

Krzysztof TUBIELEWICZ, Marek KĘSY

Politechnika Częstochowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji
Produkcji

TECHNOLOGICZNE PROBLEMY OBRÓBKI POWIERZCHNI ŻELIWA SZAREGO

Słowa kluczowe

Kulowanie odśrodkowe, warstwa wierzchnia, żeliwo szare.

Key words

Centrifugal burnishing, upper layer, cast-iron.

Streszczenie

Przedstawiono możliwości a zarazem technologiczne ograniczenia obróbki powierzchni żeliwa szarego w procesie dynamicznej metody nagniataniem (kulowanie odśrodkowe). Uzyskane wyniki badań zaprezentowano w kontekście analizy wpływu zastosowanych parametrów obróbki powierzchniowej na właściwości warstwy wierzchniej w ujęciu wskaźników chropowatości powierzchni, umocnienia oraz zmian w mikro-strukturze krystalograficznej.

WPROWADZENIE

Obróbka nagniataniem powoduje zazwyczaj nadanie warstwie wierzchniej (WW) korzystnych geometrycznych oraz fizykalnych właściwości, co warunkuje uzyskanie przez elementy maszyn cech użytkowych, właściwych zwłaszcza dla ich pracy w warunkach tarcia. Wyniki licznych badań pozwalają stwierdzić że obróbka nagniataniem, w ujęciu właściwości eksploatacyjnych technologicznej warstwy wierzchniej (TWW), pomijając aspekt jej małej dokładności wymiarowo–kształtowej, technologicznych problemów w doborze optymalnych parametrów obróbki oraz technicznych ograniczeń, powinna być stosowana w technologii wykonywania elementów trących typu: czop – panewka oraz pracujących w trudnych warunkach tribologicznych prowadnic [11, 14]. Potwierdzeniem powyższego mogą być publikacje opisujące

właściwości nagniatanych powierzchni, głównie w aspekcie np. wyników badań zużycia czy zmian wartości kinematycznego współczynnika tarcia, dla eksperymentalnych układów stanowiących swego rodzaju odpowiedniki skojarzeń łożyskowych [7, 10, 11, 12, 14].

Z uwagi na fakt, że nadal powszechnie stosowanym tworzywem w ślizgowych elementach trących jest żeliwo, to wydaje się zasadna analiza możliwości kształtowania właściwości jego warstwy wierzchniej w drodze zgniotu na zimno, przy czym wysoce interesującym poznawczo w tym zakresie jest możliwość efektywnego kształtowania metodami dynamicznymi, pomimo powszechnie znanych ograniczeń obróbkowych żeliw (kruchość, wydłużenie względne $A_5 < 6\%$), które z założenia powinny ograniczać tego rodzaju charakter obróbki [11, 14]. Przedstawiane w literaturze przykłady obróbki żeliw w drodze statycznych lub dynamicznych metod nagniatania [3, 6, 7, 11, 13, 14, 15] wydają się zaprzeczać stawianym tezom wykluczającym możliwość efektywnego kształtowania WW metodami zgniotu na zimno, wskazując na dużą względność i rozbieżność typowo teoretycznych rozważań i opinii, w stosunku do praktycznych aplikacji.

Obróbka powierzchni w drodze zastosowania, odznaczających się brakiem „ciągłości obróbkowej” procesów kontaktowych, impulsowych lub dynamicznych metod nagniatania, wywołuje powstanie warstwy wierzchniej o niejednorodnych właściwościach. Determinowana dynamiką uderzenia oraz kinematyką procesu powierzchniowego zmienność stanu odkształcenia oraz będąca rezultatem względnego ułożenia śladów obróbkowych, trudna do jednoznacznego opisu, decydująca o wartości akumulowanej sumarycznej energii zgniotu tzw. krotność obciążenia pola powierzchni obrabianej, w kontekście dużej niejednorodności budowy metalograficznej żeliwa, powodują powstanie specyficznych struktur geometrycznych oraz wysoce niejednorodnych właściwości fizycznych warstwy wierzchniej.

Technologicznym miernikiem każdego procesu powierzchniowego są tzw. potencjalne właściwości WW [2]. W ujęciu możliwości aplikacji przemysłowych, uzyskanie optymalnych eksploatacyjnie np. struktur stereometrycznych powierzchni i umocnienia warstw powierzchniowych oraz ukształtowanie korzystnych rozkładów naprężeń własnych, przy jednoczesnym ograniczeniu lub eliminacji niekorzystnych procesów dekohezji WW, w zakresie metod obróbki powierzchniowej zgniotem na zimno, wymusza optymalizacyjne – wieloaspektowe i kompleksowe podejście badawcze.

ANALIZA PROCESU KULOWANIA ODŚRODKOWEGO W ASPEKcie WŁAŚCIWOŚCI STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI ŻELIWA SZAREGO

Podstawowym wyróżnikiem efektywności metody powierzchniowej są, charakteryzowane przez m.in. parametry chropowatości oraz rozkłady udziału materiałowego, właściwości geometryczne warstwy wierzchniej.

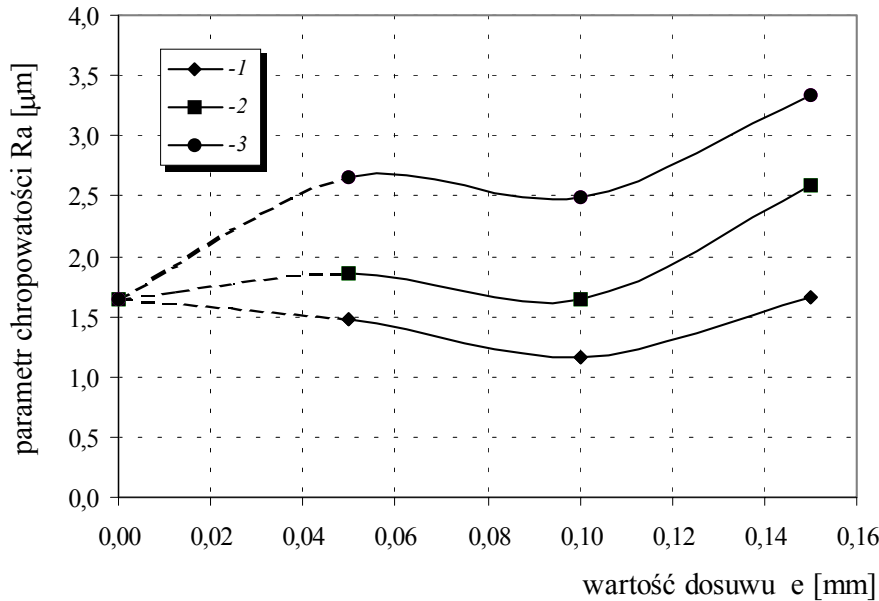
Analizując dynamiczną metodę nagniatania (kulowanie odśrodkowe), w kontekście właściwości obróbkowych materiału – żeliwa szarego 250, zasadne jest przypuszczenie małej jej efektywności technologicznej.

Wydaje się, że o końcowych właściwościach stereometrycznych decydują nie tylko zastosowane parametry obróbki, ale także początkowy - wyjściowy stan powierzchni obrabianej. Chropowatość wyjściowa może wydatnie wpływać na kształtowanie optymalnych wartości parametrów obróbkowych procesu, zaś w odniesieniu do zastosowanych, może w dużym stopniu decydować o geometrycznym „obliczu” warstwy wierzchniej. Dla zakresu małych wartości prędkości kulowania (v_T) i dosuwu (e) spodziewać się należy znaczących i zauważalnych „pozostałości” śladów geometrycznych obróbki poprzedzającej.

W odniesieniu do obróbki żeliwa szarego podstawowe znaczenie wywierają, określające dynamikę uderzenia, parametry nagniatania.

Powstająca w czasie kulowania odśrodkowego struktura geometryczna powierzchni jest sumarycznym rezultatem wielkości i formy tworzących się jednostkowych odcisków obróbkowych oraz ich względnego rozmieszczenia na powierzchni obrabianej. Ten swoisty kinematycznie – geometryczny układ powstających specyficznych nierówności powierzchni może być również w pewnym sensie „modyfikowany” przez efekty procesów krystalograficznych zachodzących w obrębie pojedynczych eliptycznych odcisków obróbkowych, określonych m.in. przez zjawiska pęknięcia.

Przedstawione na rys.1 przebiegi zmian wartości parametru chropowatości Ra kulowanego odśrodkowo żeliwa szarego 250 uwidaczniają i są potwierdzeniem przedstawionych powyżej przyczyn, które mogą mieć wpływ na chropowatość końcową, tj. stan wyjściowy powierzchni oraz decydujące o dynamice uderzenia wartości parametrów technologicznych obróbki. W odniesieniu do zastosowanych wartości parametrów i warunków obróbki powierzchniowej (kulowania odśrodkowego), zauważa się w dużym zakresie pogorszenie wskaźników jakości - w odniesieniu do stanowiącej „bazę technologiczną”, powierzchni toczonej wykańczająco. Optymalne, w zakresie właściwości geometrycznych, wydają się być: prędkość kulowania $v_T = 10,3 [m/s]$ i wartość dosuwu $e = 0,10 [mm]$, dla których zauważa się zmniejszenie analizowanych wartości parametru chropowatości Ra .



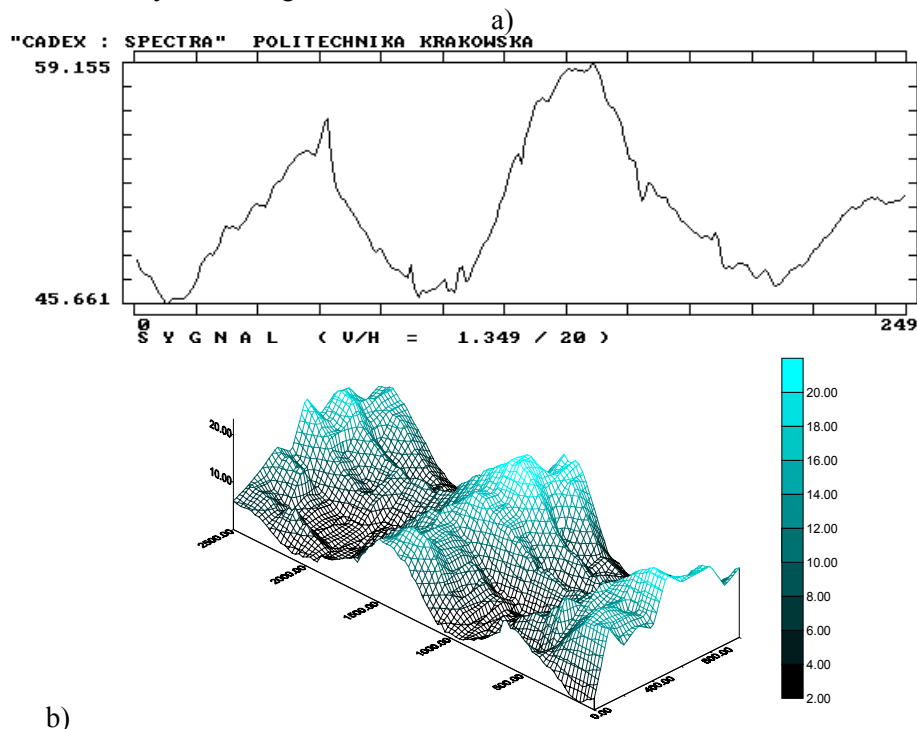
Rys. 1. Zmiany wartości parametru chropowatości Ra powierzchni żeliwa szarego 250 poddanych procesowi kulowania odśrodkowego w zależności od wartości dosuwu narzędzia (e) i prędkości (v_T): 1 – $v_T = 10,3$ [m/s], 2 – $v_T = 22,2$ [m/s], 3 – $v_T = 37,5$ [m/s]; parametry obróbki: intensywność pokrycia $I_b \approx 12$ [mm²], liczba przejsi $i = 1$

Fig. 1. Changes of Ra parameter's values for cast-iron 250 surfaces after centrifugal burnishing dependent on the effective movement (e) and speed (v_T): 1 – $v_T = 10,3$ [m/s], 2 – $v_T = 22,2$ [m/s], 3 – $v_T = 37,5$ [m/s]; other parameters of working: an intensity covering of working surface by single traces $I_b \approx 12$ [mm²], a number of passes $i = 1$

Powstałe na powierzchni układy punktowych, eliptycznych wgłębień i wynikające stąd niekorzystne charakterystyki kontaktowej nośności powierzchni, dla występujących w procesie zużycia dużych nacisków jednostkowych przyczyniać się mogą do początkowo szybkiego ścierania mikronierówności. Proces ten prowadzi do stopniowego zwiększania tzw. konturowej powierzchni nośnej i wywołuje bardziej równomierny rozkład nacisków, co w dalszym okresie prowadzi do zmniejszenia intensywności zużycia.

Dynamiczne metody nagniatania wykazują zazwyczaj niezbyt dużą efektywność w zakresie wskaźników nośności powierzchni. Przedstawione na rys.2 obrazy ukazują charakterystyczne dla kulowania odśrodkowego układy nierówności powierzchni, tzn. nakładające się odciski obróbkowe, które w zakresie wgłębień stanowią potencjalne „zbiorniki” mogące gromadzić w swej przestrzeni substancję smarującą lub produkty zużycia, bądź też

stymulować korzystne eksploatacyjne procesy hydrodynamicznego „unoszenia smarowego”- co paradoksalnie przyczynić się może do wydatnego ograniczenia skutków zużycia ciernego.

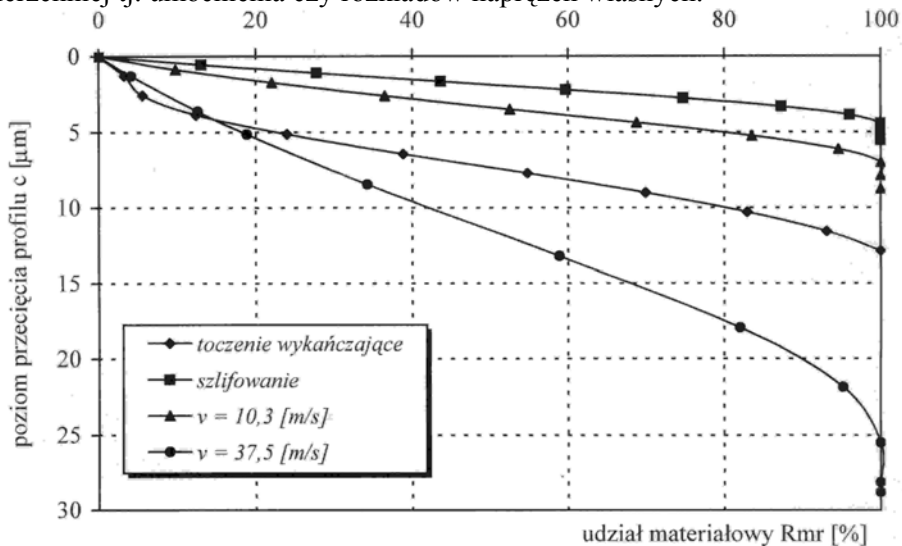


Rys. 2. Stereometria kulowanej odśrodkowo powierzchni żeliwa szarego 250 ($v_T = 37,5$ [m/s], $e = 0,10$ [mm]): a) profilogram chropowości, b) model izometryczny wycinka powierzchni

Fig. 2. A stereometry of cast-iron surfaces after centrifugal burnishing ($v_T = 37,5$ [m/s], $e = 0,10$ [mm]): a) a profilogram of roughness, b) an isometric model of surface's slice

Przedstawione na rys.3 przebiegi krzywych udziału materiałowego R_{mr} wskazują na dużą zależność właściwości nośnych powierzchni kulowanego odśrodkowo żeliwa szarego 250 od, determinowanej zastosowanymi parametrami procesu, dynamiki uderzenia. Zauważalne pogorszenie właściwości nośnych powierzchni kulowanych odśrodkowo z poddanych szlifowaniu jest niepodważalne dla każdego z analizowanych przypadków. Występuje wyraźna prawidłowość wskazująca, że wzrost dynamiki uderzenia powoduje stałe pogorszenie właściwości nośnych powierzchni, co zauważalne jest w kontekście porównania przebiegów udziału materiałowego powierzchni kulowanych odśrodkowo z charakterystyką wyznaczoną dla powierzchni toczonej wykańczająco.

Dynamiczny charakter obróbki nagniataniem realizowany w układzie obróbkowym o m.in.: małej sztywności, niejednorodnych wyjściowych strukturach geometrycznych i właściwościach wytrzymałościowych materiału obrabianego oraz w aspekcie innych nieprawidłowości takich jak np. błędy ustawienia gniazd kulownicy, bicie promieniowe przedmiotu obrabianego czy niedokładności prowadnic - mogą być przyczyną występujących wynikowych wad i niedokładności obrabianych części, które w zakresie struktur geometrycznych mogą uzewnętrzniać się w zjawiskach niecałkowitego nagniatania i niejednorodności chropowatości. Naturalną konsekwencją przedstawionych stanów są rozbieżne właściwości fizyczne warstwy wierzchniej tj. umocnienia czy rozkładów naprężeń własnych.



Rys. 3. Wpływ sposobu obróbki wykańczającej i technologicznych parametrów procesu kulowania odśrodkowego na przebieg krzywych udziału materiałowego Rmr ($e = 0,10$ [mm], $I_b \approx 12$ [mm²])

Fig. 3. An influence of metal finishing method and technological parameters of centrifugal burnishing for progress of bearing length of the effective profile (Rmr) curve ($e = 0,10$ [mm], $I_b \approx 12$ [mm²])

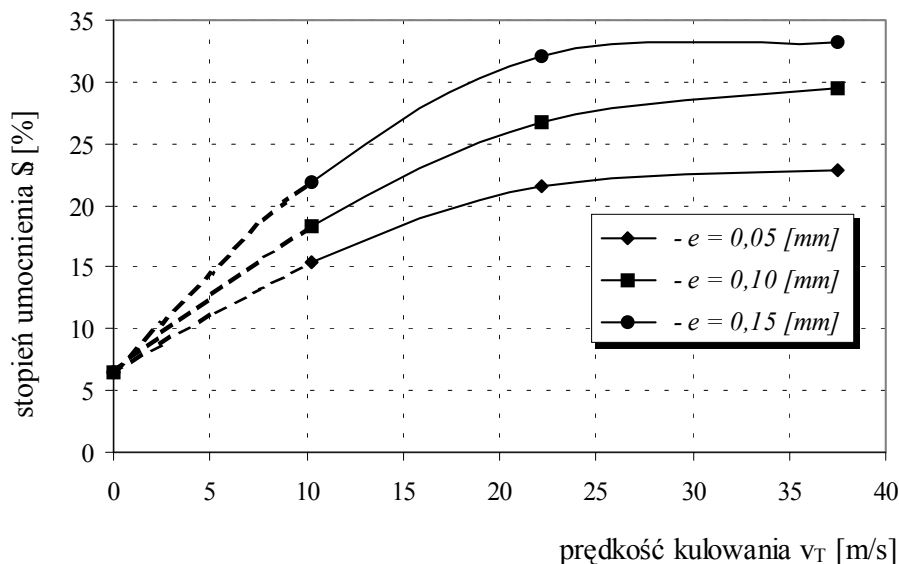
ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH WARSTWY WIERZCHNIEJ ŻELIWA SZAREGO 250

Proces kulowania odśrodkowego żeliwa szarego 250 poza aspektem odpowiedniego ukształtowania struktury geometrycznej powierzchni, powoduje również powierzchniowe umocnienie oraz utworzenie określonych rozkładów naprężeń własnych.

Proces nagniatania wywołuje powstanie w warstwie wierzchniej miejscowych odkształceń sprężysto–plastycznych. Odkształcenia plastyczne zachodzą do pewnej głębokości od powierzchni przedmiotu, której wartość zależy od wielu czynników związanych z procesem nagniatania tj. od właściwości obrabianego materiału oraz parametrów nagniatania.

Sugestia wskazująca na jednoznaczność współzależności między wartościami parametrów umocnienia a dynamiką obróbki powierzchniowej wydaje się zasadna do momentu uzyskania tzw. zgniotu granicznego. Przekroczenie granicznej energii zgniotu powoduje zjawiska powierzchniowej dekohezji, objawiające się m.in. układem powierzchniowych pęknięć, które w konsekwencji mogą być powodem mniej korzystnych wskaźników umocnienia w powierzchniowych strefach warstwy wierzchniej.

Przedstawione na rys.4 zmiany wartości stopnia umocnienia S_u ukazują tzw. proces nasycenia energetycznego materiału w zakresie dynamiki uderzenia określonej przez prędkość kulowania $v_T = ok. 20 [m/s]$. Zastosowanie większych prędkości kulowania powoduje zauważalną stabilizację rejestrowanych wartości a nawet pewne znamiona malejącego umocnienia warstwy wierzchniej, co może być rezultatem prowadzących do mikropęknięć warstw powierzchniowych, procesów dekohezji.

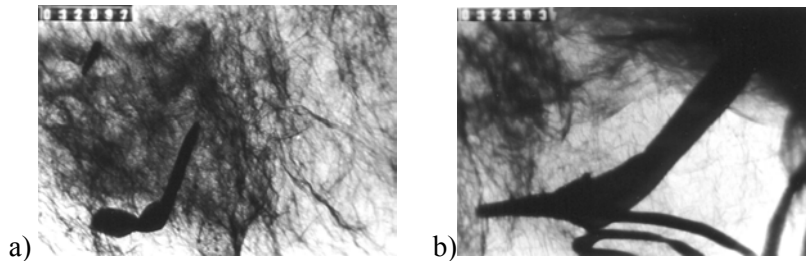


Rys. 4. Wpływ prędkości kulowania (v_T) i dosuwu (e) na stopień umocnienia (S_u)

Fig. 4. An impact of centrifugal burnishing speed (v_T) and effective movement value (e) for strain hardening's degree (S_u)

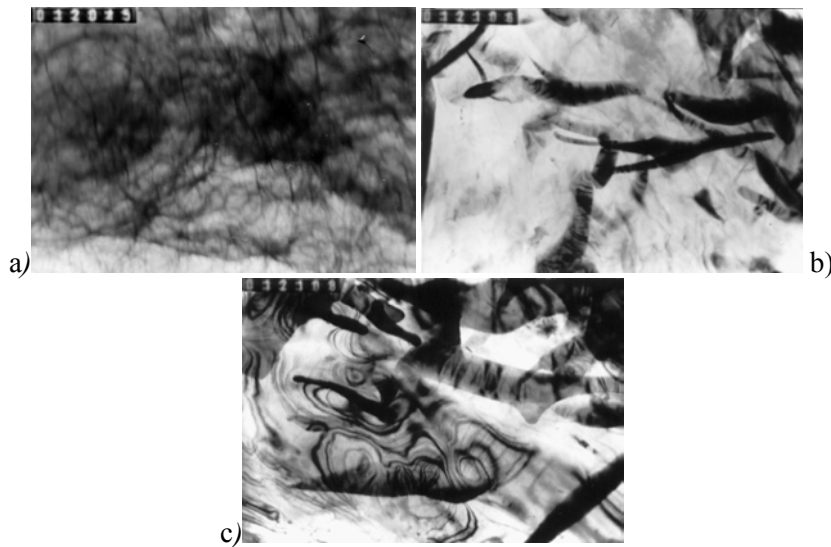
ANALIZA STRUKTUR KRystalograficznych ŻELIWA SZAREGO 250 W MIKROOBSZARACH OBRÓBKOWYCH

Uzupełniającym w stosunku do zaprezentowanych powyżej problemów technologicznych, będą przemiany struktury krystalograficznej w mikroobszarach obróbkowych, przedstawione w ujęciu analizy układów dyslokacji oraz obrazów dyfrakcji elektronowych.



Rys. 5. Morfologie grafitu oraz układy siatkowych dyslokacji na tle osnowy ferrytu żeliwa szarego 250 toczzonego wykańczająco; (9000 x)

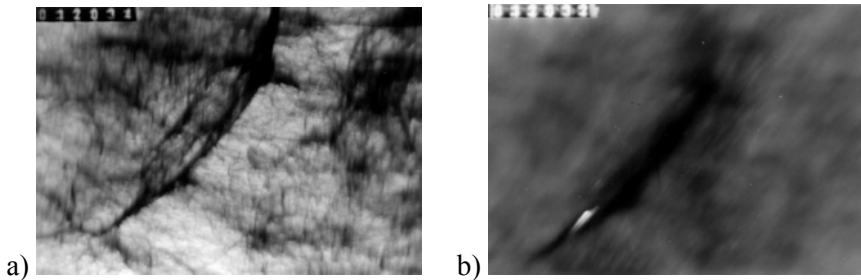
Fig. 5. A graphite's morphology and net dislocations' configurations on the ferrite groundmass's background of cast iron after finish turning; (9000 x)



Rys. 6. Struktura żeliwa kulowanego odśrodkowo ($v_T = 10,3$ [m/s], $e = 0,10$ [mm]): a) układ dyslokacji w strukturze, b) fragmentacja wydzieleni cementytu, c) linie naprężeń na granicach faz grafit – ferryt; (9000 x)

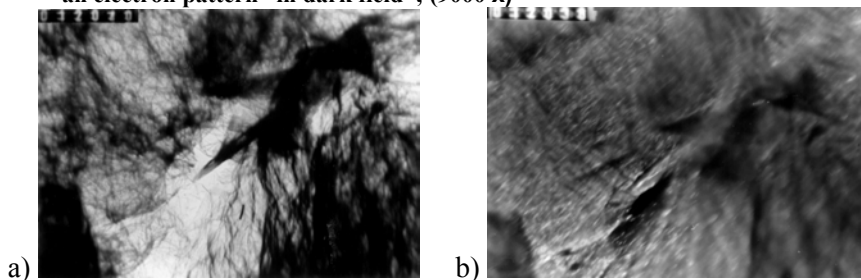
Fig. 6. Cast-iron structure after centrifugal burnishing ($v_T = 10,3$ [m/s], $e = 0,10$ [mm]): a) dislocation's systems, b) a fragmentation of cementite's releases, c) stress trajectories on the phase boundary graphite – ferrite; (9000 x)

Zdjęcia struktur powierzchni toczonych wykańczająco (rys.5 a, b), uwidaczniają układy siatkowych, w miarę równomiernie rozmieszczonych dyslokacji oraz różne w formie i wielkości skupiska grafitu płatkowego. Proces kulowania odśrodkowego powoduje, w zakresie dynamiki uderzenia określonej prędkością $v_T = 10,3 [m/s]$ i wartością dosuwu $e = 0,10 [mm]$, znaczny wzrost gęstości dyslokacji oraz ich widoczną dyspersję, tzn. obszary o znacznie zróżnicowanym zagęszczeniu – co najprawdopodobniej jest wynikiem braku ciągłości procesu kulowania (rys.6a). Zauważalne wydzielania cementytu (rys.6b) oraz wykazane na zdjęciach układy naprężeń na granicach faz: grafit - ferryt (rys.6c), świadczyć mogą o krystalograficznych „efektach” powierzchniowego zgniotu oraz będących jego konsekwencją „reakcyjnych” przeobrażeniach materiału obrabianego, tj. miejscowego wzrostu gęstości materiału i procesów krystalograficznych zachodzących w fazie stałej.



Rys. 7. Obrazy struktury żeliwa po kulowaniu odśrodkowym z prędkością $v_T = 22,2 [m/s]$ i dosuwem $e = 0,10 [mm]$: a) zgrupowanie i ukierunkowanie dyslokacji, b) zgrupowanie dyslokacji na tle ich układu – zdjęcie w ciemnym polu; (9000 x)

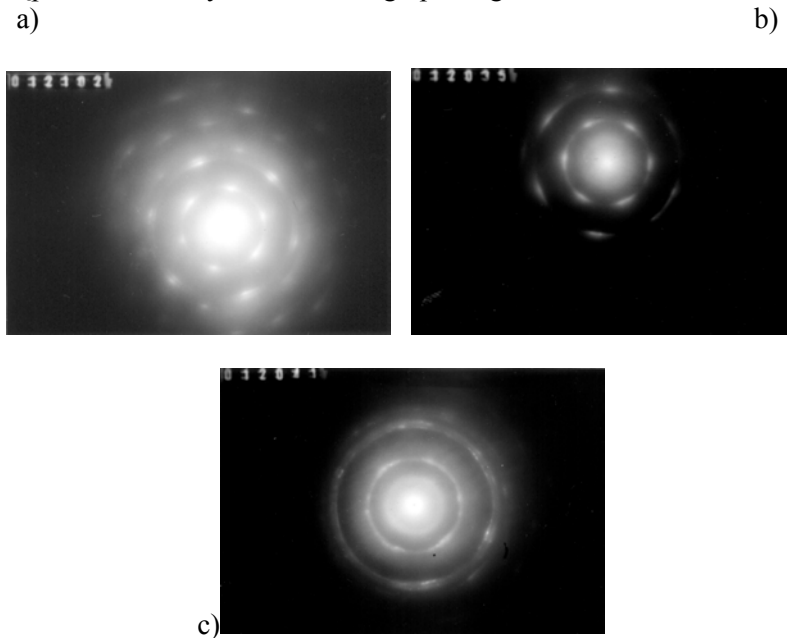
Fig. 7. Cast-iron structure after centrifugal burnishing ($v_T = 22,2 [m/s]$, $e = 0,10 [mm]$): a) grouped and directed systems of dislocations, b) grouped of dislocations – an electron pattern “in dark field”; (9000 x)



Rys. 8. Obrazy powierzchni kulowanych odśrodkowo z prędkością $v_T = 37,5 [m/s]$ i dosuwem $e = 0,10 [mm]$: a) układy dyslokacji o wyraźnym ukierunkowaniu i znacznym zagęszczeniu, b) układy uszkodzeń w postaci łusek powierzchniowych – zdjęcie szare; (9000 x)

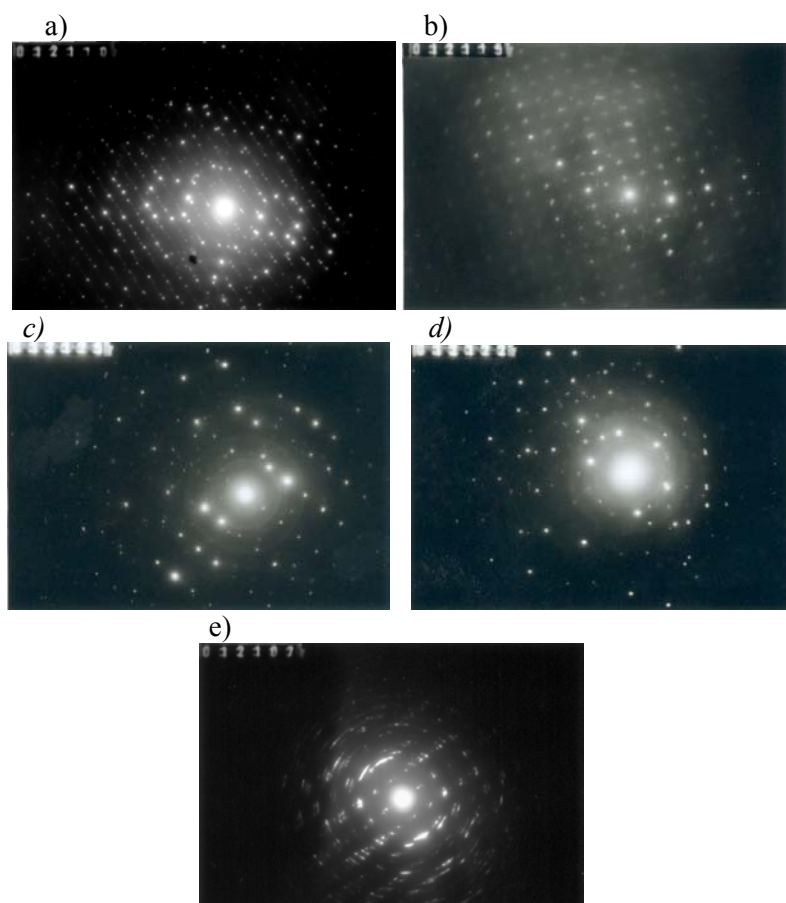
Fig. 8. Cast-iron structure after centrifugal burnishing ($v_T = 37,5 [m/s]$, $e = 0,10 [mm]$): a) systems of dislocations with clear direction and consideration condensation, b) systems of damages in surface scale's form – an electron pattern “in dark field”; (9000 x)

Dalszy wzrost dynamiki uderzenia powoduje całkowitą eliminację z warstw powierzchniowych grafitu płatkowego oraz lokalny wzrost gęstości siatkowych dyslokacji, (rys.7 i 8). Zastosowanie prędkości kulowania $v_T = 22,2$ [m/s] i $37,5$ [m/s], spowodowało nadto wyraźne ukierunkowanie układów dyslokacji oraz uzewnętrznione oznakami pęknięć znamiona dekohezji powierzchni. Specyficzne ukierunkowanie skupisk dyslokacji wskazywać może na występowanie tzw. systemów łatwego poślizgu.



Rys. 9. Obrazy dyfrakcyjne powierzchni żeliwa szarego 250 po toczeniu wykańczającym (a), oraz kulowaniu odśrodkowym z prędkością $v_T = 22,2$ [m/s] (b) i $v_T = 37,5$ [m/s] (c) przy dosuwie $e = 0,10$ [mm]

Fig. 9. Electron's diffraction's patterns of cast-iron surfaces after finish turning and centrifugal burnishing provided with speed $v_T = 22,2$ [m/s] (a) and $v_T = 37,5$ [m/s] (b), for an effective movement value $e = 0,10$ [mm]



Rys. 10. Obrazy dyfrakcyjne powierzchni żeliwa szarego 250 po kulowaniu odśrodkowym z prędkością $v_T = 10,3$ [m/s] przy dosuwie $e = 0,10$ [mm]

Uwaga: Obrazy dyfrakcyjne przedstawione zostały w podziałce 1:2, w stosunku do wymiarów oryginalnych (dot.: rys.9 i 10)

Fig. 10. Electron's diffraction's patterns of cast-iron surfaces after finish turning and centrifugal burnishing provided with speed $v_T = 22,2$ [m/s] (a) and $v_T = 37,5$ [m/s] (b), for an effective movement value $e = 0,10$ [mm]

Z kolei zdjęcia dyfrakcyjne wskazują na wysoką dyspersję teksturową powierzchni toczonej wykańczająco (rys.9a), silną teksturę powierzchni kulowanej odśrodkowo z prędkością $v_T = 22,2$ [m/s], (rys.9b) oraz znamiona lekko rozmytej tekstury powierzchni kulowanej z prędkością $v_T = 37,5$ [m/s], (rys.9c) – w odniesieniu do wyraźnych oznak nadporządkowania osnowy krystalograficznej powierzchni kulowanej z prędkością $v_T = 10,3$ [m/s], z mniej lub bardziej widoczną powierzchniową teksturą, (rys.10).

Przedstawione układy naduporządkowania (nadstruktury), zwłaszcza obrazy ukazane na rys.10 a-c) - obrazują zaskakujące i rzadko spotykane, w odniesieniu do charakteru zastosowanej obróbki i właściwości materiału obrabianego, układy krystalograficzne.

Ocenę przemian krystalograficznych w mikroobszarach warstwy wierzchniej żeliwa szarego 250 poszerzono o interpretację rozwiązań układów dyfrakcyjnych (rys. 9a,b,c; 10a,f), które oparto o zasadę sieci odwrotnej, wykorzystując dla prowadzonej analizy właściwości pasa krystalograficznego, tj. układu (zbioru) płaszczyzn równoległych do jednej linii – osi pasa. Wyznaczone kierunki osi pasów dla osnowy metalograficznej (rdzeń) oraz powierzchniowych układów teksturowych przedstawiono w tabeli 1.

Zauważalną różnorodność oraz duże rozproszenie wyznaczonych kierunków osi pasów dla powierzchni toczonej wykańczająco można najogólniej interpretować jako rezultat złożonych procesów fizycznych zachodzących w obszarze skrawania. Rozpatrując z kolei wyznaczone układy krystalograficzne stref powierzchniowych mikroobszarów WW określonych procesem kulowania odśrodkowego zauważyć można wyraźną prawidłowość, wskazującą na malejące rozproszenie wyznaczonych teksturowych kierunków osi pasów, co świadczyć może o występowaniu pewnego czynnika stopniowo, wraz ze wzrostem dynamiki uderzenia, dominującego pozostałe występujące w strefie uderzenia procesy. Wydaje się, że wzrost dynamiki uderzenia przekłada się „dominacją” procesów odkształceń plastyczno-sprężystych, kosztem m.in. „efektów krystalograficznych”, będących pochodną kinematyki procesu powierzchniowego, jak np. ruchu względnego elementu nagniatającego względem obszaru odkształcanej strefy kontaktu.

Tabela 1. Układy krystalograficzne osnowy metalograficznej oraz tekstury powierzchniowej żeliwa szarego 250 określone wektorami osi pasa krystalograficznego
Table 1. Crystallographic systems of metallic groundmass and texture for cast-iron described by vectors of crystal zone's axis

Stan obróbkowy	Osnowa metalograficzna	Tekstura
Toczenie wykańczające	$[0\bar{1}1], [001]$	$[001], [0\bar{1}1],$ $[0\bar{1}2], [1\bar{3}1],$ $[1\bar{3}3], [1\bar{2}1], [1\bar{1}\bar{1}],$ $[1\bar{2}0]$
Kulowanie odśrodkowe (e = 0,10 [mm])		
$v_T = 10,3$ [m/s]	$[0\bar{1}1], [001]$	$[001], [0\bar{1}1],$ $[1\bar{2}0], [1\bar{2}1]$
$v_T = 22,2$ [m/s]	$[0\bar{1}1], [001], [1\bar{3}3]$	$[001], [0\bar{1}2],$ $[1\bar{3}3]$
$v_T = 37,5$ [m/s]	$[0\bar{1}1], [001], [0\bar{1}2]$	$[0\bar{1}1]$

WNIOSKI

Obróbka powierzchniowa żeliwa szarego 250 kulowaniem odśrodkowym jest nie tylko technologicznie możliwym, ale w pewnym zakresie zastosowanych parametrów, również efektywnym sposobem kształtowania właściwości warstwy wierzchniej.

Wydaje się, że powstałe niekorzystne eksploatacyjnie struktury geometryczne powierzchni, określone układami eliptycznych odcisków obróbkowych „korespondują” smarujących lub produktów zużycia. Proces „wybijania” z powierzchni naturalnego środka smarowego (grafit), „kompensowany” jest możliwością wypełniania powstających nieciągłości strukturalnych wprowadzanymi w czasie obróbki cieczami chłodząco – smarującymi oraz zjawiskiem ujednorodniania struktur warstwy wierzchniej. Z kolei akumulacja zgniotu w strefach powierzchniowych materiału warunkująca proces odkształcenia plastycznego oraz ustalenie korzystnych zazwyczaj rozkładów umocnienia i naprężeń własnych może być „osłabiana”

zjawiskami dekohezji i niszczenia mikroobszarów struktur warstwy wierzchniej.

Utrata spójności krystalograficznej przyczynia się do pogorszenia wskaźników struktury geometrycznej powierzchni oraz do kształtowania niekorzystnych właściwości fizycznych warstwy wierzchniej.

Wymienione powyżej przeciwstawne procesy i zjawiska wydają się wymuszać potrzebę, a zarazem konieczność kompleksowego spojrzenia na problematykę obróbki żeliwa, prowadzącą do ustalenia optymalnych zakresów parametrów dynamicznej obróbki nagniataniem – kulowania odśrodkowego.

LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. WNT, Warszawa 1995.
2. Burakowski T.: Tribologia i inżynieria powierzchni. Tribologia (1999)6, pp.741..755.
3. Jezierski J.: Kulowanie odśrodkowe powierzchni wewnętrznych. Mechanik (1964)5, pp.270..272.
4. Kęsy M.: Praca doktorska. Częstochowa 2002.
5. Kozubowski J.: Metody transmisji mikroskopii elektronowej. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1975.
6. Laber St., Laber A.: Wpływ mikrostruktury i postaci grafitu na właściwości tribologiczne żeliwa po nagniataniu. Tribologia (1999)4, pp.513..519.
7. Laber St.: Odporność na zatarcie żeliwa warunkowane stanem technologicznej warstwy wierzchniej. Tribologia 2000(3), pp.439..448.
8. Penkala T.: Zarys krystalografii. Warszawa, PWN 1983.
9. Prowans S.: Metaloznawstwo. PWN, Warszawa 1988.
10. Przybylski W., Hochschulz R.: Technologia wytwarzania mikrorowków na powierzchni tarcia łożysk ślizgowych przez nagniatanie oscylacyjne. Tribologia 1999(5), pp.625..638.
11. Przybylski W.: Technologia obróbki nagniataniem. WNT Warszawa 1987.
12. Tubielewicz K.: Analiza zjawisk towarzyszących odkształceniu warstwy wierzchniej w procesie nagniatania. Seria Monografie nr 13. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1990.
13. Tubielewicz K.: Technologia nagniatania otworów w przedmiotach żeliwnych. Postęp w dziedzinie rozwoju obróbki nagniataniem – materiały z narady naukowo-technicznej. Częstochowa 1978, pp.113..125.
14. Tubielewicz K.: Technologia nagniatania żeliwnych części maszynowych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000.
15. Tubielewicz K.: Umocnienie powierzchniowe elementów z żeliwa szarego. Przegląd Mechaniczny (1973)22, pp.794..796.

Some technological problems during working of cast-iron's surfaces

Summary

Some both possibilities and technological restrictions of a treatment cast-iron surfaces by dynamic method of burnishing (centrifugal burnishing) have been presented. The obtain results of research have been presented in the context of analysis an influence applied parameters of metal finishing working over some properties of formed upper layer in quantification indicators described surface texture, hardness and micro-structural changes.

The process of dynamic treatment by burnishing is usually presented and described as a method of modifying some mechanical, physical and structural properties of formed upper layer. In research authors have tried to explain some surface processes occurring during the formation of cast-iron rotary outside surfaces.

The using method (centrifugal burnishing) has got a dynamic nature and consists in serial impacts working surface by balls, which are placed in special wells of rotating head. Serial kinematical ordered hits make surface smooth and hard, especially within the range of formation the gray cast-iron surfaces. The dynamic nature and interrupted character of machining, complicated process overlaying of single traces, which dimensions are strictly dependent on applied parameters makes the centrifugal burnishing technological complex and difficult.

During the treatment in a micro-sphere of contact zone apart from plastic deformation processes some other complex phenomena occur i.e.: a friction between the new created upper layer and surface of tool, thermal phenomena and structural changes.

The main goal of research (in the range presented in this paper) was making "the simply model" of centrifugal burnishing as a relationship between some technological parameters of applied metal finishing (which mainly decided about dynamic of process) and some parameters described useful properties of created upper layer like i.e.: roughness, hardness and microstructure changes.

In the paper the surface roughness was defined by both parameters i.e.: Ra (average arithmetical roughness) and Rmr (bearing length of the effective profile), the micro-hardness of created upper layer by so-called degree of strain hardening S_u , structural properties were based on some analysis of dislocation's systems and electron's diffractions. Some properties of burnished upper layer were described and compared with the others defined by turning.

Kinematics of centrifugal burnishing is described by three moves: a principal motion v_T (executed by rotary head), rotation feed motion n_p (executed by work-piece) and cross-feed f (usually executed by head). An

additional very important parameter decided about useful properties of created upper-layer is an effective movement value e of head to machining surface.

Technical process has been executed on engine lathe using a special support system with rotary head. The most important geometrical and kinematical parameters of working system: a diameter of head $D = 250 [mm]$, a number of balls $z = 12$, a diameter of balls $d_k = 9.5 [mm]$, a diameter of work-piece $d = 50 [mm]$, values of applied principal speeds $v_T = 10.3, 22.2$ and $37.5 [m/s]$, a range of cross-feed $f = 0.08$ to $0.17 [mm/rotary]$, a range of effective movement values $e = 0.05$ to $0.15 [mm]$, an intensity covering of working surface by overlaying themselves arrangements of formed single traces (more or less $I_b = 12 mm^{-2}$).

During research the gray cast-iron with initial average hardness about 187 by *Brinell* was used. The treatment of gray cast-iron especially in aspect of dynamic method of machining and specific properties of working material seems to be complex and difficult but on the other hand scientifically and experimentally very interesting. Additionally cast-iron is still very often used for varied elements of bearings and ways or other sliding systems.