

przez *Mc Donell Douglas*. Oprócz przemysłu lotniczego, kompozyty te znalazły zastosowanie w nowoczesnych robotach przemysłowych, jako elementy sprzętu medycznego oraz w elektronice.

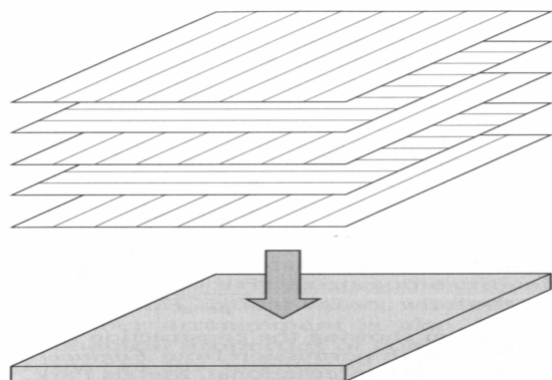
Kompozyty na osnowie aluminium umacniane włóknami ciągłymi boru znalazły zastosowanie w jako rozprórki części ładunkowej wahadłowców, natomiast wysięgniki antenowe teleskopu Hubble'a wykonano z kompozytu na osnowie aluminium umocnionego ciągłymi włóknami grafitowymi. Wspólna cecha wymienionych wyżej kompozytów jest zminimalizowana rozszerzalność cieplna.

Głównym odbiorcą kompozytów o osnowie metalowej umacnianych włóknami pozostaje przemysł motoryzacyjny. Honda produkuje korbówki aluminiowe umacniane włóknami stalowymi, które są znacznie tańsze od włókien ceramicznych, np. węglowych czy też Al_2O_3 . Japońskie firmy prowadzą obecnie szerokie prace nad upowszechnieniem kompozytów na osnowie aluminium umacnianych włóknami ciągłymi i krótkimi.

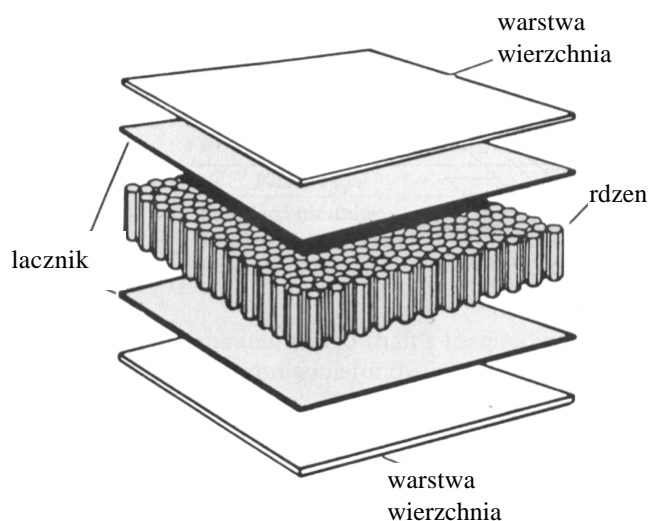
7.4. Kompozyty strukturalne – laminaty i płyty warstwowe

7.4.1. Laminaty

Są to kompozyty złożone z dwóch rodzajów warstw odznaczających się ukierunkowaniem własności. Warstwy te są nakładane na przemian i łączone. Schemat laminatu z ułożonych na przemian warstw kompozytów polimerowych umacnianych włóknami przedstawia schemat rysunek 70.



Rysunek 70. Schemat wytwarzania laminatów



Rysunek 71. Schemat kompozytu z rdzeniem w postaci „plastra miodu”

Laminaty mogą być produkowane z wykorzystaniem tkanin bawełnianych, papieru, tkanin z włókien szklanych wypełnionych osnową polimerową. Dzięki zastosowaniu na przemian ułożonych warstw o zorientowanych własnościach, uzyskuje się dobre własności laminatu w różnych kierunkach, w przeciwieństwie do poszczególnych elementów stosowanych osobno. Typowym przykładem laminatu jest narta, składająca się z wielu warstw, które spełniają różne funkcje, a po ich połączeniu uzyskuje się znakomite własności użytkowe. Laminatem jest także deska surfingowa.

7.4.2. Kompozyty wielowarstwowe (sandwich panels)

Są to kompozyty strukturalne zbudowane w ten sposób, że zewnętrzne warstwy stanowią o wytrzymałości kompozytu, a we wnętrzu znajdują się warstwy o mniejszej sztywności i wytrzymałości i mniej sztywne w stosunku do warstw zewnętrznych. Przykładem kompozytu wielowarstwowego jest kompozyt z rdzeniem w postaci „plastra miodu”, schematycznie przedstawiony na rysunku 71.

Typowymi materiałami na warstwy zewnętrzne są kompozyty na osnowie aluminium, kompozyty na osnowie polimerowej umacniane włóknami, sklejka lub stal. Rdzeń spełnia dwie podstawowe funkcje - oddziela warstwy zewnętrzne oraz przeciwstawia się obciążeniom prostopadłym. Jako rdzeń stosuje się często drewno balsa, pianki polimerowe, gumę syntetyczną. Kompozyty takie znajdują zastosowanie na

pokrycia dachowe, drzwi, sciany budynków, na skrzydła, kadłuby i stateczniki poziome lekkich samolotów.

7.5. Ocena wytrzymałości połączenia między włóknem i osnowa

Wytrzymałość połączenia na granicy włókno-osnowa zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to: własności fizyczne, chemiczne mechaniczne łączonych materiałów, technologie otrzymywania danego kompozytu oraz warunki jego eksploatacji. Można wyróżnić następujące połączenie na granicach rozdziału:

1. mechaniczne — komponenty zazebiają się na nierównościach, bez wzajemnego oddziaływania chemicznego. Obciążenie przenoszone jest jedynie wzdłuż zbrojenia;
2. połączenie ze zwilżaniem i rozpuszczaniem wzajemnym. Warunkiem uzyskania połączenia jest wzajemna zwilżalność komponentów. Ten rodzaj połączenia występuje w procesach łączenia kompozytów metodami przeróbki plastycznej;
3. połączenie z reakcją wzajemną komponentów. Dyfuzja atomów osnowy i zbrojenia prowadzi do utworzenia warstwy związku międzymetalicznego. Przykładem może być reakcja osnowy tytanowej ze zbrojeniem w postaci włókien boru (106):



4. połączenie z udziałem reakcji wymiany. Reakcja towarzysząca temu połączeniu może być przedstawiona jako dwie kolejne reakcje np. reakcja stopu aluminium i tytanu ze zbrojeniem, które stanowią włókna boru. W wyniku utworzenia dwuborku tytanowo-aluminiowego następuje wymiana między atomami osnowy tytanowej, aluminium i dwuborku. Aluminium wypierane z dwuborku spychane jest do osnowy wzbogacając roztwór stały w pobliżu włókien;
5. połączenie tlenkowe — występuje w kompozytach zbrojonych włóknami tlenków lub w kompozytach metalowych, gdy komponenty pokryte są cienką warstwą trwałych blonk tlenkowych np. Al—włókna stalowe, Al—włókna borowe i Al.-SiC;
6. połączenie mieszane — stanowi mieszaninę wyżej wymienionych połączeń.

Część wymienionych połączeń spotkać można jedynie w kompozytach metalowych, gdyż w kompozytach polimerowych bardzo trudno jest analizować obszar graniczny.

Pomiar wytrzymałości połączenia komponentów może być wykorzystany przy ustalaniu optymalnych parametrów procesu technologicznego oraz przy ustalaniu długości krytycznej włókien zbrojących. Aby włókna zbrojące przejmowały obciążenia przekazywane przez osnowę muszą posiadać długość wyższą od krytycznej, l_{kr} . Możemy je wyliczyć ze wzoru (107):

$$l_{kr} = \frac{s_w d_w}{2t_p} \quad (107)$$

gdzie: s_w - wytrzymałość włókien, d_w - średnica włókien, t_p - naprężenie styczne na powierzchni rozdziału odpowiadające w swojej krytycznej wielkości wytrzymałości na scinanie połączenia komponentów

Podczas obciążenia próbki siła rozciągająca następuje albo wycisnienie włókna albo jego zerwanie, w zależności od długości utwierdzenia w osnowie (h , H). Uzyskane wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej pozwalają ustalić długość krytyczną włókna. Służą one również do oceny wpływu poszczególnych parametrów technologii wytwarzania kompozytu na jakość uzyskiwanego połączenia, czy też przydatności materiału do pracy w podwyższonych temperaturach.

7.6. Badania własności mechanicznych materiałów kompozytowych

Badania własności mechanicznych materiałów kompozytowych nie są dotąd objęte normami. Zaleca się jedynie, aby podczas wykonywania badań korzystać z norm dla materiału osnowy, czyli metali, tworzyw sztucznych lub ceramiki.

Wyniki otrzymane podczas badań materiałów kompozytowych można wykorzystać do:

- oceny jakości materiału przy projektowaniu konkretnych konstrukcji,

- weryfikowania hipotez wytezeniowych,
- kontroli jakości materiałów.

Oprócz szczegółowych zaleceń związanych ze sposobem realizacji poszczególnych grup istnieje również szereg wytycznych ogólnych, które winny być przestrzegane niezależnie od tego, jakiej próbie poddawany jest materiał. Należą do nich:

7.6.1. Szybkość i sposób obciążania próbki

Oba te czynniki mogą w istotny sposób wpłynąć na wyniki badań wielkości fizycznych. Muszą być zatem bardzo dokładnie kontrolowane i rejestrowane. Ponieważ czułość różnych grup materiałów na szybkość obciążenia jest różna, należy każdorazowo określać granice zmian dające wyniki wolne od wpływu szybkości. Ponadto stwierdzono, że wyniki uzyskiwane przy obciążeniu rosnącym w sposób ciągły mogą znacznie różnić się od wyników uzyskiwanych przy obciążeniu próbki w sposób skokowy.

7.6.2. Efekt skali

Effekt ten w materiałach zbrojonych włóknami ma wyraźnie anizotropowy charakter. Wpływ wymiarów próbki na wytrzymałość uzależniony jest od tego, który z wymiarów jest zmieniany przy zmianie jej objętości. Np. wytrzymałość na rozciąganie w próbkach doraznych obniża się wraz ze wzrostem przekroju poprzecznego próbki. Spadek wytrzymałości obserwuje się również przy zbyt małych grubościach próbek.

7.6.3. Odchylenie włókien od osi obciążenia

Czynnik ten może być przyczyną szczególnie dużych zmian własności wytrzymałościowych kompozytów. Najbardziej wrażliwe są kompozyty zbrojone jednokierunkowo włóknami wysokomodulowymi.

7.6.4. Liczba próbek

Badania materiałów kompozytowych wymagają często dużo większej liczby próbek niż jest to wymagane dla materiałów jednorodnych. Wykorzystując rozkład t-Studenta do obliczenia niezbędnej ilości próbek można posłużyć się zależnością (108):

$$n \geq \frac{t^2 V_x^2}{g^2} \quad (108)$$

gdzie: t - wartość zmiennej losowej odczytana z tablic rozkładu t dla poziomu ufności $1 - \alpha$ i dla ilości stopni swobody $k = n - 1$,
 V_x - współczynnik zmienności rozkładu, g - względny błąd szacowanej cechy.

7.6.5. Statyczna próba rozciągania

Próba statycznego rozciągania zaliczana jest do podstawowych prób w zakresie badania materiałów, w tym także kompozytowych. Główną trudność badania na rozciąganie kompozytów włóknistych to problem uzyskania jednorodnego naprężenia na całej długości bazy pomiarowej. Podczas próby rozciągania należy również zwrócić uwagę, iż podczas badania stale sprężystości materiału mogą się zmieniać oraz, że zniszczenie może rozpoczynać się już przy niewielkich obciążeniach.

Naprężenia i odkształcenia określa się w roboczej części próbki, w której dzięki wybraniu odpowiedniego jej kształtu i wymiarów uzyskuje się jednorodny stan naprężenia. Na roboczej części próbki określa się bazę pomiarową l , w granicach której wykonuje się wszystkie pomiary. Naprężenia działające w przekroju poprzecznym rozciąganej próbki określić można z zależności (109):

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (109)$$

gdzie: F - siła rozciągająca próbkę, S - pole przekroju poprzecznego próbki

Odształcenia względne: wzdłużne ε_w i poprzeczne ε_p wyznaczyć należy na podstawie danych uzyskanych z pomiarów odształcen próbki przy pomocy ekstensometrów lub tensometrów, korzystając z zależności (110):

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (110)$$

gdzie: Δl – bezwzględna zmiana bazy pomiarowej, l_o – długość bazy pomiarowej przed obciążeniem

7.6.6. Próba sciskania

Podstawowa trudnością przy realizacji próby sciskania dla kompozytów jest uzyskanie jednorodnego stanu naprężeń na całej długości roboczej części próbki i dokładne ustalenie początku zniszczenia.

Zniszczenie próbki pod działaniem obciążenia przyłożonego na jej końcach może nastąpić w wyniku utraty wytrzymałości lub stateczności. Wytrzymałość na sciskanie określana jest jako stosunek obciążenia niszczącego do powierzchni przekroju. Stwierdzono, że stosowanie próbek o przekroju kołowym daje mniejszy rozrzut wyników niż przy próbkach o przekroju prostokątnym. Większość norm zaleca stosowanie do badań na sciskanie próbek cylindrycznych o średnicy 10-15 mm i wysokości 15-55 mm.

7.6.7. Badania na scinanie

W wielu elementach konstrukcyjnych, w szczególności kompozytach, nawet małe naprężenia tnące są przyczyną utraty zdolności nosnych, dlatego tak ważne jest określenie wytrzymałości na scinanie. Jedną z głównych trudności przy określaniu tej własności jest uzyskanie w próbce czystego scinania. W chwili obecnej brak jest norm dotyczących zarówno realizacji próby jak i wymiarów próbek. Moduł scinania i wytrzymałości na scinanie określić można na próbkach w postaci rur cienkościennych, pretów i płytek.

7.6.8. Próba zginania

W próbie tej można wyznaczyć takie wielkości jak: wytrzymałość na zginanie R_g , wytrzymałość na scinanie R_t , oraz moduły sprężystości E i G .

Do badań stosuje się próbki o przekroju prostokątnym, których wymiary są różne w różnych normach. Według norm GOST zalecane są próbki o szerokości $b = 10$ mm, $h = 4$ mm; odległość między podporami wynosić powinna $l = 16h \pm 0,5$ mm. W normach ASTM jest podany przedział wymiarów $h = 0,8 \div 25,4$ mm przy stosunku $l/h = 16:32$ i 40. Wytrzymałość na zginanie wyznacza się z zależności (111), a wytrzymałość na scinanie międzywarstwowe z wzoru (112):

$$R_g = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (111)$$

$$R_t = \frac{3F}{4bh} \quad (112)$$

gdzie: R_g - wytrzymałość na zginanie, R_t - wytrzymałość na scinanie, F – siła gnąca (scinająca), b – szerokość próbki, h – wysokość próbki

Na skutek bardzo dużej zależności wartości mierzonych stałych materiałów od warunków pomiaru, wielkości użytych próbek i stopnia anizotropii badanego materiału próba zginania stosowana jest w zasadzie jako porównawcza.

7.6.9. Badania udarnosci

Przy bardzo duzej szybkości obciążania rośnie również szybkość odkształcen materialu, czemu towarzyszy zmiana wytrzymałości. W procesie dynamicznego niszczenia próbki można wyróżnić 2 etapy: pierwszy - charakteryzujący się sprężystym zachowaniem materialu oraz drugi, w którym następuje szybki rozwój pęknięcia z towarzyszącym mu spadkiem obciążenia.

Istnieją różne sposoby obciążania próbek w badaniach udarności materialów kompozytowych. Przy obciążaniu pionowym na płaską próbkę spada z pewnej wysokości element o kształcie sferycznym. Przy obciążeniu bocznym - stosuje się młot wahadłowy w próbie Charpy'ego lub Izoda. W metodzie Charpy'ego określa się udarność z zależności (113):

$$U = \frac{L}{bh} \quad (113)$$

gdzie: U – udarność, L - praca włożona w zniszczenie próbki, b , h - szerokość i wysokość próbki

Wymiary próbek, karbu oraz sposób obciążania dobiera się z norm dla metali lub tworzyw sztucznych w zależności od materialu, który stanowi podstawę kompozytu.

7.6.10. Pomiary mikrotwardosci

Badania twardości pod bardzo małymi obciążeniami tak, że okiem nieuzbrojonym nie można zobaczyć wykonanych odcisków nazywamy mikrotwardością. W zależności od sposobu działania wgnętnika możemy odróżnić mikrotwardość wyznaczoną metodą rysową oraz wciskania.

Metoda rysowa polega na rysowaniu wgnętnikiem badanej powierzchni. Stożek diamentowy o kacie rozwarcia 90° jest najpierw wgniatany a potem przesuwany po zglądzie metalograficznym. Cechą charakterystyczną tej metody jest to, że wynik nie zależy od stopnia zgniotu badanej powierzchni i co najważniejsze, jest on rzeczywistą wytrzymałością materialu na rozciąganie.

Metoda wciskania wgnętnika (najbardziej rozpowszechniona) polega na wciskaniu statycznym diamentowych wgnętników. W zależności od kształtu wgnętnika odróżnia się pomiary Knoopa i Vickersa. Metoda Knoopa polega na statycznym wciskaniu diamentowego ostrosłupa o podstawie rombu w wypolerowaną powierzchnię próbki. Twardość w tej metodzie liczymy ze wzoru (114):

$$HK = 14,228 \frac{P}{l} \quad (114)$$

gdzie: P – nacisk w kG , l – długość większej przekątnej w mm

Metoda Vickersa polega na wciskaniu diamentowego ostrosłupa o kacie wierzchołkowym 136° w płaską, wypolerowaną powierzchnię zglądu. Twardość liczymy ze wzoru (115):

$$HV = 1854,4 \frac{P}{a^2} \quad (115)$$

gdzie: P – obciążenie w G , a – przekątna odcisku w m

Zwykle wykonuje się 3 odciski z badanego miejsca i wylicza średnią arytmetyczną.

Dodając pewną stałą c (zależna od rodzaju materialu) otrzymamy HV_{kor} , czyli korygowaną mikrotwardość, aby uniezależnić wynik pomiaru od wielkości nakładanego obciążenia. I tak np. dla stali wyważonej $c=0$, stali hartowanej $c=1,5\mu m$. Dla Cu współczynnik c wynosi $1\div 4\mu m$ (zależnie od gatunku), dla mosiadzu $c=1\div 3\mu m$, a dla Al - $c=4\mu m$.

Na dokładność pomiaru mikrotwardości wpływa wiele czynników, z których najważniejsze to: kształt ostrosłupa diamentowego oraz dokładność pomiaru przekątnej.

Najczęściej stosowane mikrotwardościomierze to: Lipsa, Hanemanna, Bergsmanna oraz Chruszczo-wa.

7.7. Przebieg ćwiczenia

7.7.1. Wytwarzanie kompozytów metoda metalurgii proszków

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobami wytwarzania kompozytów umacnianych włóknami metoda metalurgii proszków oraz przeprowadzenie doświadczeń w zakresie wytwarzania kompozytów sposobem prasowania i spiekania mieszanek proszków i włókien.

Wykonanie ćwiczenia polega na:

1. Przygotowaniu pięciu odważek proszku miedzi o masie 6 g każda.
2. Przygotowaniu włókiem stalowych lub wolframowych i węglowych, które należy pociąć na odcinki 10 mm.
3. Przygotować następujące mieszanki proszków z włóknami:
 - - 6 g proszku miedzi + 0,6 g włókien stalowych lub wolframowych,
 - - 6 g proszku miedzi + 0,06g włókien węglowych + 3 krople gliceryny.
4. Z wyżej wymienionych mieszanek i samego proszku miedzi sprasować kształtki stosując ciśnienie 300 MPa.
5. Uzyskane wypraski spiekac: w temperaturze 800°C przez 1 godzinę w atmosferze azotu, stosując zasypkę zawierająca grafit.
6. Oznaczyć gęstość uzyskanych materiałów.
7. Spieczoną kształtkę prasować ponownie pod ciśnieniem 500 MPa i spiekac w temperaturze 800°C. Oznaczyć gęstość doprasowanych kompozytów

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać: przebieg ćwiczenia, opracowanie wyników badań oraz omówienie wyników badań i wnioski.

7.7.2. Wytwarzanie kompozytów metoda infiltracji

Celem ćwiczenia jest wytwarzanie kompozytów wzmocnionych włóknami metoda infiltracji lub zalania oraz zapoznanie się z całokształtem zjawisk występujących na granicy włókno – osnowa. Wykonanie ćwiczenia polega na:

1. Przygotowaniu 40 włókien wolframowych o średnicy 0,8 mm i długości ok. 40 mm.
2. Złożeniu grafitowej matrycy oraz umieszczenie w niej włókien wolframowych.
3. Odważeniu 8 g proszku stopu lub metalu nasycającego i sprasowaniu go w matrycy o średnicy 15 mm pod naciskiem 8 Ton.
4. Umieszczeniu wypraski w lejku matrycy i włożeniu całego zestawu do pieca.
5. Przeprowadzenie procesu nasycania włókien wolframowych stopem lub proszkiem nasycającym w temperaturze 1200°C w czasie 10 minut w atmosferze wodoru.

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać: przebieg ćwiczenia, opracowanie wyników badań oraz omówienie wyników badań i wnioski.

7.7.3. Badanie własności wytrzymałościowych kompozytów

1. Na maszynie wytrzymałościowej przeprowadzić próbe wytrzymałości na zginanie próbek prostopadłościennych wykonanych z kompozytów wzmacnianych włóknami.
2. Wykonać pomiary mikrotwardości włókien zbrojących oraz osnowy w dwóch wybranych kompozytach.
3. Zebrać uzyskane wyniki i przeprowadzić ich analizę.
4. Sprawozdanie powinno zawierać, oprócz zestawienia wyników, ich omówienie i wnioski.

8. Spis literatury

1. Missol W.: „*Spiekane czesci maszyn*”. Wydawnictwo Slask. Katowice. 1978.
2. Shatt W., Wieters K-P.: „*Powder Metallurgy. Processing and Materials*”. European Powder Metallurgy Association, 1997, First published in Germany by VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf. 1994.
3. Cias A., Frydrych H., Pieczonka T.: „*Zarys metalurgii proszków*”. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa. 1992.
4. Balszin M. Ju.: „*Naucnyje osnovy poroszkovoj mietallurgii i metallurgii wolokna*”. Metallurgija. Moskva. 1972.
5. Lis J., Pampuch R.: „*Spiekanie*”. Wydawnictwo AGH. Karków. 2000.
6. Lenel F. V.: „*Powder metallurgy. Principles and Applications*”. Metal Powder Industries Federation. Princeton. New Jersey. 1980.
7. Missol W.: „*Energia powierzchni rozdzialu faz w metalach*”. Wydawnictwo Slask. Katowice. 1975.
8. Kieback B. F.: *Materialy konferencyjne Powder Metallurgy Summer School, on the „Design and Capabilities of PM Components”*. European Powder Metallurgy Association, Meissen Germany, May 1998.
9. Moon H., Choi Y. M., Lee K. M., Suk M. J.: *Powder Metallurgy*, 36 (1993) 3, 207-212.
10. Bukat A., Rutkowski W.: „*Teoretyczne podstawy procesów spiekania*”. Wydawnictwo Slask. Katowice. 1974.
11. Cias A.: „*Analiza procesu spiekania oraz struktury i wlasnosci mechanicznych spiekanych stali fosforowych*” Praca doktorska. AGH. Kraków. 1982.
12. German R. M.: *Journals of Metals*, August 1986, 26-29.
13. Eremienko W. N., Najdic J. W., Lawrinienko A.: „*Spiekanie w prisudstwie židkoj mietalliceskoj fazy*”. Naukowa Dumka. Kijew. 1968.
14. Lezanski J.: „*Niekonwencjonalne metody wytwarzania spieków w metalurgii proszków*”, *Metallurgia Proszków*, 2 (1992), 54-66.
15. Šalák A.: *Powder Metallurgy International*, 12 (1980) 1, 28-31.
16. Materiały reklamowe - „Kanthal”, <http://www.kanthal.se>.
17. Šalák A.: *Powder Metallurgy International*, 18 (1986) 4, 266-270.
18. Mosca E.: *Sintering, Theory and Practice. Short intensive course*. European Powder Metallurgy Association, Torino, Italy, October, 1996, 29-56.
19. Šalák A.: *The International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology*, 16 (1980) 4, 369-379.
20. Lawley A.: *Journal of Materials*, 42 (1990) 4, 12-14.
21. German R. M.: „*Powder metallurgy science*”. Metal Powder Industries Federation. Princeton. New Jersey. First published in 1984.
22. Bowe D. J., Berger K. R., Marsden J. G., Garg D.: *The International Journal of Powder Metallurgy*, 31 (1995) 1, 29-34.
23. Mitchell S. C., Wronski A. S., Cias A., Stoytchev M.: *Materialy konferencyjne PM²TECH on the „Advances in Powder Metallurgy and particulate materials”*, Vancouver, New Jersey, Metal Powder Industries Federation, 3 (1999), 7-129÷7-144.
24. Cias A., Sulowski M., Mitchell S. C., Wronski A. S.: *Materialy konferencyjne PM2001 Powder Metallurgy Congress and Exhibitions*, European Powder Metallurgy Association, Nice, France, 22-24.10.2001, v. 4, 246.
25. Mitchell S. C., Wronski A. S., Cias A.: *Materialy konferencyjne XVIth Physical Metallurgy and Materials Science Conference*, Gdansk– Jurata, Inżynieria Materialowa, v. 5 (124) Rok XXII, Wrzesień – Pazdziernik 2001, 633-646.
26. Wronski A. S., Cias A., Barczy P., Stoytchev M. i in.: „*Tough, fatigue and wear resistance sintered gear wheels*”. Final Report on EU Copernicus Contract no ERB CIPA-CT94-0108, European Commission, 1998.
27. Sulowski M., Cias A.: *Materialy konferencyjne XVth Physical Metallurgy and Materials Science Conference*, Kraków – Krynica, Inżynieria Materialowa, v. 4 (105), Lipiec -- Sierpień 1998, 1179-1182.

28. Sulowski M., Cias A.: *Konferencja Naukowo – Techniczna n.t.: „Nowe materiały – Nowe Technologie Materialowe w Przemysle Okretowym i Maszynowym”*, Szczecin - Swinoujscie, 10-13.09.1998, v. I, 235-240.
29. Cias A., Mitchell S. C., Wronski A. S.: *Materialy konferencyjne 1998 Powder Metallurgy World Congress*, European Powder Metallurgy Association, Granada, Hiszpania, 1998, vol. 3, 179-184.
30. Cias A., Sulowski M.: *Materialy konferencyjne International Conference DF PM'99 on the „Deformation and Fracture in Structural PM Materials”*, Editors: L. Parilák, H. Danninger, Pieštany, September 19-22. 1999, v. II, 112-117.
31. Cias A., Mitchell S. C., Watts A., Wronski A. S.: *Powder Metallurgy*, 42 (1999) 3, 227-233.
32. Youseffi M., Mitchell S. C., Wronski A. S., Cias A.: *Powder Metallurgy*, 43 (2000), 353-356.
33. Bocchini G. F., Cesari R., Pinasco M. R., Stagno E.: *Materialy konferencyjne Powder Metallurgy Summer School, on the „Design and Capabilities of PM Components”*. European Powder Metallurgy Association, Meissen, Germany, May 1998, 158-175.
34. Navara E.: *Materialy konferencyjne SINTERING'95*, University of Lucea, Sweden, 343-356.
35. Šalak A.: *Powder Metallurgy International*, 12 (1980) 2, 72-75.
36. Romanski A.: *„Optymalizacja składu chemicznego i parametrów wytwarzania spiekanych stali Fe-Mn-Mo-C”*. Praca magisterska. AGH. Kraków. 1996.
37. Wyrozumski J.: *„Wpływ warunków wytwarzania na strukturę i własności spiekanych stali Fe-3%Mn-0,7%C”*. Praca magisterska. AGH. Kraków. 2000.
38. Sulowski M.: *Rudy i Metale Nieżelazne, Metalurgia Proszków*, 45 (2000) 9, 496-502.
39. Sulowski M.: *Rudy i Metale Nieżelazne, Metalurgia Proszków*, 44 (1999) 1, 509-513.
40. Košč E., Dudrová E.: *Materialy konferencyjne International Conference DF PM'99 on the „Deformation and Fracture in Structural PM Materials”*, Editors: L. Parilák, H. Danninger, Pieštany, September 19-22. 1999, v. II, 34-37.