykładowe mikrofotogramy powierzchni żeliwa sferoidalnego po docieraniu. Widoczne głębokie rysy na powierzchni w wyniku oddziaływania mikroziaren ściernych o większych rozmiarach: a) przy powiększeniu roboczym 150 razy, b) przy powiększeniu 300 razy (mikroskop skaningowy JSM-35C firmy Jeols)

### 1. Technika i metodyka badań skażenia powierzchni ścierniwem

Do oceny wielkości wgniecionych mikroziaren ściernych oraz intensywności skażenia powierzchni ścierniwem wykorzystać można kilka metod, głównie bezpośrednich. Obserwacja powierzchni przy pomocy mikroskopu optycznego nie daje w pełni zadowalających rezultatów, a wyniki ilościowe są zaniżone [8,14], również w przypadku analizy zbrojenia powierzchni czynnej żeliwnej tarczy docierającej (rys. 2). Z uwagi na małą głębię ostrości świetlnych mikroskopów metalograficznych obserwacja jest utrudniona; nawet stosowanie światła spolaryzowanego tylko nieznacznie ułatwia taką analizę. Niezliczone zostają bowiem mikroziarna, które utraciły korzystne właściwości optyczne wskutek otoczenia ich przez produkty obróbki. Trudno też odróżnić elementy struktury ukształtowanej powierzchni od wgniecionych mikroziaren ścierniwa. Ten sposób analizy można traktować jako metodę jakościową. Zastosowanie mikroskopu stereoskopowego tylko nieznacznie ułatwia identyfikację ziaren ściernych (rys. 3).

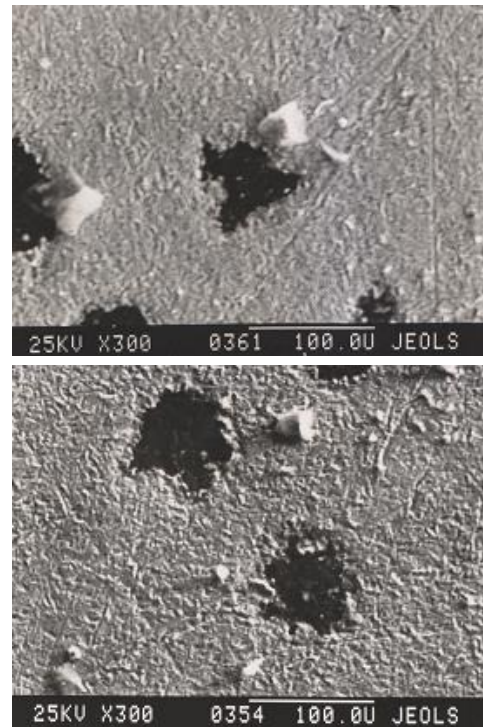


**Rys. 2.** Przykładowe mikrofotogramy powierzchni żeliwa EN-GJL-250 po 2 minutach zbrojenia mikroziarnami 99C F400/17 (a,b,c – losowo wybrane miejsca na powierzchni czynnej tarczy docierającej)



**Rys. 3.** Przykładowe mikrofotogramy powierzchni żeliwa sferoidalnego EN-GJS-600-5 po docieraniu (metalograficzny mikroskop stereoskopowy)

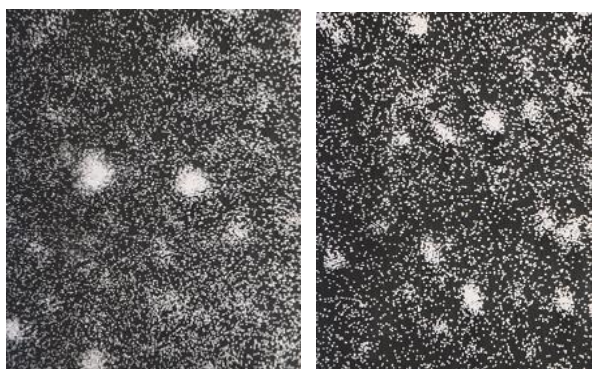
Stosując elektronowy mikroskop skaningowy łatwiej jest zaobserwować pojedyncze mikroziarna ścierniwa, jak i ich położenie w stosunku do widocznych składników struktury, na przykład grafitu w żeliwie sferoidalnym (rys. 4).



**Rys. 4.** Mikrofotogram powierzchni żeliwa EN-GJS-600-3 po docieraniu (warunki obróbki: nacisk jednostkowy  $p = 0,30$  MPa, średnia prędkość docierania  $v = 046$  m/s, czas docierania  $t = 240$  s). Mikroziarna ścierna wgniezione nie tylko w otoczkę ferrytową wokół grafitu, ale i ogólnie w osnowę metalową (mikroskop JSM-35C)

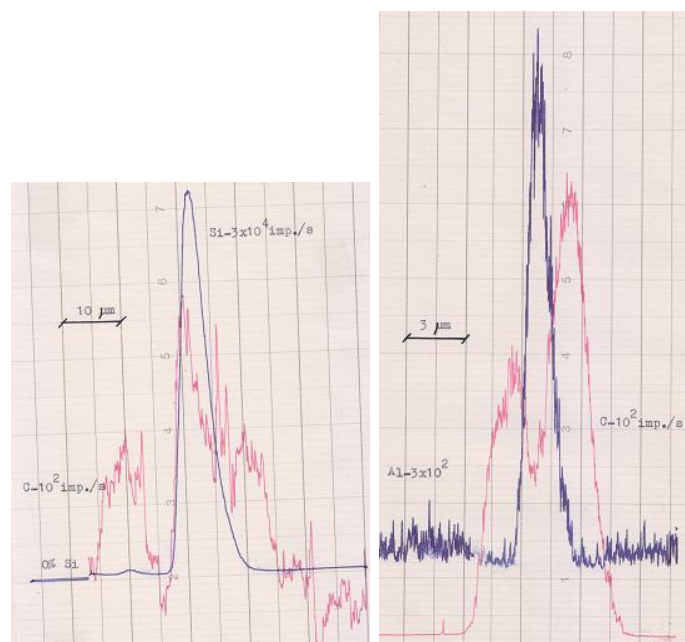
Najlepsze wyniki daje jednak mikroanaliza rentgenowska, zarówno powierzchniowa (rys. 5), jak i liniowa (rys. 6). Położenie wgniecionych mikroziaren ściernych w stosunku do składników strukturalnych żeliwa najdogodniej jest określić analizując w tych samych miejscach rozkład powierzchniowy Fe i, przykładowo, Al – gdy w docieraniu stosowano zawiesinę lub pastę na bazie elektrokorundu (rys. 7). Stosując powiększenie znacznie większe możliwa jest też identyfikacja drobnych wtrąceń – rzędu wysokości chropowatości powierzchni (rys. 8).

W literaturze, znaleźć można też próby wykorzystania do oceny skażenia powierzchni analizy spektralnej [8] lub izotop promieniotwórczy węgla [20]. W przypadku zastosowanej metody pośredniej, możliwa jest ocena mikronierówności powierzchni przeciwpróbki w badaniach tribologicznych [5,17]. Efektywność, informacyjność i dokładność poszczególnych metod oceny skażenia powierzchni mikroziarnami ściernymi jest bardzo zróżnicowana.

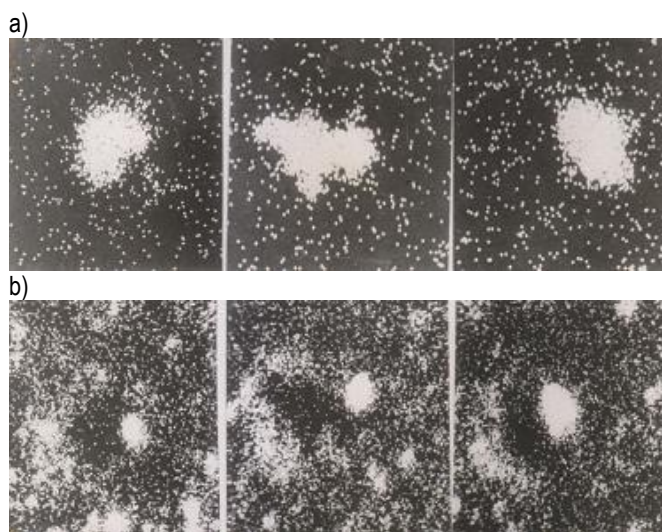


**Rys. 5.** Przykładowe obrazy rentgenowskie rozmieszczenia Si, wykonane w losowo wybranych miejscach na powierzchni żeliwa EN-GJS-600-3 po docieraniu (warunki obróbki mikroziarnami 99C F800/7:  $p = 0,19$  MPa,  $v = 0,46$  m/s,  $t = 135$  s) – mikroanalizator Microscan

a) b)



**Rys. 6.** Rozkład stężenia C oraz: a) Si, b) Al, wzdłuż linii na powierzchni żeliwa EN-GJS-600-3 po docieraniu, odpowiednio, mikroziarnami węgla krzemu i elektrokorundu (Microscan 5,  $U_p = 20$  kV,  $i_p = 5 \times 10^{-8}$ )



**Rys. 7.** Obrazy rentgenowskie rozmieszczenia: a) C, b) Al, na powierzchni żeliwa EN-GJS-500-7 po docieraniu (Microscan 5)



**Rys. 8.** Mikrofotogram powierzchni żeliwa EN-GJS-600-3 po docieraniu ( $p = 0,0075$  MPa,  $v = 0,73$  m/s,  $t = 240$  s); mikroskop JSM-S1, powiększenie robocze 10 000 razy

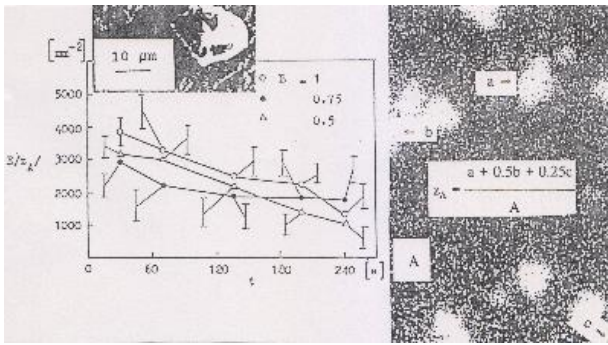
## 2. Analiza ilościowa skażenia powierzchni żeliwa ścierniwem

Liczbę wgniecionych w powierzchnię mikroziaren ścierniwa, przypadającą na jednostkę pola powierzchni docieranej, można wyznaczyć na podstawie analiz obrazów rentgenowskich rozmieszczenia powierzchniowego określonego pierwiastka, obserwując  $n_z$  pól widzenia w kształcie prostokąta, o polu powierzchni  $A$  (na przykład o wymiarach  $45 \times 60 \mu\text{m}$ ). Zgodnie z drugim wariantem metody Jeffriesa-Sałykowa zliczane są dla  $i$ -tego pola analizy mikroziarna leżące całkowicie wewnątrz prostokąta, mikroziarna przecięte bokami prostokąta i mikroziarna na które padły wierzchołki prostokąta (rys. 9). Na rysunku tym przedstawiono także wpływ stopnia upakowania  $B$  ścierniwa w strefie obróbki na koncentrację mikroziaren skażających żeliwo EN-GJS-600-3 po docieraniu. Współczynnik  $B$  wyznaczono jako [2]:

$$B = K [E(Z)]^2 \quad (1)$$

gdzie:

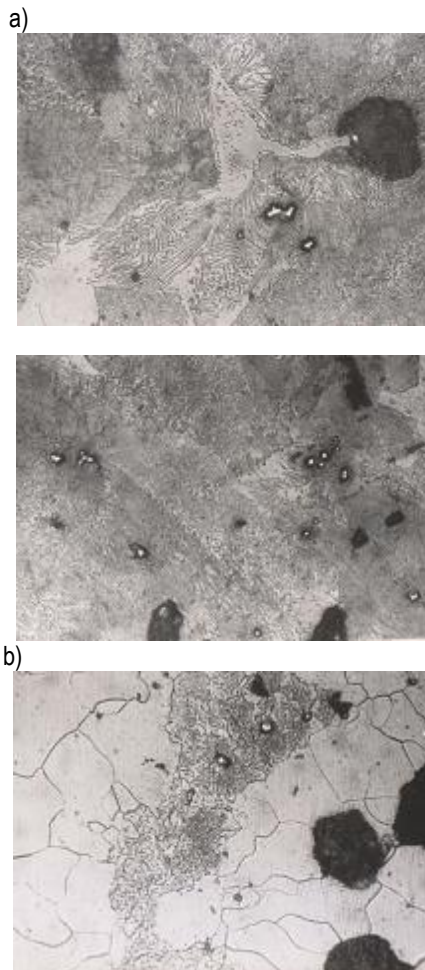
$K$  – koncentracja mikroziaren ściernych w strefie obróbki [ $\text{mm}^{-2}$ ],  
 $E(Z)$  – wartość oczekiwana wielkości  $Z$  mikroziaren ściernych równa wartości oczekiwanej poziomej średnicy Fereta, przyjętej jako rozmiar statystyczny mikroziarna.



**Rys. 9.** Zmiana koncentracji mikroziaren ściennych wgniecionych w powierzchnię żeliwa EN-GJS-600-3 w czasie docierania mikroziarnami 99C F800/9 ( $\rho = 0,19 \text{ MPa}$ ,  $v = 0,46 \text{ m/s}$ )

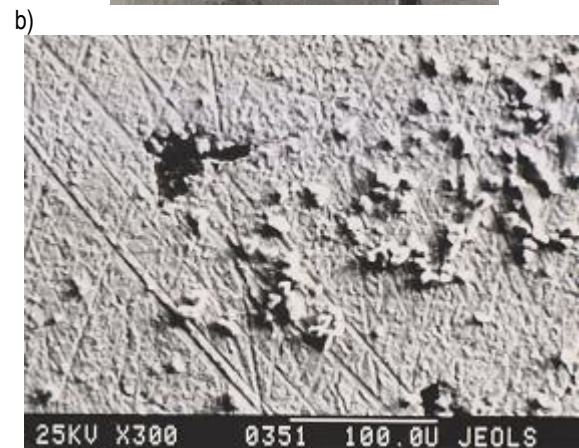
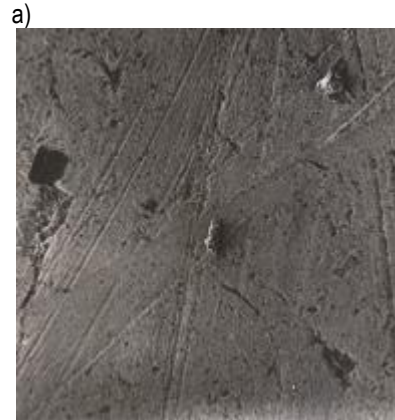
### 3. Analiza jakościowa skażenia powierzchni mikroziarnami ściennymi

Penetrację mikroziaren ściennych w grafit można niekiedy zaobserwować podczas wykonywania zglądów metalograficznych (rys. 10). Prowadzić to może do mylnych wniosków w zakresie badanej mikrostruktury żeliw, między innymi za pomocą automatycznej analizy obrazu, a także w ocenie składu chemicznego mikroobszarów.



**Rys. 10.** Mikrofotografy zglądów metalograficznych żeliwa sferoidalnego: a) o strukturze perlitycznej (wielkość wtrąceń cementytu Cw2000), b) o strukturze ferrytycznej (eutektyka fosforowa potrójna drobnoziarnista); widoczna penetracja mikroziaren ściennych w wydzielenia grafitu (powierzchnie trawione)

Skażenie powierzchni po docieraniu występuje również w przypadku niewłaściwego mycia elementów lub braku przestrzegania odpowiedniej czystości podczas montażu zespołów. Dotyczy to zarówno elementów żeliwnych, jak i stalowych (rys. 11 i 12). Jednakże w przypadku obrobionych materiałów w stanie utwardzonym, między innymi stali i węglików spiekanych, pozostające mikroziarna ścierna są wynikiem zabrudzenia w montażu lub niewłaściwym oczyszczaniu, a nie spowodowane penetracją w składniki struktury materiału docieranego elementu.



**Rys. 11.** Przykłady skażenia powierzchni przy niewłaściwym myciu elementów po docieraniu: a) element z żeliwa EN-GJN-250, b) element z żeliwa EN-GJS-600-3



**Rys. 12.** Przykłady skażenia powierzchni stali NC6 po docieraniu i niedostatecznym myciu pooperacyjnym

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule zagadnienia nie wyczerpują wszystkich aspektów zjawiska skażenia powierzchni ścierniwem po docieraniu, i ogólnie, po obróbce ścierniej luźnym ścierniwem. W wyniku wcześniejszych badań [2,3] stwierdzono, między innymi, że: skażenie mikroziarnami poszczególnych składników strukturalnych żeliwa sferoidalnego w docieraniu jest stosunkowo nierównomierne. Rozmiary mikroziaren skażających powierzchnię odpowiada wielkości mikroziaren biernych, występujących w chwili początkowej docierania zawieszoną dawkowo, czyli są o mniejszym rozmiarze. Decydującą większość stanowią drobne odcinki mikroziaren, powstałe wskutek ich wykruszeń. Występują nieliczne wtrącenia o większych rozmiarach, najczęściej w grafit lub w otoczkę ferrytową. Rzadko ma miejsce penetracja w pojedyncze wydzielenie grafitu kulistego kilku mikroziaren jednocześnie.

Liczba mikroziaren wgniecionych w powierzchnię żeliwa przypadająca na poszczególne pola analizy ma rozkład Poissona o stosunkowo dużej wariancji, zaś liczbę mikroziaren o określonej wielkości w poszczególnych polach widzenia charakteryzuje rozkład Poissona o względnie małej wariancji. Rozkład wielkości wgniecionych mikroziaren węgla krzemu w powierzchnię obrabianą jest rozkładem logarytmiczno-normalnym.

Intensywność skażenia powierzchni ścierniwem można zmniejszyć wydłużając czas docierania zawieszoną dawkowo oraz zmniejszając stopień upakowania mikroziaren w chwili rozpoczęcia obróbki lub zmniejszając wartość nacisku jednostkowego i prędkości docierania. Wraz ze wzrostem numeru mikroziarna użytego w zawieszynie ścierniej koncentracja mikroziaren skażających powierzchnię żeliwa maleje.

Zaproponowana metodyka badań skażenia powierzchni mikroziarnami ściernymi ułatwia ocenę jakościową i ilościową tego szkodliwego w aspekcie użytkowym zjawiska.

## Bibliografia

1. Barylski A., Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013.
2. Barylski A., Podstawy docierania jednotarczowego powierzchni płaskich, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1992.
3. Barylski A., Skażenie powierzchni ścierniwem podczas docierania zagrożeniem dla eksploatacji maszyn. W: Konstytuowanie powierzchni materiałów, red. T. Zaborowski, IBEN, Gorzów Wlkp. 2018.
4. Bura S.T., Issedovanie šaržirovannyh poverchnostej, obrabatyvannyh almaznymi pastami, Brjanskij Institut Transportnogo Mašinstrojenja, Brjansk 1976.
5. Czichos H., Tribology: A Systems Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear, Elsevier, Amsterdam 1978.
6. Gates J.D., Two-body and three-body abrasion: a critical discussion, "Wear" 1998, vol. 214.
7. Galyko A.V., Juljugin V.K., Stecenko A.S., Ul'trazvukovaja očistka detalej asial'no-poršnevych nasosov posle protirki, „Vest. Mašinostr.” 1973, nr 10.
8. Kremen' Z.I., Pevzner R.L., Gavronskaja T.Ju.: Metody issledovaniya šaržirovannoj poverchnosti dovodočnyh pritirov, „Abrasyv” 1963, nr 6.
9. Leavers V.F., An active angularity factor for the characterization of abrasive particles, „Wear” 2000, vol. 239.
10. Malkin S., Guo C., Grinding Technology, Industrial Press, 2008.
11. Marinescu I.D., Hitchiner M., Uhlmann R., Rowe W.B., Inasaki I., Handbook of Machining with Grinding Wheels, CRC Press, 2007.
12. Marinescu I.D., Rowe W.B., Dimitrov B., Ohmori H., Tribology of Abrasive Machining Processes, Elsevier, Amsterdam 3013.
13. Marinescu I.D., Uhlmann E., Doi T.K., Handbook of lapping and polishing, CRC Press, Boca Raton, London, New York 2007.
14. Nepomnjaščij E.A., Kremen' Z.I., Analiz processa šaržirovanija dovodočnyh pritirov na osnove teorii slučajnyh processov, „Vest. Mašinostr.” 1965, nr 9.
15. Rowe W.B., Principles of Modern Grinding Technology, Elsevier, Amsterdam 2009.
16. Spur G., Keramikbearbeitung. Schleifen, Honen, Läppen, Abtragen, Carl Hanser Verlag, München – Wien 1989.
17. Stachowiak D.W., Particle angularity and its relationship to abrasive and erosive wear, „Wear” 2000, vol. 241.
18. Trezona R.I., Allsopp D.N., Hutchings I.M., Transition between two-body and three-body abrasive wear: influence of the test conditions in the microscale abrasive wear test, „Wear” 1999, 205-214.
19. Ulegin V.G., Ogorodnikov A.P., Fizičeskaja suščnost' šaržirovanija, „Almazny” 1973, nr 12.
20. Volkova T.M., Bura S.T., Dolgalenko A.P., Izmerenie glubiny vnedrenija i kolistvač vnedrivšijsja v poverchnost' detali zeren pri obrabotke almaznym instrumentom, „Izmerit. Technika” 1970, nr 10.

## Operational harmfulness of surface contamination with abrasive after the technological lapping process

The methodology and results of qualitative and quantitative tests of surface contamination with abrasive micrograins and the influence of lapping conditions on the intensity of the phenomenon are presented. In the research, scanning microscopy and X-ray microanalysis were used.

**Keywords:** lapping, cast iron, contamination of surfaces, abrasive, analysis.

## Autor:

prof. dr hab. inż. **Adam Barylski** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, abarylsk@pg.edu.pl