



ĆWICZENIA LABORATORYJNE

„Eksperyment weryfikuje rezultaty łączenia faktów”

Denis Diderot (1713-1784)

UZUPEŁNIAJĄCE MATERIAŁY DYDAKTYCZNE

Książkę uzupełniono o zbiór materiałów dydaktycznych, zawierających instrukcje do ćwiczeń, wraz z zestawem przykładowych obrazów struktury metalograficznej materiałów wytwarzanych metodami metalurgii proszków i przykładowymi wynikami pomiarów wybranych własności tych materiałów po różnych operacjach technologicznych, umożliwiających Studentom wykonanie samodzielnych eksperymentów, z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury laboratoryjnej, którą m.in. dysponują Laboratoria Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W poniższej tabelicy zestawiono tematy ćwiczeń możliwych do wykonania przez Studentów.

| | |
|-----|---|
| 1. | Analiza wielkości cząstek proszków stosowanych do wytwarzania materiałów spiekanych |
| 2. | Morfologia i własności proszków stosowanych do wytwarzania materiałów spiekanych |
| 3. | Wpływ kształtu i wielkości porów na własności mechaniczne materiałów spiekanych |
| 4. | Metoda klasycznego prasowania proszków w matrycy i spiekania |
| 5. | Struktura i własności materiałów spiekanych wytwarzanych metodą formowania wtryskowego proszku |
| 6. | Struktura i własności materiałów spiekanych wytwarzanych metodą bezciśnieniowego formowania proszku |
| 7. | Selektywne spiekanie laserowe proszków |
| 8. | Struktura i własności węglików spiekanych |
| 9. | Struktura i własności spiekanych stali szybko tnących |
| 10. | Struktura i własności spiekanych materiałów kompozytowych |



ANALIZA WIELKOŚCI CZĄSTEK PROSZKÓW STOSOWANYCH DO WYTWARZANIA MATERIAŁÓW SPIEKANYCH

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się ze stosowanymi technikami wytwarzania proszków metalowych, ceramicznych i kompozytowych,
- określenie wpływu metody wytwarzania proszków na kształt, wielkość cząstek, powierzchnię właściwą oraz stopień utlenienia (w przypadku metali),
- określenie wpływu warunków mielenia proszków na kształt i wielkość otrzymanych cząstek,
- zaznajomienie się z metodami pomiaru wielkości cząstek, takimi jak: analiza sitowa, sedymentacyjna, mikroskopowa oraz metody oparte na dyfrakcji promieniowania świetlnego,
- określenie kształtu cząstek proszków materiałów metalowych, ceramicznych i kompozytowych,
- zapoznanie się z teorią pomiaru wielkości cząstek za pomocą laserowej dyfrakcji, porównanie metod obliczania wielkości cząstek na podstawie kątów ugięcia lub rozproszenia wiązki światła laserowego na podstawie teorii J. Fraunhofera i G. Mie,
- nabycie umiejętności określenia wielkości cząstek proszków oraz doboru odpowiedniej metody pomiarowej w zależności od rodzaju i kształtu cząstek badanego proszku,
- określenie wpływu na otrzymywane wyniki pomiarów, wybranej metody badawczej wielkości cząstek proszku oraz kształtu, w szczególności pomiaru w mikroskopie skaningowym lub świetlnym, automatycznego pomiaru za pomocą analizy obrazu i odpowiedniego oprogramowania, analizy sitowej i laserowej,
- nabycie umiejętności interpretacji wyników badań, w szczególności wykresów przedstawiających rozkład wielkości cząstek badanych proszków.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody pomiaru wielkości cząstek proszku z wykorzystaniem różnych technik, wpływ poszczególnych metod wytwarzania proszków na ich kształt i wielkość, a także typowe problemy związane z poprawnym pomiarem granulometrycznym,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,
- laserowy miernik wielkości cząstek MicroTec plus firmy Fritsch,

- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
- przesiewacz wibracyjny HAVER EML 200 digital plus z układem sit o wielkości oczka od 0,025 do 0,500 mm,
- młynek planetarny Pulverisette 5 firmy Fritsch z system GTM do kontroli temperatury i ciśnienia w zbiorniku podczas mielenia,
- mieszalnik turbulentny Turbula T2F firmy Glen Mills,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220 lub AS 310/X firmy Radwag, z zestawem oprzyrządowania do pomiaru gęstości próbek metodą hydrostatyczną,
- prasę do inkludowania na gorąco CitoPress-20 firmy Struers wraz z żywicą PolyFast zalecaną do próbek badanych w skaningowym mikroskopie elektronowym,
- szlifierko-polerkę Tegramin-5 firmy Struers oraz komplet tarcz do szlifowania i polerowania,
- zestaw proszków, aglomeratów oraz mieszanek różniących się wielkością i kształtem cząstek.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie naważek i gotowych mieszanin proszków po różnym czasie mieszania,
- zmielenie naważek proszków z różną szybkością i czasem mielenia,
- przygotowanie reprezentatywnych (dla całej badanej objętości proszku) próbek materiałów proszkowych,
- zainkludowanie proszków oraz wykonanie zglądów metalograficznych,
- obserwację przygotowanych zglądów metalograficznych na mikroskopie świetlnym,
- wykonanie pomiaru wielkości cząstek proszku za pomocą oprogramowania do analizy obrazu otrzymanego z obserwacji metalograficznych,
- obserwacje w mikroskopie skaningowym i ocenę stopnia jednorodności wytworzonych mieszanin proszków w zależności od czasu ich przygotowania,
- wykonanie badań w mikroskopie skaningowym, w szczególności określenie kształtu i pomiar wielkości cząstek, analizę EDS i WDS pozwalającą określić rodzaj zanieczyszczeń oraz ocenę stopnia utlenienia powierzchni cząstek metalowych,
- analizę sitową przygotowanych próbek proszków, polegającą na doborze odpowiedniego zestawu sit oraz warunków przesiewania, a następnie zważenie otrzymanych frakcji z poszczególnych sit,
- zrealizowanie pomiarów za pomocą laserowego analizatora wielkości cząstek techniką na mokro z uwzględnieniem wpływu czasu dyspergowania ultradźwiękowego, środka zwilżającego lub cieczy zawiesinowej, liczby poszczególnych pomiarów, odstępów czasowych oraz obliczeniowej metody dowartościowania (J. Fraunhofer lub G. Mie) na dokładność i powtarzalność końcowych wyników,

- analizę wielkości cząstek proszku przy pomocy laserowego analizatora wielkości cząstek techniką na sucho z uwzględnieniem wpływu czasu dyspergowania sprężonym powietrzem, liczby pomiarów, odstępów czasowych oraz obliczeniowej metody dowartościowania, na dokładność i powtarzalność otrzymywanych wyników.

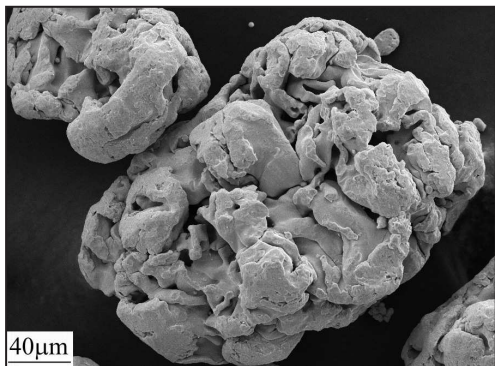
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie obrazów kształtu i morfologii proszków wykonanych w skaningowym mikroskopie elektronowym oraz obrazów ich przekrojów na mikroskopie świetlnym,
- przedstawienie wyników badań wielkości cząstek proszku za pomocą oprogramowania do analizy obrazu otrzymanego z obserwacji materiałograficznych,
- zestawienie wyników badań uzyskanych z analizy sitowej proszków, przy uwzględnieniu różnych zestawów sit oraz warunków przesiewania,
- zestawienie wyników pomiarów wielkości cząstek proszków za pomocą laserowej dyfrakcji techniką na mokro, określenie wpływu czasu dyspergowania ultradźwiękowego, wpływu środka zwilżającego lub cieczy zawiesinowej oraz obliczeniowej metody dowartościowania na dokładność i powtarzalność otrzymanych pomiarów,
- porównanie otrzymanych wyników pomiarów wielkości cząstek badanych proszków w zależności od zastosowanej metody pomiaru.

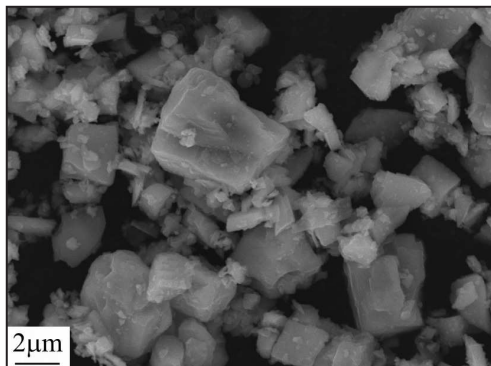
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- sporządzenie wykresu przedstawiającego wpływ czasu mielenia wybranego gatunku proszku na wielkość cząstek, przy stałej szybkości mielenia i stopniu wypełnienia komory młynka,
- sporządzenie wykresów przedstawiających rozkład wielkości cząstek oraz krzywą kumulacyjną dla wybranych gatunków proszków,
- odczytanie z wykresu przedstawiającego krzywą kumulacyjną wartości D_{10} , D_{90} i obliczenie współczynnika nachylenia krzywej rozkładu cząstek S_w ,
- obliczenie współczynnika Fereta oraz bezwymiarowego współczynnika kształtu badanych cząstek,
- podsumowanie zrealizowanych badań wielkości cząstek proszku wraz z zestawieniem otrzymanych wyników i określenie wpływu zastosowanej metody pomiaru wielkości cząstek proszku na dokładność i powtarzalność badań,
- przyporządkowanie optymalnej metody pomiaru w zależności od metody wytwarzania proszku, decydującej o kształcie i wielkości cząstek, wraz z uzasadnieniem zawierającym wady i zalety poszczególnych metod,
- dobór optymalnej wielkości cząstek oraz ich kształtu pod względem ich przeznaczenia, w szczególności metody formowania oraz własności gotowych spieków.

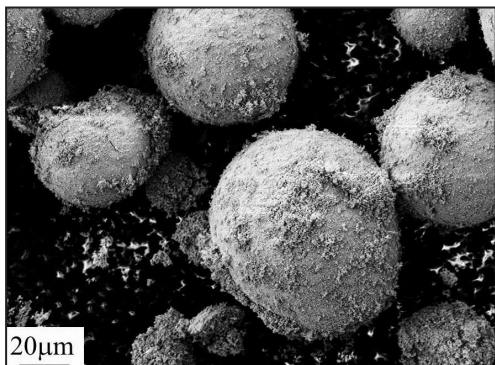
ZESTAW RYSUNKÓW



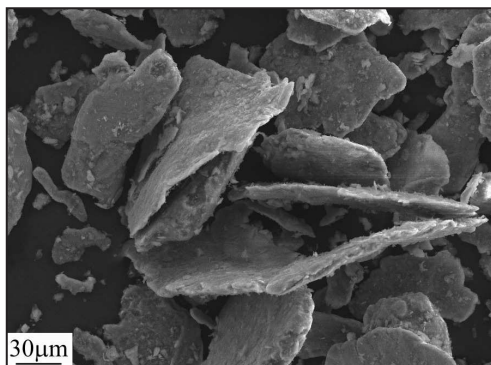
Rys. 1. Cząstki proszku żelaza gąbczastego



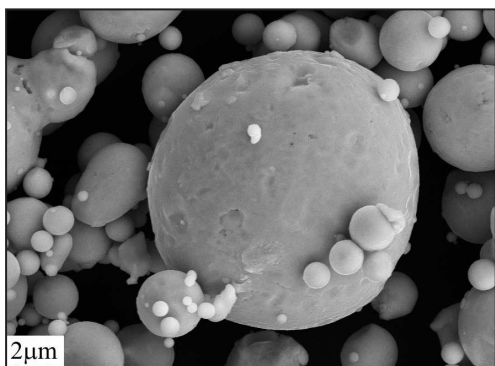
Rys. 2. Cząstki węglika TiC (proszek wielościenny)



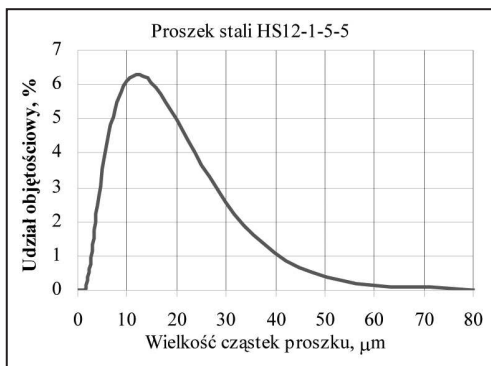
Rys. 3. Granule proszku YSZ o średniej wielkości cząstek 80 nm



Rys. 4. Cząstki stopu aluminium mielonego przez 10 h (kształt płatkowy proszku)



Rys. 5. Cząstki proszku stali HS12-1-5-5 rozpylonej gazem (proszek sferyczny)



Rys. 6. Rozkład wielkości cząstek proszku stali HS12-1-5-5 z rysunku 5



MORFOLOGIA I WŁASNOŚCI PROSZKÓW STOSOWANYCH DO WYTWARZANIA MATERIAŁÓW SPIEKANYCH

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z podstawowymi własnościami proszków metalowych i ceramicznych oraz ich mieszanin stosowanych do wytwarzania elementów metodą klasycznego prasowania w matrycach i spiekania,
- zbadanie wpływu wielkości cząstek, kształtu oraz ich gęstości na sypkosć proszków z wykorzystaniem sypkościomierza Halla,
- określenie wpływu wielkości cząstek i ich kształtu na gęstość nasypową proszków oraz gęstość nasypową z usadem za pomocą sypkościomierza Halla,
- wykonanie badań formowalności proszków i określenie wpływu kształtu i wielkości cząstek na możliwość prasowania w matrycy sztywnej,
- zbadanie wpływu wielkości cząstek, ich kształtu, sposobu wytwarzania oraz środka poślizgowego na zgęszczalność proszku,
- dobór odpowiednich frakcji wybranego gatunku proszku w celu uzyskania maksymalnej gęstości nasypowej oraz gęstości nasypowej z usadem,
- nabycie umiejętności doboru kształtu i wielkości cząstek, sposobu wytwarzania oraz udziału środka poślizgowego lub lepiszcza do różnych metod formowania proszków.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą sposób pomiaru sypkości, gęstości i gęstości nasypowej z usadem oraz program do automatycznego egzaminowania,
- piknometr helowy typu AcuuPyc 1340 do pomiaru gęstości proszku i gotowych spieków,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4,
- laserowy miernik wielkości cząstek MicroTec plus firmy Fritsch,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
- przesiewacz wibracyjny HAVER EML 200 digital plus z układem sit o wielkości oczka od 0,025 do 0,500 mm,
- sypkościomierz Halla z polerowaną powierzchnią wewnętrzną, naczyniem cylindrycznym o średnicy wewnętrznej 30 ± 1 mm i pojemności $25 \pm 0,005$ cm³ oraz stojakiem utrzymującym

współosiowość lejka i zbiornika w odległości 25 mm pomiędzy górną krawędzią zbiornika i dolnym poziomem otworu wylotowego,

- prasę hydrauliczną LabEcon 600 firmy Fontijne Grotnes,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220/C/2 lub AS 310/X firmy Radwag wraz z zestawem oprzyrządowania do pomiaru gęstości metodą hydrostatyczną,
- prasowniki do badań zgęszczalności i formowalności proszków,
- komplet proszków metalowych i ceramicznych oraz gotowych mieszanek.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- badanie gęstości proszku w piknometrze helowym,
- pomiar sypkości w sypkościomierzu Halla zgodnie z normą PN-H-04935:1982. Metodę tę stosuje się do proszków metali oraz ich mieszanek, które podczas badania tworzą nieprzerwaną strugę cząstek podczas przesypywania się przez lejek. Sypkość proszku określana jest jako czas przesypywania się próbki proszku przez lejek o ustalonym kształcie. Badanie polega na pobraniu próbki proszku o objętości 50 cm³, wysuszonego wcześniej w temperaturze 110±2°C i wsypaniu go przez lejek do naczynia pomiarowego. Średnica otworu sypkościomierza wynosi 2,5 mm. Sypkość proszku wyrażoną w sekundach oblicza się ze wzoru:

$$X = t:f$$

gdzie: X – sypkość, t – czas przesypywania, f – współczynnik korygujący.

Współczynnik korygujący jest obliczany ze wzoru:

$$f = 25,3/C$$

gdzie: C – cecha lejka, to czas wylewania się 100 cm³ wody destylowanej o temperaturze 20°C. Wartość średnia powinna wynosić 25±1 s,

- badanie gęstości nasypowej, jako wartości ilorazu masy swobodnie zasypanego proszku do jego objętości, polega na przesypywaniu proszku przez sypkościomierz Halla do naczynia o objętości 25 cm³. W przypadku gdy proszek nie wysypuje się do naczynia z uwagi na rozmiar cząstek, można stosować sypkościomierz o średnicy otworu 5 mm. Po wsypaniu proszku i wyrównaniu poziomu z górną krawędzią naczynia pomiarowego określa się masę proszku. Gęstość nasypową proszku stanowi iloraz jego masy do objętości naczynia pomiarowego:

$$\rho = m/V$$

gdzie: m – masa proszku swobodnie zasypanego do naczynia; V – objętość naczynia,

- badanie gęstości nasypowej z usadem proszków polega na określeniu wartości ilorazu masy proszku do najmniejszej jego objętości, jaką udało się uzyskać w wyniku wstrząsania. Zagęszczanie proszku odbywa się za pomocą wytrząsarki lub ręcznie do uzyskania stałej objętości stanowiącej

podstawę obliczania. Oznaczanie gęstości nasypowej polega na zagęszczaniu określonej masy proszku, najczęściej 50 lub 100 g. Gęstość nasypową z usadem oblicza się podobnie jak gęstość nasypową, czyli $\rho_z = m/V_z$, gdzie: m – masa proszku, V_z – objętość masy zagęszczonego proszku,

- badanie formowalności, czyli zdolności proszku do zachowania kształtu w wyniku prasowania w matrycy. Podczas badania należy określić najmniejsze ciśnienie prasowania, przy którym jest możliwe wykonanie wypraski o nieuszkodzonych krawędziach, Próba polega na określeniu minimalnej i maksymalnej miejscowej gęstości ρ_1 i ρ_2 wypraski wykonanej w odpowiedniej matrycy, gdzie minimalna gęstość jest w najmniej sprasowanym miejscu, w którym wypraska jeszcze się nie obsypuje, a maksymalną – w najbardziej sprasowanym miejscu, w którym nie występują jeszcze pęknięcia,
- pomiar wielkości cząstek za pomocą laserowego analizatora, metodą analizy obrazu w mikroskopie świetlnym lub analizy w przesiewaczu wibracyjnym,
- obserwację kształtu cząstek w mikroskopie skaningowym.

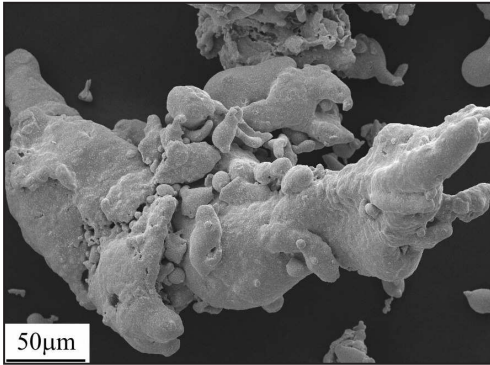
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie własności technologicznych wybranych proszków i mieszanin proszków w zależności od metody wytwarzania oraz ocena możliwości ich prasowania,
- określenie zakresu wielkości ziarna zapewniającego wysoką sypkość proszku,
- przedstawienie wyników badań wpływu środka poślizgowego oraz jego udziału na formowalność i zęszczalność badanych mieszanin proszków,
- dobór optymalnego ciśnienia prasowania proszku na podstawie wyników badań formowalności i zęszczalności, zapewniającego względnie wysoką gęstość wypraski przy możliwie niskim ciśnieniu prasowania,
- określenie wpływu metody wytwarzania proszku, jego gęstości, kształtu i wielkości cząstek na własności technologiczne.

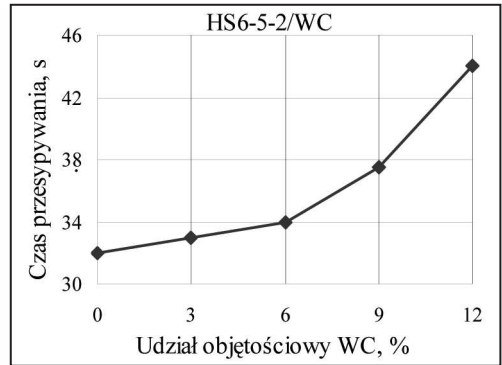
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- ocenę, który z badanych gatunków proszków charakteryzuje się najlepszymi własnościami technologicznymi oraz określenie wpływu metody i warunków wytwarzania na jego własności,
- dobór jednej lub kilku frakcji wybranego gatunku proszku zapewniających najlepszą sypkość oraz maksymalną gęstość nasypową,
- dobór warunków prasowania, rodzaju środka poślizgowego oraz jego udział w celu wytwarzania wyprasek w warunkach przemysłowych.

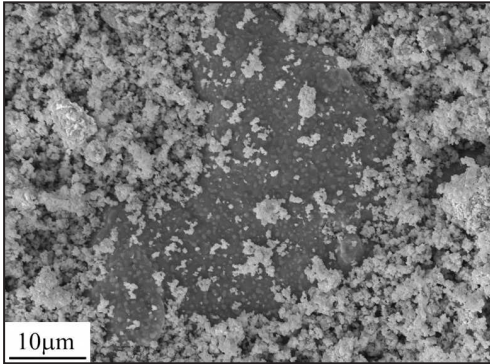
ZESTAW RYSUNKÓW



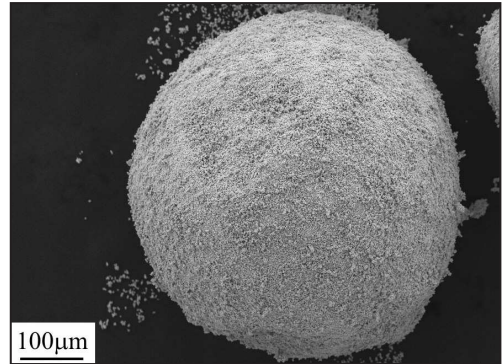
Rys. 1. Cząstki proszku stali HS6-5-2 rozpylonej wodą (proszek strzeziasty)



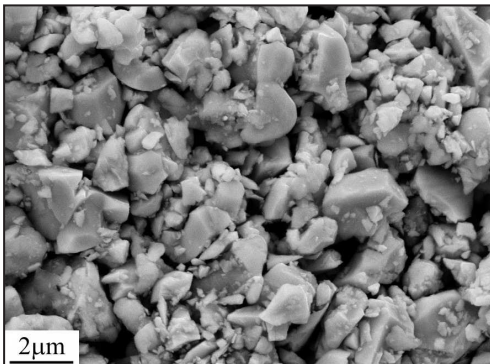
Rys. 2. Wpływ udziału cząstek WC na czas przesywania mieszanki HS6-5-2/WC



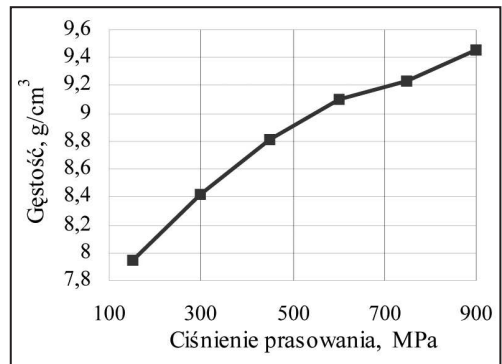
Rys. 3. Mieszanka proszków stali HS6-5-2 (z rys. 1) i WC o średniej wielkości $0,8 \mu\text{m}$



Rys. 4. Granula mieszanki węglika WC i kobaltu z gatunku B65



Rys. 5. Cząstki mieszanki WC i kobaltu (powiększenie granuli z rys. 4)



Rys. 6. Wpływ ciśnienia prasowania na gęstość wypraski z mieszanki WC-Co przedstawionej na rysunku 4 i 5



WPŁYW KSZTAŁTU I WIELKOŚCI PORÓW NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE MATERIAŁÓW SPIEKANYCH

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- omówienie znaczenia porowatości w spiekanych materiałach narzędziowych, stalach odpornych na korozję, profilach kształtowych wyciskanych z proszków oraz szkieletach ceramicznych przeznaczonych do infiltracji,
- określenie wpływu metod i warunków formowania proszków, warunków spiekania, tj. czasu, temperatury, atmosfery oraz udziału fazy ciekłej, na kształt i rozmiar porów w spiekanych stalach odpornych na korozję, stalach szybkootanących, węglkach spiekanych, cermetalach i ceramice tlenkowej,
- omówienie mechanizmu sferoidyzacji i zanikania porów podczas spiekania w fazie stałej, zwilżalności i wypełniania porów podczas spiekania z udziałem fazy ciekłej oraz porowatości dyfuzyjnej w spiekanych materiałach,
- zapoznanie się z wpływem wielkości porów i ich kształtu na własności mechaniczne spiekanych materiałów, w szczególności na wytrzymałość na zginanie,
- omówienie pojęć: porowatość całkowita, otwarta i zamknięta oraz zaznajomienie się z metodami ich pomiaru,
- zaznajomienie się z metodą badania wytrzymałości na zginanie spieków,
- zapoznanie się z różnymi technikami analizy stereologicznej i automatycznej komputerowej analizy obrazu w określeniu morfologii porowatości spieków,
- pomiar udziału objętościowego porów, ich długości, obwodu, średnicy i powierzchni właściwej oraz wyznaczenie na tej podstawie bezwymiarowych współczynników kształtu porów, służących do oceny stopnia ich sferoidyzacji, na nietrawionych zglądach materiałograficznych z zastosowaniem komputerowego systemu analizy obrazu.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody wytwarzania spieków o pożądanej, wysokiej porowatości (filtry, łożyska samosmarowne, elektrody ogniwi paliwowych i szkielety kompozytowych materiałów infiltrowanych) oraz o możliwie niskiej porowatości (materiały narzędziowe, elektrolity stałe ogniwi paliwowych, stale odporne na korozję), wpływ porów na własności mechaniczne, program do automatycznego egzaminowania,

- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220 lub AS 310/X firmy Radwag, z osprzętem do pomiaru gęstości próbek metodą hydrostatyczną,
- porozymetr ręciovoy AutoPore IV-9500 firmy Micromeritics do wyznaczania całkowitej objętości porów, rozkładu wielkości porów oraz określenia kształtu porów,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- komputerowy system analizy obrazu sprzężony z mikroskopem metalograficznym, służący do pomiaru parametrów stereologicznych powierzchni próbek,
- mikroskop konfokalny LSM 5 Exciter firmy Carl Zeiss z laserem diodowym 405 nm,
- stanowisko do badania przepuszczalności porowatych szkieletów,
- szlifierko-polerkę Tegamin-5 firmy Struers oraz tarcze do szlifowania i polerowania zglądów materiałograficznych,
- zestaw próbek wytworzonych z różnych materiałów w postaci kształtek formowanych wtryskowo, wyprasek oraz gotowych spieków przeznaczonych do wykonania zglądów materiałograficznych,
- zestaw próbek do badań porowatości w porozymetrze ręciovym i metodą hydrostatyczną oraz szkieletów przeznaczonych do badania przepuszczalności.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- wykonanie badań kształtu i wielkości porów na zglądach materiałograficznych metodą pomiaru cięciwy oraz określenie wartości minimalnej, maksymalnej i średniej,
- pomiar kształtu i wielkości porów z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu i określenie morfologii porów, pomiar udziału objętościowego porów, ich długości, obwodu, średnicy i powierzchni właściwej oraz wyznaczenie bezwymiarowych współczynników kształtu f_e i f_s służących do oceny stopnia sferoidyzacji porów na nietrawionych zglądach materiałograficznych,
- wykonanie pomiarów stereologicznych wybranych cech geometrycznych porowatości przy użyciu mikroskopu skaningowego i porównanie ich z wynikami otrzymanymi za pomocą mikroskopu świetlnego,

- pomiar porowatości otwartej, całkowitej i zamkniętej z wykorzystaniem metody hydrostatycznej,
- pomiar przepuszczalności porowatych szkieletów przeznaczonych do infiltracji,
- wykonanie badania wytrzymałości na zginanie spieków metalowych, ceramicznych i kompozytowych w zależności od warunków spiekania.

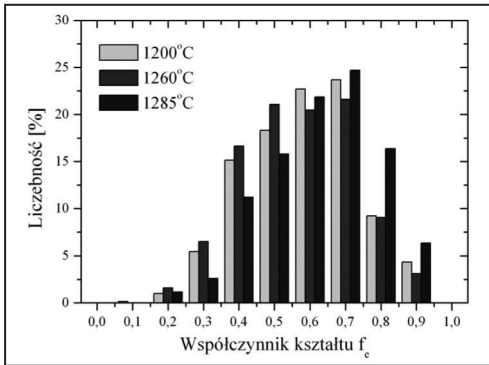
RAPORT OBEJMUJE:

- wykonanie zglądów materiałograficznych z gotowych kształtek formowanych różnymi metodami oraz spiekanych w próżni lub atmosferze gazów ochronnych,
- przedstawienie obrazów badanych porowatych spieków, wykonanych przy użyciu mikroskopu świetlnego, skaningowego oraz konfokalnego, w zależności od rodzaju proszku, metod formowania i warunków spiekania,
- zestawienie wyników badań udziału objętościowego porów, kształtu i powierzchni właściwej oraz ocenę stopnia sferoidyzacji porów na podstawie bezwymiarowych współczynników kształtu f_e i f_s w zależności od badanych materiałów,
- porównanie wybranych wyników pomiarów cech geometrycznych porowatości uzyskanych przy użyciu mikroskopu świetlnego i skaningowego mikroskopu elektronowego oraz określenie ich korelacji,
- przedstawienie wyników pomiarów porowatości metodą hydrostatyczną oraz uzyskanych po badaniu w porozymetrze ręciovym, porównanie ich i określenie wpływu metody badawczej na błąd pomiarowy,
- zestawienie wyników badań wytrzymałości na zginanie i określenie wpływu kształtu oraz wielkości porów wybranego rodzaju materiału na własności wytrzymałościowe.

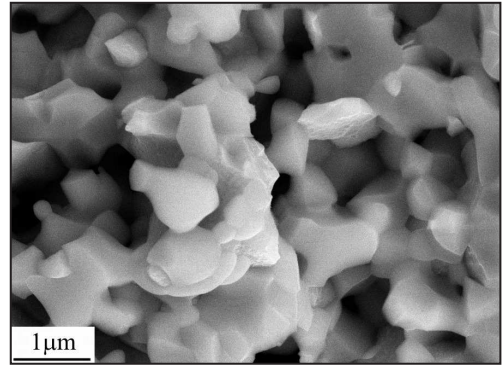
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- porównanie wyników badań kształtu i wielkości porów uzyskanych podczas obserwacji struktury w mikroskopie skaningowym z wynikami automatycznej analizy obrazu pochodzącego z mikroskopu świetlnego,
- przedstawienie w formie wykresu wpływu warunków spiekania na udział porów w badanych stalach, cermetach oraz ceramice tlenkowej,
- dobór kształtu porów, na podstawie wyników badań wytrzymałości na zginanie, zapewniającego najlepsze własności wytrzymałościowe spieku,
- określenie wpływu warunków wytwarzania porowatych szkieletów na ich przepuszczalność,
- ocenę wpływu warunków spiekania na porowatość całkowitą, otwartą i zamkniętą.

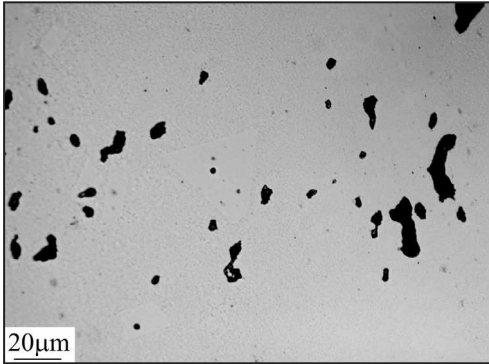
ZESTAW RYSUNKÓW



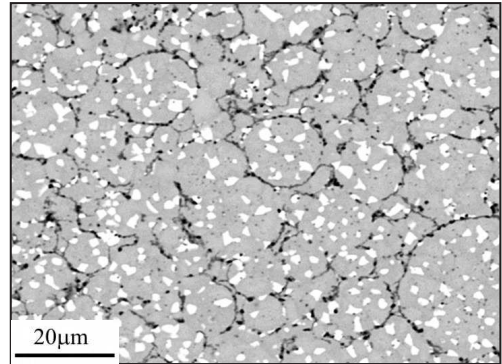
Rys. 1. Wpływ temperatury spiekania na rozkład współczynnika kształtu f_c porów w strukturze dwufazowej stali duplex



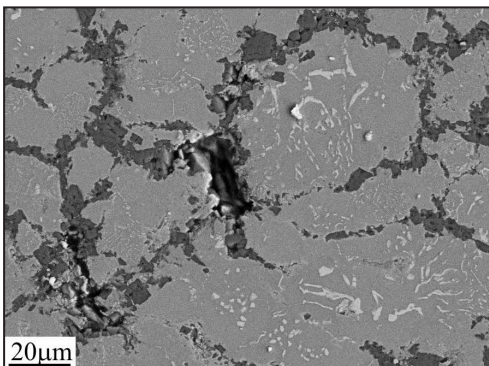
Rys. 2. Struktura porowatej anody ogniwa paliwowego ze stałym tlenkiem Ni-YSZ spiekanego w temperaturze 1350°C



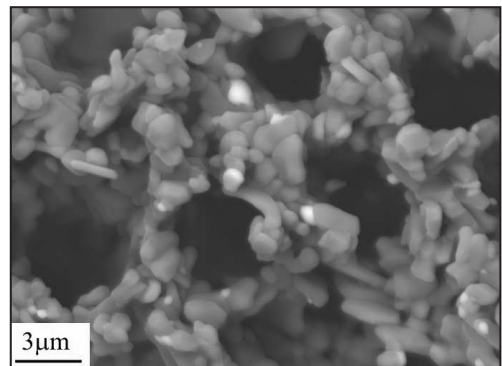
Rys. 3. Porowata struktura doświadczalnego węgla spiekanego WC-Co, spiekanego w temperaturze 1350°C w próżni



Rys. 4. Struktura utlenionej warstwy powierzchniowej stali szybko tnącej HS12-1-5 spiekanego w temperaturze 1260°C



Rys. 5. Struktura węglikostali HS6-5-2/TiC prasowanej w matrycy sztywnej i spiekanego w temperaturze 1260°C w próżni



Rys. 6. Struktura przelomu porowatego szkieletu ceramicznego Al_2O_3 spiekanego w temperaturze 1260°C

4.

METODA KLASYCZNEGO PRASOWANIA PROSZKÓW W MATRYCY I SPIEKANIA

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z metodami klasycznego prasowania proszków w matrycy oraz zastosowaniem tych technik formowania w przemyśle,
- określenie wpływu kształtu i wielkości cząstek proszku na jego prasowalność, czyli podatność do tworzenia kształtek o określonej gęstości w wyniku działania ciśnienia,
- zaznajomienie się z metodami prasowania proszków: jednostronnego, dwustronnego, swobodnego i sterowanego,
- określenie wpływu wielkości cząstek proszku, udziału środków poślizgowych i metody prasowania na tarcie pomiędzy proszkiem i ścianką matrycy,
- zapoznanie się z wpływem metody prasowania proszków na rozkład gęstości w wyprasce,
- określenie maksymalnego ciśnienia prasowania zapewniającego względnie wysokie własności mechaniczne wyprasek i niewywołującego pęknięć,
- badanie gęstości i wytrzymałości na zginanie wyprasek oraz gotowych spieków w zależności od warunków prasowania,
- określenie zmian wymiarowych wyprasek wywołanych naprężeniami sprężystymi, zależnymi od gatunku proszku i ciśnienia prasowania,
- zapoznanie się z formowaniem wyprasek o strukturze warstwowej na przykładzie prasowania mieszanek proszków stali szybko tnącej i węglików, służących do spiekania węglikostali o strukturze warstwowej lub gradientowej,
- zbadanie wpływu mechanicznej syntezy proszku HS6-5-2 i TiC na prasowalność mieszanki,
- określenie znaczenia węglikostali jako materiałów narzędziowych o względnie dużej ciągliwości, podobnej do stali szybko tnących, oraz wysokiej twardości i odporności na zużycie porównywalnej do węglików spiekanych.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą różne metody prasowania proszków na zimno i na gorąco oraz ich wpływ na strukturę i własności gotowych spieków, wpływ własności proszków, kształtu i wielkości cząstek na ich prasowalność,

- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania, z możliwością regulacji odległości pomiędzy podporami,
- prasę hydrauliczną LabEcon 600 firmy Fontijne Grotnes oraz prasowniki do prasowania jednostronnego i swobodnego, z matrycami do wyprasek okrągłych i prostokątnych,
- piec do usuwania lepizcza lub środków poślizgowych i bezpośredniego spiekania w atmosferze gazów ochronnych lub próżni typu FCF 4/160M-PG,
- przesiewacz wibracyjny HAVER EML 200 digital plus z układem sit o wielkości oczka od 0,025 do 0,500 mm,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220 lub AS 310/X firmy Radwag, z osprzętem do pomiaru gęstości próbek metodą hydrostatyczną,
- młynek planetarny Pulverisette 6 mono z systemem GTM do kontroli temperatury i ciśnienia w zbiorniku z proszkiem podczas mielenia,
- mieszalnik turbulentny Turbula T2F firmy Glen Mills,
- zestaw proszków metalowych, ceramicznych oraz środków poślizgowych.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie naważek proszków i środków poślizgowych oraz ich mieszanek,
- prasowanie jednostronne i swobodne jednego wybranego gatunku proszku, wykonane pod tym samym ciśnieniem oraz określenie maksymalnej wysokości wypraski w zależności od metody prasowania,
- prasowanie wybranego gatunku proszku lub mieszanki proszków pod różnym ciśnieniem w zakresie od 100 do 1000 MPa,
- pomiar wymiarów wyprasek wybranych proszków prasowanych pod różnym ciśnieniem,
- obliczenie gęstości wyprasek na podstawie ich masy i objętości,
- pomiar gęstości wyprasek metodą hydrostatyczną,
- badanie wpływu udziału środka poślizgowego na prasowalność proszku, własności wypraski i gotowego spieku,
- analizę sitową wybranego gatunku proszku, podział na frakcje i prasowanie poszczególnych frakcji pod tym samym ciśnieniem,
- spiekanie wyprasek wybranego gatunku proszku, prasowanych pod różnym ciśnieniem,
- badanie porowatości, gęstości i wytrzymałości na zginanie próbek prasowanych pod różnym ciśnieniem i spiekanych w jednej temperaturze,

- przygotowanie mieszanek z proszków stali szybko tnącej HS-6-5-2 oraz węglik TiC w mieszalniku turbulentnym oraz młynku kulowym,
- badanie prasowalności mieszanin proszków HS6-5-2/TiC w zależności od udziału węglik i sposobu przygotowania mieszanki,
- prasowanie wyprasek o strukturze warstwowej i rosnącym udziale TiC w stosunku do osnowy HS6-5-2 oraz ich spiekanie,
- obserwacja struktury wyprasek warstwowych po spiekaniu,
- pomiar porowatości i twardości poszczególnych warstw po spiekaniu,
- badanie wytrzymałości na zginanie spiekanych próbek o strukturze warstwowej.

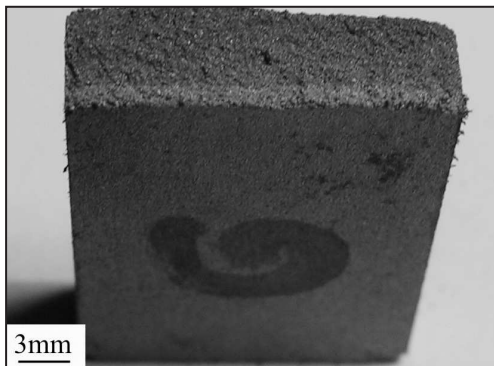
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie wykresu gęstości wyprasek z wybranych proszków w zależności od ciśnienia prasowania,
- dobór optymalnego ciśnienia prasowania dla wybranych gatunków proszków na podstawie uzyskanych wyników badań, zapewniającego wysokie własności wyprasek przy minimalnym zużyciu stempla i matrycy prasownika,
- przedstawienie wyników badań wpływu wielkości cząstek proszku na gęstość wyprasek prasowanych pod tym samym ciśnieniem,
- dobór optymalnego udziału środka poślizgowego zapewniającego dobrą prasowalność proszku, wysoką gęstość wypraski oraz wysokie własności mechaniczne spieku,
- przedstawienie wyników badań gęstości, porowatości i wytrzymałości na zginanie wyprasek prasowanych pod różnym ciśnieniem i spiekanych,
- porównanie wyników badań wytrzymałości na zginanie spiekanych węglkostali o strukturze jednorodnej i warstwowej.

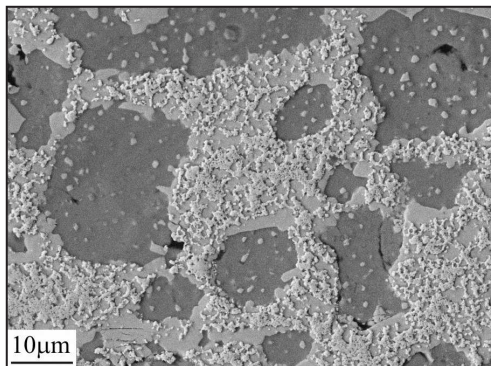
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- wyjaśnienie powstawania pęknięć wyprasek prasowanych pod dużym ciśnieniem,
- dobór na podstawie wyników badań warunków mieszania lub mielenia proszków stali szybko tnącej HS6-5-2 i węglik WC, zapewniających dobrą prasowalność i wysokie własności po spiekaniu,
- podsumowanie wyników badań węglkostali w stanie spiekany i określenie wpływu formowania i spiekania wyprasek o strukturze warstwowej na poprawę własności mechanicznych w stosunku do materiałów o strukturze jednorodnej.

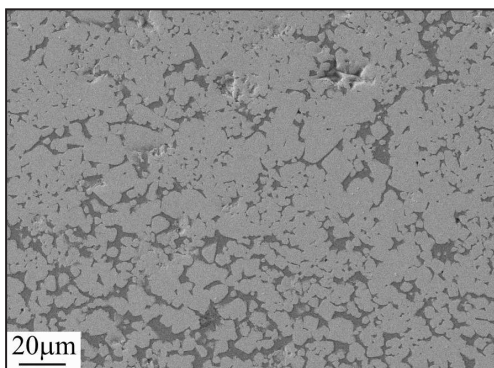
ZESTAW RYSUNKÓW



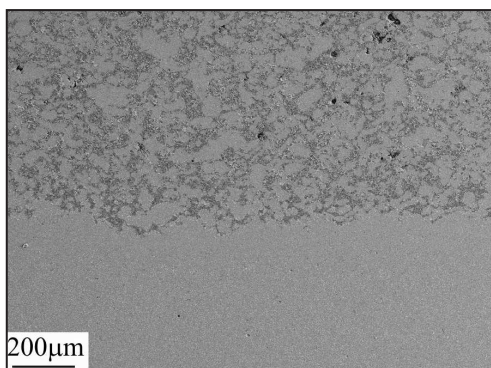
Rys. 1. Przelom wypraski HS6-5-2/WC o strukturze warstwowej



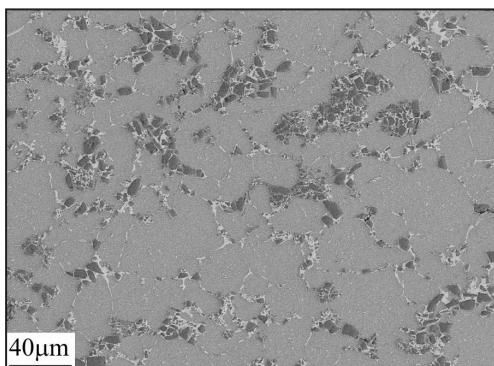
Rys. 2. Struktura węglkostali HS6-5-2/12%WC spiekanej w temperaturze 1210°C



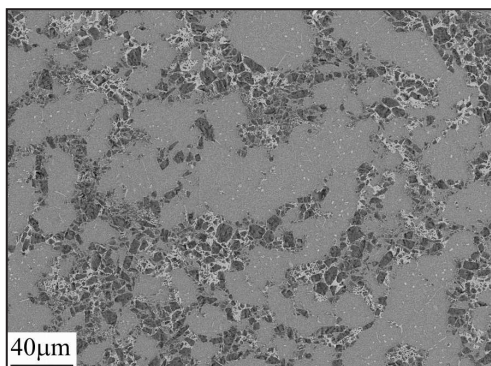
Rys. 3. Struktura węglkostali HS6-5-2/32%WC spiekanej w temperaturze 1260°C



Rys. 4. Struktura porowatej warstwy powierzchniowej z węglkostali HS6-5-2/12%TiC na podłożu stali HS6-5-2



Rys. 5. Struktura węglkostali HS6-5-2/12%TiC spiekanej w temperaturze 1310°C



Rys. 6. Struktura węglkostali HS6-5-2/32%TiC spiekanej w temperaturze 1310°C



STRUKTURA I WŁASNOŚCI MATERIAŁÓW SPIEKANYCH WYTWARZANYCH METODĄ FORMOWANIA WTRYSKOWEGO PROSZKU

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zaznajomienie się z metodami wytwarzania elementów o rozbudowanej powierzchni przez formowanie wtryskowe proszków,
- określenie wpływu rodzaju proszku, jego udziału i powierzchni właściwej na własności reologiczne gęstwy polimerowo-proszkowej przeznaczonej do formowania wtryskowego lub wyciskania proszku,
- poznanie sposobów usuwania lepiszczy z kształtek wytłaczanych lub formowanych wtryskowo oraz zaznajomienie się z konsekwencjami stosowania różnych rodzajów polimerowych składników lepiszczy i ich wpływem na własności gotowych spieków,
- nabycie umiejętności doboru proszków i odpowiednich dla nich lepiszczy, środków powierzchniowo czynnych i poślizgowych w celu przygotowania mieszaniny polimerowo-proszkowej o względnie niskiej lepkości umożliwiającej formowanie wtryskowe i odpowiednio wysokim udziale proszku, zapewniającym mały skurcz kształtki po spiekaniu,
- wykonanie symulacji procesu formowania wtryskowego proszku z zastosowaniem programu Cadmold, umożliwiającym dobór warunków formowania, punktu wtrysku i kształtu gniazda matrycy wtryskarki,
- wykonanie prób formowania wtryskowego dla zaproponowanej i wytworzonej gęstwy polimerowo-proszkowej oraz wykonanie badań wytrzymałości na zginanie kształtek formowanych wtryskowo i spiekanych,
- określenie wpływu warunków homogenizacji na jednorodność struktury mieszaniny polimerowo-proszkowej.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody formowania wtryskowego proszków i wyciskania, możliwości ich zastosowania, wpływ kształtu i wielkości cząstek proszku na własności gęstwy polimerowo-proszkowej oraz sposoby usuwania lepiszcza,
- program Cadmould 3D-F firmy Simcon do przeprowadzenia symulacji komputerowej procesu wtryskiwania gęstwy polimerowo-proszkowej wykorzystujący metodę elementów skończonych, który pozwala między innymi na analizę położenia punktu wtrysku, rozkładu ciśnienia

- w gnieździe formującym, układu doprowadzenia gęstwy polimerowo-proszkowej, wypełnienia i docisku gniazda, systemu chłodzenia, skurczu i deformacji kształtki,
- mikrowytlaczarkę ślimakową EHP-15 Professional z możliwością pracy współbieżnej i przeciwbieżnej ślimaków oraz pomiarem podstawowych własności reologicznych mieszaniny polimerowej lub kompozytowej,
 - miniaturową wtryskarkę tłokową IM-15 firmy Zamak, zintegrowaną z mikrowytlaczarką umożliwiającą bezpośrednie wytłaczanie uplastycznionej gęstwy do cylindra wtryskarki i następnie formowanie wtryskowe w gnieździe podgrzewanej matrycy,
 - piec do usuwania lepiszcza lub środków poślizgowych i bezpośredniego spiekania w atmosferze gazów ochronnych lub próżni typu FCF 4/160M-PG,
 - uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania,
 - dygestorium metalowe Q-dynamic firmy Pol-Eko-Aparatura,
 - zestaw proszków, środków powierzchniowo czynnych, polimerów termoplastycznych i rozpuszczalników.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- dobór proszku o odpowiednim udziale i kształcie cząstek oraz lepiszcza w celu wytworzenia gęstwy polimerowo-proszkowej służącej do formowania wtryskowego,
- przygotowanie jednorodnej gęstwy polimerowo-proszkowej w wytlaczarce,
- badanie obciążenia ślimaków wytlaczarki w zależności od udziału proszku i rodzaju zastosowanego lepiszcza,
- badanie obciążenia ślimaków wytlaczarki w zależności od ich prędkości obrotowej i temperatury cylindra,
- zbadanie wpływu pracy współbieżnej i przeciwbieżnej ślimaków na szybkość ujednorodnienia mieszaniny oraz jej lepkość,
- badanie lepkości wytworzonej gęstwy w zależności od udziału proszku,
- formowanie wtryskowe kształtek przeznaczonych do zginania,
- wykonanie degradacji rozpuszczalnikowej i cieplnej,
- wykonanie badania wytrzymałości na zginanie próbek formowanych wtryskowo i spiekanych, różniących się udziałem proszku oraz rodzajem lepiszcza,
- zbadanie wpływu warunków degradacji rozpuszczalnikowej na szybkość rozpuszczania lepiszcza,
- badania wytrzymałości na zginanie próbek w zależności od temperatury usuwania lepiszcza,

- obserwację struktury przełomów badanych próbek i ocenę ich jednorodności.

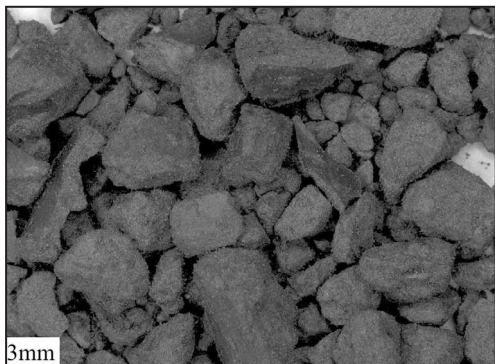
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie wyników badań lepkości w zależności od rodzaju proszku, kształtu cząstek, jego powierzchni właściwej i udziału w stosunku do zastosowanego lepiszcza,
- określenie wpływu temperatury mieszaniny polimerowo-proszkowej i szybkości obrotowej ślimaków na podstawie przeprowadzonych prób, zapewniających uzyskanie jednorodnej mieszaniny w najkrótszym czasie homogenizacji,
- porównanie lepkości gęstwy polimerowo-proszkowej ujednorodnionej podczas pracy współbieżnej i przeciwbieżnej ślimaków wycłaczarki,
- określenie wpływu ciśnienia i czasu wtrysku oraz temperatury matrycy na stopień wypełnienia gniazda,
- zestawienie wyników badań symulacji formowania wtryskowego, w szczególności przedstawienie wpływu lepkości gęstwy polimerowo-proszkowej na rozkład ciśnienia w gnieździe matrycy oraz szybkość wypełnienia gniazda,
- przedstawienie symulacji formowania wtryskowego w zależności od zmiany warunków wtrysku,
- zestawienie wyników uzyskanych podczas badania wytrzymałości na zginanie próbek formowanych w zależności od udziału proszku oraz po degradacji rozpuszczalnikowej lub cieplnej lepiszcza i następnie spiekanych,
- wyznaczenie maksymalnej temperatury degradacji cieplnej, zapewniającej własności mechaniczne próbek umożliwiające ich transport,
- przedstawienie wyników badań struktury przełomów próbek po badaniu wytrzymałości na zginanie oraz ocena jednorodności gęstwy stosowanej do formowania próbek.

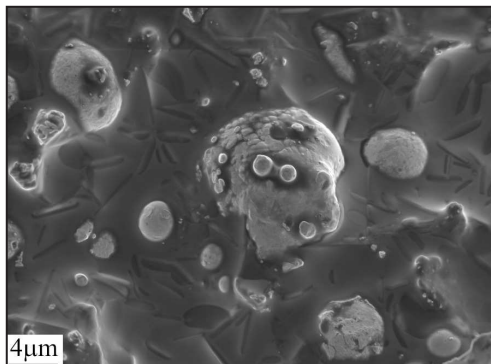
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- dobór kształtu i wielkości ziarna proszku oraz udziału lepiszcza i warunków przygotowania mieszaniny, zapewniających uzyskanie względnie niskiej lepkości gęstwy polimerowo-proszkowej przy maksymalnym udziale proszku,
- wyznaczenie punktu wtrysku i kształtu matrycy, zapewniającego wypełnienie gniazda w najkrótszym czasie, stosując najniższe ciśnienie formowania,
- dobór sposobu usuwania lepiszcza i warunków, zapewniających najkrótszy cykl degradacji oraz odpowiednią strukturę i własności mechaniczne kształtki,
- ocenę wpływu zastosowanych lepiszczy na strukturę i własności gotowych spieków.

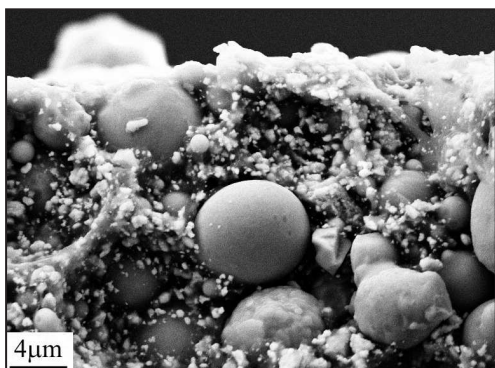
ZESTAW RYSUNKÓW



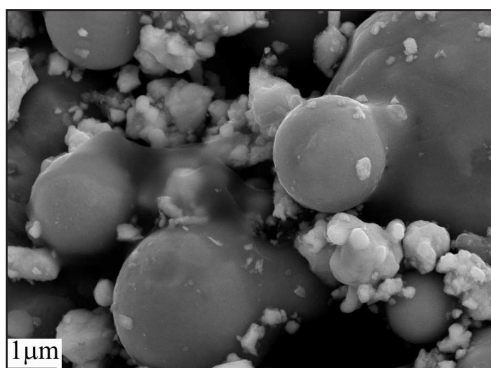
Rys. 1. Mieszanka proszku stali HS6-5-2, węglików, parafiny i polipropylenu w postaci granulatu do formowania wtryskowego



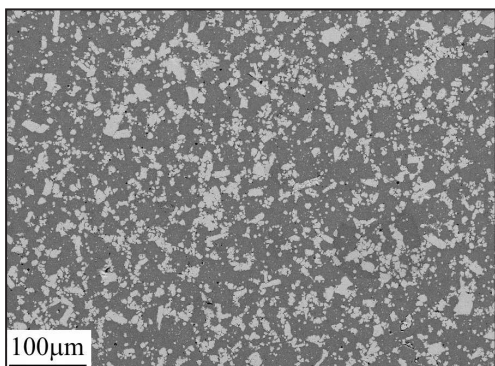
Rys. 2. Przełom próbki formowanej wtryskowo (mieszanka proszku stali HS6-5-2, węglików, parafiny i polipropylenu)



Rys. 3. Przełom próbki widocznej na rysunku 2 po rozpuszczeniu lepiszcza w heptanie o temperaturze 25°C przez 1 h



Rys. 4. Przełom próbki widocznej na rysunku 2 po ciepłym usuwaniu lepiszcza w temperaturze 400°C przez 1 h



Rys. 5. Struktura węglikostali formowanej wtryskowo i spiekanej w temperaturze 1280°C



Rys. 6. Widok próbki formowanej wtryskowo (górna) i po usuwaniu lepiszcza oraz spiekaniu (dolna), której skurcz liniowy wynosi około 12%



STRUKTURA I WŁASNOŚCI MATERIAŁÓW SPIEKANYCH WYTWARZANYCH METODĄ BEZCIŚNIENIOWEGO FORMOWANIA PROSZKU

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z różnymi metodami produkcji umożliwiającymi poprawę własności warstwy powierzchniowej materiałów inżynierskich,
- określenie wpływu powierzchni właściwej proszku na własności reologiczne gęstwy polimerowo-proszkowej przeznaczonej do formowania bezciśnieniowego,
- określenie wpływu lepiszcza oraz jego udziału na lepkość gęstwy polimerowo-proszkowej stosowanej do formowania bezciśnieniowego,
- dobór lepiszcza oraz sposobu formowania w celu wytworzenia jednorodnych lub gradientowych warstw powierzchniowych na wybranych podłożach stalowych,
- dobór odpowiednich lepiszczy, umożliwiających bezpośrednie nagrzewanie materiału do wysokiej temperatury spiekania bez konieczności stosowania przystanku izotermicznego w celu usuwania lepiszcza,
- określenie wpływu formowania bezciśnieniowego warstw powierzchniowych, warunków spiekania i obróbki cieplnej na strukturę i własności warstwy oraz podłoża,
- ocenę możliwości formowania bezciśnieniowego proszku jako metody regeneracji zużytych powierzchni narzędzi i elementów pracujących w warunkach zużycia ściernego,
- określenie wielkości naprężeń oraz ich rozkładu w gradientowej warstwie powierzchniowej wytworzonej metodą bezciśnieniowego formowania proszku i porównanie wyników z naprężeniami występującymi w powłokach wytwarzanych metodami PVD.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody formowania bezciśnieniowego proszków, możliwości zastosowania tej metody do wytwarzania warstw powierzchniowych i porównanie jej z innymi technologiami wytwarzania powłok i warstw wierzchnich,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym, komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,

- reometr rotacyjny Discovery HR-2 firmy TA Instruments,
- automatyczny twardościomierz Rockwella ZHR 4150 TK firmy Zwick/Roell,
- twardościomierz Vickersa FM-ARS 9000 firmy Future-Tech z automatycznym torem pomiarowym z wykorzystaniem analizy obrazu,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- profilometr Surtronic 25 firmy Taylor Hobson Precision,
- piec do usuwania lepiszcza lub środków poślizgowych i bezpośredniego spiekania w atmosferze gazów ochronnych lub próżni typu FCF 4/160M-PG,
- program Inventor 11 do projektowania rzeczywistych modeli materiałów gradientowych,
- program ANSYS 12.0 do analizy wytrzymałościowej,
- zestaw proszków oraz różnych lepiszczy do wytworzenia gęstwy polimerowo-proszkowej.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- dobór udziału proszku o odpowiednim kształcie cząstek oraz lepiszcza w celu przygotowania gęstwy do badań reologicznych,
- dobór gatunku stali oraz przygotowanie próbek stanowiących podłoże warstw powierzchniowych, formowanych bezciśnieniowo,
- przygotowanie mieszanek polimerowo-proszkowych z zastosowaniem lepiszczy termoplastycznych, termoutwardzalnych i chemoutwardzalnych,
- pomiar lepkości wytworzonych mieszanek polimerowo-proszkowych w zależności od udziału lepiszcza, środka powierzchniowo czynnego oraz kształtu i wielkości cząstek proszków,
- wykonanie badań doświadczalnych formowania bezciśnieniowego gęstwy polimerowo-proszkowej, różniącej się rodzajem i udziałem lepiszcza, na powierzchniach próbek stalowych,
- dobór metody formowania, tj. zanurzanie, malowanie lub natryskiwanie gęstwy polimerowo-proszkowej w zależności od zastosowanego lepiszcza,
- określenie wpływu warunków usuwania lepiszcza, w szczególności szybkości nagrzewania do temperatury spiekania na strukturę i własności wytworzonych warstw powierzchniowych,
- określenie wpływu temperatury i atmosfery spiekania na strukturę i własności warstw powierzchniowych formowanych bezciśnieniowo,
- wykonanie obróbki cieplnej w warunkach zapewniających najlepsze własności mechaniczne rdzenia oraz warstwy powierzchniowej,
- badanie twardości wytworzonych warstw powierzchniowych oraz rozkładu ich mikro-twardości na przekrojach poprzecznych,

- wykonanie badań struktury warstwy powierzchniowej, podłoża oraz granicy pomiędzy nimi w mikroskopie skaningowym,
- pomiar wielkości wydzieleń węglkowych lub węglikoazotkowych w zależności od temperatury spiekania oraz wykonanie analizy ich składu chemicznego,
- badanie porowatości warstwy powierzchniowej w zależności od temperatury spiekania,
- badanie stężenia węgla w warstwach powierzchniowych w stanie spiekany w zależności od rodzaju, udziału zastosowanego lepiszcza oraz warunków jego usuwania.

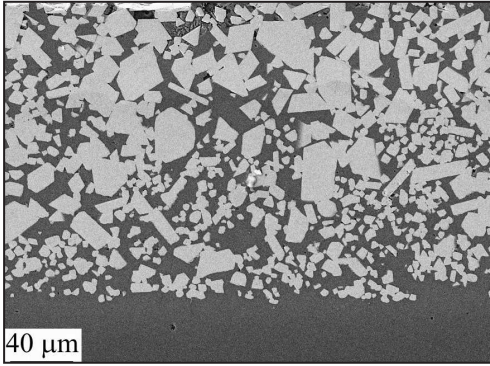
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie wyników badań lepkości w zależności od rodzaju proszku, jego powierzchni właściwej i udziału w stosunku do zastosowanego lepiszcza,
- określenie wpływu rodzaju i udziału lepiszcza na możliwość tworzenia zwartej warstwy powierzchniowej, szczelnie pokrywającej powierzchnię podłoża po formowaniu, spiekaniu i obróbce cieplnej,
- dobór optymalnych warunków degradacji termicznej i spiekania, zapewniających wytworzenie warstwy powierzchniowej o jednorodnej, drobnoziarnistej strukturze, niskiej porowatości oraz szczelnie pokrywającej podłoże,
- określenie wpływu warunków wytwarzania, zapewniających względnie najlepszą strukturę i twardość warstwy powierzchniowej, na strukturę podłoża,
- zestawienie wyników badań symulacji naprężeń w wytworzonych warstwach powierzchniowych w stanie spiekany oraz po obróbce cieplnej,
- przedstawienie wyników badań trybologicznych, w szczególności współczynnika tarcia w zależności rodzaju wytworzonej warstwy powierzchniowej, warunków spiekania i obróbki cieplnej,
- obliczenie pola powierzchni przekroju poprzecznego śladów wytarcia warstw powierzchniowych po przeprowadzonych testach pin-on-plate oraz porównanie ich z wynikami badań podłoża stalowego.

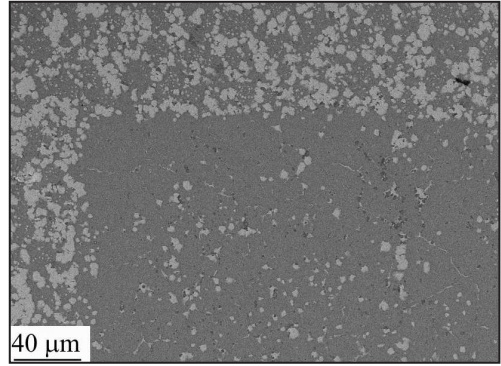
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- dobór, na podstawie wyników badań, rodzaju i udziału lepiszcza, kształtu i wielkości cząstek proszków oraz warunków formowania bezciśnieniowego i spiekania w celu wytworzenia warstw powierzchniowych o najlepszych własnościach przeciwzuzyciowych,
- ocenę wpływu wytworzonych warstw powierzchniowych na własności podłoża.

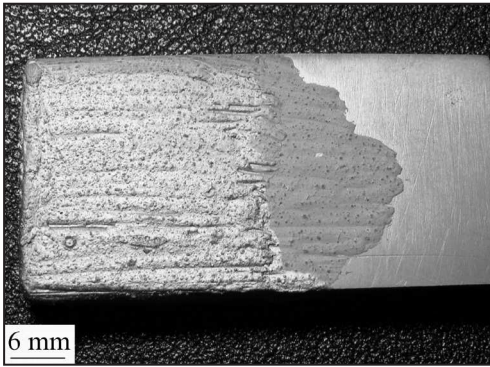
ZESTAW RYSUNKÓW



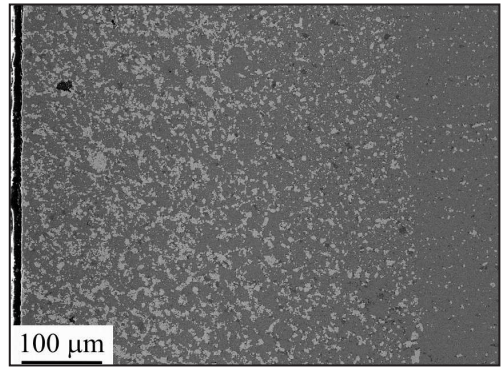
Rys. 1. Struktura warstwy powierzchniowej z węglিকostali HS6-5-2/WC na podłożu stali 41Cr4



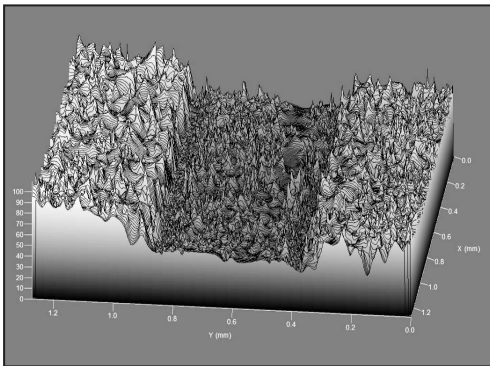
Rys. 2. Struktura ostrza narzędzia ze stali konwencjonalnej HS6-5-2 z warstwą powierzchniową HS6-5-2/WC/TiC/TaC/NbC



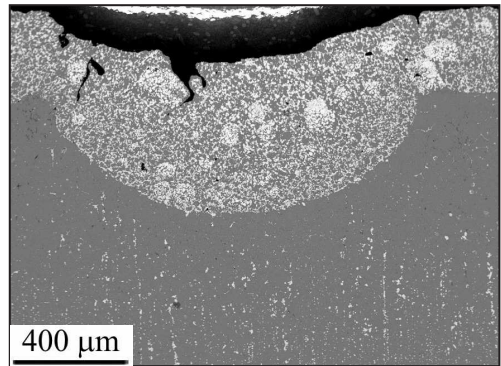
Rys. 3. Widok gradientowej warstwy powierzchniowej formowanej z gęstwy zawierającej proszki HS12-1-5-5, WC, TiC, NbC, TaC i spiekanej w 1240°C



Rys. 4. Struktura warstwy powierzchniowej przedstawionej na rysunku 3, o rosnącym udziale węglików od 5 do 15% na stali konwencjonalnej HS6-5-2



Rys. 5. Profil śladu wytarcia warstwy powierzchniowej podobnej jak na rysunku 4, po teście pin-on-plate



Rys. 6. Struktura formowanej z gęstwy warstwy powierzchniowej po regeneracji elementu z konwencjonalnej stali szybkoobrotowej HS6-5-2



SELEKTYWNE SPIEKANIE LASEROWE PROSZKÓW

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- porównanie struktury i topografii powierzchni spieków metalowych, wytworzonych metodą selektywnego spiekania laserowego SLS (ang.: *Selective Laser Sintering*) proszków ze stali nierdzewnej i szybko tnącej przy różnych warunkach pracy lasera,
- analizę usytuowania i geometrii podpór modelu, na możliwość wytworzenia kompletnego elementu i powstające naprężenia cieplne, powodujące odkształcenie elementu,
- zaznajomienie się z technologią metalurgii proszków, wytwarzaniem produktów przez obróbkę przyrostową, w tym ze szczególnym uwzględnieniem technologii SLS jako najczęściej stosowanej metody wytwarzania przyrostowego, warstwa po warstwie,
- określenie wpływu kształtu i wielkości cząstek proszku, gatunku stali oraz warunków spiekania selektywnego na własności gotowego elementu,
- zapoznanie się z różnymi technikami badania topografii powierzchni, wykorzystując pomiar i analizę chropowatości spieków metalowych, wytworzonych przy różnych warunkach laserowego spiekania,
- zapoznanie się z programowaniem typu CAD do modelowania geometrii elementów oraz oprogramowaniem do budowania modelu numerycznego współpracującym z urządzeniem.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody wytwarzania stosowane w technologii metalurgii proszków, wpływu poszczególnych warunków selektywnego spiekania laserowego na ich strukturę i jakość powierzchni, a także typowe zastosowania elementów ze stali nierdzewnej i szybko tnącej, w tym wytworzonych technologią SLS, a także program do automatycznego egzaminowania,
- urządzenie RENISHAW AM125 do wytwarzania przyrostowego warstwa po warstwie, technologią selektywnego spiekania laserowego,
- komputer z oprogramowaniem typu CAD, np. Solid Edge, w celu przygotowania modelu numerycznego i późniejszego importu oraz z oprogramowaniem Marcam Autofab do przygotowania modelu i ustalenia warunków wytwarzania,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4

- (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,
- piknometr helowy typu AccuPyc 1340 firmy Micromeritics do pomiaru gęstości proszku i gotowych spieków,
 - uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania z możliwością regulacji odległości pomiędzy podporami,
 - mikroskop konfokalny LSM 5 Exciter firmy Carl Zeiss z laserem diodowym 405 nm,
 - mikroskop sił atomowych AFM XE-100 firmy Park Systems,
 - profilometr Surtronic 25 firmy Taylor Hobson Precision,
 - mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
 - profilografometr Surtronic 3+ firmy Taylor Hobson Precision,
 - laserowy miernik wielkości cząstek MicroTec plus firmy Fritsch,
 - dygestorium metalowe Q-dynamic firmy Pol-Eko-Aparatura,
 - zestaw proszków stali nierdzewnych oraz szybko tnących.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie modelu numerycznego w zewnętrznym oprogramowaniu CAD oraz w programie Marcam Autofab sterującym urządzeniem, składającego się z dwóch ścian, z których jedna umieszczona jest pod kątem 90° do podłoża, a druga pod kątem 60° , 45° lub 30° do podłoża, kontrola jakości cech geometrycznych, pod kątem występowania błędów przy wykorzystaniu programu obsługującego urządzenie,
- analizę cech geometrycznych podpór pod projektowanym modelem i gęstości ich ułożenia na możliwość wystąpienia odkształceń elementów, wywołanych naprężeniami cieplnymi podczas spiekania laserowego,
- określenie warunków wytwarzania: mocy lasera, w zakresie od 50 do 200 W, i odległości pomiędzy dwoma punktami spiekania w zakresie od 10 do 50 μm ,
- spiekanie próbek płaskich do badań wytrzymałości na zginanie z zastosowaniem różnych gatunków proszków i wielkości cząstek, regulowanej mocy lasera oraz odległości pomiędzy punktami spiekania,
- pomiar wytrzymałości na zginanie wytworzonych materiałów,
- badanie struktury, topografii powierzchni oraz przełomów wytworzonych spieków z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej i mikroskopii świetlnej,

- pomiar topografii powierzchni analizowanych próbek z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych metodą kontaktową, bezkontaktową i przerywaną oraz pomiar chropowatości analizowanych powierzchni,
- określenie porowatości wytworzonych materiałów w zależności od wielkości cząstek zastosowanego proszku, mocy lasera i odległości pomiędzy punktami spiekania,
- badanie struktury nadtopionych obszarów oraz wielkości wydzielonych węglików w stalach szybko tnących spiekanych selektywnie,
- ocena odporności korozyjnej elementów wytworzonych przez spiekanie laserem proszku stali odpornej na korozję,
- wykonanie, z wykorzystaniem rentgenowskich spektrometrów dyspersji energii EDS i długości fali WDS, analizy jakościowej i ilościowej składu chemicznego w wybranych, stopionych mikroobszarach wytworzonych materiałów.

RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie obrazów struktury i przełomów elementów, wykonanych w skaningowym mikroskopie elektronowym oraz na mikroskopie świetlnym, przy różnych warunkach pracy lasera,
- przedstawienie obrazów i wyników badania topografii powierzchni, na mikroskopie konfokalnym i w mikroskopie sił atomowych, w relacji do zastosowanej mocy lasera, odległości pomiędzy dwoma punktami spiekania oraz położenia powierzchni na platformie roboczej,
- zestawienie wyników badań chropowatości i jakości powierzchni, uzyskanych przy pomocy profilometrów i profilografometru,
- sporządzenie wykresu przedstawiającego wpływ mocy lasera i odległości pomiędzy punktami spiekania na wytrzymałość na zginanie gotowych spieków.

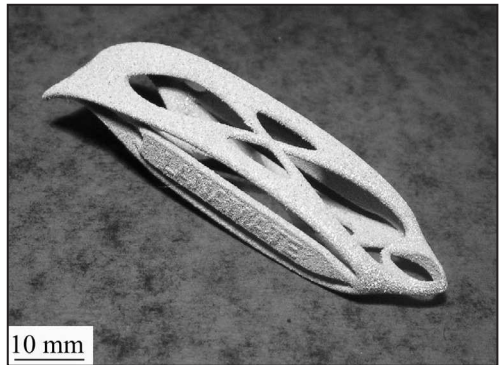
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- określenie wpływu warunków pracy lasera: mocy i odległości pomiędzy dwoma punktami spiekania na strukturę wytworzonych elementów,
- porównanie jakości powierzchni elementu i ich chropowatości, ze względu na zorientowanie modelu na platformie roboczej, ze szczególnym uwzględnieniem kąta nachylenia tych powierzchni,
- określenie wpływu rozmieszczenia podpór na dystorsję wytworzonych elementów wywołaną naprężeniami cieplnymi.

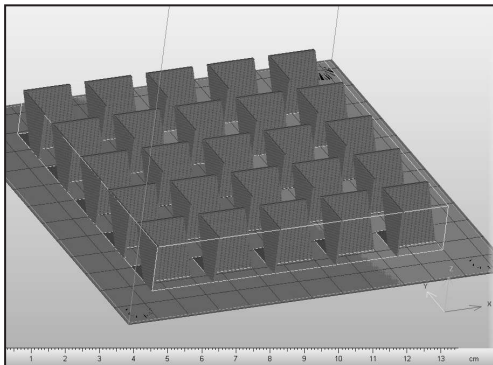
ZESTAW RYSUNKÓW



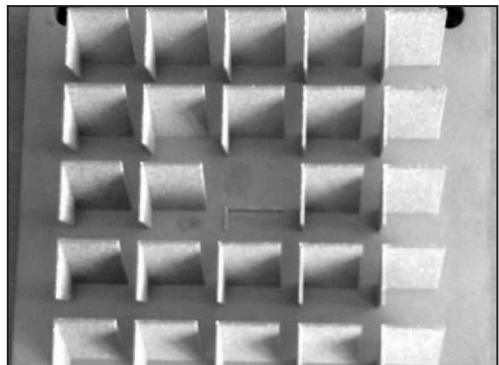
Rys. 1. Urządzenie RENISHAW AM 125 do wytwarzania przyrostowego warstwa po warstwie



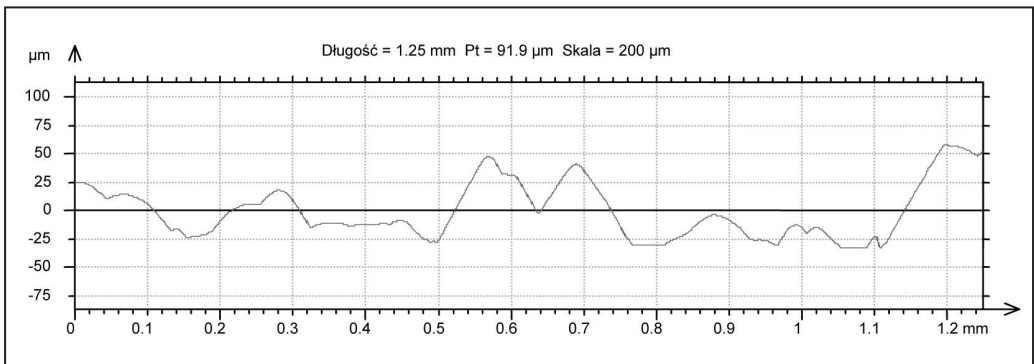
Rys. 2. Przykładowy element wytwarzany metodą selektywnego spiekania laserowego w urządzeniu RENISHAW AM 125



Rys. 3. Projekt próbek do badań wpływu warunków selektywnego spiekania laserowego na własności gotowych elementów



Rys. 4. Gotowe elementy zaprojektowane (rys. 3) oraz wytworzone przy zmiennych warunkach spiekania



Rys. 5. Profil powierzchni próbki stalowej, wytworzonej przez selektywne spiekanie laserowe o mocy 150 W i odległości pomiędzy dwoma punktami spiekania wynoszącej 50 μm



STRUKTURA I WŁASNOŚCI WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- określenie wpływu udziału kobaltowej fazy wiążącej na strukturę i własności węglików spiekanych WC-Co,
- określenie wpływu wielkości cząstek mieszaniny WC-Co na strukturę i własności mechaniczne gotowego spieku,
- zapoznanie się z metodami wytwarzania proszków węglików, sposobami przygotowania mieszanin WC-Co, metodami formowania i spiekania,
- zaznajomienie się z metodą spiekania z udziałem fazy ciekłej oraz jej znaczeniem w produkcji węglików spiekanych,
- zapoznanie się z metodami dogęszczania spieków węglikowych i ich wpływem na gęstość, porowatość i własności mechaniczne,
- określenie odporności na zużycie tarciove wytworzonych spieków, w zależności od udziału osnowy kobaltowej, wielkości cząstek proszku oraz warunków spiekania,
- określenie wpływu udziału osnowy kobaltowej na twardość węglików spiekanych,
- zapoznanie się z metodami wyznaczania krytycznego współczynnika intensywności naprężeń do oceny odporności na kruche pękanie węglików spiekanych,
- określenie odporności na kruche pękanie (K_{Ic}) węglików spiekanych typu WC-Co, w zależności od udziału osnowy kobaltowej, wielkości cząstek proszku oraz warunków spiekania, wykorzystując metodę Palmqvista,
- porównanie własności węglików spiekanych z innymi materiałami narzędziowymi stosowanymi do obróbki skrawaniem i określenie znaczenia tej grupy materiałów narzędziowych, sposobu poprawy własności i kierunku rozwoju,
- zapoznanie się z możliwościami zastąpienia kosztownej i szkodliwej dla zdrowia osnowy kobaltowej innymi pierwiastkami i ich wpływem na własności węglików spiekanych.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą znaczenie węglików spiekanych jako materiałów narzędziowych, sposoby wytwarzania proszków, przygotowania mieszanin węglików z osnową i środkiem poślizgowym, formowania, spiekania oraz pokrywania powierzchni powłokami metodami CVD i PVD,

- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,
- mikroskop materiałograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania,
- uniwersalny dwukomorowy piec próżniowy typu CaseMaster Evolution D4 z wanną olejową firmy Seco/Warwick S.A.,
- młynek planetarny mikro Pulverisette 7 premium line, z systemem GTM do kontroli temperatury i ciśnienia w zbiorniku z proszkiem podczas mielenia oraz zestaw ceramicznych kulek mielących,
- prasę hydrauliczną LabEcon 600 firmy Fontijne Grotnes wraz z prasownikiem do formowania wyprasek,
- piknometr helowy typu AcuuPyc 1340 do pomiaru gęstości proszku i gotowych spieków,
- twardościomierz Future Tech, do pomiaru twardości lub mikrotwardości metodą Vickersa,
- zestaw proszków kobaltu i węglika WC o różnej wielkości cząstek oraz różnych gatunków gotowych mieszanin WC-Co,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220/C/2 lub AS 310/X firmy Radwag wraz z zestawem oprzyrządowania do pomiaru gęstości metodą hydrostatyczną,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- profilometr Surtronic 25 firmy Taylor Hobson Precision,
- dygestorium metalowe Q-dynamic,
- odczynnik Murakami o składzie $K_3Fe(CN)_6 + KOH + H_2O$ do trawienia próbek.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie naważek proszków WC, Co i środków poślizgowych oraz gotowych mieszanin WC-Co wytworzonych przez Sandvik-Baildonit lub Kennametal,
- mielenie mieszanek doświadczalnych, stosując różne czasy mielenia, prędkości obrotowe i stopień wypełnienia młynków,
- formowanie w prasowniku przygotowanych mieszanek proszków doświadczalnych oraz gotowych mieszanek, do wyboru z gatunku: B65, G10, H10, HF4, K10, K20,
- spiekanie w piecu próżniowym z wcześniejszym odparafinowaniem wyprasek, stosując temperaturę w zakresie od 1350 do 1500°C,

- przygotowanie zglądów materiałograficznych z wytworzonych węglików spiekanych oraz pomiar porowatości,
- badanie gęstości metodą hydrostatyczną oraz w piknometrze helowym,
- badanie wytrzymałości na zginanie spiekanych węglików w zależności od temperatury spiekania i udziału osnowy kobaltowej,
- wykonanie badań strukturalnych w mikroskopie skaningowym oraz analizy składu chemicznego w mikroobszarach metodą EDS i WDS,
- analizę składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej w zależności od gatunku węgliku i warunków spiekania,
- pomiar twardości metodą Vickersa oraz wykonanie odcisków wglębniakiem stosowanym w tej metodzie, zgodnie z normą ISO 28079:2009 w celu wywołania pęknięć Palmqvista,
- wytrawienie powierzchni próbek, na których badano twardość, w celu dokładnego odczytu długości pęknięć Palmqvista, wokół wykonanych odcisków oraz pomiar długości pęknięć,
- badanie odporności na zużycie tarciove wytworzonych węglików spiekanych metodą pin-on-disc lub pin-on-plate.

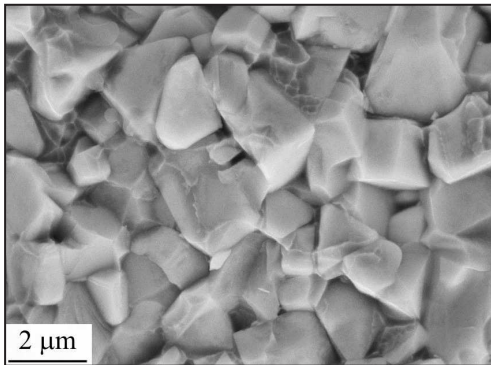
RAPORT OBEJMUJE:

- zestawienie wyników badań wytrzymałości na zginanie i porównanie ich z wartościami odpowiadającymi węglikom stosowanym w przemyśle,
- ocenę wpływu temperatury spiekania na wielkość ziarn oraz porowatość struktury i ich wpływ na wytrzymałość na zginanie,
- obliczenie sumy długości zmierzonych pęknięć i wyznaczenie krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} węgliku spiekaneego,
- określenie wpływu udziału osnowy kobaltowej na twardość, wytrzymałość na zginanie oraz współczynnik intensywności naprężeń K_{Ic} ,
- przedstawienie obrazów struktury węglików spiekanych oraz uszkodzeń w postaci pęknięć Palmqvista, wykonanych w skaningowym mikroskopie elektronowym.

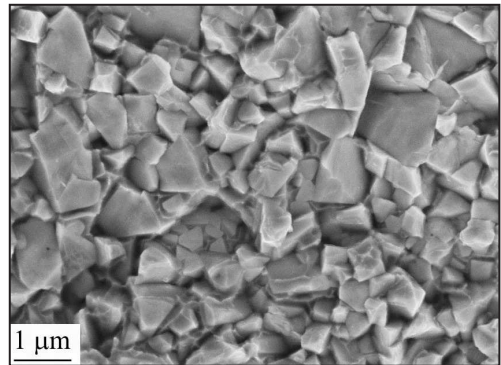
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- sporządzenie wykresów przedstawiających wyniki badań twardości, wytrzymałości na zginanie oraz współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} , dla węglików spiekanych z mieszanek komercyjnych i doświadczalnych oraz porównanie ich z własnościami gotowych węglików spiekanych,
- przedstawienie wniosków dotyczących wpływu wielkości cząstek, udziału osnowy kobaltowej i warunków spiekania na strukturę i własności węglików spiekanych.

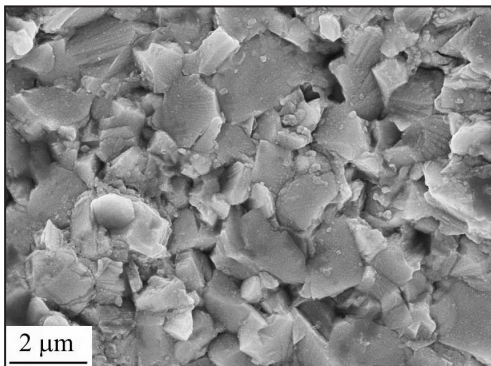
ZESTAW RYSUNKÓW



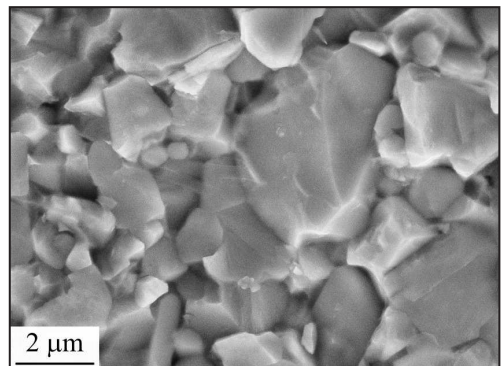
Rys. 1. Struktura przelomu węgliku spiekanego TP35 firmy SECO



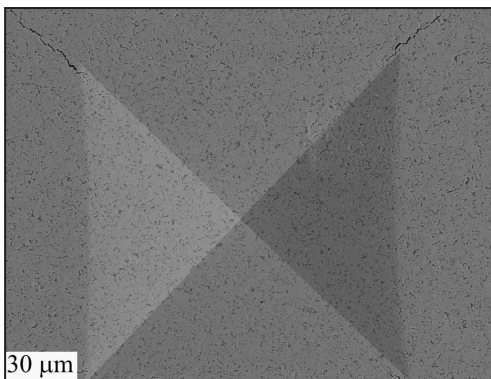
Rys. 2. Struktura przelomu węgliku spiekanego CP20 firmy SECO



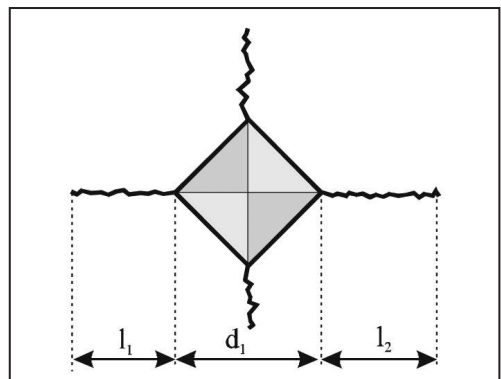
Rys. 3. Struktura przelomu węgliku spiekanego A30 firmy Sumitomo



Rys. 4. Struktura przelomu węgliku spiekanego AC2000 firmy Sumitomo



Rys. 5. Przykładowy odcisk Vickersa HV30 oraz pęknięcia Palmqvista w doświadczalnym węgliku spiekany w temperaturze 1460°C



Rys. 6. Schemat systemu pęknięć uzyskanych podczas pomiaru twardości metodą Vickersa, mierzonych w celu obliczenia współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} metodą Palmqvista



STRUKTURA I WŁASNOŚCI SPIEKANYCH STALI SZYBKOTNĄCYCH

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zaznajomienie się z metodami formowania i spiekania stali szybko tnących, mechanizmami transportu materii podczas spiekania, sposobem obróbki cieplnej, ich strukturą i własnościami,
- zapoznanie się z wpływem kształtu i wielkości cząstek proszków, gatunku stali, metody formowania oraz środków poślizgowych, lub lepiszcza na gęstość i strukturę po spiekaniu,
- określenie wpływu temperatury i atmosfery spiekania na strukturę i własności mechaniczne spiekanych stali szybko tnących,
- wyjaśnienie wpływu metody i warunków wytwarzania na porowatość stali,
- określenie wpływu stężenia węgla w stalach formowanych wtryskowo na dobór warunków obróbki cieplnej zapewniającej maksymalny efekt twardości wtórnej stali,
- wyjaśnienie wpływu metod wytwarzania stali szybko tnących, tj. prasowania proszku, formowania wtryskowego, prasowania izostatycznego na gorąco oraz klasycznego odlewania stali na strukturę i własności,
- zapoznanie się z warunkami pracy narzędzi ze stali szybko tnących, mechanizmami zużycia powierzchni narzędzi i sposobami poprawy odporności na zużycie.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody wytwarzania proszków stali szybko tnących, sposoby formowania i spiekania, obróbkę cieplną oraz efekt twardości wtórnej, struktury, własności oraz zastosowania stali,
- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy STEM TITAN 80-300 firmy FEI,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,
- mikroskop materiałograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania,

- mikrowytlaczarkę ślimakową EHP-15 Profesjonal zintegrowaną z miniaturową wtryskarką tłokową IM-15 firmy Zamak do wytwarzania i formowania gęstwy polimerowo-proszkowej,
- piec do usuwania lepizcza lub środków poślizgowych i bezpośredniego spiekania oraz obróbki cieplnej w atmosferze gazów ochronnych lub próżni typu FCF 4/160M-PG,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- automatyczny twardościomierz Rockwella ZHR 4150 TK firmy Zwick/Roell,
- prasę hydrauliczną LabEcon 600 firmy Fontijne Grotnes i prasownik do prasowania proszków,
- zestaw proszków stali szybkoctnących rozpylanych gazem lub wodą, środków poślizgowych i lepizczy oraz mieszalnik turbulentny Turbula T2F firmy Glen Mills do ich mieszania.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- dobór kształtu i wielkości cząstek proszków do sposobu formowania próbek,
- wykonanie wyprasek oraz kształtek formowanych wtryskowo,
- spiekanie wytworzonych wyprasek i kształtek w atmosferze przepływających gazów ochronnych lub próżni w zalecanym zakresie temperatury,
- badanie gęstości, porowatości, twardości wytworzonych spieków,
- wykonanie obróbki cieplnej spieków charakteryzujących się najlepszą strukturą i własnościami mechanicznymi, w temperaturze austenitowania i odpuszczania zalecanej dla danego gatunku stali szybkoctnącej,
- pomiar twardości w zależności od temperatury austenitowania i odpuszczania,
- badanie wytrzymałości na zginanie stali w stanie spiekany i obrobiony cieplnie,
- pomiar udziału i wielkości węglików pierwotnych lub węglikoazotków w zależności od warunków spiekania i obróbki cieplnej,
- wykonanie analizy jakościowej i ilościowej składu chemicznego w wybranych mikroobszarach badanych węglików i węglikoazotków metodami EDS i WDS,
- pomiar wielkości ziarna austenitu pierwotnego w zależności od czasu i temperatury austenitowania lub temperatury spiekania w przypadku bezpośredniego chłodzenia po spiekaniu, czyli obróbki „sinterhardening”,
- analizę składu fazowego i ilościowego w zależności od warunków spiekania i obróbki cieplnej, metodą dyfrakcji rentgenowskiej oraz określenie udziału austenitu szczątkowego,
- określenie zależności krystalograficznych pomiędzy martenzytem i austenitem dla stali po hartowaniu oraz pomiędzy dyspersyjnymi węglnikami i martenzytem po odpuszczaniu,
- porównanie struktury wytworzonych stali szybkoctnących ze strukturą stali prasowanych izostatycznie na gorąco oraz klasycznie odlewanych i obrobionych plastycznie,
- badanie odporności na zużycie tarciove stali szybkoctnących wytwarzanych różnymi metodami.

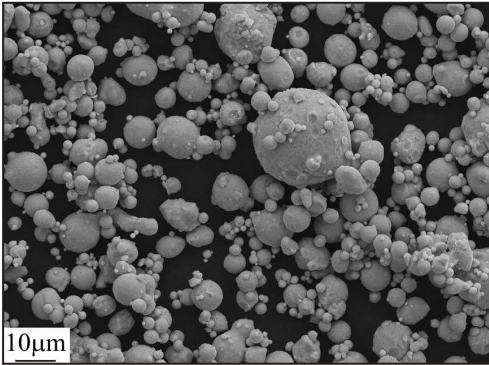
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie wykresu gęstości spiekanych stali szybko tnących w zależności od warunków formowania, temperatury i atmosfery spiekania,
- zestawienie wyników badań struktury oraz składu chemicznego wydzieleni węglkowych w zależności od temperatury spiekania,
- dobór zakresu temperatury spiekania i określenie optymalnej temperatury zapewniającej najniższą porowatość, najwyższą gęstość oraz strukturę charakteryzującą się drobnymi wydzieleniami węglków,
- przedstawienie wyników badań wpływu czasu i temperatury austenitowania na wielkość ziarna austenitu pierwotnego oraz udział węglków pierwotnych,
- sporządzenie wykresu twardości w zależności od temperatury austenitowania oraz temperatury odpuszczania,
- dobór na podstawie sporządzonych wykresów, warunków obróbki cieplnej zapewniającej maksymalny efekt twardości wtórnej stali szybko tnących,
- porównanie wyników badań wytrzymałości na zginanie wytworzonych i obrobionych cieplnie stali ze stalami prasowanymi izostaticznie na gorąco,
- zestawienie wyników badań uzyskanych przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego oraz przedstawienie wyników badań udziału austenitu szczątkowego w zależności od sposobu formowania proszku, warunków spiekania i obróbki cieplnej,
- przedstawienie wyników badań cienkich folii w mikroskopie transmisyjnym, rozwiązanie dyfrakcji elektronowych i określenie zależności krystalograficznych pomiędzy austenitem i martenzytem oraz martenzytem odpuszczonym i wydzielonymi węglkami,
- zestawienie wyników badań odporności na zużycie tarciove przeprowadzonych metodą „pin-on-plate”.

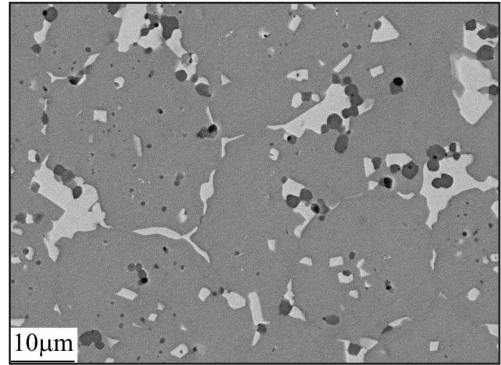
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- ocenę wpływu metody formowania proszków na zakres temperatury spiekania zapewniającej wysoką gęstość i drobnoziarnistą strukturę stali HS6-5-2 i HS12-1-5-5,
- wyjaśnienie wpływu metod formowania proszków, warunków spiekania i obróbki cieplnej na efekt twardości wtórnej wytworzonych stali szybko tnących,
- porównanie struktury i własności wytworzonych stali ze stalami spiekanyimi metodą izostaticznego prasowania na gorąco oraz klasycznie odlewanymi i obrobionymi plastycznie,
- wyjaśnienie wpływu metody wytwarzania na udział austenitu szczątkowego w stalach szybko tnących po hartowaniu.

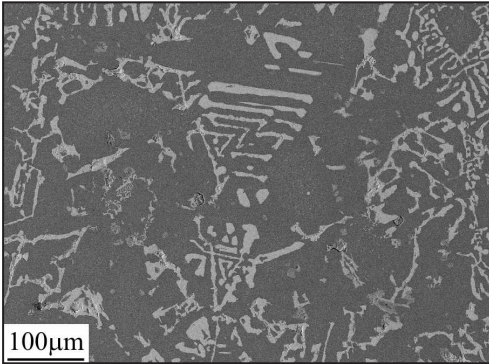
ZESTAW RYSUNKÓW



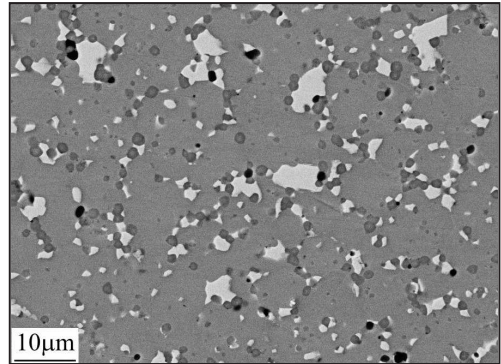
Rys. 1. Proszek stali szybko tnącej HS6-5-2 rozpylany gazem



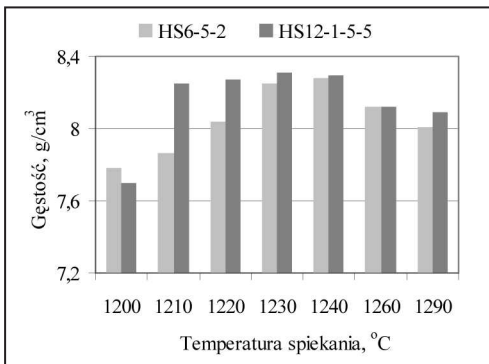
Rys. 2. Struktura stali HS6-5-2 wytwarzanej metodą formowania wtryskowego i spiekanej w temperaturze 1260°C



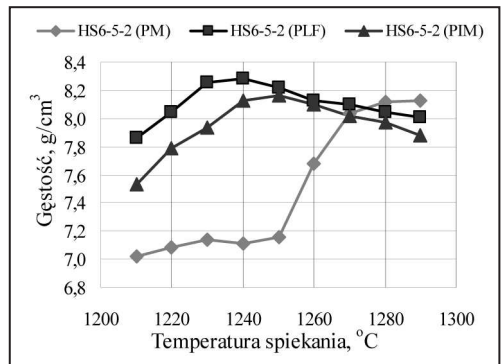
Rys. 3. Struktura stali HS6-5-2 wytwarzanej przez formowanie wtryskowe proszku i spiekanej w temperaturze 1300°C



Rys. 4. Struktura stali HS12-1-5-5 wytwarzanej przez formowanie wtryskowe proszku i spiekanej w temperaturze 1260°C



Rys. 5. Wpływ temperatury spiekania na gęstość stali HS6-5-2 i HS12-1-5-5 formowanej beczniśnieniowo



Rys. 6. Wpływ metody formowania proszków i temperatury spiekania na gęstość stali HS6-5-2 spiekanej w atmosferze azot-wodór



STRUKTURA I WŁASNOŚCI SPIEKANYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zaznajomienie się z metodami wytwarzania materiałów kompozytowych, możliwościami obniżenia kosztów ekonomicznych związanych z ich zastosowaniem oraz sposobami recyklingu tych materiałów,
- zapoznanie się z możliwościami zastosowań materiałów kompozytowych wytworzonych przez infiltrację szkieletów oraz przez mechaniczne stopowanie i następujące po tym wyciskanie lub spiekanie i porównanie ich do klasycznych materiałów o jednorodnej strukturze,
- zapoznanie się z metodami infiltracji ciśnieniowej porowatych szkieletów ceramicznych stopami metali lekkich,
- określenie wpływu środków porotwórczych oraz ich udziału na kształt i wielkości porów szkieletu przeznaczonego do infiltracji ciekłymi stopami metali lekkich,
- wyjaśnienie wpływu wielkości cząstek, ich kształtu oraz warunków prasowania i spiekania na własności mechaniczne i porowatość szkieletu,
- zaznajomienie się z metodami pokrywania powierzchni porowatych kształtek i ich wpływem na wzrost zwilżalności oraz pojęciem i sposobem wyznaczania kąta zwilżania,
- zaznajomienie się z metodą mechanicznego stopowania materiałów plastycznych twardymi cząstkami ceramicznymi w młynkach kulowych,
- zapoznanie się z rodzajami młynków stosowanych do mechanicznego stopowania,
- określenie wpływu warunków mechanicznego stopowania na strukturę i kształt cząstek,
- określenie wpływu mechanicznego stopowania i wyciskania lub spiekania na własności opracowanych materiałów kompozytowych.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody wytwarzania kompozytów przez infiltrację porowatych kształtek oraz mechaniczne stopowanie i spiekanie lub wyciskanie, ich strukturę i własności, a także typowe zastosowania wytworzonych kompozytów,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,

- mikroskop materiałograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym i komputerem z odpowiednim oprogramowaniem do analizy obrazu,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- młynek planetarny Pulverisette 5 firmy Fritsch z systemem GTM do kontroli temperatury i ciśnienia w zbiorniku oraz zestaw metalowych i ceramicznych kulek mielących do mielenia proszków i mechanicznego stopowania,
- prasę hydrauliczną LabEcon 600 firmy Fontijne Grotnes wraz z prasownikiem do formowania szkieletów oraz matrycą do wyciskania profili kształtowych,
- zestaw proszków do mechanicznej syntezy, wytwarzania szkieletów, środków porotwórczych i poślizgowych oraz metali i stopów metali infiltrujących,
- stanowisko do nasycania struktur porowatych MK-1 w zakresie temperatury do 1100°C oraz ciśnienia do 4 MPa, a także piec komorowy z możliwością zastosowania atmosfery ochronnej do infiltracji bezciśnieniowej lub spiekania,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby trójpunktowego zginania.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- dobór proszków przeznaczonych do mechanicznego stopowania oraz rodzaju i udziału cząstek wzmacniających,
- wytworzenie proszków kompozytowych przez mechaniczne stopowanie, stosując różne warunki mielenia, w szczególności czas, prędkość obrotową młynka, stopień wypełnienia komory mielącej oraz stosunek masy proszku do masy kulek mielących,
- przygotowanie w mieszalniku turbulentnym mieszanek proszków kompozytowych z dodatkiem środków poślizgowych oraz proszków z dodatkiem środków porotwórczych,
- prasowanie mieszanek proszków w prasie hydraulicznej w celu wytworzenia kształtek przeznaczonych do wyciskania, spiekania lub infiltracji,
- wytwarzanie szkieletów z wyprasek przeznaczonych do infiltracji przez cieplne usuwanie środków porotwórczych i poślizgowych,
- wykonanie infiltracji ciśnieniowej i bezciśnieniowej porowatych szkieletów,
- wyciskanie profili kształtowych z proszków mechanicznie stopowanych w prasie hydraulicznej, przy różnej temperaturze formy lub alternatywnie spiekanie wytworzonych wyprasek w różnej temperaturze i atmosferze ochronnej,
- wykonanie zgładów materiałograficznych oraz obserwacja struktury wytworzonych materiałów kompozytowych i pomiar udziału porów w zależności od zadanego ciśnienia infiltracji,

- pomiar wielkości cząstek wzmacniających materiał kompozytowy w zależności od czasu mielenia, prędkości obrotowej młynków, stopnia wypełnienia komory mielącej, stosunku masy proszku do masy kulek mielących oraz temperatury i prędkości wyciskania,
- obserwacja powierzchni bocznej profili kształtowych w zależności od warunków wyciskania oraz badanie wytrzymałości na rozciąganie opracowanych materiałów,
- pomiar twardości wytworzonych kompozytów w zależności od metody i warunków wytwarzania oraz pomiar mikrotwardości faz wzmacniających ich osnowę,
- analizę składu fazowego uzyskanych kompozytów metodą dyfrakcji rentgenowskiej.

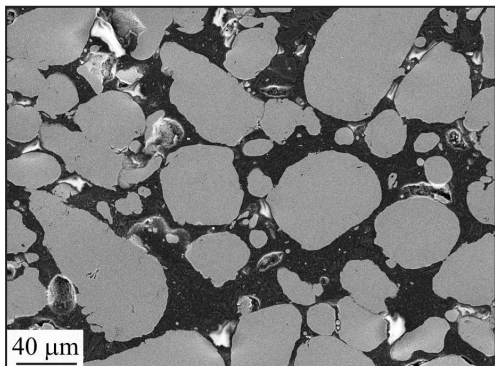
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie obrazów struktury i morfologii proszków mechanicznie stopowanych w zależności od udziału cząstek wzmacniających oraz warunków stopowania,
- sporządzenie wykresu twardości materiałów kompozytowych mechanicznie stopowanych w zależności od czasu mielenia mieszanki proszków dla jednej wybranej prędkości obrotowej oraz udziału cząstek wzmacniających,
- wyjaśnienie mechanizmu umocnienia proszku mechanicznie stopowanego oraz wpływu temperatury wyciskania lub spiekania na własności gotowego kompozytu,
- ocenę wpływu wielkości cząstek wzmacniających na mikrotwardość mechanicznie stopowanego proszku kompozytowego,
- przedstawienie wyników badań wytrzymałości na rozciąganie wyciskanych profili kształtowych lub spiekanych wyprasek w zależności od warunków wytwarzania,
- zestawienie obrazów struktury materiałów infiltrowanych w zależności od warunków wytwarzania, tj. udziału środków porotwórczych, ich kształtu i wielkości, środków zwiększających zwilżalność szkieletu, ciśnienia i temperatury infiltracji,
- przedstawienie dyfraktogramów rentgenowskich dla wytworzonych przez mechaniczne stopowanie i wyciskanie lub spiekanie materiałów kompozytowych.

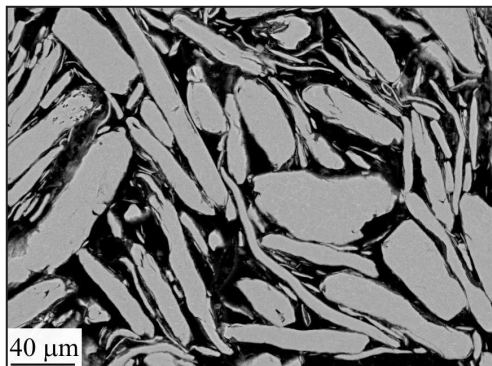
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- sporządzenie wniosków końcowych z wykonanych badań materiałów kompozytowych i dobór warunków wytwarzania, zapewniających najlepszą wytrzymałość na zginanie oraz twardość,
- dobór warunków stopowania mechanicznego zapewniających najlepsze własności proszków oraz wytworzonych z nich kompozytów przy możliwie krótkim czasie mielenia,
- prognozę zastosowań wytworzonych materiałów kompozytowych oraz możliwości ich recyklingu.

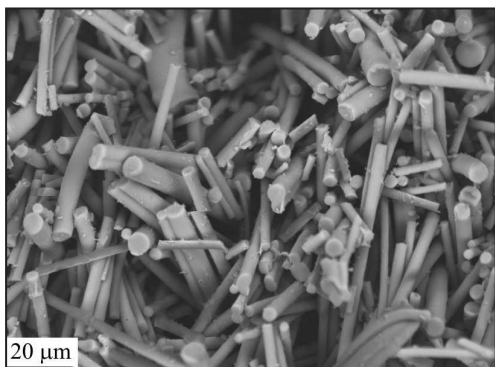
ZESTAW RYSUNKÓW



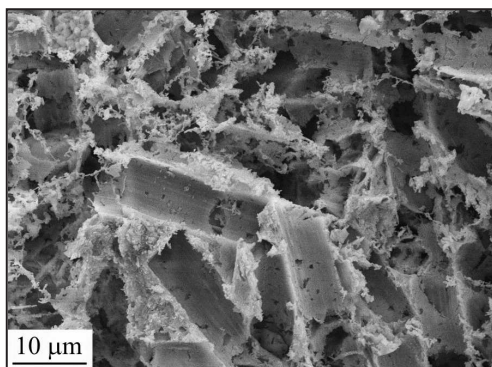
Rys. 1. Proszek stopu aluminium zastosowany do mechanicznej syntezy



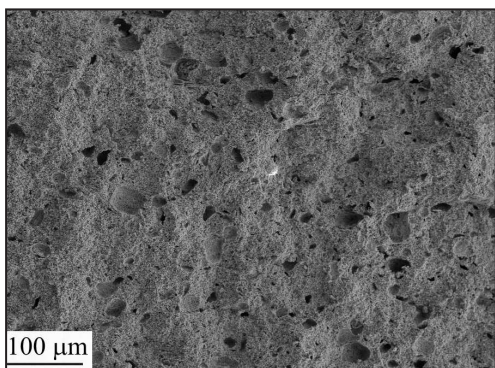
Rys. 2. Proszek stopu aluminium z rysunku 1, mielony przez 10 h



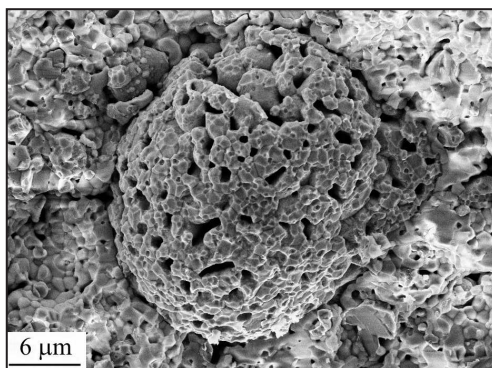
Rys. 3. Struktura przelomu komercyjnego szkieletu ceramicznego wytworzonego z włókien Al_2O_3



Rys. 4. Struktura przelomu szkieletu Al_2O_3 , w którym zastosowano włókna węglowe jako środek porotwórczy



Rys. 5. Struktura przelomu anody paliwowej YSZ-Ni po spiekaniu i redukcji NiO w temperaturze odpowiednio 1350 i 700°C



Rys. 6. Granula cząstek NiO po spiekaniu i redukcji w atmosferze azot-wodór (powiększenie wybranego obszaru z rys. 5)