



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - MATERIALS SCIENCE COMMITTEE
SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference
Proceedings

11th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Opracowanie podstaw teoretycznych otrzymywania kompozytowych warstw stopowych na wybranych powierzchniach odlewów ze staliwa węglowego

P. Wróbel, J. Gawroński, J. Szajnar

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Poland

In this paper the use of Simtec RWP computer program to determine process of formation alloyed composite layer on sphere casting makes from carbon steel has been presented. The work has been made to compare calculation results with real experiment.

1. KOMPOZYTOWE WARSTWY STOPOWE NA ODLEWACH STALIWNYCH, ODPORNE NA ZUŻYCIE

Szereg własności odlewów staliwnych, również użytkowych, zależy od fizycznych i chemicznych własności warstwy powierzchniowej. Takimi własnościami są np. Twardość, odporność na korozję, odporność na zużycie ściernie. Własności warstwy powierzchniowej odlewu zależą przede wszystkim od warunków stygnięcia oraz od reakcji na powierzchni metal / forma, czyli od rodzaju oddziaływania materiału formy na warstwę powierzchniową odlewu, w warunkach zalewania i stygnięcia odlewu.

Szczególne własności odlewu staliwnego uzyskuje się przez wytworzenie kompozytowej, powierzchniowej warstwy stopowej, bezpośrednio w procesie odlewania staliwa. Przeprowadzone badania ukierunkowane były na zagadnienia kompozytowych warstw stopowych na staliwie, odpornych na zużycie w różnych trudnych warunkach pracy odlewów. Duża ilość zebranych informacji na temat warunków wytwarzania i własności takich twardych i trudnościeralnych warstw kompozytowych pozwala na stworzenie opisu mechanizmu jej powstawania. Stanowi również podstawę do kontynuacji dalszych prac eksperymentalnych jak też opracowania modeli otrzymywania warstw kompozytowych na odlewach.

2. OPIS PROCESU OTRZYMYWANIA KOMPOZYTOWYCH WARSTW STOPOWYCH W OPARCIU O PROGRAM KOMPUTEROWY SIMTEC-RWP

Współczesne eksperymentalne badania naukowe są coraz bardziej kosztowne nie tylko ze względu na wysoki koszt aparatury kontrolno-pomiarowej, ale również, a może przede wszystkim na konieczność posiadania dla celów opracowań statystycznych dużej liczby charakterystyk wybranych (istotnych) parametrów procesu. Sposób ustalania i wyboru istotnych parametrów procesów jest również z konieczności ograniczony do najważniejszych tych, które potrafimy pomiarowo oprzyrządzić. Istniejące obecnie mniej lub bardziej skomplikowane symulacyjne programy komputerowe okazują się w tej sytuacji bardzo pożytecznym narzędziem.,,Wgląd” do wnętrza odlewu i formy w tzw. procesie,,zimnego

odlewania” pozwala nie tylko na poprawę opracowywanej technologii, ale również ułatwia ocenę zjawisk fizycznych i krystalizacyjnych, zmniejsza koszty badań eksperymentalnych, przyspiesza wyciąganie poprawnych wniosków, a nawet pozwala potwierdzić lub zanegować teoretyczny model procesów. W niniejszej pracy wykorzystano program komputerowy

SIMTEC-3D firmy RWP do modelowania procesu tworzenia się warstwy kompozytowej na odlewach kul staliwnych o średnicach ϕ 100, 80 i 60 mm w różnych warunkach temperaturowych zalewania i dla różnych grubości materiału stopowego (folii) zastosowanych w formie. Plan eksperymentu komputerowego jest identyczny z planem eksperymentu rzeczywistego.

Geometria objętości kuli i geometria jej powierzchni a także geometria kształtu nadlewu stanowią istotną trudność w zapisie komputerowym nie tylko ze względu na inne potrzeby w dokładności modelowania ale i konieczności zagęszczenia siatki w strefie powierzchniowej kul oraz również ze względu na taką samą potrzebę - w warstwie materiału stopowego, o stosunkowo niewielkiej grubości 2,3 i 4 mm. Ponadto program winien „pracować” w dwu różnych zakresach temperatur interesujących nas ze względu na dane temperaturowe staliwa ($T_P = 1650$ °C, $T_L = 1525$ °C, $T_S = 1490$ °C) oraz dane temperaturowe materiału stopowego (Fe — Cr — C) $T_L = 1281$ °C, $T_S = 1220$ °C oraz $T_0 = 20$ °C.

Jak widać z zestawienia temperatur charakterystycznych dla zakresów krzepnięcia staliwa i wysokochromowej warstwy materiału stopowego, przedział pomiędzy T_S staliwa i T_L warstwy stopowej wynosi:

$$T_{S \text{ staliwa}} - T_{L \text{ (Fe-Cr-C)}} = 1490 - 1281 = 209 \text{ °C}$$

$$T_{S \text{ staliwa}} - T_{S \text{ (Fe-Cr-C)}} = 1490 - 1220 = 270 \text{ °C}$$

Oznacza to, że warstwa stopowa niezależnie od jej grubości działa na odlew w pierwszej fazie kontaktu z ciekłym staliwem — jako ochładzalnik zewnętrzny, po czym w zależności od jej grubości i masywności odlewu ulega nadtopieniu lub całkowitemu stopieniu. Tak więc pojemność cieplna odlewu (zależna od modułu krzepnięcia odlewu dla stałej temperatury zalewania) i grubość warstwy stopowej (przy celowo dobranych parametrach temperaturowych $T_{L \text{ (Fe-Cr-C)}}$ i $T_{S \text{ (Fe-Cr-C)}}$) mają podstawowy wpływ na optymalną jakość kompozytowej warstwy stopowej - a więc jej grubość w odlewie, szerokość strefy przejściowej, warunki stężeniowe i czasowe dyfuzji węgla i chromu w głąb odlewu. Te czynniki decydują o trwałości połączenia odlewu z warstwą stopową.

Potwierdza się również teza i model teoretyczny procesu, mówiące o tym, że w początkowym — chwilowym kontakcie ciekłego staliwa z warstwą stopową działającą jako ochładzalnik, tworzy się na jej wewnętrznej powierzchni bardzo cienka warstwa zakrzepła staliwa, która oddając jej swe ciepło krzepnięcia nagrzewa ją szybko do temperatury $T_{S \text{ w. st.}}$, a sama roztapia się dzięki znacznie większej pojemności cieplnej odlewu (zależnej również od temperatury przegrzania staliwa) od pojemności cieplnej warstwy materiału stopowego. Tworzy się cienka strefa przejściowa pomiędzy odlewem a warstwą kompozytową. Stopowa warstwa kompozytowa tworzy się zatem ze stanu ciekłego i tylko tak dobrane parametry procesu, które gwarantują taki jego przebieg — gwarantują również optymalną jej jakość.

Poniżej przedstawione zostaną wyniki i przebieg badań modelowych. Ze względu na potrzebę zilustrowania charakteru zjawisk towarzyszących procesom tworzenia się kompozytowej warstwy stopowej, przedstawione zostaną wyniki modelowania dla odlewu próbnego średniej kuli ϕ 80 mm, grubości warstw materiału stopowego 2,3 i 4 mm, temperatur zalewania form

1650, 1600 i 1550 °C oraz dla różnych charakterystycznych czasów trwania procesu. Wyniki modelowania dla odlewów kul ϕ 100 i 60 mm wykazują bardzo podobny lub identyczny charakter procesów.

Ponadto wyniki badań przedstawiono w dwu charakterystycznych zakresach temperatur krzepnięcia, a mianowicie:

- dla odlewu stalowego $\Delta T_{kr} = 1525 - 1490$ °C
- dla warstwy materiału stopowego $\Delta T_{kr(Fe-Cr-C)} = 1281 - 1220$ °C

Takie przedstawienie badań ułatwia ocenę wizualną i termofizyczną, zachodzących zjawisk w polu temperatur i kinetykę krzepnięcia (topnienia) obszarów odlewu i warstwy kompozytowej.

Na rys.1 przedstawiono geometrię zestawu badawczego odlewów kul ϕ 100, 80, 60 i 40 mm wraz z geometrią nadlewu (będącego jednocześnie układem wlewowym). Kula ϕ 40 mm w zestawie badawczym pełni rolę czaszy kulistej przyjmującej ciekły metal w czasie zalewania. Wypełnianie wnęki formy skorupowej dzięki temu jest łagodne i szybkie, czego nie gwarantuje klasyczny układ wlewowy. Nadlew i układ kul z wzrastającym w jego kierunku modułem krzepnięcia zapewniają właściwe zasilanie i częściową kierunkowość krzepnięcia.



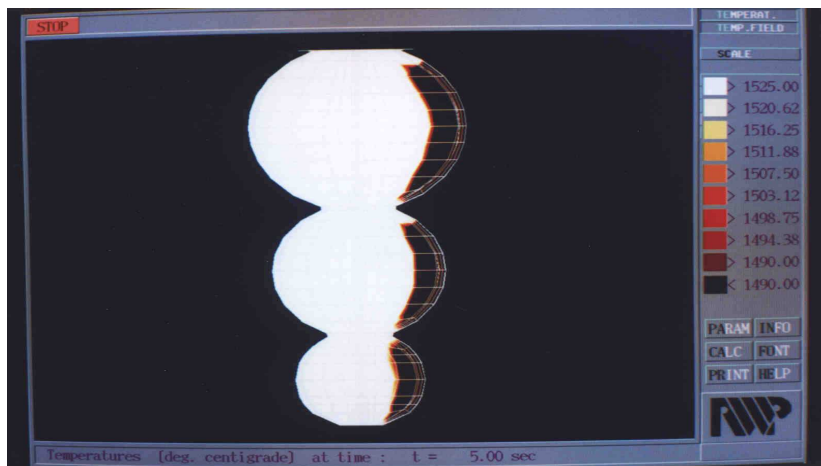
Rys. 1. Geometria zestawu badawczego odlewów kul ϕ 100, ϕ 80, ϕ 60 i ϕ 40

Na rys. 2 i 3 pokazano pole temperatury zestawu badawczego w różnych czasach trwania procesu, w skali temperatur zakresu krzepnięcia właściwego dla staliwa węglowego. Z rysunków widać bardzo szybki przyrost warstwy zakrzepłej staliwa na kompozytowej warstwie stopowej, zaś znacznie wolniejszy przyrost na tych częściach odlewów, gdzie ciekły metal kontaktuje się tylko z formą skorupową. Z szybkości przyrostu warstwy zakrzepłej stalowego odlewu na kompozytowej warstwie stopowej można sądzić o grubości występującej strefy przejściowej, w której zachodzą procesy dyfuzji składników stopowych.

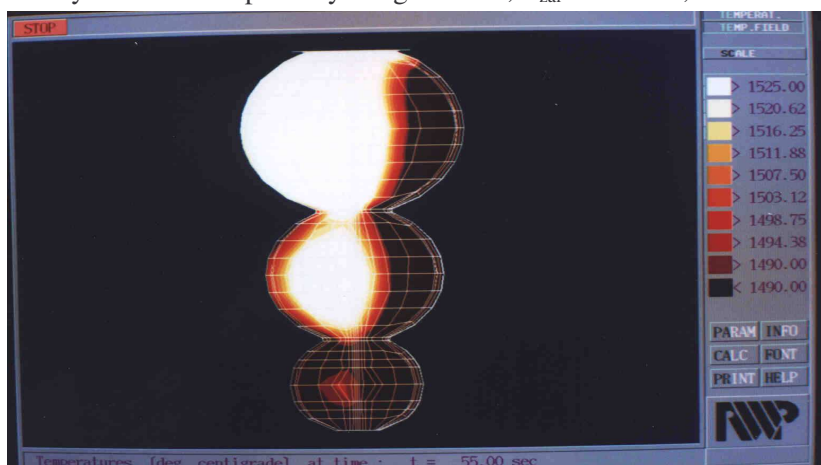
W miarę przechodzenia materiału stopowego (Fe-Cr-C) w stan ciekły ustają przeszkody na drodze procesów rozpuszczania i dyfuzji. Wymienione procesy limitują grubość strefy przejściowej oraz stężenie pierwiastków stopowych (Cr, C) w kompozytowej warstwie na odlewie. Procesy rozpuszczania i dyfuzji wpływają, również na końcową grubość kompozytowej warstwy stopowej, z reguły większą od grubości materiału stopowego (folii) w formie.

Jest to korzystny objaw, gdyż pozwala to sądzić o możliwości uzyskania dowolnie cienkich warstw kompozytowych o dużej odporności na zużycie na wybranych powierzchniach odlewów maszynowych (charakteryzujących się zazwyczaj małą grubością, ścianki).

Analizując tę część badań komputerowych, trzeba stwierdzić ścisły związek pomiędzy pojemnością cieplną odlewu, wyrażoną modułem krzepnięcia, temperaturą zalewania, grubością stopowej warstwy kompozytowej — a jej jakością, a także możliwością jej uzyskania w procesie wytwarzania odlewu.



Rys. 2. Pole temperatury dla $g = 3$ mm, $T_{\text{zal}} = 1600^{\circ}\text{C}$, $\tau = 15$ s



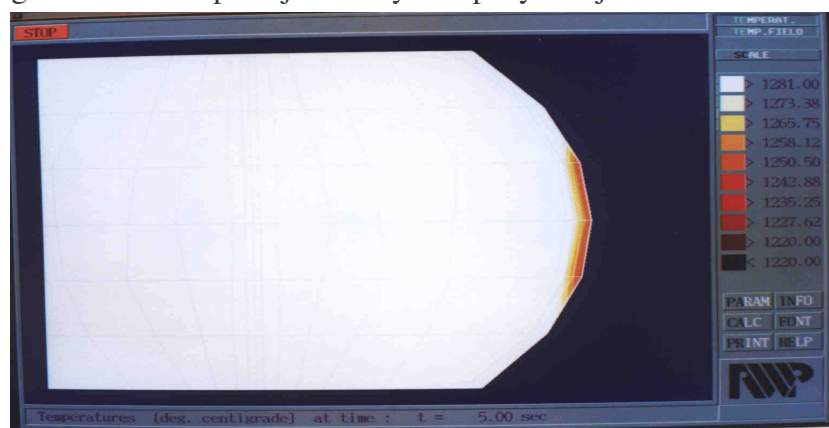
Rys. 3. Pole temperatury dla $g = 3$ mm, $T_{\text{zal}} = 1600^{\circ}\text{C}$, $\tau = 55$ s

Nie ulega wątpliwości, że w warunkach produkcyjnych, wybór parametrów procesu zależy głównie od wymagań stawianych przez proces „kompozytowania” wybranej powierzchni odlewu, co w pewnym stopniu może zakłócać tradycyjne i ustalone już inne parametry np. Temperaturę zalewania, odbieraną zwykle ze względu na cienkościenność lub masywność poszczególnych części odlewu (konieczność dolania tub uniknięcia jam skurczowych).

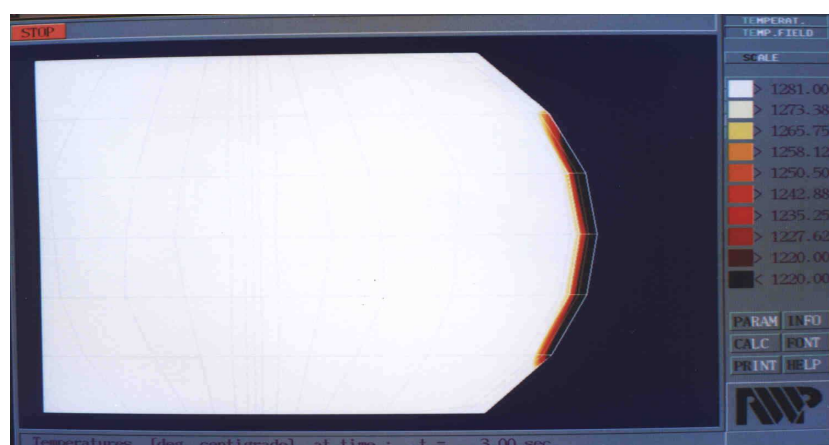
Przechodząc obecnie do przedstawienia wyników badań komputerowych dotyczących mechanizmu tworzenia się stopowej warstwy kompozytowej na odlewach stalowych oraz kinetyki nagrzewania się, topnienia i krzepnięcia warstwy stopowej, należy przypomnieć, że program komputerowy realizuje obliczenia w dwu zakresach temperatur charakterystycznych dla odlewu stalowego ($\Delta T_{\text{kr}} = 1525 - 1490^{\circ}\text{C}$) i dla materiału stopowego ($\Delta T_{\text{kr(Fe-Cr-c)}} = 1281 - 1220^{\circ}\text{C}$). Pozwala to śledzić proces zmian w czasie pola temperatury w warstwie stopowej.

Na rys.4,5 i 6 (kula ϕ 80 mm, $g = 2$ mm) pokazano, co dzieje się z warstwą stopową dla najwyższej temperatury zalewania formy (1650°C) po czasie ok. 6s. Po 3s warstwa stopowa jest jeszcze w stanie stałym i szybko nagrzewa się osiągając już po 5s stan stało — ciekły. W

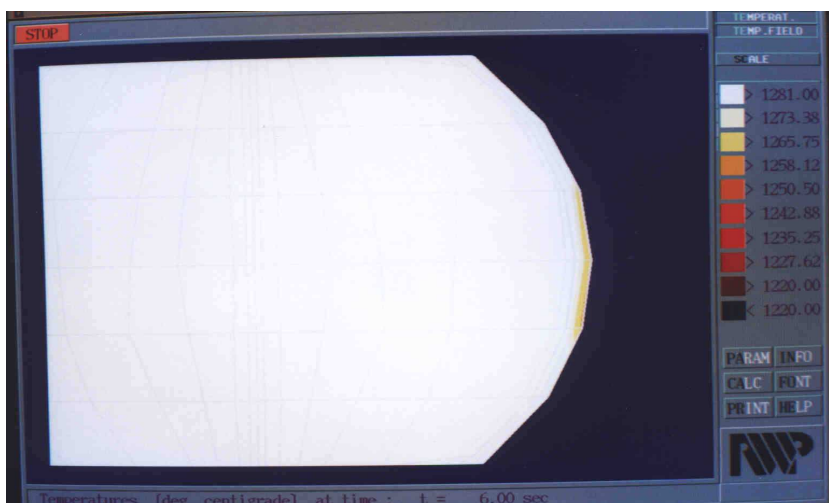
tym czasie odlew (patrz rys.2) staliwny zaczyna krzepnąć. Kolejne grubości warstwy stopowej, a więc $g = 3$ mm i $g = 4$ mm przy różnych temperaturach zalewania, ale widziane w tych samych czasach zachowują się podobnie, wykazując jednak silniejsze działanie ochładzające dla staliwa, co skutkuje „namrożeniem” warstewki, a później jej roztopieniem i dalszym nagrzewaniem stopowej warstwy kompozytovej.



Rys. 4. Pole temperatury w warstwie stopowej - $\phi 80$ mm, $g = 2$ mm, $T_{zal} = 1650^{\circ}\text{C}$, $\tau = 3$ s



Rys. 5. Pole temperatury w warstwie stopowej - $\phi 80$ mm, $g = 2$ mm, $T_{zal} = 1650^{\circ}\text{C}$, $\tau = 5$ s



Rys. 6. Pole temperatury w warstwie stopowej - $\phi 80$ mm, $g = 2$ mm, $T_{zal} = 1650^{\circ}\text{C}$, $\tau = 6$ s

3. WNIOSKI

Analizując przebieg symulacji komputerowej i modelowanie tworzenia się kompozytowych warstw stopowych na odlewach staliwnych można stwierdzić:

- a. w praktyce przemysłowej i eksploatacji odlewów z kompozytowymi warstwami stopowymi odpornymi na zużycie — nie istnieje potrzeba wytwarzania warstw grubszych niż kilka mm.
- b. Warstwy stopowe o większej grubości możliwe do uzyskania, ale ich jakość budzi zastrzeżenia, zwłaszcza jakość powierzchni umocnionej.
- c. Optymalne warunki wytwarzania kompozytowych warstw na odlewach staliwnych w formach piaskowych muszą uwzględniać podstawowe —tradycyjne warunki wytwarzania odlewów, w szczególności zaś istotnymi są związki pomiędzy modułem krzepnięcia odlewu a parametrami temperaturowymi ciekłego metalu (temperatura przegrzania i zalewania), grubość warstwy stopowej w granicach $2 \div 4$ mm jest mniej czuła na temperaturę zalewania i masywność odlewu.
- d. Stopowa warstwa kompozytowa na staliwie o optymalnych własnościach mechanicznych, powstaje w procesie przetapiania materiału stopowego przez ciekły metal odlewu (powstaje ze stanu ciekłego), stąd technologiczne warunki jej wytwarzania muszą uwzględniać wszystkie parametry opisane, ale także skład chemiczny materiału stopowego (Fe-Cr-C), wielkość ziarna materiału stopowego w folii, masę Fe-Cr-C na jednostkę powierzchni formy, a także warunki metalurgiczne topnienia i odlewania.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Nowa technologia uszlachetniania odlewów do pracy w trudnych warunkach mechanicznych. Projekt badawczy Nr 3 P407 012 07.
2. Praca zbiorowa: Badania procesów odlewniczych BK-203/RMT-3/2001.