



Struktura i własności spiekanych stali konstrukcyjnych

P. Szopa^a, M. Musztyfaga^b

^a Absolwent Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: wujo120@wp.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
Studenckie Koło Naukowe Nanotechnologii i Materiałów Funkcjonalnych, Metalurgii
proszków, Laserowej obróbki powierzchniowej
email: malgorzata.musztyfaga@polsl.pl

Streszczenie: Artykuł dotyczy badania zużycia tribologicznego w spiekanych stalach konstrukcyjnych, pomiaru mikrotwardości i obserwacji struktur metalograficznych tych stali. Materiał do badań został przygotowany na bazie proszków stopowych Astaloy CrL i CrM w trzech partiach. Uzyskano w ten sposób próbki o odmiennych własnościach mechanicznych.

Abstract: The article concerns a research of tribological expenditure of construction steel sintering, measurement of microhardness and observation of metallographic structures of these steels. The material was prepared on the basis of alloying powders Astaloy CrL and CrM in three batches. Thanks to this, the received samples have different mechanical properties.

Słowa kluczowe: metalurgia proszków, tribologia, zużycie tribologiczne

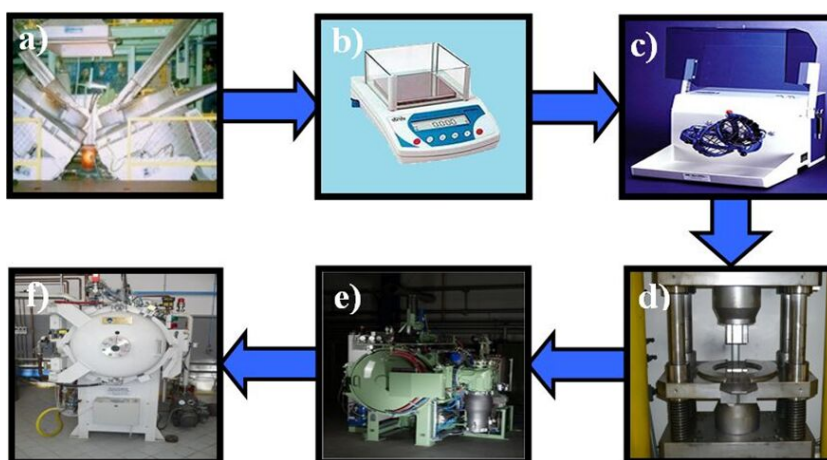
1. WSTĘP

Metalurgia proszków jest dziedziną techniki, zajmującą się metodami wytwarzania proszków metali i materiałów metalowych lub wytwarzaniem mieszanin proszków metali z niemetalami oraz otrzymywania półproduktów i produktów z tych proszków bez konieczności roztopienia głównego składnika [1-7]. Wytworzenie gotowych elementów za pomocą metalurgii proszków jest procesem, w którym można wyróżnić pięć podstawowych etapów:

1. wytworzenie proszku – ma na celu wytworzenie proszku metalu lub mieszaniny proszków różnych materiałów za pomocą różnego rodzaju metod mechanicznych, lub fizykochemicznych [1];

2. przygotowanie proszku – ma na celu uzyskanie odpowiedniego wsadu do dalszych operacji technologicznych. Procesy przygotowania wsadu obejmują sortowanie proszku na różne frakcje ziarnowe, mieszanie ich w odpowiednich proporcjach, a także dodawanie do nich odpowiednich środków poślizgowych [1, 2, 6, 7];
3. formowanie proszku – polega na poddawaniu proszku ścisaniu w zamkniętej przestrzeni, w wyniku, czego następuje jego zagęszczenie. W zależności od kształtu formy oraz własności proszku, a w szczególności zaś od jego plastyczności, zagęszczalności i formowalności, dobiera się odpowiednią metodę formowania na gorąco lub zimno. W wyniku formowania uzyskuje się formówki (np. wypraski, odkuwki, walcówki). Najbardziej rozpowszechnioną metodą formowania wyrobów z proszków metali jest prasowanie matrycowe jednostronne, dwustronne, swobodne oraz sterowane [1-3];
4. spiekanie – to operacja technologiczna (której poddaje się formówkę lub luźno zasypane ziarna proszku) polegająca na złączeniu pod wpływem ogrzewania poszczególnych ziaren proszku w kompozyt o określonych własnościach mechanicznych i fizykochemicznych. W wyniku spiekania otrzymuje się spieki metali lub spieki ceramiczno-metalowe, zwane cermetalami. Spiekanie może przebiegać jako: swobodne lub pod działaniem siły (połączone z formowaniem zapewniającym określony kształt) [1-3];
5. obróbka wykańczająca spiek – obejmuje m.in. obróbkę cieplną, kalibrowanie, nasycanie spieków metalami, obróbkę plastyczną, obróbkę skrawaniem [3, 5, 7].

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy proces technologiczny zastosowany do wytworzenia materiałów wykorzystanych do realizacji niniejszej pracy.



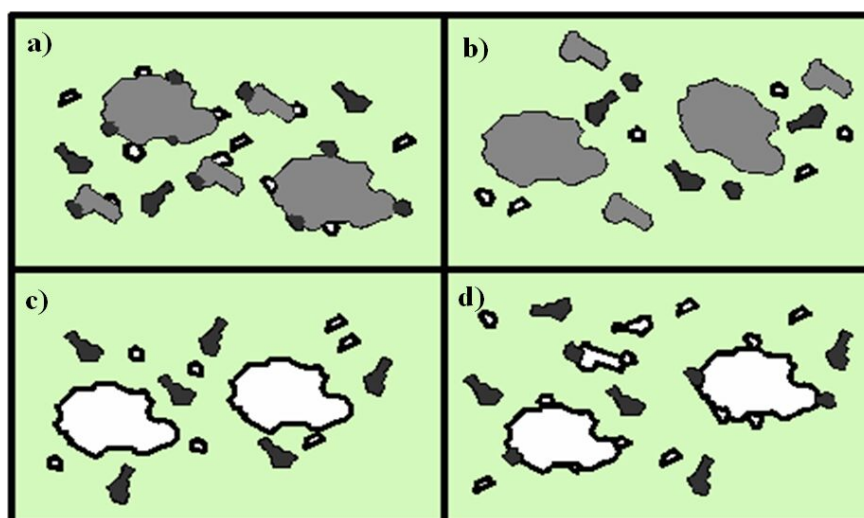
Rys. 1. Proces technologiczny wytwarzania spieków metodą metalurgii proszków
 a) wytwarzanie proszków poprzez rozpylanie, b) przygotowanie proszków, c) mieszanie proszków, d) jednoosiowe prasowanie, e) depolimeryzacja środka poślizgowego, f) spiekanie wyprasek

1.1. Metody stopowania proszków

Własności mechaniczne produktów ze spiekanych stali zależą od wielkości, kształtu, struktury i morfologii porów w nich zawartych. Dodatki proszków pierwiastków stopowych

mają za zadanie wspomóc uzyskanie określonych własności mechanicznych i odporności na korozję. Metody otrzymywania mieszaniny proszków spiekanego stopu wpływają na ostateczne własności produktów spiekanych [8, 9]. Wyróżnia się następujące metody stopowania (rys. 2):

- a) metoda częściowego stopowania – polega na dyfuzyjnym spajaniu proszku bazowego stali z proszkami dodatków stopowych (np. molibden, nikiel, chrom);
- b) metoda domieszana (mieszanie) – polega na mieszaniu proszku podstawowego z proszkami dodatków stopowych (np. molibden, miedź, nikiel, węgiel);
- c) metoda stopowania całkowitego – polega na dodaniu pierwiastków stopowych z wyjątkiem węgla do ciekłego metalu przed procesem rozpylania;
- d) metoda hybrydowa – polega na połączeniu proszków otrzymanych różnymi metodami np. zmieszanie proszków stopowych z proszkami pierwiastków elementarnych [10].



Rys. 2. Metody stopowania proszków, a) częściowo stopowane, b) domieszane (mieszanie), c) całkowicie stopowane, d) hybrydowe [10]

1.2. Zarys technologii otrzymywania proszków

Najczęściej stosowany podział metod wytwarzania proszków metalicznych został przedstawiony na rysunku 3. Pierwszą grupę metod otrzymywania proszków stanowi mechaniczne rozdrabnianie materiału w stanie stałym lub ciekłym, natomiast drugą grupę stanowią metody fizykochemiczne [2].

2. TRIBOLOGIA

Tribologia - jest nauką o tarcii i procesach towarzyszących tarcii. Nauka ta głównie zajmuje się opisem zjawisk fizycznych, chemicznych, biologicznych i innych w obszarach tarcia. Tribologia to nie tylko procesy tarcia w maszynach, jej zakres odnosi się również do wszystkich procesów tarcia w przyrodzie i technice [11].



Rys. 3. Klasyfikacja metod wytwarzania proszków [2]

Obecnie tribologia ma ogromne znaczenie, coraz większą uwagę przywiązuje się do kształcenia trybologów oraz tworzenia badawczych centrów tribologicznych, dzieje się tak, dlatego że około 30÷50% produkowanej w ciągu roku energii jest pochłaniane przez opory tarcia. Badania tribologiczne, a co za tym idzie nowe rozwiązania zmniejszające zjawisko tarcia i zużywania się materiałów, pozwolą zmniejszyć zużycie energii [11, 12].

Zużycie tribologiczne to rodzaj zużycia spowodowanego procesami tarcia. W procesach tego rodzaju zużycia następuje zmiana masy oraz struktury i własności fizycznych warstw wierzchnich obszarów styku. Na intensywność zużywania mają wpływ różnego rodzaju oddziaływania, jak i odporności obszarów tarcia warstw wierzchnich [13, 14].

Procesy zużycia tribologicznego, które przyczyniają się pośrednio do niesprawności i niezdatności maszyn i urządzeń, można podzielić na [7, 11, 14-16]:

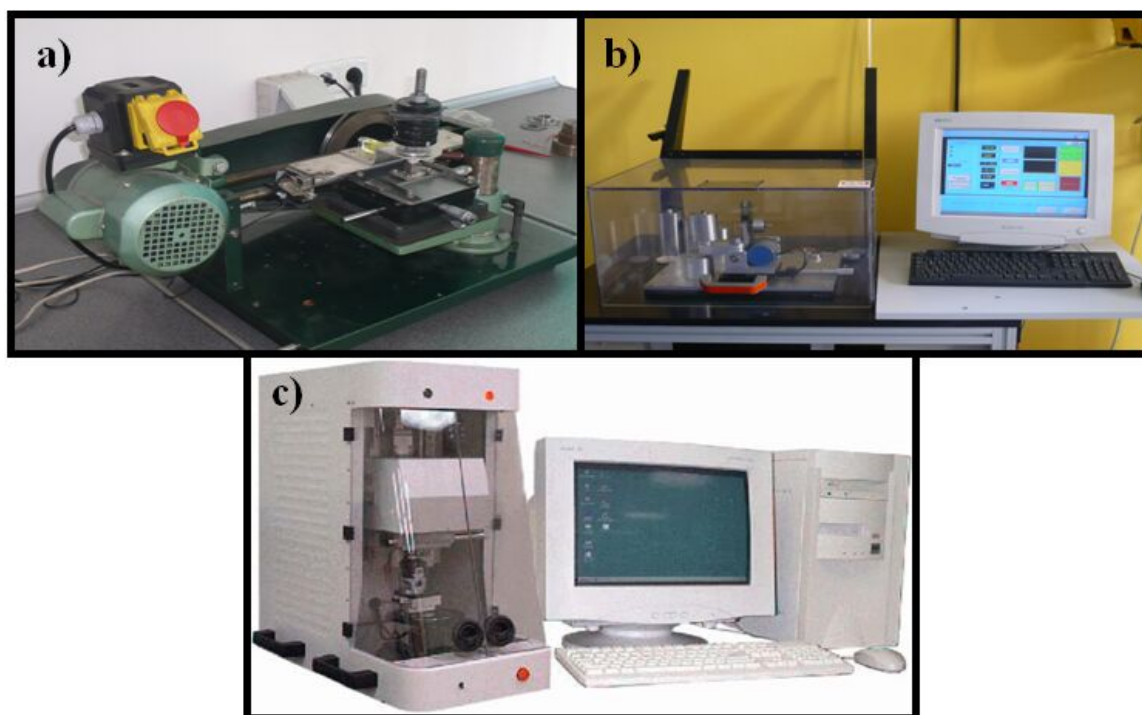
- zużycie ściernie,
- zużycie adhezyjne,
- zużycie ścierno-adhezyjne,
- zużycie przez utlenianie,
- zużycie zmęczeniowe,
- zużycie przez łuszczenie,
- zużycie gruzelkowe,
- zużycie cierno-korozyjne.

2.1. Metody badań zużycia tribologicznego

Badania tribologiczne można przeprowadzać zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i eksploatacyjnych. Jednakże badania laboratoryjne umożliwiają wnikliwą analizę zjawisk tarcia, zużycia. I na ich podstawie można wnosić o zachowaniu się węzła tarcia w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych [11]. W warunkach laboratoryjnych badanie zużycia tribologicznego można przeprowadzać przy wykorzystaniu następujących urządzeń:

- „pin on plate” (rys. 4a) – charakteryzuje się tym, iż jest możliwość zamontowania w nim próbki prostopadłościennej, wówczas głowica z metalową kulką wykonuje ruch roboczy posuwisto zwrotny;
- „pin on disc” (rys. 4b) – ruch roboczy, obrotowy wykonuje próbka w kształcie krążka, natomiast przeciwpróbka (metalowa kulka) jest nieruchoma;
- „disc on disc” (rys. 4c) – zarówno próbka jak i przeciwpróbka mają kształt krążków i jednocześnie wykonują ruch obrotowy.

Przedstawione na rysunku 4 urządzenia różnią się między sobą zazwyczaj konstrukcją, kształtem badanej próbki i przeciwpróbki oraz przede wszystkim wykonywanym ruchem roboczym.



Rys. 4. Przykładowe urządzenia do przeprowadzania badań tribologicznych: a) pin on plate, b) pin on disk, c) disc on disc [17]

Wykonując badanie wymienionymi wcześniej metodami i za pomocą wspomnianych urządzeń można wyznaczyć rzeczywisty ubytek masy. Gdy wyznaczenie rzeczywistego ubytku masy nie jest możliwe analizuje się geometrię wytartego śladu na próbce i wówczas za pomocą obliczeń matematycznych wylicza się geometryczny ubytek masy [17].

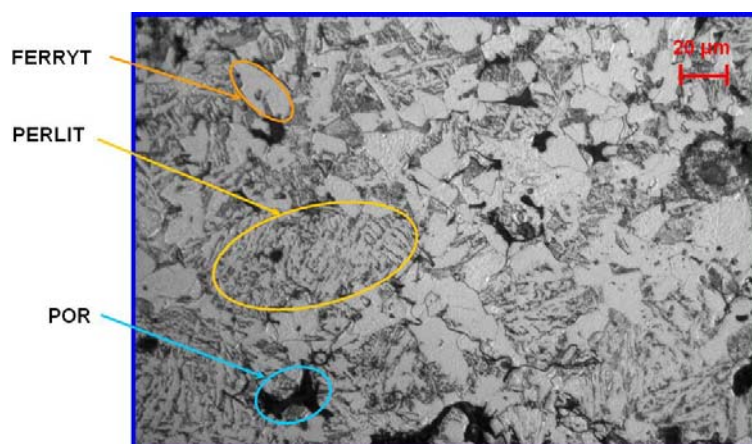
3. METODYKA BADAŃ WŁASNYCH

W ramach pracy wykonano badania naukowe z zakresu inżynierii materiałowej z wykorzystaniem aparatury badawczej znajdującej się w laboratoriach Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej:

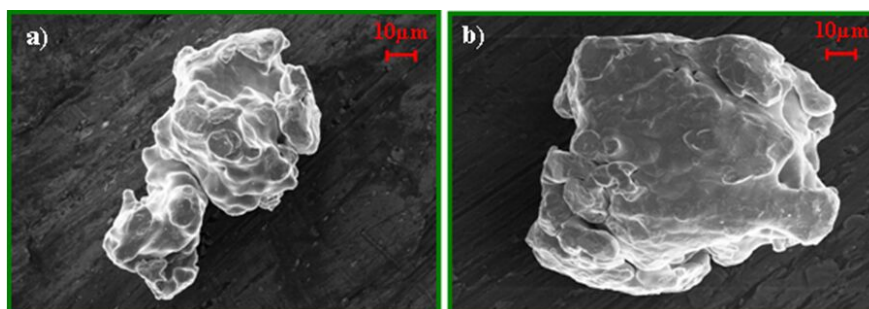
- obserwacje struktur na mikroskopie świetlnym LEICA MEF4A,
- obserwacje kształtów proszków Astaloy CrL i CrM na elektronowym mikroskopie skaningowym,
- pomiar mikrotwardości metodą Vickersa na twardościomierzu Future – Tech SM – 700,
- badania odporności na zużycie ściernie.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W wyniku zastosowania trzech różnych prędkości chłodzenia po spiekaniu materiał badany charakteryzuje się różnymi strukturami metalograficznymi. Na rysunku 5 przedstawiono przykładową strukturę ferrytyczno-perlityczną spieku.



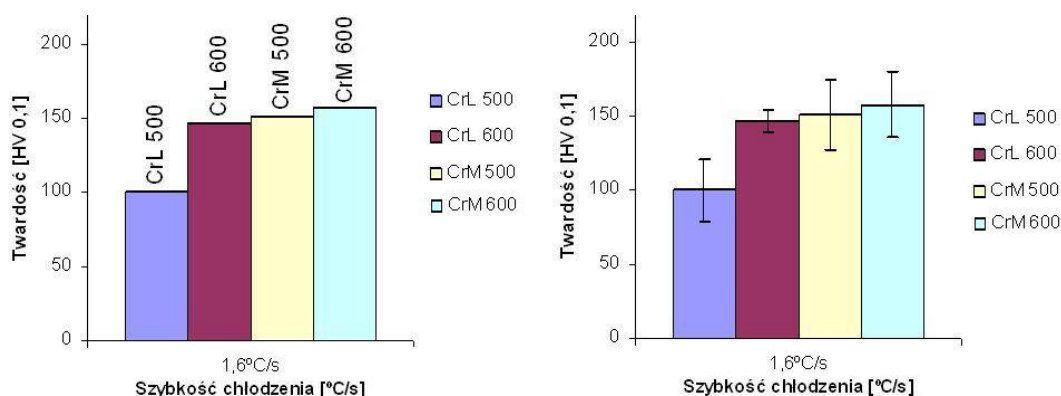
Rys. 5. Przykładowa struktura spieku wykonanego na bazie proszku stopowego Astaloy CrL 500, spiekanego w temperaturze 1120°C, chłodzonego z szybkością 1,6°C/s



Rys. 6. Kształt cząstek proszku stopowego a) Astaloy CrL, b) Astaloy CrM

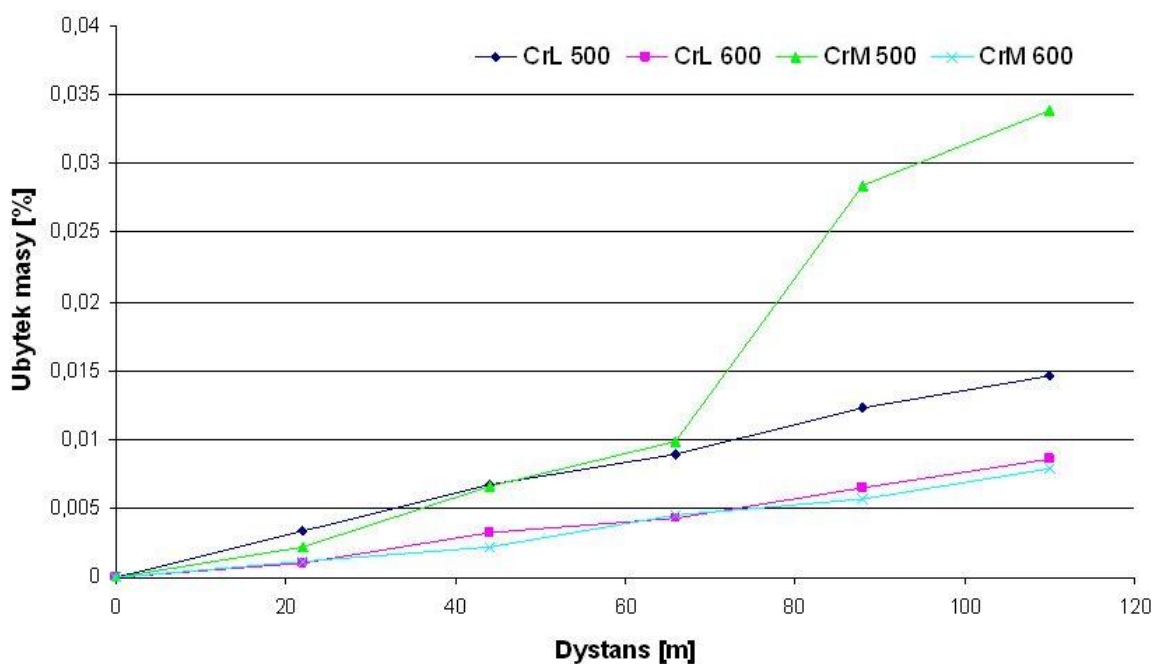
W wyniku obserwacji kształtów cząstek proszków stopowych Astaloy CrL i CrM przeprowadzonych na elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM), wykazano, iż proszki te charakteryzują się sferoidalnym kształtem (rys. 6).

Pomiar twardości metodą Vickersa wykonano na przekroju poprzecznym próbki stosując obciążenie 100 g przez 15 s w skali HV 0,1 zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1 wykorzystując do tego twardościomierz Future – Tech SM – 700 z zautomatyzowanym systemem SM – ARS9000 (rys. 7).



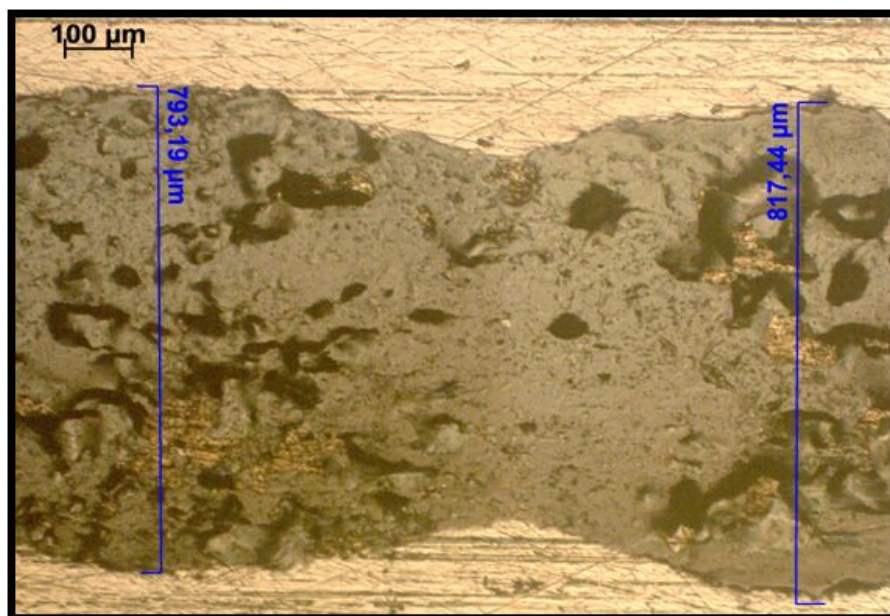
Rys. 7. Przykładowe wyniki badania twardości dla prędkości chłodzenia 1,6°C/s przy założonym przedziale ufności $1-\alpha=0,95$

Wynik wykonanego badania odporności na ścieranie, na podstawie ubytku masy, zaprezentowano na rysunku 8, który ilustruje zależność procentowego ubytku masy w zależności od przebytego dystansu oraz rodzaju materiału chłodzonego z określoną prędkością.

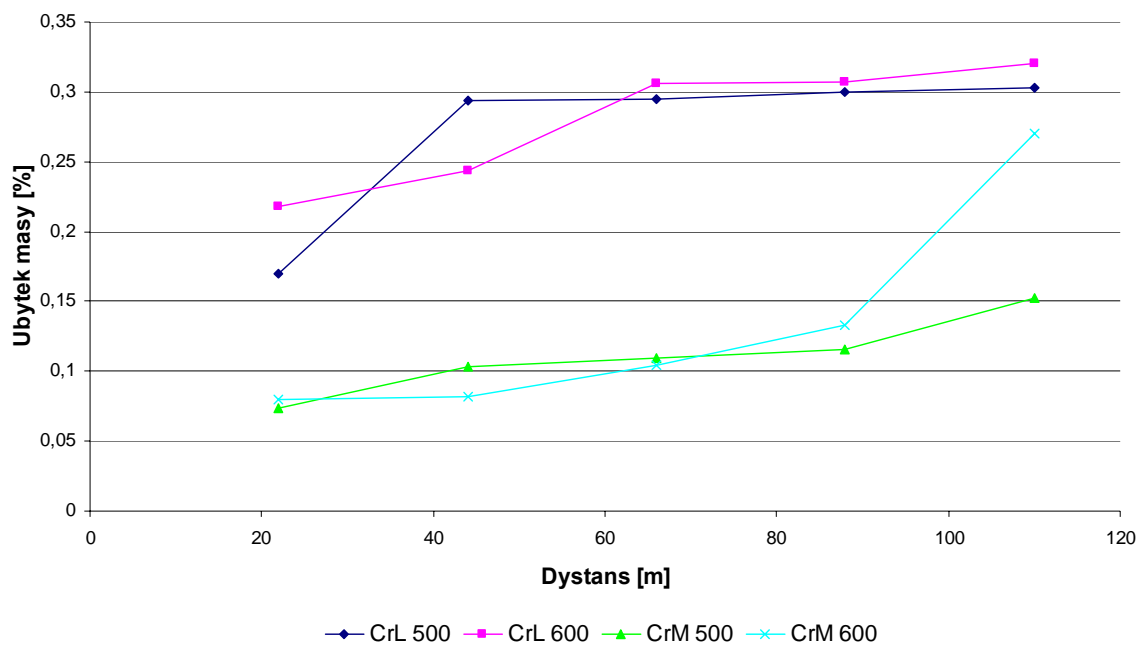


Rys. 8. Ubytek masy w zależności od przebytego dystansu dla próbek chłodzonych z szybkością 1,6°C/s (wybrany przykład)

Następnie przeprowadzono obliczenia matematyczne na podstawie wymiarów wytartego rowka (rys. 9) uzyskując w ten sposób geometryczny ubytek masy (rys. 10).



Rys. 9. Przykładowa mikrofotografia wytartego rowka wraz z naniesionymi wymiarami



Rys. 10. Geometryczny ubytek masy w zależności od przebytego dystansu dla próbek chłodzonych z szybkością $0,3^{\circ}\text{C/s}$

5. PODSUMOWANIE

W ramach pracy poszerzono wiedzę z zakresu dziedziny techniki zwanej metalurgią proszków metali, zajmującej się wytwarzaniem półproduktów oraz produktów metalowych z proszków oraz omówiono podstawowe informacje dotyczące spiekanych stali konstrukcyjnych i zjawisk zużycia tribologicznego.

Ponadto zbadano struktury występujących w spiekanych stalach konstrukcyjnych i wykonano badania tribologiczne oraz pomiary twardości na materiałach uzyskanych opracowaną metodą jednooperacyjnego spiekania z bezpośrednim przyspieszonym chłodzeniem konwekcyjnym mieszanki proszków.

Obserwacje metalograficzne pokazały, jakimi strukturami charakteryzuje się wykorzystany do badań materiał. Wykonane badania zużycia tribologicznego wykonane metodą doświadczalną oraz geometryczną, przy stałym obciążeniu oraz pomiary mikrotwardości pozwoliły określić, który z przygotowanych materiałów jest mniej podatny na zużycie wywołane zjawiskiem tarcia suchego. Z porównania metody geometrycznej i doświadczalnej wynikało, iż ta druga jest bardziej dokładna, ponieważ nie jest obciążona żadnymi uproszczeniami.

LITERATURA

1. W. Rutkowski, Metalurgia proszków w nowej technice, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1963.
2. A. Bukat, W. Rutkowski, Teoretyczne podstawy procesów spiekania, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1974.
3. J. Barcik, M. Kupka, A. Wala, Technologia metali, system i technika wytwarzania, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 2000.
4. J. Nowacki, Spiekane metale i kompozyty z osnową metaliczną, WNT, Warszawa, 2005.
5. J. Nowacki, Spieki metali w budowie maszyn, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 1997.
6. L.A. Dobrzański, Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach, WNT, Warszawa, 1998.
7. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa, 2004.
8. A. Cyunczyk, Podstawy inżynierii spieków metalowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2000.
9. W. Missol, Spiekane części maszyn, Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1978.
10. K.S. Narasimhan, Sintering of powder mixtures and the growth of ferrous powder metallurgy, *Materials Chemistry and Physics* 67/1-3 (2001) 56-65.
11. M. Szczerek, W. Tuszyński, Badania tribologiczne. Zacieranie, Wydawnictwo ITE, Radom, 2000.
12. S. Płaza, Fizykochemia procesów tribologicznych, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 1997.
13. M. Hebda, A. Wachal, Trybologia, WNT, Warszawa, 1980.

14. A. Cyunczyk, Podstawy inżynierii spieków metalowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2000.
15. A. Gierek, Zużycie tribologiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2005.
16. S. Adamczak, F. Aleksanderek, Wytwarzanie części maszyn z proszków metali, WNT, Warszawa, 1964.
17. S. Staub, Atlas metalograficzny struktur, WNT, Warszawa, 1964.