

Klasyfikacja wad struktury metalowych odlewów kompozytowych z nasycanym zbrojeniem

K. Gawdzińska ^{a,*}, D. Nagolska ^b, M. Szweycer ^b

^a Instytut Podstawowych Nauk Technicznych, Akademia Morska w Szczecinie,
70-205 Szczecin, ul. Podgórna 51-53, Polska

^b Instytut Technologii Materiałów, Politechnika Poznańska,
61-138 Poznań, ul. Piotrowo 3, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: k.gawdzinska@am.szczecin.pl

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

Streszczenie

Definicja kompozytu [1] określa materiał kompozytowy idealny o doskonałej budowie. W rzeczywistych materiałach kompozytowych mamy na ogół do czynienia z budową niedoskonałą – materiały kompozytowe zawierają różnorodne wady [2, 3–5], szczególnie kiedy rozpatrujemy kompozyty wytwarzane przez odlewanie. Odlewy bowiem charakteryzują się specyficzną budową związaną z przebiegiem procesu ich wytwarzania. W przypadku odlewów z kompozytów metalowych, a szczególnie wytwarzanych przez nasycanie, brak jest klasyfikacji tych wad [2, 4]. Klasyfikacja wad odlewów z materiałów klasycznych (żeliwo, staliwo, stopy metali nieżelaznych) jest niewystarczająca i wymaga uzupełnienia o specyficzne wady wspomnianych tworzyw. Problem ten (zauważony podczas wytwarzania odlewów z metalowych kompozytów nasycanych w Instytucie Podstawowych Nauk Technicznych Akademii Morskiej w Szczecinie oraz w Instytucie Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej) stał się przyczyną podjęcia prac nad stworzeniem takiej klasyfikacji i w efekcie do powstania niniejszej propozycji, która przyczynić się może do poprawy jakości badanych materiałów, a co jest z tym związane, z ochroną środowiska.

Słowa kluczowe: wady odlewów kompozytowych, klasyfikacja

1. Wprowadzenie

Wszystkie odlewy metalowe mogą mieć wady, których rodzaj i pochodzenie są różne. Wadą lub wadami odlewów nazywamy każde odchylenie cech materiału, struktury oraz właściwości mechanicznych lub fizykochemicznych od obowiązujących wymagań [6]. Cechy wad pozwalają na ich identyfikację, co z kolei jest podstawą do utworzenia *klasyfikacji wad odlewów*.

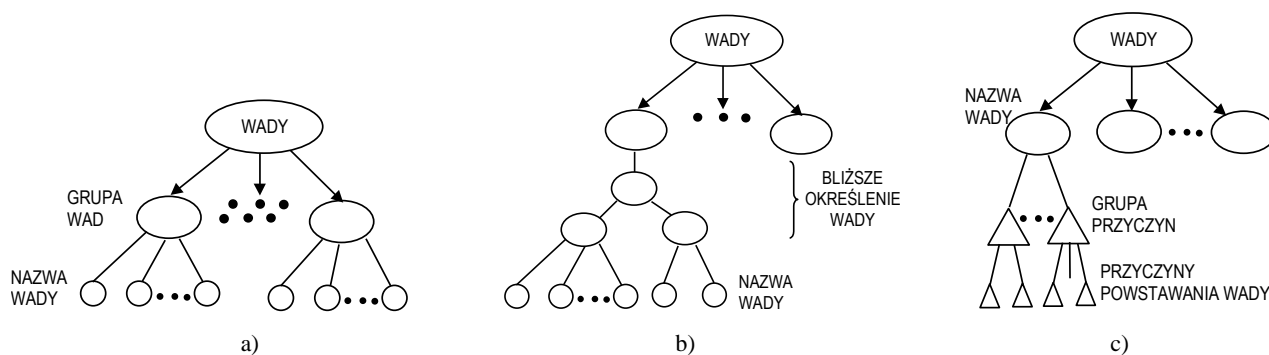
Klasyfikacja taka jest przydatna w celu:

1) przekazywania informacji w pracach badawczych, w procesie kształcenia i w czasie procesu produkcji;

- 2) eliminacji wadliwych odlewów z dalszych etapów procesu produkcyjnego, co ma duże znaczenie w ochronie środowiska naturalnego;
- 3) działań interwencyjnych mających na celu usunięcie przyczyn powstawania wad z procesu technologicznego.

W drugim przypadku za kryterium klasyfikacji wadliwych odlewów przyjmujemy podział na trzy grupy [6–8]:

- a) odlewy dobre (bez wad) lub z wadami dopuszczalnymi,
- b) odlewy z wadami naprawialnymi,
- c) odlewy z wadami, które je dyskwalifikują.



Rys. 1. Schematy klasyfikacji wad odlewów z materiałów klasycznych [6, 10–12]
 a – wg norm polskich, b – wg norm francuskich, c – wg systemu angielskiego i niemieckiego

Dla odlewów z klasycznych materiałów istnieją normy, atlasy lub katalogi wad [6-9], które:

- pozwalają na jednoznaczną identyfikację wad;
- podają metody ich wykrywania;
- podają przyczyny ich powstawania;
- sugerują środki technologiczne zapobiegające ich powstawaniu.

Schematy klasyfikacji wad tych odlewów są przedstawione na rysunku 1.

W Polsce obowiązuje podział [6, 10–12], w którym wyodrębnia się dwa jego poziomy (rys. 1a).

Na poziomie wyższym wyróżniono 4 grupy wad. Na poziomie niższym każdej grupie przyporządkowano wady o określonych cechach. Wadom tym nadano nazwy pozwalające na jednoznaczną ich identyfikację.

W odlewnictwie francuskim przyjęto strukturę wielostopniową [9–14] z tym, że na pierwszym poziomie wprowadza się 7 grup nazwanych odpowiednio:

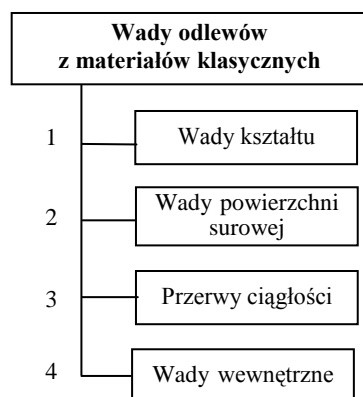
- przyrosty zewnętrzne metalu;
- pęcherze zewnętrzne i wewnętrzne;
- przerwy ciągłości odlewu;
- wady powierzchni;
- niekompletność wyrobu;
- wady wymiarów lub kształtu;
- wtrącenia lub anomalia struktury.

Najniższy poziom zawiera również nazwy poszczególnych wad, jednakże pomiędzy tym poziomem a określeniem grupy wad występują dwa poziomy pośrednie, zawierające dodatkowo cechy danej grupy lub podgrupy – rysunek 1b. W ten sposób do każdej wady przypisana jest pewna charakterystyka, ułatwiająca wskazanie przyczyn oraz działań zapobiegawczych [9, 14].

Odmienne prowadzona jest klasyfikacja wad podawana w literaturze angielskiej i niemieckiej [8–9, 15–17]. Zasadę tego podziału przedstawiono na rysunku 1c. Występują tutaj bezpośrednio nazwy wad, którym przyporządkowane są grupy przyczyn i poszczególne przyczyny ich powstawania. Z punktu widzenia identyfikacji podział taki byłby bardzo dogodny, gdyby nie fakt, że niektóre z przyczyn są określone niezbyt precyzyjnie. Niektóre mogą powodować kilka wad, a więc podział ten nie zawsze może być stosowany w sposób obiektywny.

2. Klasyfikacja wad odlewów według Polskich Norm

Polska klasyfikacja wad odlewów metalowych jest jedną z nielicznych klasyfikacji objętych państwowymi normami. Jak widać z przeglądu dokonanego w poprzednim punkcie, klasyfikacja ta jest najprostsza ze względu na swój dwustopniowy układ. Dodatkową jej cechą jest wyraźny podział wad odlewów z różnych materiałów. Wymienione cechy oraz powszechna dostępność i znajomość w kraju tej klasyfikacji powodują, że we wszystkich podejmowanych próbach stworzenia jakiegokolwiek innej należy się do niej odnosić, dlatego więc dalsze rozważania prowadzone będą w oparciu o podział wad w niej zawarty. Z tego powodu konieczny jest bardziej szczegółowy jej opis. Według Polskiej Normy [10], a także w krajowych opracowaniach [6–7, 11, 18–20] klasyfikacja ta zawiera 4 grupy wad zestawione na rysunku 2:



Rys. 2. Wady odlewów z materiałów klasycznych (staliwo, żeliwo, stopy metali nieżelaznych)

Kolejność grup wad jest zgodna z kolejnością operacji odbioru odlewu przez dział kontroli technicznej. Najpierw stwierdza się wady kształtu, następnie wady powierzchni surowej i przerwy ciągłości. Wady wewnętrzne wykrywa się w czasie badań nieniszczących i niszczących, a także w czasie obróbki

odlewów skrawaniem. Do każdej z czterech grup przypisano odpowiednio wady, oznaczono je symbolem (W) i wskazano, w jakich rodzajach materiałów metalowych one występują [6, 11].

Polska Norma [10] podaje również orientacyjne przyczyny powstawania wad. W innych materiałach [9, 11, 21–23], stanowiących trafne rozszerzenie tej normy, znaleziono również metody wykrywania powstałych wad.

3. Ocena możliwości zastosowania klasyfikacji wad odlewów klasycznych (według PN-85/H-83105) do klasyfikacji wad odlewów z metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem

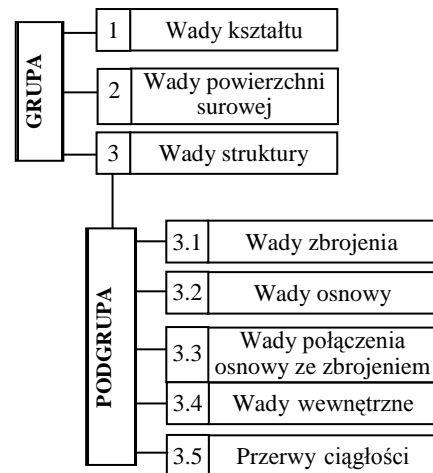
Literatura dotycząca wad odlewów z metalowych kompozytów nasycanych jest nieliczna, a opis jakości tych odlewów wymaga stosowania jednoznacznej klasyfikacji wad. W literaturze technicznej klasyfikacja taka nie istnieje z wyjątkiem prób podjętych przy udziale autorów [24–25]. W publikacjach dotyczących odlewów kompozytowych spotyka się często różne lub nieprecyzyjne określenia tych nieprawidłowości (wad) [2–5]. Opisy obejmują często kilka podobnych wad powstałych w różnych etapach procesu technologicznego lub z różnych nie związanych z sobą przyczyn. Jedyną wspólną cechą tych wad bywa często ich kształt, wielkość, postać itp.

Dwie pierwsze grupy wad (część trzeciej i czwartej dla odlewów z materiałów klasycznych [10] i odlewów kompozytowych), w tym kompozytów nasycanych zbrojeniem, są zgodne z punktu widzenia poprzednio wymienionych informacji, dotyczących identyfikacji wad odlewów. Odlewy z metalowych kompozytów nasycanych mają jednak charakterystyczną budowę wynikającą z obecności elementów zbrojących, najczęściej włókien, zlokalizowanych w metalowej osnowie i trwale z nią połączonych.

Połączenie osnowy i zbrojenia może być miejscem występowania wad nie występujących w odlewach klasycznych. Część z nich mogłaby być zaliczona do przerw ciągłości, np. nieciągłości na granicach faz, część do wad wewnętrznych, np. porowatości, czy wad struktury osnowy. Inne wady nie znajdują swego miejsca w klasycznych klasyfikacjach. Są to przede wszystkim wady zbrojenia, osnowy i połączenia tych składników, ale także np. pory wynikające z niepełnego nasycenia zbrojenia przez osnowę. Wynika stąd potrzeba opracowania klasyfikacji specyficznych wad odlewów z metalowych kompozytów z nasycanym stopem.

W związku z tym postanowiono zastosować system klasyfikacji wad będący pośrednim między systemami polskim i francuskim (rys. 1). Obejmowałby on podział wad na grupy, przy czym wady kształtu i wady powierzchni surowej odpowiadałyby grupom z klasyfikacji polskiej. Ze względu na specyfikę budowy kompozytów wady ciągłości, wady wewnętrzne, a także wady charakterystyczne dla kompozytów nasycanych mogłyby być objęte jedną grupą podzieloną na podgrupy. Dokonanie tego podziału wymaga szczególnej analizy procesu produkcji odlewów z metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem, dokonanej ze względu na możliwości powstawania wad w różnych etapach

tego procesu. Proponowanej grupie najlepiej odpowiadałaby nazwa: wady struktury. Budowę wspomnianej klasyfikacji przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura klasyfikacji wad odlewów z metalowych kompozytów nasycanych

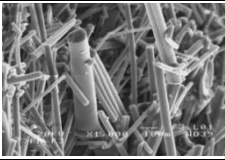

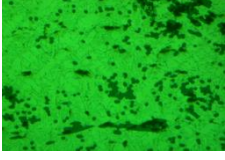

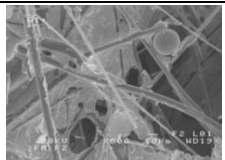

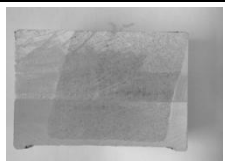
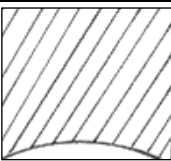
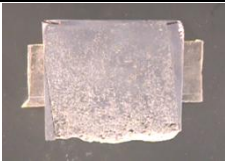
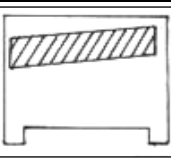
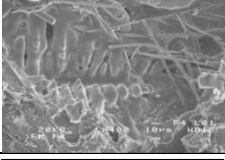
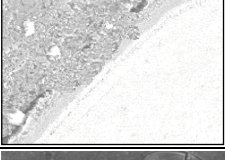
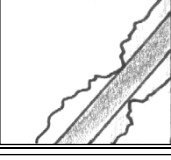
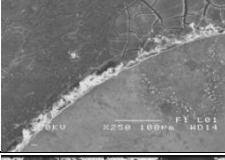
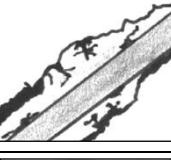
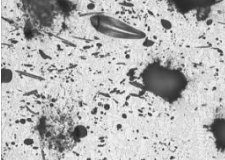

4. Podsumowanie

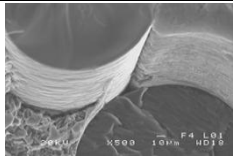


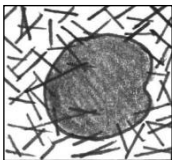

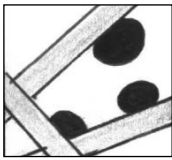

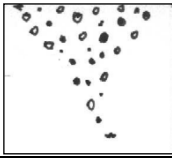
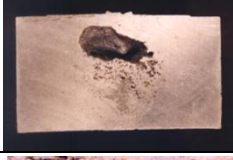



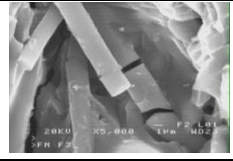
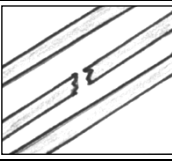
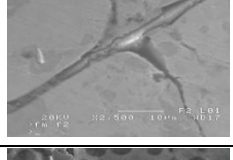

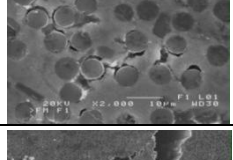
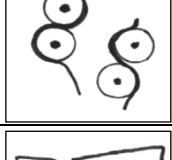
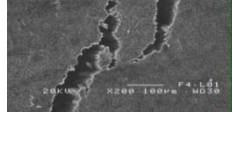
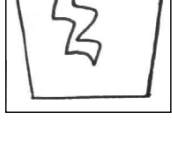
W niniejszej pracy przedstawiono klasyfikację wad struktury odlewów z metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem, stanowiącą grupę w klasyfikacji wad odlewów. Grupę tę nazwano wady struktury. Pozostałe grupy wad (wady kształtu i wady powierzchni surowej) objęte klasyfikacją odpowiadają grupom występującym w klasyfikacji wad odlewów z materiałów klasycznych (zgodnie z PN-85/H-83105 – rysunek 2). Grupa ta (wady struktury) składa się z 5 podgrup obejmujących zarówno wady struktury odlewów z materiałów klasycznych, które jednocześnie odpowiadają wadom struktury odlewów z kompozytów nasycanych, jak i wady specyficzne dla tych odlewów. Klasyfikację wad struktury odlewów z metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem przedstawiono w tablicy 1. Układ tablicy jest taki sam, jak w Polskiej Normie [10]. Przedstawiono w niej oznaczenie wady, zakwalifikowano ją do odpowiedniej podgrupy wad struktury odlewów z metalowych kompozytów nasycanych, a schemat poparto przykładem wady.

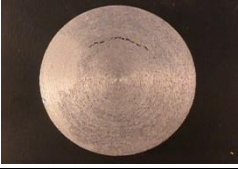
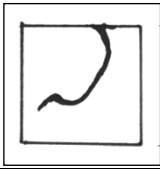
4.1. Przyczyny powstawania wad z metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem i metody ich wykrywania

Tablicę 1 uzupełnia tablica 2, w której przedstawiono przyczyny powstawania wad struktury odlewów z metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem i zaproponowano metody ich wykrywania. Przed występowaniem wad opisanych w niniejszej pracy może chronić wysoka jakość struktury zbrojącej, osnowy i sprawdzony producent. Niestety jest to często związane z ceną (która jest bardzo wysoka w przypadku fazy zbrojącej, np. włókna węglowego). Dlatego tak ważna jest kontrola jakości odlewów z tej grupy materiałów.

Tablica 1. Klasyfikacja wad struktury odlewów z metalowych kompozytów z nasyceniem zbrojeniem

Oznaczenie	Podgrupa wad	Wada	Określenie	Wygląd wady (przykład)	Oznaczenie graficzne (schemat)
3.1	Wady zbrojenia	3.1.1 Niejednorodność kształtu i wymiarów elementów zbrojenia	Zróznicowana długość, szerokość, kształt i kształt włókien		
		3.1.2 Niejednorodność rozkładu elementów zbrojenia	Niejednakowe zagęszczenie włókien w różnych obszarach zbrojenia		
		3.1.3 Ciało obce w zbrojeniu	Zanieczyszczenia powstałe w procesie otrzymywania zbrojenia.		
		3.1.4 Deformacja struktury zbrojącej	Niewłaściwy kształt struktury zbrojenia		
		3.1.5 Niewłaściwa lokalizacja struktury zbrojenia	Przesunięcie struktury zbrojenia w przestrzeni odlewu		
3.2.	Wady osnowy	3.2.1. Niewłaściwa struktura osnowy	Obce fazy, niepożądana struktura dendrytyczna, obecność faz o zmiennym składzie chemicznym, gruboziarnistość		Brak możliwości podania schematu ze względu na różnorodność materiałów i struktur osnowy
3.3.	Wady połączenia osnowy ze zbrojeniem	3.3.1 Brak strefy przejściowej lub jej nieciągłość na granicy osnowa – zbrojenie	Widoczny brak występowania podłużnego pasma stanowiącego strefę przejściową różniącą się kolorem i składem chemicznym od struktury zbrojenia i osnowy		
		3.3.2 Krucze fazy na granicy osnowa – zbrojenie	Ciągłe lub nieciągłe kruche fazy na granicy osnowa – zbrojenie		
3.4.	Wady wewnętrzne	3.4.1 Wtrącenia	Wydzielenia o różnym składzie chemicznym i strukturze niż skład chemiczny i struktura osnowy lub zbrojenia		

Oznaczenie	Podgrupa wad	Wada	Określenie	Wygląd wady (przykład)	Oznaczenie graficzne (schemat)
		3.4.2 Niewypełnienie przestrzeni zbrojenia	Wolne przestrzenie na styku włókien zbrojenia		
		3.4.3 Pęcherze zaokludowane	Pory o kształcie zbliżonym do sferycznego, występujące w całej objętości odlewu o wymiarach rosnących w izolowanych jego obszarach		
		3.4.4 Pęcherze gazowe wydzielone	Pory gazowe o kształcie regularnym sferycznym		
		3.4.5 Porowatość gazowa	Drobne „skupiska wydzielienia porów” o kształcie kulistym		
		3.4.6 Jama skurczowa	Nieregularne przerwy ciągłości materiału, pustka zazwyczaj kształtu stożkowatego, często o rozwiniętej chropowatej powierzchni		
		3.4.7 Rzadizny	Gęste skupisko drobnych pustek o ostrych konturach i chropowatych ściankach		
3.5.	Przerwy ciągłości	3.5.1 Pęknięcia elementów zbrojenia	Zerwanie, przerwanie, brak ciągłości włókna		
		3.5.2 Pęknięcie osnowy	Przerwy ciągłości materiału osnowy		
		3.5.3 Pęknięcia na granicy osnowa – zbrojenie	Brak połączenia osnowy ze zbrojeniem		
		3.5.4 Pęknięcie odlewu na gorąco	Wąska, niekiedy rozgałęziona szczelina przechodząca na wskroś, widoczna na powierzchni odlewu w postaci zygzakowatej rysy		

Oznaczenie	Podgrupa wad	Wada	Określenie	Wygląd wady (przykład)	Oznaczenie graficzne (schemat)
		3.5.5 Pęknięcie odlewu na zimno	Wąska szczelina przechodząca na wskroś, widoczna na powierzchni odlewu w postaci regularnej rysy		

Tablica 2 Przyczyny powstawania i metody wykrywania wad odlewów z metalowych kompozytów nasyconych

Oznaczenie	Podgrupa wad	Wada	Przyczyny powstawania	Metody wykrywania
3.1	Wady zbrojenia	3.1.1 Niejednorodność kształtu i wymiarów elementów struktury zbrojenia	Zła jakość zbrojenia	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia.
		3.1.2 Niejednorodność rozkładu elementów struktury zbrojenia	Uszkodzenie mechaniczne, zła jakość zbrojenia, np. niejednakowa ilość włókien	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia. • Komputerowa analiza obrazu.
		3.1.3 Ciało obce w strukturze zbrojenia	Zła jakość zbrojenia	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikroanaliza rentgenowska.
		3.1.4 Deformacja struktury zbrojącej	Uszkodzenie mechaniczne. Zbyt duże ciśnienie lub prędkość przepływu metalu osnowy	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe.
		3.1.5 Niewłaściwa lokalizacja struktury zbrojenia	Przesunięcie struktury zbrojenia w formie	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Defektoskopia radiologiczna. • Defektoskopia ultradźwiękowa.
3.2.	Wady osnowy	3.2.1. Niewłaściwa struktura osnowy	Za wysoka lub za niska temperatura metalu osnowy, nieodpowiedni skład chemiczny metalu osnowy, niewłaściwa modyfikacja lub jej brak. Niewłaściwa temperatura formy	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Komputerowa analiza obrazu. • Mikroanaliza rentgenowska.
3.3.	Wady połączenia osnowy ze zbrojeniem	3.3.1 Brak strefy przejściowej lub jej nieciągłość na granicy osnowa – zbrojenie	Niewłaściwa preparacja włókna, zanieczyszczenie zbrojenia np. nie odtluszczenie	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikroanaliza rentgenowska.
		3.3.2 Krucze fazy na granicy osnowa – zbrojenie	Wzajemne szkodliwe oddziaływanie zbrojenia i metalu osnowy, przekroczenie grubości strefy przejściowej	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikroanaliza rentgenowska.
3.4.	Wady wewnętrzne	3.4.1 Wtrącenia	Zanieczyszczony materiał wsadowy, niewłaściwy skład chemiczny. Niewłaściwy proces topienia i rafinacji. Erozja formy lub jej pokrycia w skutek zastosowania złych materiałów lub zbyt dużej prędkości przepływu metalu osnowy	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Defektoskopia ultradźwiękowa i radiologiczna.
		3.4.2 Niewypełnienie przestrzeni zbrojenia	Za niskie ciśnienie nasycania, za niska temperatura zbrojenia, metalu osnowy lub formy, duża wartość kąta zwilżania.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania grawimetryczne. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe.

Oznaczenie	Podgrupa wad	Wada	Przyczyny powstawania	Metody wykrywania
		3.4.3 Pęcherze zaokludowane	Niewłaściwe doprowadzenie metalu osnowy, zbyt duża prędkość nasycania, zbyt niska temperatura zbrojenia, metalu osnowy lub formy.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania grawimetryczne. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia. • Komputerowa analiza obrazu. • Defektoskopia ultradźwiękowa i radiologiczna.
		3.4.4 Pęcherze gazowe wydzielone	Zanieczyszczony materiał wsadowy. Niewłaściwie przygotowany materiał osnowy, niewłaściwe topienie lub rafinacja.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania grawimetryczne. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia. • Komputerowa analiza obrazu. • Defektoskopia ultradźwiękowa i radiologiczna.
		3.4.5 Porowatość gazowa	Zanieczyszczony materiał wsadowy. Niewłaściwie przygotowany materiał osnowy, niewłaściwe topienie lub rafinacja.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania grawimetryczne. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia. • Komputerowa analiza obrazu. • Defektoskopia ultradźwiękowa i radiologiczna.
		3.4.6 Jama skurczowa	Niewłaściwe zasilanie odlewu spowodowane złą konstrukcją odlewu lub formy albo niewłaściwymi warunkami cieplnymi.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania grawimetryczne. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia. • Defektoskopia ultradźwiękowa i radiologiczna.
		3.4.7 Rzadziżny	Niewłaściwe zasilanie odlewu spowodowane złą konstrukcją formy albo niewłaściwymi warunkami cieplnymi.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania grawimetryczne. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Mikrotomografia. • Komputerowa analiza obrazu. • Defektoskopia ultradźwiękowa i radiologiczna.
3.5.	Przerwy ciągłości	3.5.1 Pęknięcia elementów zbrojenia	Zbyt wysokie ciśnienie nasycania lub prędkość przepływu metalu osnowy. Naprężenia wewnętrzne w przestrzeni odlewu, zbyt intensywne chłodzenie formy, zbyt późne wyjęcie odlewu z formy, gwałtowne chłodzenie odlewu po wyjęciu z formy.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe.
		3.5.2 Pęknięcie osnowy	Naprężenia wewnętrzne w przestrzeni odlewu spowodowane nieprawidłową konstrukcją formy, niewłaściwa temperatura formy, zbyt intensywne chłodzenie formy, zbyt późne wyjęcie odlewu z formy.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe.
		3.5.3 Pęknięcia na granicy osnowa – zbrojenie	Naprężenia wewnętrzne w przestrzeni odlewu, niewłaściwa temperatura formy, zbyt intensywne chłodzenie formy, zbyt późne wyjęcie odlewu z formy, gwałtowne chłodzenie odlewu po wyjęciu z formy.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe.

Oznaczenie	Podgrupa wad	Wada	Przyczyny powstawania	Metody wykrywania
		3.5.4 Pęknięcie odlewu na gorąco	Napężenia wewnętrzne w przestrzeni odlewu, niewłaściwa temperatura formy, zbyt intensywne chłodzenie formy, zbyt wczesne wyjęcie odlewu z formy.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Badania defektoskopowe ultradźwiękowe i radiologiczne.
		3.5.5 Pęknięcie odlewu na zimno	Napężenia wewnętrzne w przestrzeni odlewu spowodowane konstrukcją odlewu lub formy, niewłaściwa temperatura formy, zbyt intensywne chłodzenie formy. Uszkodzenie odlewu przy wybijaniu lub prostowaniu.	<ul style="list-style-type: none"> • Badania makroskopowe. • Badania mikroskopowe: <ul style="list-style-type: none"> – świetlne, – elektronowe skaningowe. • Badania defektoskopowe ultradźwiękowe i radiologiczne.

Zaproponowana klasyfikacja wad struktury odlewów z metalowych kompozytów odlewanych pozwala na:

- uzupełnienie klasyfikacji wad odlewów z tradycyjnych materiałów o grupę wad specyficznych dla odlewów będących przedmiotem pracy,
- jednoznaczne określenie wad charakterystycznych dla odlewów z badanych kompozytów,
- uzupełnienie zaproponowanej klasyfikacji o ewentualne nieuwzględnione w niej wady ze względu na jej otwarty charakter.

**Praca wykonana w ramach grantu badawczego
KBN N N508 445236.**

Literatura

- [1] Clune, T.W. & Withers P.J. (1993). *An Introduction of Metal-Matrix Composites*, Cambridge University Press.
- [2] Cholewa, M. & Gawroński, J. (1988). Sposób otrzymywania kompozytów metalicznych z cząstkami metalicznymi i niemetalicznymi, Patent P275564.
- [3] Suchy, J. (1995). Kompozyty odlewane, Commission 8.1, CIATF.
- [4] Sobczak, J. (1996). Metalowe materiały kompozytowe, Instytut Odlewnictwa.
- [5] Ślężona, J. (1998). Podstawy technologii kompozytów, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [6] Fałęcki, Z. (1997). Analiza wad odlewów, Wyd. AGH, Kraków.
- [7] Adamski, C i inni (1965). Systematyka wad odlewów metali nieżelaznych, WNT, Warszawa.
- [8] Balar, J. & Köppen M. (1999). Podręcznik wad odlewniczych (przekład na j. polski), IKO – Erbslöh.
- [9] Kluska-Nawarecka, S. (1999). Metody komputerowe wspomaganie diagnostyki wad odlewów, Instytut Odlewnictwa, Kraków.
- [10] Polska Norma PN-85/H-83105. Odlewy. Podział i terminologia wad.
- [11] Zych, J. (2001). Analiza wad odlewów, Wydawnictwo AGH, Kraków.
- [12] Lewandowski, L. (1954). Omówienie klasyfikacji wad odlewów z żeliwa szarego, *Przegląd Odlewnictwa* nr 1.
- [13] Górny, Z., Nawarecka, S. & Warmuzek M. (1997). Symulacja krzepnięcia endogenicznego w odlewie ze stopu Al. Konferencja „Nowoczesne tendencje w odlewnictwie metali nieżelaznych”, Kraków.
- [14] International atlas of foundry defects. International Committee of Foundry Technical Associations. Committee of Metallurgy and Foundry Properties. English Edition 1974.
- [15] Casting defects handbook (Special Publications Committee), Des Plaines, Illinois, American Foundrymen’s Society Inc. 1984.
- [16] Bishop, H.F. i inni (1952). Metallurgy and Mechanics of Hot Tearing, *AFS Transaction*, vol. 60, nr 65.
- [17] British standard terminology of internal defects in castings as revealed by radiography, London, British Standards Institution 1956.
- [18] Gierdziejewski, K. (1948). Wady odlewnicze i ich systematyka – z atlasem, Wyd. Wiedza–Zawód–Kultura, Tadeusz Zapiór i S-ka, Kraków.
- [19] Godlewski, Z. (1955). Wady odlewów żeliwnych, PWT, Warszawa.
- [20] Januszewicz, P. i inni (1995). Systematyka wad odlewów żeliwnych, PWN, Warszawa.
- [21] Roskosz, S. (2011). Kompleksowa ocena porowatości odlewów precyzyjnych żarowytrzymałych nadstopów niklu, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [22] Górny, Z. (1992). Odlewnicze stopy metali nieżelaznych, WNT, Warszawa.
- [23] Kozakowski, S. (2001). Badanie odlewów, Wydawnictwo Gamma, Warszawa.
- [24] Gawdzińska, K. (2003). Analiza i klasyfikacja wad struktury odlewów z metalowych kompozytów nasycanych, Politechnika Szczecińska, Szczecin.
- [25] Gawdzińska, K., Grabian, J. & Jackowski J. (2000). Propozycja klasyfikacji wad odlewów z metalowych kompozytów nasycanych, *Kompozyty 2000*, Jaszowiec.

Classification of structure defects of metal matrix castings with saturated reinforcement