

Destrukcja mas z żywicą furanową wywoływana promieniowaniem cieplnym ciekłego metalu

J. Zych, J. Mocek

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Odlewnictwa
ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska
e-mail: jzych@agh.edu.pl

Otrzymano 20.11.2014; zaakceptowano do druku 12.12.2014

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu nagrzewania elementów form piaskowych wykonanych z masy z żywicą furanową wywoływane promieniowaniem cieplnym ciekłego żeliwa. Próbkę masy umieszczano w bliskiej odległości (10-15 mm) od powierzchni górnej żeliwa znajdującego się w tyglu. Zastosowano autorską metodę badań. Wyznaczono przebiegi nagrzewania powierzchniowej warstwy próbek w funkcji czasu nagrzewania. Badaniem objęto powierzchnie próbek bez powłok i z powłokami ochronnymi. Wyznaczono wpływ czasu oddziaływania promieniowania na wytrzymałość na zginanie próbek po ich wystudzeniu do temperatury otoczenia. Stwierdzono, iż przy temperaturze żeliwa 1400 °C i przybliżeniu powierzchni próbki na odległość 10÷15 mm już po około 15 sekundach wytrzymałość masy zmniejsza się o blisko 70%. Nanoszenie powłok ochronnych zwiększa wytrzymałość powierzchniowej warstwy niekiedy kilkakrotnie. Nie pozwala jednak zachować wytrzymałości masy po poddaniu jej działaniu promieniowania cieplnego ciekłego żeliwa.

Słowa kluczowe: formy piaskowe, nagrzewanie form, destrukcja termiczna, utrata wytrzymałości

1. Wprowadzenie

Zalewanie form ciekłym metalem prowadzi do nieprzerwanego nagrzewania się ich wierzchnich warstw. Nagrzewanie ma charakter dwojakiego rodzaju: w miejscach, gdzie ciekłym metal styka się z powierzchnią formy nagrzewanie ma charakter konwekcji (wymiana na drodze kontaktu), natomiast w miejscach formy usytuowanych nad lustrem metalu (górną jego powierzchnią) nagrzewanie wywoływane jest na drodze promieniowania. W dotychczasowych badaniach proces nagrzewania analizowany jest w powiązaniu z możliwością powstawania wybranych wad powierzchniowych takich jak strupy [1÷4], żyłki [5], guzów jako skutków erozji [6, 7], przestawienie

wywołane zniekształceniem części form i rdzeni jako skutek odkształceń. Ta ostatnia ocena znana jest jako próba hot-distortion [8, 9].

Masy z żywicami - spoiwami organicznymi, charakteryzują się stosunkowo niską odpornością termiczną. Badania derywacyjne wykazują, iż masy te ulegają destrukcji już przy temperaturze wynoszącej nieco powyżej 200 °C. Ważną rolę odgrywa czynnik czasu. W badaniach autorów zdolności do przewodzenia ciepła grupy mas formierskich ze spoiwami wykazano, iż masy ze spoiwami organicznymi mają najniższą przewodność cieplną.

Odporność masy na termiczne oddziaływanie metalu ma istotny wpływ na dopuszczalny czas zalewania formy. Aby nie dochodziło do znaczącej destrukcji powierzchni formy, należy tak dobierać czas zalewania, aby był on krótszy od czasu, po upływie

którego rozpoczyna się rozpad masy w wierzchniej warstwie wneki formy. Niespełnienie tego warunku prowadzi do rozmywania wierzchniej warstwy i powoduje powstawanie wad odlewów typu zapiaszczenie, zażuzlenie, przypalenie, itp.

W pracy wykonano badania nad określeniem oddziaływania promieniowania ciekłego metalu na wierzchnią warstwę form wykonanych z mas z żywicą furanową. Wyznaczono wpływ oddziaływania cieplnego na wytrzymałość końcową masy. Uzyskano potwierdzenie o bardzo małej wytrzymałości tych mas na termiczne oddziaływanie ciekłego metalu, wyznaczono czasy po upływie których masa traci swoją spójność.

2. Badania własne

Nagrzewanie powierzchni formy paskowej znajdującej się w pewnej odległości od powierzchni ciekłego metalu (np. żeliwa) jest złożonym procesem wymiany ciepła, w którym wiodącą rolę odgrywa promieniowanie, ale udział ma również wymiana na drodze konwekcji. Zgodnie z prawem Stefana – Boltzmanna energia wypromieniowana (E_o) przez ciało jest proporcjonalna do 4-tej potęgi jego bezwzględnej temperatury (θ), co zapisuje równanie (1).

$$E_o = C \left(\frac{\theta}{100} \right)^4 \quad (1)$$

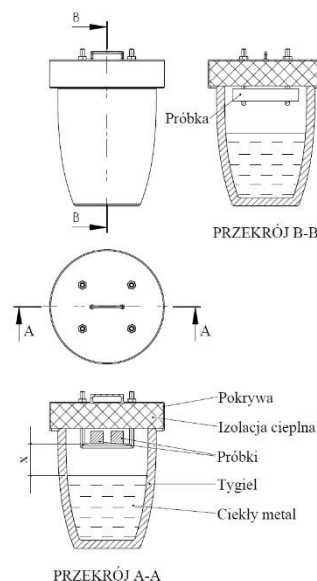
Szybkość nagrzewania powierzchni zależy od temperatury promieniującego ciała, odległości pomiędzy powierzchnią promieniowania i powierzchnią nagrzewaną, od współczynnika pochłaniania ciepła oraz innych czynników.

2.1. Koncepcja prowadzenia badań

Badania oddziaływania cieplnego na masę ze spoiwami organicznymi prowadzono wykorzystując ciekłe żeliwo znajdujące się w tyglu pieca indukcyjnego, jako źródło wyznaczając w ten sposób skalę utraty wytrzymałości. Na rysunku 1 przedstawiono koncepcję prowadzenia badań. Standardowe próbki masy stosowane w próbie zginania podwieszano pod izolowaną pokrywą, którą umieszczano na górnej powierzchni tygla, w którym utrzymywano metal w stanie ciekłym. Intensywność i skalę nagrzewania można sterować: dobierając temperaturę ciekłego metalu, odległość pomiędzy powierzchnią próbek i powierzchnią górną ciekłego metalu (odległość „x” na rys. 1) oraz zmieniając czas przetrzymywania próbek nad metalem. Po nagraniu próbek były one studzone do temperatury otoczenia, a następnie określano ich wytrzymałość na zginanie. Wyznaczoną wytrzymałość odnoszono do wytrzymałości próbek wyjściowych, które nie poddawano nagrzewaniu.

2.2. Wyniki badań

Badania, których wyniki prezentowane są w pracy, obejmują masy z żywicą furanową i osnową w postaci regeneratu tejże masy.



Rys. 1. Koncepcja nagrzewania próbek promieniowaniem ciekłego metalu

Sporządzana masa miała skład: osnowa (regenerat) - 100% ; żywica furanowa (Furtonal) - 1,0%, + utwardzacz (kwas PTS) – 0,5%. Z tak przygotowanej masy wykonywano znormalizowane próbki do badań wytrzymałości na zginanie (22,36x22,36x120 mm). Po 24 godzinach utwardzania próbki poddawano badaniom opisanym powyżej.

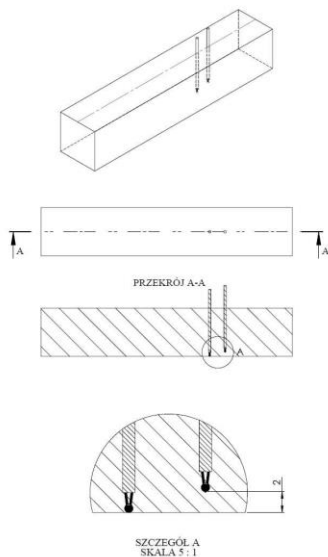
2.2.1. Badania przebiegu nagrzewania próbek

Szybkość nagrzewania powierzchni formy przez ciekły metal w drodze promieniowania jest stosunkowo słabo rozpoznana. Przeprowadzono serię pomiarów, których celem było wyznaczenie przebiegu nagrzewania próbek umieszczonych nad lustrem metalu, jak pokazano to na rysunku 1. Badano nagrzewanie wierzchniej warstwy próbki poddanej oddziaływaniu promieniowania z powierzchni ciekłego żeliwa.

W próbkach umieszczano dwie termopary jak pokazano to na rysunku 2. Jedną termoparę umieszczano tak, aby spoina pomiarowa przylegała do nagrzewanej powierzchni, drugą - w taki sposób, aby punkt pomiaru był umieszczony na głębokości 2,0 mm od tej powierzchni. Badaniami przebiegów nagrzewania objęto próbki bez powłok ochronnych i z powłokami nanoszonymi na powierzchnię poddawaną nagrzewaniu.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów. Ciekły metal (żeliwo) podczas prowadzenia badań miał temperaturę 1400 °C, natomiast odległość pomiędzy powierzchniami: lustro metalu - próbka masy mieściła się w przedziale 10 – 15 mm. Warstwa masy bezpośrednio poddana działaniu promieniowania nagrzewa się w ciągu około 30 s do temperatury 650÷800 °C. Warstwy na głębokości 2,0 mm nagrzewają się do temperatury 200÷300 °C. Warstwy położone w zakresie 0,0÷2,0 mm są nagrzewane do temperatury pośredniej pomiędzy wymienionymi zakresami. Nanoszenie powłok ochronnych tylko w niewielkim stopniu zmienia przebieg nagrzewania, powłoki na osnowie cyrkonowej

(PCM i ALKO) niejako „sprzyjają” nagrzewaniu, natomiast powłoki grafitowe (PCG4) „chronią” powierzchnię przed intensywnym nagrzewaniem.



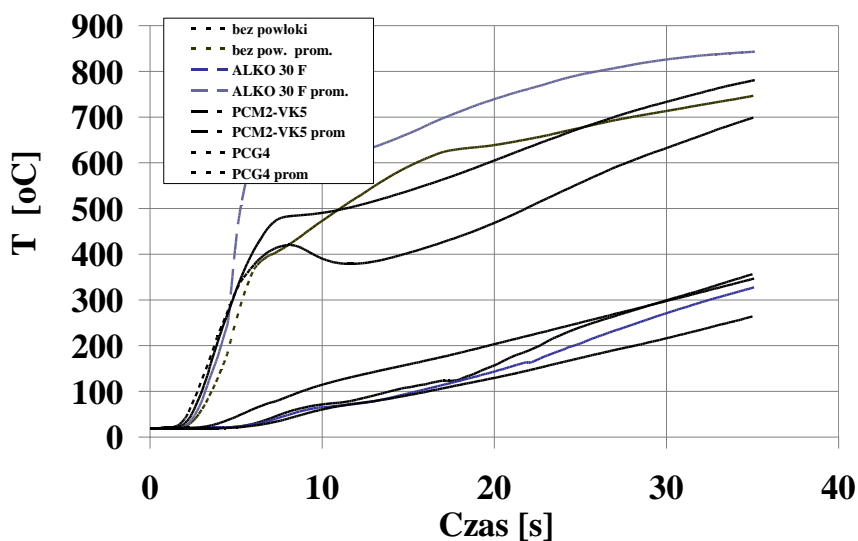
Rys. 2. Sposób umieszczenia termopar w próbkach wytrzymałości na zginanie poddawanych nagrzewaniu przez promieniowanie

2.2.2. Wpływ czasu nagrzewania na wytrzymałość R_g

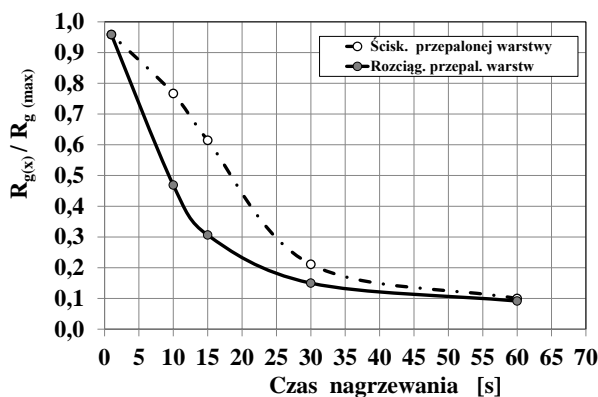
Oceniono wpływ czasu nagrzewania w przedziale $10 \div 60$ s na wytrzymałość R_g masy określaną po wystygnięciu masy. Badania dotyczą masy sporządzonej na osnowie regeneratu, a próbki poddane nagrzewaniu nie były pokrywane powłokami ochronnymi (rys. 4).

Wyniki przedstawiono w układzie względnych wartości. Ich analiza prowadzi do wniosku, iż już 10 s nagrzewania, podczas którego masa w wierzchniej warstwie próbki nagrzewa się maksymalnie do około $500\text{ }^\circ\text{C}$ (rys. 3), prowadzi do spadku wytrzymałości o blisko 50%. Dalsze nagrzewanie przez około 30 s. prowadzi do spadku wytrzymałości do wartości stanowiącej zaledwie 10% wytrzymałości początkowej.

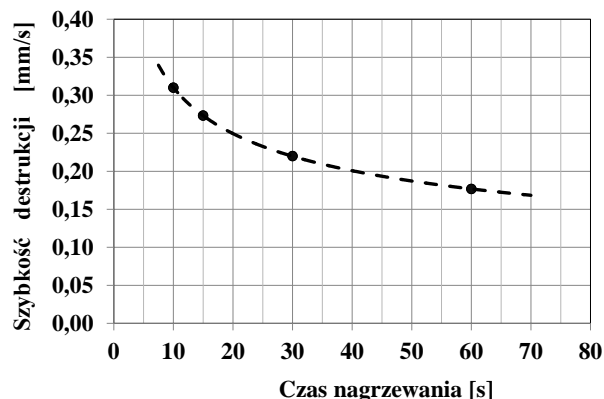
W trakcie nagrzewania masy obserwuje się postępującą jej destrukcję, w kolejnych warstwach próbki dochodzi do niszczenia wiązań ziaren utworzonych przez spoiwo. Prowadzi to do oddzielania się warstewek masy i ich odpadania się od próbki. Widoczne jest to na rysunku 5. Wykonano pomiary ubytków warstwy masy w kolejnych próbkach pokazanych na rysunku 5. Na tej podstawie sporządzono wykres 6, pokazujący szybkość narastania warstwy, w której spoiwo uległo degradacji. Można zauważyć, iż największą szybkość procesu obserwuje się w pierwszym okresie, podczas nagrzewania zewnętrznych warstw próbki, kiedy ta prędkość wynosi ponad $0,30\text{ mm/s}$. W dalszym okresie proces destrukcji zmniejsza swoją prędkość do wartości około $0,15\text{ mm/s}$.



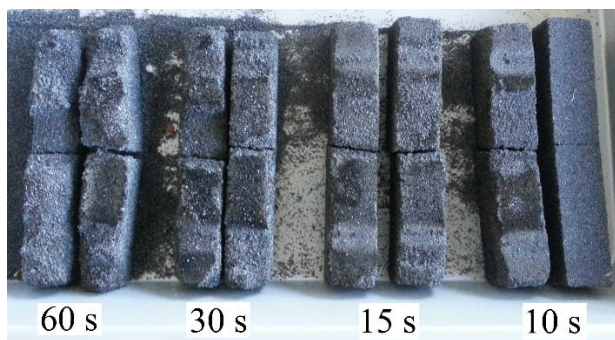
Rys. 3. Przebiegi nagrzewania próbek masy umieszczonych nad lustrem ciekłego żeliwa. Linie wyżej położone dotyczą wierzchniej warstwy masy, niżej – warstwy masy położonej na głębokości 2,0 mm



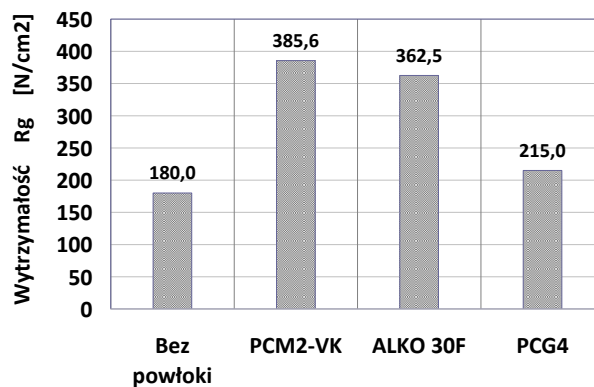
Rys. 4. Zmiany wytrzymałości R_g wywołane oddziaływaniem promieniowania ciepłego żeliwa; T_{met.} = 1400 °C, odległość próbki od lustra metalu x ≈ 10 mm



Rys. 6. Wpływ czasu nagrzewania na szybkość destrukcji warstwy masy furanowej - regenerowanej. T_{met.} = 1400 °C; odległość powierzchni próbki od lustra metalu x ≈ 10 mm



Rys. 5. Wygląd próbek wykonanych z masy z żywicą furanową po poddaniu ich działaniu promieniowania z powierzchni ciepłego metalu



Rys. 7. Wpływ powłok ochronnych na wytrzymałość na zginanie mas z żywicą furanową sporządzonych na osnowie regeneratu

2.2.3. Rola powłok ochronnych

Powłoki ochronne nanoszone są dla podwyższenia wytrzymałości wierzchnich warstw form i rdzeni piaskowych oraz dla zmniejszenia skłonności ciepłego metalu do wnikania w głąb formy. Powłoki nanoszone są praktycznie na wszystkie formy i rdzenie wykonane z mas ze spoiwami chemicznymi.

Stosując opisaną metodykę wykonano badania odporności na działanie promieniowania próbek masy, na powierzchnię których naniesiono testowane powłoki (trzy rodzaje). Podobnie jak wcześniej określano wytrzymałości po wystygnięciu nagrzewanych promieniowaniem metalu próbek masy.

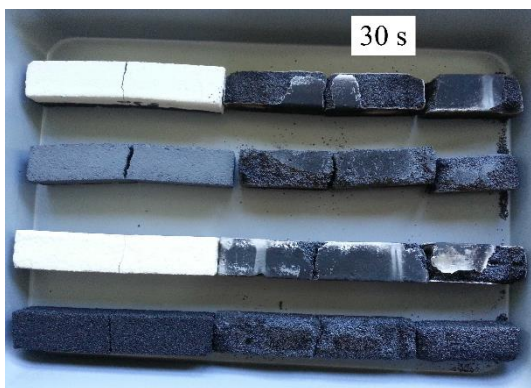
Badania potwierdziły, iż naniesienie powłoki ochronnej prowadzi do wzmocnienia wierzchnich warstw formy (próbek), do zwiększenia ich wytrzymałości na rozciągania w stanie po wysuszeniu powłoki. Efekt wzmocnienia pokazano na rysunku 6, gdzie w próbce zginania wytrzymałość wzrosła ze 180 N/cm² do poziomu ponad 350 N/cm².

Niestety, termiczne oddziaływanie promieniowania prowadzi do destrukcji powierzchni również wtedy, gdy naniesiono na nie powłoki ochronne. Wygląd próbek po poddaniu ich działaniu promieniowania pokazano na rysunku 7.

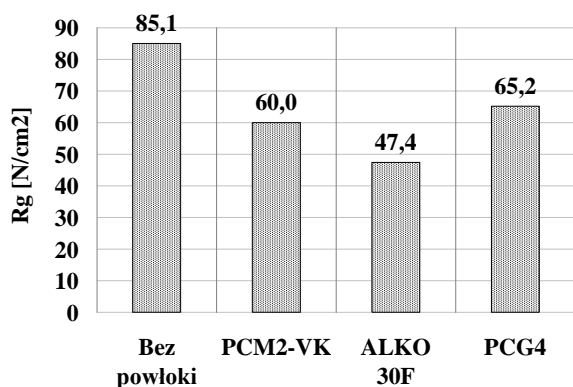
Wytrzymałość próbek poddanych nagrzewaniu przez 30 s przedstawiono na rysunku 8. Utrata wytrzymałości w próbkach z powłokami jest większa niż w próbkach bez powłoki. Przykładowo próbka z powłoką PCM2-VK w stanie na zimno po wysuszeniu miała wytrzymałość R_g > 380 N/cm², a po nagrzewaniu przez 30 s jej wytrzymałość zmniejszyła się do R_g ~ 60 N/cm². Podobnie zachowują się pozostałe powłoki poddane nagrzewaniu przez lustro ciepłego żeliwa. Świadczy to o bardzo krótkotrwałym zabezpieczeniu powierzchni form przez powłoki ochronne nanoszone na masy z osnową w postaci regeneratu i spoiwem – żywica furanową

3. Podsumowanie

Masy z żywicami furanowymi najczęściej stosowane są na formy przy wykonywaniu średnich i dużych odlewów żeliwnych, coraz częściej również odlewów ze staliwa. Czas zalewania takich form trwa najczęściej powyżej 60 s, niekiedy do 2,0 – 3,0 min.



Rys. 8. Wygląd próbek z powłokami ochronnymi w stanie po próbie zginania. Po prawej – złamane próbki poddane wcześniej działaniu nagrzewania przez 30 s



Rys. 9. Wytrzymałość na zginanie próbek masy z żywicą furanową po nagrzewaniu ich przez promieniowanie przez 30 s, odległość lustra metalu od próbki: $x = 10$ mm

Warstwy masy przylegające do wnęki formy nagrzewane są przez ciekły metal na drodze przewodzenia, konwekcji i promieniowania. Górne i częściowo boczne ściany wnęki formy nagrzewane są głównie przez promieniowania.

Przeprowadzone badania opracowaną metodą pokazały, iż proces utraty wytrzymałości mas z żywicą furanową jest bardzo szybki. Wystarczy kilkanaście sekund oddziaływania, aby masa utraciła 2/3 początkowej wytrzymałości. Badaniami objęto masy z regeneratem, jednak można spodziewać się, iż masy ze świeżą osnową zachowują się podobnie. Destrukcji cieplnej ulega spoiwo, a nie osnowa. Powłoki ochronne nanoszone na powierzchnie poddawane szokowi termicznemu słabo chronią je przez utratą wytrzymałości.

Destrukcja kolejnych warstw masy po zbliżeniu lustra metalu na odległość około 10 mm postępuje bardzo szybko, z prędkością z przedziału 0,15 -0,30 mm/s. Mała termiczna odporność mas z żywicami furanowymi może utrudniać uzyskiwanie odlewów bez wad szczególnie w przypadkach, kiedy górne powierzchnie wnęki

formy są duże i rozwinięte. W powierzchniowe warstwy odlewów może wtedy pojawiać się mechanicznie wmiészana masa, które w wyniku destrukcji wiązań utraciła połączenie z resztą formy.

Prezentowana praca stanowi przyczynek do prac z wskazanego obszaru i inicjuje szersze badania nad odpornością wierzchnich warstw formy na szoki termiczne wywoływane ciepłem promieniowania ciekłego metalu wypełniającego wnękę formy.

Podziękowania

Badania wykonano w ramach prac statutowych nr 11.11.170.384 - zad. 4.

Literatura

1. Baler J., Koppen M. (1994). Podręcznik wad odlewniczych. IKO Erbsloh, Marl.
2. Schreder A, Macherauch E. (1975). Schulpversuche an strahlungsbeheizten, ebenen Formdecen aus tongebundenem Quarzsand. *Giesserei – Forschung* 27, 1975, s. 145-148.
3. Schreder A, Macherauch E. (1977). Zur Temperaturverteilung in strahlungs, ebenen Formdecen aus tongebundenem Quarzsand. *Giesserei – Forschung* 29, 1977, s. 41 - 46.
4. Gawlikowska M, Ryglicki R. (1982). Untersuchung der die Slupneigung beeinflussenden Vorgänge in der Kondensationszone tongebundener Formsande. *Giesserei-Forschung*. 34. 1982. S. 147-152.
5. Fałęcki Z. (1997). Analiza wad odlewów. Wydawnictwa AGH. Kraków (1997). ISSN02339 – 6114.
6. Mocek J, Zych J, Chojecki A. (2004). Study of erosion phenomena in sand moulds poured with cast iron. *International Journal of Cast Metals Research. British Cast Iron Research Association* ; ISSN 1364-0461. 2004 vol. 17 no. 1 s. 47–50.
7. Mocek J. (2002). Erosion of the sand moulds during filling by liquid cast iron. *Archives of Foundry* .ISSN 1642-5308. — 2002 R. 2 nr 5 s. 100–105.
8. Jakubski J, Dobosz St. M. (2003). Analysis of thermal deformation of core sands using apparatus DMA. *Archives of Foundry* ; ISSN 1642-5308. (2003) R. 3 nr 9 s. 246–251.
9. Dobosz St. M., Jakubski J. (2001) Hot-distortion – important criterion of estimation of core sand's quality – *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji = Archives of Mechanical Technology and Automation / Komisja Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Oddział w Poznaniu* ; ISSN 1233-9709. 2001 vol. 21 nr 1 s. 31–36.

Destruction of Moulding Sands with Furan Resin Caused by Heat Radiation of Liquid Metal

Abstract

The work presents the results of tests of the heating process of sand-mould elements made of sands with furan resin caused by heat radiation of liquid cast iron. Samples of the moulding sands were placed in near proximity (10-15 mm) of the top surface of cast iron located in a crucible. An original research method of the author was used. Trajectories of heating of the surface layer of samples in the time function were determined. The testing covered surfaces of layers both with and without coatings. The impact of the time of influence of the radiation on the samples' bending strength after cooldown to environment temperature was determined. It was found that for cast iron of the temperature 1400 °C and with samples moved closer to 10-15 mm bending strength of the mass decreases by almost 70% after as little as 15 seconds. Laying down protective coatings increases resistance of the surface layer, sometimes even multiplying it. However it does not enable saving the mass' resistance after it is subjected to heat radiation of liquid cast iron.