

Opracowanie zaawansowanych warstw ochronnych na formy do ciśnieniowego odlewania stopów aluminium

Mgr inż. Aneta Wilczek

Streszczenie

Głównym celem niniejszej rozprawy doktorskiej jest wytworzenie, charakterystyka i testy w warunkach pracy powłok wielowarstwowych do ochrony powierzchni form przeznaczonych do ciśnieniowego odlewania stopów aluminium. Powierzchnia formy do wysokociśnieniowego odlewania stopów aluminium, ze względu na oddziaływanie intensywnych czynników niszczących, wymaga zastosowania powłok ochronnych. Aktualnie na rynku komercyjnych powłok dla form ciśnieniowych stosowane są głównie powłoki azotków złożonych takich jak: TiAlN, CrAlN, CrVN, AlCrN ze względu na ich dobrą odporność na zmęczenie cieplne. W wyniku obciążeń mechanicznych i termicznych powłoka PVD pęka i traci przyczepność do podłoża. Dlatego stosowane są również rozwiązania typu „duplex” - azotowane podłoże/PVD, ponieważ twarda warstwa azotowana zmniejsza podatność materiału podłoża na odkształcenie plastyczne prowadzące do zniszczenia powłoki. Jeszcze innym stosowanym rozwiązaniem jest nałożenie powłoki nanowielowarstwowej cechującej się zwiększoną odpornością erozyjną oraz korozyjną. Z kolei zwiększoną ochronę powierzchni formy przed powstawaniem naklejeń zapewnia powłoka nano-wielowarstwowa z azotkiem wanadu. Połączenie wszystkich wymienionych rozwiązań materiałowych w jedną warstwę ochronną powinno zapewnić optymalną ochronę powierzchni

formy ciśnieniowej. Podobny charakter powłok przeciwzużyciowych mają komercyjne rozwiązania jednak są słabo udokumentowane pod względem ewolucji mikrostruktury, co utrudnia ich dalszą optymalizację.

Dlatego w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej opracowano i wytworzono dwie powłoki nano-wielowarstwowe w technologii „duplex” na bazie azotków wielometalicznych w tym azotku wanadu.

Opracowane powłoki poddano testom eksploatacyjnym w warunkach produkcyjnych firmy Limatherm S.A. wraz z dwiema komercyjnymi powłokami PVD. Wszystkie rozwiązania materiałowe charakteryzowano pod kątem ewolucji mikrostruktury w czasie działania czynników niszczących metodami skaningowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej (SEM/TEM). Podczas testów eksploatacyjnych obserwowano powierzchnię odtwarzającą formy pokrytą badanymi powłokami oraz odpowiadającą jej powierzchnię odlewów.

Otrzymane wyniki wskazują, że zużycie powłoki nano-wielowarstwowej w procesie odlewania ciśnieniowego polega na stopniowym ubytku jej grubości połączonym w okresie późniejszym z pojawianiem się mikropęknięć. W wyniku obciążeń zmęczeniowych następuje propagacja zaistniałych mikropęknięć w powłoce i jej wyłuszczenie prowadzące do lokalnego odsłonięcia materiału podłoża. W miejscach lokalnego uszkodzenia powłoki PVD zachodzi reakcja powierzchni stalowej formy z ciekłym aluminium prowadząca do powstania „wżerów” a w następstwie naklejeń. Wielowarstwy zbudowane z udziałem azotku wanadu w czasie pracy w wysokiej temperaturze ulegają przyspieszonemu utlenianiu prowadzącemu do wytworzenia ułatwiających poślizg tzw. faz Magneli'ego, dzięki którym obserwowano wyraźne wytłumienie naklejeń aluminium przyczyniające się na przedłużenie żywotności formy. Rezultaty niniejszej pracy potwierdzają

skuteczność warstw ochronnych typu „duplex” z powłoką nano-wielowarstwową z udziałem azotków wielometalicznych w tym azotku wanadu, w przeciwstawianiu się czynnikom niszczącym procesu ciśnieniowego odlewania stopów aluminium. Jednakże do skutecznego zadziałania powłoki muszą zaistnieć również takie czynniki jak odpowiednio przygotowane podłoże, prawidłowa konstrukcja układu wlewowego i odpowietrzającego oraz optymalnie dobrane parametry procesu odlewania ciśnieniowego.

Abstract

The main aim of the present dissertation was to produce, characterize and test under operating conditions multilayer coatings for surface protection of molds for die casting of aluminum alloys. The surface of a mold for high-pressure die casting of aluminum alloys, due to the action of intense destructive factors, requires protective coatings. Currently, the commercial pressure mold coatings market mainly uses compound nitride coatings such as TiAlN, CrAlN, CrVN, AlCrN due to their good thermal fatigue resistance. As a result of mechanical and thermal stresses, the PVD coating cracks and loses adhesion to the surface. Therefore, duplex nitrided substrate/PVD solutions are also used because the hard nitrided layer reduces the susceptibility of the substrate material to plastic deformation leading to coating failure. Another solution is to apply a nano-layer coating with increased erosion and corrosion resistance. In turn, increased protection of the mold

surface against sticking is provided by the vanadium nitride nanocoating. The combination of all these material solutions into a single protective layer should provide optimum surface protection for the pressure mould. Commercial anti-wear coatings are similar in nature but are poorly documented in terms of microstructure evolution, making further optimization difficult. Therefore, in this dissertation, two nano-multilayer coatings were developed and fabricated using "duplex" technology based on multi-metallic nitrides including vanadium nitride.

The developed coatings were performance tested under Limatherm S.A. production conditions along with two commercial PVD coatings. All material solutions were characterized in terms of microstructure evolution during the action of destructive factors by scanning and transmission electron microscopy (SEM/TEM) methods. The mold reproducing surface coated with the tested coatings and the corresponding surface of the castings were observed during inservice testing.

The results obtained indicate that the wear of the nano-layer coating in the die casting process consists of a gradual loss of its thickness combined with the appearance of micro-cracks in the later period. As a result of fatigue loading, the existing microcracks in the coating are propagated and the coating is exfoliated, leading to local exposure of the substrate material. In areas of local damage to the PVD coating, a reaction occurs between the steel surface of the mold and the liquid aluminum, leading to the formation of "pits" and subsequent stickers. Vanadium nitride multilayers undergo accelerated oxidation at high temperatures leading to the formation of the so-called Magneli phases that facilitate sliding, thanks to which a pronounced attenuation of the aluminum sticking was observed, which contributes to the extension of

the mold life. The results of the present work confirm the effectiveness of duplex nano-coated protective layers with multi-metallic nitrides including vanadium nitride in resisting the destructive factors of the aluminum alloy die casting process. However, factors such as a properly prepared substrate, proper design of the gating and venting system, and optimally selected die casting process parameters must also be present for the coating to work effectively.

[Recenzja - Prof. R. Dańko](#)

[Recenzja - K. Naplocha](#)