

Opracowanie nowych materiałów aplikowanych na elementy wykorzystywane w liniach przepływu ciekłych metali

mgr inż. Marcin Prochwicz

Streszczenie

Powłoki nanoszone z uwodnionych zawiesin mają na celu ochronę elementów z ceramiki ogniotrwałej narażonych na szoki cieplno-mechaniczne szczególnie silne w czasie początkowego kontaktu z ciekłym metalem na liniach ciągłego odlewania stali (COS). Są one skuteczne w swojej roli, ale ze względu na dużą kruchość są podatne na lokalne wykruszenia już w trakcie transportu i montażu.

W niniejszej pracy skupiono się na analizie wpływu modyfikacji składu powłok z uwodnionej masy Thermacoat™ poprzez zmianę udziału cenosfer oraz wprowadzenie włókien polimerowych Belmix™, a także włókien ceramicznych Saffil™. Dodatki wprowadzono w granicach umożliwiających ich rozdywersję w badanej masie aplikowaną na elementy ceramiki poprzez zanurzenie. Następnie, wykorzystując techniki DSC i DTA przeprowadzono pomiary zmiany masy i przepływu ciepła podczas suszenia i wyżarzania materiału wyjściowego i po modyfikacji. Mikrostrukturę wybranych próbek badano za pomocą mikroskopii świetlnej (LM) i skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), a skład chemiczny za pomocą spektroskopii promieniowania rentgenowskiego (EDS). Na koniec, aby określić zmiany właściwości mechanicznych materiału, zastosowano metodę trójpunktowego zginania. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że optymalnym po względem zwiększenia wytrzymałości na zginanie jest ~1% (wag.) dodatek włókien polipropylenowych Belmix™

. Przy ich ukierunkowaniu wywołanym obciekaniem masy z nakładanych powierzchni wzrost ten sięgał nawet ~300%. Zmiany proporcji cenosfery w tym materiale lub wprowadzenie włókien Saffil™

obniżały płynność materiału, prowadząc do powstawania niejednorodności w osadzanych powłokach i pogorszenia ich właściwości mechanicznych.

Modyfikowanie powłok Thermacoat™ włóknami polipropylenowymi Belmix™ pozwoliło na zmniejszenie ich podatności na wykruszenia, ale spowodowało konieczność oceny ich reakcji na kontakt z ciekłą stalą. W tym celu przeprowadzono testy w skali laboratoryjnej polegające na przygotowaniu tygielka ze zmodyfikowanej włóknami masy Thermacoat™

i wypełnieniu go ciekłą stalą. Następnie przeprowadzono badania mikrostruktury i składu fazowego części przypowierzchniowej tygla. Doświadczenie wykazało, że zmodyfikowana powłoka zachowuje brak zwilżalności w stosunku do stali. W części mającej bezpośredni kontakt ze stalą utworzyła się silnie porowata warstwa wypełniona amorficznymi płatkami AlSiOx z blokowymi cząstkami Al₂O₃ i SiO₂. Tuż pod nią utworzyła się strefa wpływu ciepła (HAZ) składająca się z drobnych płytek Al₂O₃ zanurzonych w amorficznej krzemionce SiO₂. Część pustek o wielkości odpowiadającej średnicy włókien polimerowychniosła na swoich ściankach znaczny osad węgla.

Przeprowadzone badania wykazały, że powłoki ze zmodyfikowanej włóknami polipropylenowymi masy Thermacoat™ nie tylko wykazują znacząco zwiększone właściwości mechaniczne w stanie po-wysuszeniu w temperaturach otoczenia, ale są również w stanie wytrzymać przynajmniej krótkotrwały kontakt z ciekłą stalą bez natychmiastowej defragmentacji, czyli zachowują dobre właściwości wysokotemperaturowe materiału niemodyfikowanego.

Abstract

Coatings from water diluted clay and cenosphere mixtures are deposited over ceramic parts exposed to contact with liquid metal during continuous steel casting (CSC). They are intended first of all to diminish thermo-mechanical stresses at the beginning of this process. These coatings are effective in their role, but due to their brittle nature they are subject to frequent local crashing and delamination already during parts transport or mounting.

The present work was focused on analysis of the effect of modification of the Thermacoat™ material by changing the content of cenospheres as well as by introducing up to few % of polymer (Belmix

TM
) or ceramic (Saffil
TM
) fibers. These additions were introduced up to the amount allowing for their intermixing with the other constituents and following application on ceramic parts through immersion. Next the DSC and DTA techniques were employed to evaluate the extent of the weight change and heat flow during drying and annealing. The dried materials microstructure was investigated with light (LM) and scanning electron microscopy (SEM), while the chemical composition was studied by energy dispersive spectroscopy (EDS). Finally a three point flexural bending method was used to determine changes in the material mechanical properties. The performed experiments proved that small addition (~1 wt. %) of Belmix
TM
fibers is sufficient for significant improvement of the Thermacoat
TM
resistance to crumbling at ambient temperature. Their natural alignment taking place during pulling up from the Thermacoat
TM
slurry improves resistance to flexural bending by ~300 %. The changes to the ratio of cenosphere in this material or introduction of the comparable Saffil
TM
was detrimental to material fluidity leading to its non-homogenous distribution and deterioration of mechanical stability.

The admixture of polypropylene fibers into linings helped to alleviate handling problems of such parts, though the response to contact with the liquid steel of such modified material should have been reassessed. It involved preparation of a crucible from ThermacoatTM with addition of BelmixTM fibers and filling it with a drop of liquid steel. Next, the crucible was sectioned and the changes in microstructure and phase composition were assessed with optical, scanning and transmission electron microscopy (OM/SEM/TEM) methods. It showed that the modified lining retains non-wetting performance against the steel of the original material. The part being in direct contact with liquid steel developed a highly porous layer filled with AlSiOx amorphous flakes with some larger blocky Al₂O₃ and SiO₂ particles. Right below it formed a heat affected zone (HAZ) consisting of fine α -Al₂O₃ platelets immersed in the amorphous silica. Some of the voids with a size corresponding to polymer fiber diameter carried at their walls significant carbon deposit.

The performed investigation indicated that the polymer fiber modify ThermacoatTM coatings of significantly improved mechanical properties at ambient temperatures could also withstand at least short term contact with liquid steel without instantaneous defragmentation, i.e. retained good HT properties of the non-modified material.

[Recenzja prof. dr. hab. inż. Anna Boczkowska](#)

[Recenzja dr. hab. inż. Anna Dolata, prof. PŚ](#)

[Recenzja prof. dr hab. inż. Marcin Górny](#)