

Izabella HYLA
Maciej RUDA
Stanisław WĘGRZYŃIAK

Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

WPLYW SPOSOBU WYTWARZANIA KOMPOZYTÓW NA WŁASNOŚCI
WŁÓKIEN ZBROJĄCYCH ORAZ CHARAKTER ICH POŁĄCZENIA
Z OSNOWĄ

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań oraz wynikające z nich wnioski odnośnie do rodzaju uzyskiwanego połączenia pomiędzy komponentami w kompozycjach Al - stal; wytwarzanych metodą z ciekłą osnową. Przeanalizowano także wpływ tej metody na własności mechaniczne włókien zbrojących.

1. Wprowadzenie

Kompozyty o osnowie metalicznej mają szerokie potencjalne możliwości zastosowania do pracy w podwyższonych temperaturach. Zakres temperatur eksploatacji i przewidywany czas pracy determinują dobór komponentów. Muszą one bowiem zapewnić stabilne charakterystyki materiałowe przez cały przewidywany czas pracy materiału. W większości opracowań literaturowych stabilność ta wiązana jest ze stabilnością granicy rozdziału faz w kompozycie. Przyjmuje się bowiem, że istotny wpływ na własności materiału finalnego mają zmiany zachodzące w obszarze powierzchni granicznych. Różni się możliwość występowania następujących zjawisk:

- 1 - rozpuszczanie i wydzielanie materiału zbrojenia,
- 2 - wzajemne rozpuszczenie faz składowych kompozytów,
- 3 - reakcje na granicy rozdziału,
- 4 - destrukcja pseudostabilnej granicy rozdziału.

Pierwszy z wymienionych procesów naruszających stabilność granicy rozdziału faz charakteryzuje się tym, że w podwyższonej temperaturze może wystąpić wzrost grubości pewnych włókien zbrojących kosztem innych oraz tworzenie się mostków między nimi. Procesowi temu sprzyja nieregularność kształtu włókien zbrojących. Atomy materiału zbrojenia z włókien cieńszych dyfundują poprzez osnowę do włókien grubszych, przy czym zmiana składu chemicznego i udziału objętościowego faz składowych jest niewielka.

Drugie natomiast zjawisko, polegające na wzajemnym rozpuszczaniu komponentów, może stan ilości zbrojenia znacznie naruszyć. Rozpuszczanie bowiem w osnowie włókien zbrojących prowadzi do utraty części lub nawet całości fazy umacniającej. Zjawisko to może mieć miejsce przy zalewaniu zbrojenia ciekłym metalem lub przy długotrwałym wygrzewaniu otrzymanego kompozytu.

Procesy dyfuzji zachodzą głównie w przypadku osnowy i zbrojenia z materiałów o dużej zdolności wzajemnego rozpuszczania się. Przy częściowym tylko rozpuszczaniu fazy zbrojącej zmianę wymiarów włókien zbrojących rekompensuje w pewnym stopniu powstały na granicy rozdziału roztwór stały, który posiada zwykle znacznie lepsze własności mechaniczne niż osnowa. O wiele bardziej własności kompozytu może obniżyć reakcja na granicy rozdziału prowadząca do powstawania związków międzymetalicznych. Związki te tworzą bowiem na ogół warstewki kruche o grubościach mogących ulegać powiększaniu pod wpływem określonych warunków pracy (obciążenie, temperatura, czas). Reakcji na granicy rozdziału towarzyszą zwykle takie zjawiska, jak zmiana intensywności pola naprężeń własnych, tworzenie się porów oraz utrata przekroju nośnego zbrojenia.

Czwarty z wymienionych uprzednio przypadków niestabilności występuje w kompozytach zwanych pseudostabilnymi. Są to takie materiały, w których procesy wzajemnych oddziaływań są potencjalnie możliwe, ale praktycznie nie zachodzą jedynie dlatego, że włókna zbrojące osnowę, wprowadzane do niej, pokryte są bardzo cienką powłoką filmu tlenkowego (powłoka naturalna, nie nanoszona sztucznie). Najdrobniejsze uszkodzenie tego filmu prowadzi jednakże natychmiast do wzajemnego oddziaływania komponentów w odsłoniętych punktach styku. Przykładem takiego materiału może być kompozyt Al - drut stalowy. Przypuszczalnie pseudostabilność tego kompozytu spowodowała, że dane literaturowe dotyczące reakcji zachodzących na granicy rozdziału jego komponentów często nie są w pełni zbieżne [1, 2, 4]. Obserwowane bowiem zjawiska zachodzące na granicy rozdziału, szczególnie w tej grupie materiałów, pozostają w ścisłym związku z przyjętym do badań modelem i zastosowaną technologią wytwarzania materiału.

Ponieważ dane dotyczące oddziaływania na granicy rozdziału Al - stal, podawane w literaturze, bazują w większości na badaniach powłok aluminiowych nanoszonych na wyroby stalowe lub na badaniach bimetałi, wynikające z nich wnioski nie mogą być w pełni wykorzystywane w odniesieniu do kompozytów. W wyniku kontaktu ciekłego Al (lub jego stopów) z Fe otrzymywano powłoki, w których można wyróżnić warstwy zewnętrzne o składzie kąpieli aluminiowej, pośrednie - przedstawiające sobą związki Al z Fe ($FeAl_3$, Fe_2Al_5) i wreszcie warstwy stałego roztworu Al w Fe. Autorzy przedstawianej pracy podjęli próbę sprawdzenia, w jakim zakresie zjawiska te występują również w materiale kompozytowym o analogicznym zestawie komponentów, a więc Al - drut stalowy, otrzymanym jedną z technologii z ciekłą osnową.

2. Badania własne

Badaniom poddano następujące kompozyty: Al + H25N20S2, Al + D70A, AK11 + H25N20S2 i AK11 + D70A. Dane szczegółowe dla użytych drutów zbrojących zebrano w tabelicy 1.

Tabela 1

Druty zbrojące użyte do wykonania próbek

Lp.	Materiał	Średnica ϕ (mm)	Wytrzymałość na rozciąganie R_m (Pa)	Wydłużenie względne po zerwaniu A_{50} (%)	Stosowane udziały objętościowe (%)
1	H25N20S2	0,40	$1790 \cdot 10^6$	4,3	5; 10; 15; 20;
2	D70A	0,45	$1850 \cdot 10^6$	5,3	5; 10; 15; 20;

Udział objętościowy, dla którego prezentowany jest materiał ilustracyjny (wykresy i zdjęcia).

Z kompozytów tych wykonano próbki w kształcie walców o wymiarach ϕ 10 mm i $l = 110$ mm, posiadających różne udziały objętościowe zbrojenia. Kompozyty wytwarzano metodą infiltracji ciekłego metalu w wiązki drutów zbrojących, zwaną również często metodą odlewania ciśnieniowo-próżniowego.

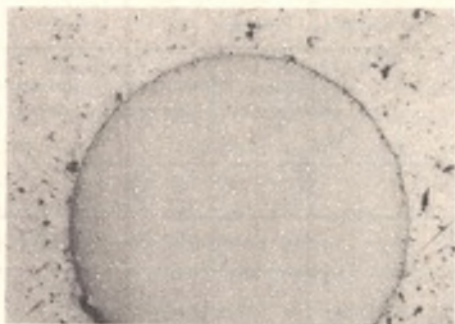
Z uwagi na to, że wzajemne oddziaływanie komponentów zależy w dużym stopniu od temperatury i czasu wzajemnego kontaktu (typu ciecz-ciało stałe), w cyklu technologicznym zastosowano trzy różne temperatury podgrzewania formy: $T_{f1} = 723$ K, $T_{f2} = 773$ K, $T_{f3} = 823$ K, zachowując w każdym przypadku stałą temperaturę ciekłego metalu, wynoszącą $T_m = 1053$ K.

Otrzymane próbki podzielono na trzy grupy:

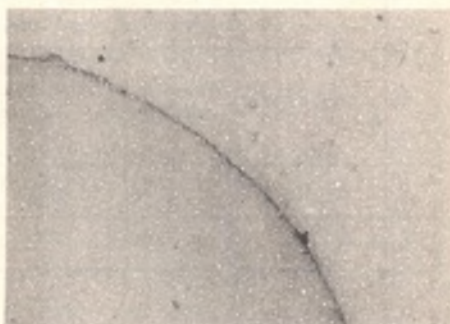
- grupa 1 - próbki nie poddano żadnej obróbce cieplnej po odlaniu,
- grupa 2 - próbki poddano wyżarzaniu w temperaturze 673 K przez okres 96 godzin,
- grupa 3 - próbki poddano wyżarzaniu w temperaturze 673 K przez okres 144 godzin.

Program badań w poszczególnych grupach przewidywał próbę rozciągania zarówno próbek kompozytowych, jak i wyekstrahowanych z nich drutów, badania mikroskopowe umożliwiające ocenę charakteru i dobroci uzyskiwanego połączenia komponentów, a także ewentualne zmiany zachodzące na powierzchni drutów zbrojących, względnie zmniejszanie się ich średnicy.

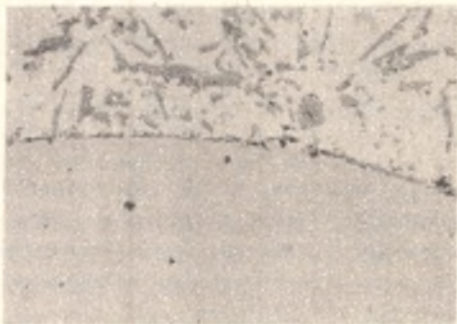
Próbie rozciągania przeprowadzono wg PN-72/H-04316 na maszynie wytrzymałościowej typu ZN-400. Na podstawie wyników uzyskanych z próby rozciągania sporządzono wykresy, których poszczególne punkty pomiarowe reprezentują wartości średnie z pięciu kolejnych pomiarów. Na wykresach nie zaznaczano wartości skrajnych, aby nie zmniejszyć ich czytelności.



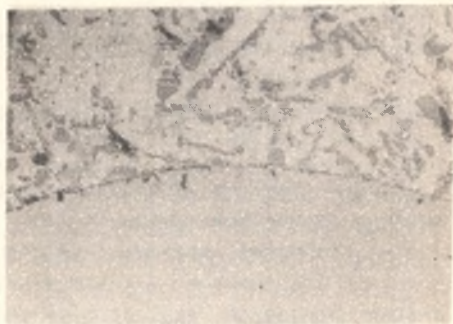
Rys. 1. Zgląd wykonany dla kompozytu Al + D70A poddanego wyżarzaniu w temp. 400°C przez okres 144 h ilustrujący charakter połączenia drutu zbrojącego z osnową. Pow. 100 x



Rys. 2. Fragment granicy rozdziału faz w kompozycie Al + H25N20S2 wyżarzanego w warunkach jak na rys.1. Pow. 500 x



Rys. 3. Połączenie drutów zbrojących z osnową w kompozycie AK11 + D70A po wyżarzaniu próbki w temp. 400°C i 144 h. Pow. 500 x



Rys. 4. Połączenie fazy zbrojącej z osnową w kompozycie AK11 + H25N20S2 po wyżarzaniu próbki w temp. 400°C przez 144 h. Pow. 500 x

Badanie przełomów przeprowadzono na mikroskopie skaningowym firmy JEOL oraz na mikroskopie świetlnym firmy REICHERT. Przykładowe zdjęcia z przeprowadzonych badań mikroskopowych przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3, 4 i 5.

Z uwagi na wymaganą ograniczoną objętość opracowania załączone na rys. 6 i 7 wykresy stanowią również jedynie pewien fragment obszernej dokumentacji uzyskanej w czasie przeprowadzonych badań.

3. Analiza uzyskanych wyników i wnioski końcowe

Po przeprowadzeniu statycznej próby rozciągania poddano badaniom metalograficznym zgłądy przełomów takich próbek, które pomimo identycznego cyklu technologicznego przy wytwarzaniu materiału i identycznego udziału objętościowego drutów zbrojących ($\Psi = 10\%$) wykazywały znaczne różnice własności wytrzymałościowych. Próbki te różniły się między sobą jedynie gatunkiem zastosowanego drutu zbrojącego.

Jak widać z rys. 1, 2, 3 i 4 charakter połączenia pomiędzy komponentami w poszczególnych próbkach jest analogiczny i w żadnym z tych przypadków nie obserwujemy powstawania warstw dyfuzyjnych. Przytoczone zdjęcia wykonano dla próbek otrzymanych przy najdłuższych czasach kontaktu drutów stalowych z ciekłym metalem i najdłuższych czasach wygrzewania próbek (144h, 673 K).



Rys. 5. Przełom próbki z materiału kompozytowego AK11 + 25% D70A po próbie rozciągania. Pow. 30 x

Obserwacje przełomów na mikroskopie skaningowym (rys. 5) potwierdziły dobre połączenie komponentów ze sobą pomimo braku warstw dyfuzyjnych, ponieważ nie zaobserwowano zjawiska wyciągania drutów zbrojących z osnowy. Badania własności mechanicznych materiałów kompozytowych wykazywały jed-

nak, że próbki zbrojone drutami D70A, w przeciwieństwie do próbek zbrojonych drutami H25N20S2, nie osiągają wytrzymałości wynikającej z udziału objętościowego wprowadzonego zbrojenia oraz że własności te w podwyższonych temperaturach ulegają dalszemu znacznemu obniżaniu.

Należy zaznaczyć, że własności wytrzymałościowe użytych do zbrojenia drutów w stanie dostawy nie różniły się między sobą (tablica 1). Druty zbrojące zostały zatem z próbek wyekstrahowane i poddane obserwacjom pod mikroskopem, a następnie próbie rozciągania. Badania mikroskopowe zarówno powierzchni kontaktowej, jak i średnicy drutów nie wykazywały zauważalnych zmian, natomiast próba rozciągania wykazała duże zmiany własności wytrzymałościowych drutów zbrojących - D70A. Jak widać z wykresów na rys. 6 i 7, stwierdzone zmiany wytrzymałości drutów nie zależą od użytej osnowy, ponieważ ich wielkości są porównywalne dla czystego Al oraz dla jego stopu AK11.

Podczas procesu wytwarzania, w którym druty zbrojące pozostają przez określony czas z ciekłym metalem, druty ze stali H25N20S2 nie tracą swoich wyjściowych własności wytrzymałościowych i zachowują je również podczas pracy materiału w podwyższonej temperaturze. Natomiast druty D70A, jak widać z wykresów na rys. 6 i 7, wykazują znaczny spadek wytrzymałości zarówno bezpośrednio po zalaniu ciekłym aluminium, jak również dalej podczas pracy w podwyższonej temperaturze.

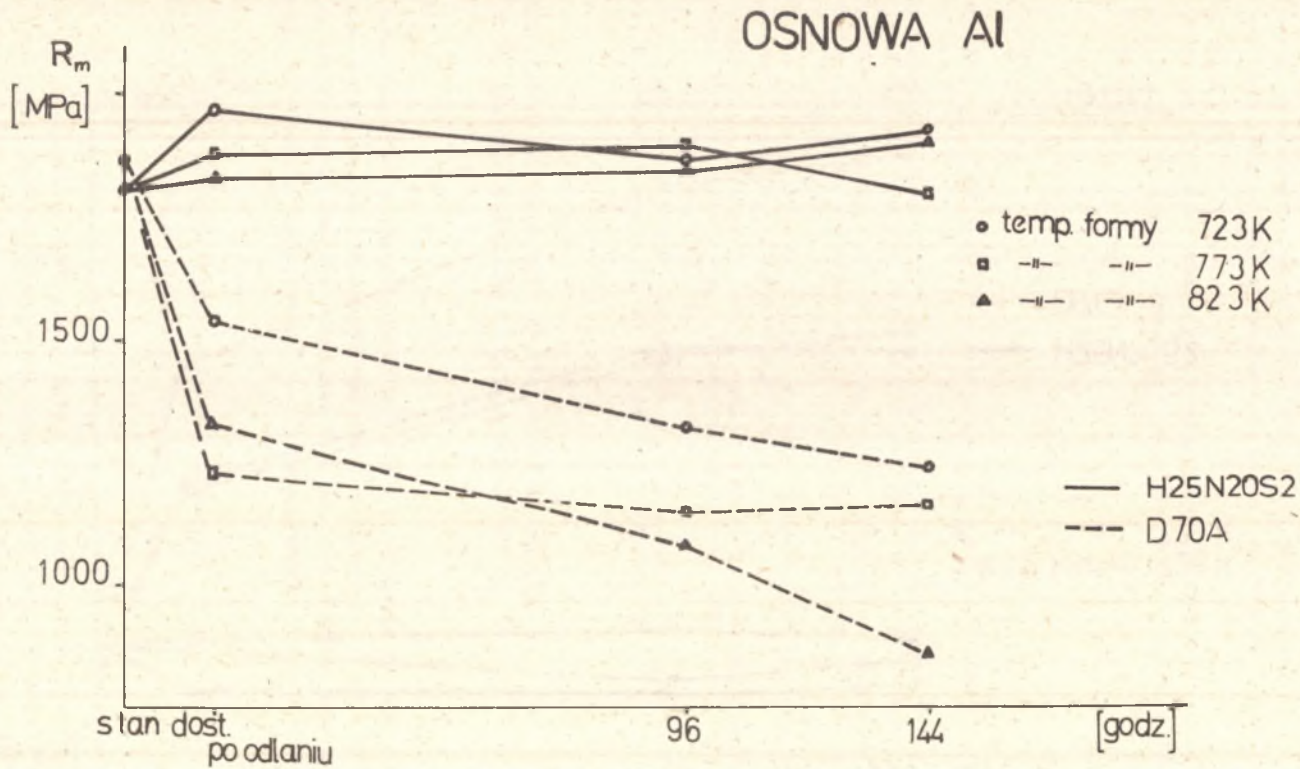
Stwierdzono, że spadek ten jest tym większy, im wyższa jest temperatura formy. Po 144 godzinach wyżarzania wytrzymałość drutu D70A ekstrahowanego z odlewu wykonanego do formy podgrzanej do temperatury 823 K wynosi zaledwie ok. 20% wytrzymałości drutu w stanie dostawy, natomiast dla odlewów o temperaturze formy 773 K czy też 723 K mieści się ona w granicach około 40% wytrzymałości wyjściowej. Prawidłowość taką zaobserwowano zarówno dla osnowy z czystego aluminium, jak i dla jego stopu. Zależność zmian wytrzymałości drutu od temperatury formy obserwuje się również dla drutów H25N20S2. Podobnie jak dla drutów D70A, zmiany te są tym większe, im wyższa jest temperatura formy ale w żadnym przypadku (w obszarze stosowanych parametrów) nie prowadzą do liczących się spadków wytrzymałości, poniżej wartości stanu wyjściowego drutu.

Przeprowadzone badania skłaniają do sformułowania następujących wniosków:

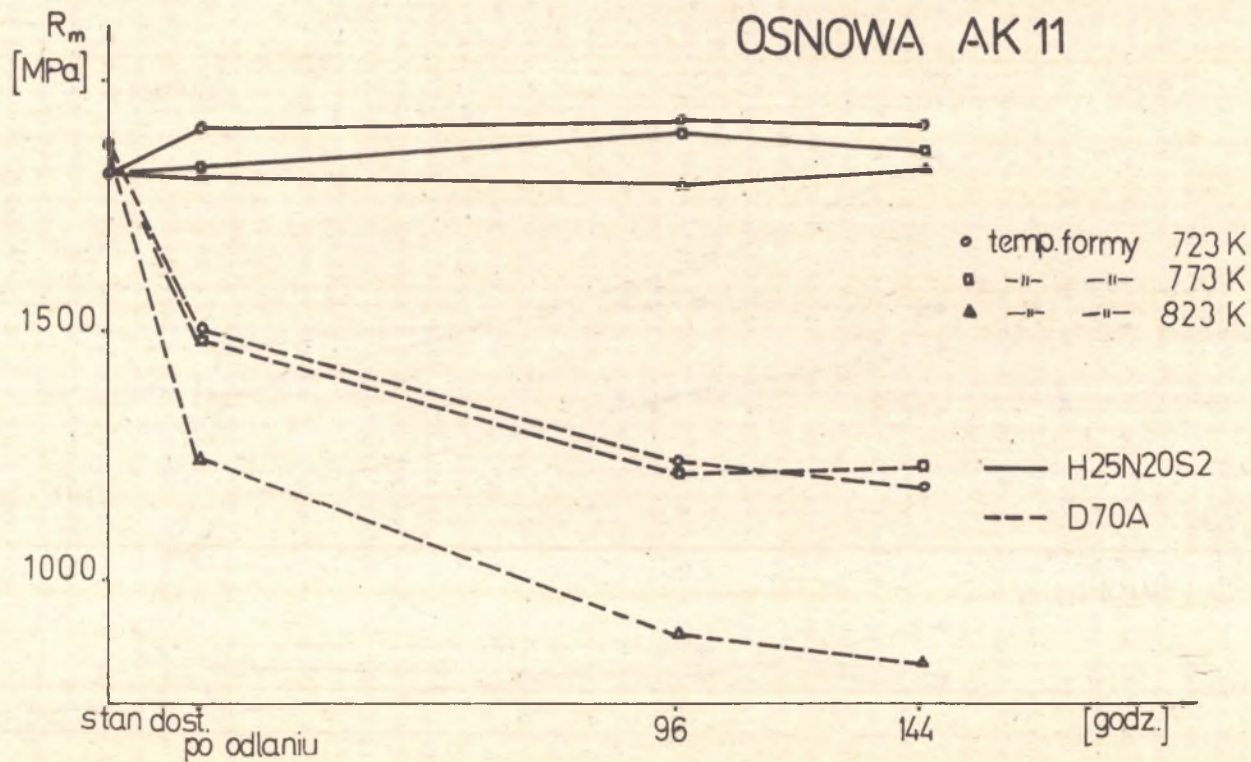
1. Technologia odlewania ciśnieniowo-próżniowego, zastosowana do otrzymywania kompozytu typu Al - drut stalowy nie doprowadziła do powstania warstwy dyfuzyjnej występującej w przypadku nakładania warstw aluminiowych na podłoże stalowe.

2. Proces dyfuzji nie zachodził w tych materiałach również po długotrwałym wytrzymywaniu materiału w podwyższonej temperaturze.

3. Wytrzymałość uzyskiwanego połączenia jest bardzo dobra, ponieważ nie zaobserwowano wyciągania drutów z osnowy, charakterystycznego dla połączeń słabych.



Rys. 6. Wytrzymałość drutów zbrojących osnowę aluminiową w zależności od parametrów technologicznych odlania kompozytu (zróżnicowane temperatury formy) oraz obróbki cieplnej gotowej próbki



Ryc. 7. Wpływ warunków technologicznych odlewania (różne temperatury podgrzewania formy) oraz obróbki cieplnej kompozytu o osnowie ze stopu AK11 na własności wytrzymałościowe drutów zbrojących

4. Stabilność charakterystyk mechanicznych kompozytów w bardzo istotny sposób zależy nie tylko od stabilności warstw granicznych, ale również od stabilności charakterystyk włókien zbrojących. W związku z tym o przydatności włókien zbrojących nie można wnioskować jedynie na podstawie ich danych wyjściowych.

5. Właściwości finalne materiału kompozytowego w istotny sposób zależą od przyjętej technologii wytwarzania tego materiału i zastosowanych w niej parametrów.

LITERATURA

- [1] ROSEN B.W.: Stiffness of fibre composite materials, Composites, 1973, 4, N. 1.
- [2] GEBHARDT E., OBRAKOSKI W.Z.: Reaktionen von festem Eisen mit Schmelzen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen, Z. Metallkunde, 1963, 44.
- [3] MORTON J., GROVES G.W.: The cracking of composites consisting of discontinuous ductile fibres in a brittle matrix effect of fibre orientation, J. Mater. Sci., 1974, 9, N 10.
- [4] PERKAS M.D., KARDONSKIJ W.M.: Wysokoprocnyje martenzitnostarejuszczije stali, Moskwa, "Metallurgija", 1970.
- [5] KRASULIN J., SORSOROV M.H.: O mehanizmie obrazowanija sojedineniija raznorodnych materialow w twiordom sostojanii, Fizika i chimija obrabotki materialow, 1967, N. 1.
- [6] NYLA I. i inni: Materiały kompozytowe z osnową aluminiową, Sprawozdanie z pracy badawczej I-21 (praca nie publikowana).

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАЗОВАНИЯ СОСТАВА СМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА АРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН И СПОСОБЫ ИХ СОЕДИНЕНИЯ С ОСНОВОЙ

Р е з ю м е

Статья содержит результаты исследований и вытекающие из них выводы относительно рода полученного соединения между компонентами в составе Al - сталь, образованных методом с текучей основой. Произведено тоже анализ влияния этого метода на механические свойства армирующих волокон.

THE IMPACT OF COMPOSITE PRODUCTION ON REINFORCING FIBRE PROPERTIES AND THEIR MODE OF CONNECTION WITH THE BASE

S u m m a r y

The paper presents both the experimental results and the conclusions concerning the obtained connection among the components in the Al - steel - composites formed by the liquid, base-method. The impact of the method on the mechanical properties of reinforcing fibre is also analysed.