

**STANOWISKO DO BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA
ROZCIĄGANIE KRZEPNĄCYCH METALI I STOPÓW**J. MUTWIL¹Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego
65-546 Zielona Góra, ul. Szafrana 4.**STRESZCZENIE**

Opisano prototypowe stanowisko do badania wytrzymałości na rozciąganie krzepnących i stygnących metali i stopów. W pomiarze rejestrowana jest siła rozciągająca i wydłużenie testowego odlewu oraz temperatura na przekroju jego ścianki. Stanowisko umożliwia prowadzenie badań przy różnych szybkościach stygnięcia odlewu.

Key words: tensile strength of solidifying and cooling metals and alloys

1. WPROWADZENIE

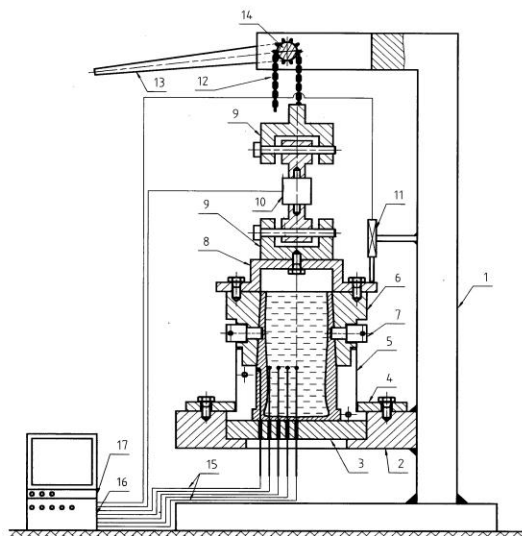
Wytrzymałość krzepnących i stygnących metali i stopów na rozciąganie ma istotne znaczenie w okresie tworzenia się odlewu. Jej niewystarczająca wartość w okresie krzepnięcia może sprzyjać powstawaniu pęknięć na gorąco. Niewystarczająca wytrzymałość na rozciąganie w świetle generowanych w odlewie naprężeń może być również przyczyną jego pęknięcia w okresie stygnięcia. Częstość występowania wad wynikających z niewystarczającej w stosunku do naprężeń wytrzymałości na rozciąganie jest ściśle uzależniona od rodzaju technologii odlewania. W odlewaniu ciągłym powierzchniowe wady odlewów wynikają przede wszystkim z niewystarczającej wytrzymałości poddawanego rozciąganiu naskórka. Dla badania wytrzymałości na rozciąganie powierzchniowych warstw krzepnącego kierunkowo odlewu opracowano w Instytucie Odlewnictwa w Aachen szereg specjalistycznych instalacji doświadczalnych i wykona-

¹ dr hab. inż., prof. UZ, j.mutwil@iipm.uz.zgora.pl

no badania między innymi dla stopów Al-Cu, Al-Mg i Cu-Zn [1, 2]. Z uwagi na znaczne przekroje rozrywanych odlewów we wspomnianych instalacjach stosowano siłowniki hydrauliczne dużej mocy. Propozycję stanowiska do prowadzenia analogicznych badań, lecz bez konieczności budowy skomplikowanej hydraulicznej maszyny wytrzymałościowej przedstawiono poniżej. W rozwiązaniu, dzięki zastosowaniu odpowiednio małego przekroju odlewu testowego, można było zastosować napęd ręczny. Istotną zaletą rozwiązania jest możliwość łatwego doboru szybkości stygnięcia testowego odlewu.

2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

Schemat ideowy jednej z opracowanych wersji stanowiska przedstawiono na rysunku 1. Na stanowisku rozciągany jest odlew walca o średnicy $\phi 40\text{ mm}$ i wysokości 70 mm . Badany metal wlewany jest od góry do dwuczęściowej kokili, której utwierdzona w podstawie 2 dolna połówka 5 jest dzielona, a niedzielona górna połówka 6 jest ruchoma i może być unoszona za pomocą mechanizmu łańcuchowego. Elementy formy wykonano ze stali WCL i poddano ulepszeniu cieplnemu (końcowe odpuszczenie przeprowadzono w temperaturze $650\text{ }^{\circ}\text{C}$).

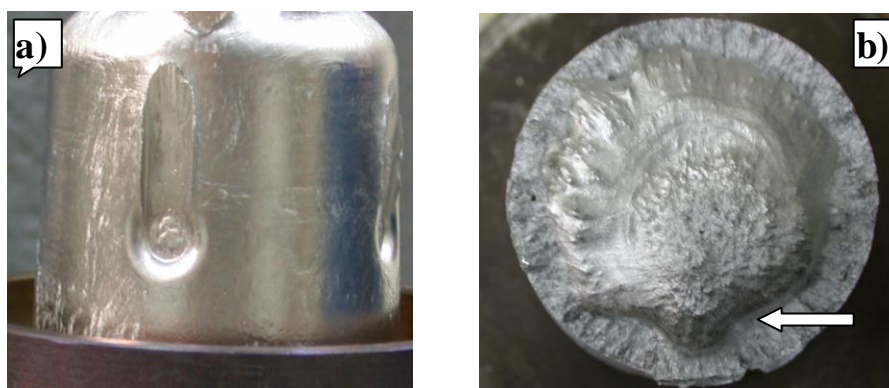


Rys. 1. Stanowisko do badania wytrzymałości na rozciąganie krzepnących i stygnących metali i stopów: 1 – rama, 2 – podstawa, 3 – dno kokili, 4 – pierścień ustalający, 5 – nieruchoma dzielona dolna część kokili, 6 – ruchoma dzielona górna część kokili, 7 – kołki blokujące, 8 – poprzeczka, 9 – uchwyt czujnika siły, 10 – czujnik siły, 11 – czujnik przemieszczeń, 12 – łańcuch, 13 – dźwignia, 14 – koło łańcuchowe, 15 – termoelementy płaszczowe, 16 – mikroprocesorowy rejestrator, 17 – komputer

Fig. 1. Test stand for examination of tensile strength of solidifying and cooling metals and alloys: 1- frame; 2- base; 3- mould bottom; 4- retainer ring; 5- stationary bottom part of sectional

mould; 6- upper part of movable not sectional mould; 7- blocking pins; 8- cross-bar; 9- force sensor holder; 10-force sensor, 11- position sensor; 12-chain, 13-lever, 14-chain wheel, 15- mantle thermocouples; 16- microprocessor recorder; 17- microcomputer.

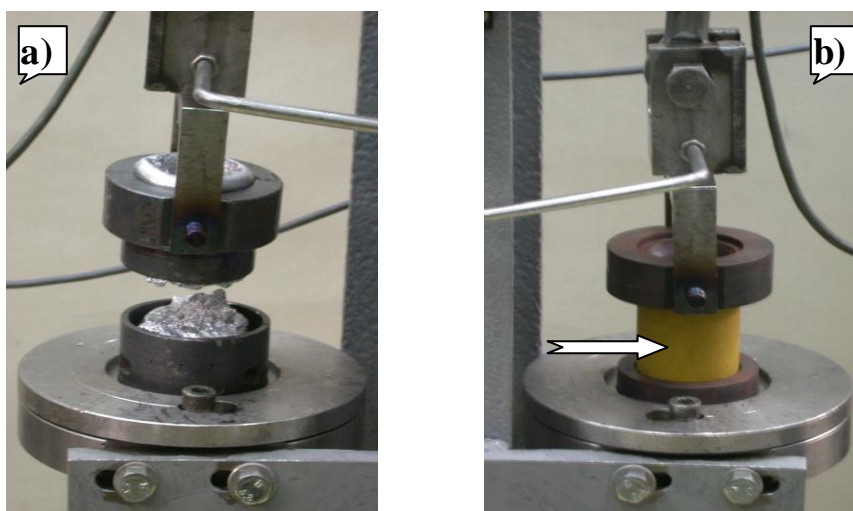
Siła z jaką rozciągany jest odlew mierzona jest za pomocą czujnika 10 łączącego ruchomą połówkę formy z końcówką łańcucha 12. Wydłużanie odlewu mierzone jest czujnikiem przemieszczenia 11 poprzez pomiar zmian położenia ruchomej części formy. Dolna dzielona połówka kokili osadzana na tarczy 3 w gnieździe podstawy unieruchamiana jest pierścieniem ustalającym 4. Metalowa tarcza posiada otwory pozwalające na wprowadzanie płaszczowych termoelementów $\phi 1\text{ mm}$ do pomiaru temperatury na przekroju odlewu. Wysuwaniu się rozciąganego odlewu z dolnej części formy zapobiega kołnierz. Górna, niedzielona połówka kokili - wsuwana w połówkę dolną - posiada wnękę w formie stożka ściętego (zbieżność 1°), a wysuwaniu się z niej rozciąganego odlewu zapobiegają cztery kołki blokujące 7. Po zakończeniu eksperymentu kołki można wycofać, co pozwala wysunąć odlew z górnej, niedzielonej połówki formy. Takie rozwiązanie formy zapewnia usunięcie z niej odlewu nawet, gdy nie pęknie on w trakcie eksperymentu. Badania testujące przeprowadzone dla aluminium i dwuskładnikowych stopów Al-Si potwierdziły skuteczność rozwiązania dla stopów nadeutektycznych. W przypadku pozostałych stopów oraz aluminium zbyt mała twardość krzepnącego metalu powodowała, że podczas rozciągania odlew odkształcał się plastycznie pod wpływem nacisku kołków i stopniowo wysuwał z formy, a na jego powierzchni widoczne pozostawały wyraźne zagłębienia (rys. 2a - przykład dla stopu AlSi1.65%).



Rys. 2. Stop AlSi1.65%: a) brak pęknięcia – odlew wysunął się z formy; b) obraz przelomu próbki uzyskanej na urządzeniu z rys. 3a.

Fig. 2. AlSi1.65% alloy : a) no crack – the casting has been slipped from the mould ; b) fracture image of the sample obtained on test stand from Fig. 3a.

Aby umożliwić prowadzenie badań na stopach o małej w okresie krzepnięcia twardości zmieniono konstrukcję górnej połówki kokili, wykonując ją – podobnie jak dolną - jako dzieloną z kołnierzem oporowym i modyfikując jej połączenie z czujnikiem siły (rys. 3a). Opisane zmiany konstrukcyjne pozwoliły prowadzić badania również na stopach podeutektycznych (rys. 2b). W badaniach, poprzez dobór początkowej temperatury formy, można zmieniać szybkość stygnięcia odlewu, a więc i morfologię krzepnięcia. Zmianę morfologii krzepnięcia umożliwia również przedstawiona na rysunku 3b wersja stanowiska do rozciągania odlewu krzepnącego w formie skorupowej. W tej wersji wskazana strzałką tuleja skorupowa odtwarzająca odlew walca $\varnothing 80 \times 60$ umieszczona jest w gniazdach dwu niedzielonych uchwytów stalowych zaopatrzonych podobnie jak formy z rys. 3a w kołnierze oporowe. Niezależnie od rodzaju formy w eksperymencie rejestrowana jest temperatura metalu w co najmniej czterech punktach przekroju rozciąganego odlewu (w miejscu pokazanym schematycznie na rys.1). Przebieg zmian temperatury mierzonej każdym z termoelementów przedstawiany jest na bieżąco w formie wykresowej na monitorze komputera, co stwarza możliwość rozpoczęcia rozciągania odlewu przy założonym zaawansowaniu procesu krystalizacji.

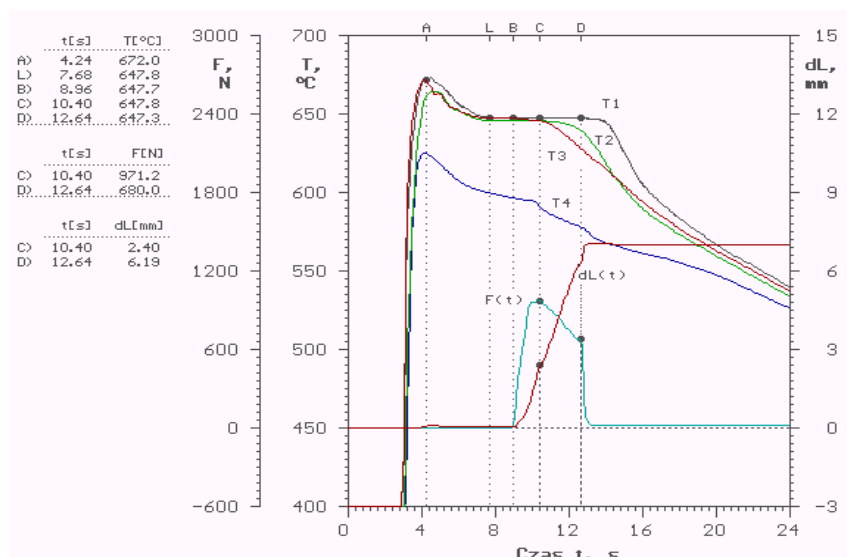


Rys. 3. Inne wersje stanowiska: a) forma metalowa z dzieloną górną połówką – widok po próbie rozciągania; b) forma skorupowa przed zalaniem

Fig. 3. Another versions of test stand: a) metal mould with sectional upper part- view after the tensile test; b) resin-bonded sand mould before casting

Na rysunku 4 przedstawiono zbiorczy wykres wszystkich sygnałów zarejestrowanych podczas eksperymentu, w którym uzyskano przełom pokazany na rysunku 2b. Krzywe oznaczone na rysunku jako $T1$, $T2$, $T3$, $T4$ reprezentują odpowiednio temperaturę: w osi odlewu, w odległości 7 i 14 mm od jego osi i przy ścianie. Krzywa oznaczona jako $F(t)$ obrazuje siłę rozciągającą odlew, a krzywa $dL(t)$ jego wydłużenie bezwzględne. Nad

górną krawędzią wykresu widoczne są oznaczenia literowe, którymi oznaczono istotne etapy eksperymentu (*A*- etap zalewania, *B*- początek rozciągania odlewu, *C*- początek pęknięcia odlewu, *D*- ostateczne, całkowite pęknięcie odlewu, *L*- osiągnięcie temperatury likwidus w osi odlewu). Temperaturę w osi odlewu odpowiadającą wprowadzonym oznaczeniom oraz wybrane wartości siły rozciągającej i wydłużenia wydrukowano w lewej części wykresu. Analiza przebiegu krzywych pozwala zauważyć, że rozciąganie rozpoczęło się, gdy w osi odlewu i w odległości 14 mm od niej metal miał jeszcze temperaturę likwidus. Początek pęknięcia (punkt *C*) zbiegł się w czasie z momentem, w którym front krystalizacji osiągnął obszary odlewu odległe o 14 mm od jego osi. Do tego momentu odlew wydłużył się o 2.4 mm, a siła osiągnęła swoje maksimum (971 N).



Rys. 4. Stop AlSi1.65% - krzywe zarejestrowane dla odlewu z rys. 2b.

Fig. 4. AlSi1.65% alloy - curves registered for casting from Fig. 2b.

Do momentu całkowitego pęknięcia (punkt *D*) odlew wydłużał się quasi liniowo, a wydłużenie końcowe wyniosło 6.2 mm. W okresie tym siła malała również quasi liniowo, osiągając w punkcie *D* wartość 680 N. W momencie całkowitego pęknięcia w centrum odlewu panowała jeszcze temperatura likwidus. Oględziny przełomu odlewu (rys. 2b) pozwalają zauważyć, że krzepł on wyraźnie warstwowo i w momencie pęknięcia w znacznym obszarze przekroju metal był w stanie stało-ciekłym, tym samym obciążenia przenosiła przede wszystkim zewnętrzna warstwa zakrzepła. Granicę warstwy zakrzepłej wskazano na rysunku 2b ostrzem strzałki.

3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono stanowisko badawcze, na którym osiowo rozciągany jest krzepnący odlew walca. W okresie rozciągania rejestrowana jest siła rozciągająca, wydłużenie odlewu oraz temperatura na jego przekroju. Tym samym stworzone zostały podstawy do określania wytrzymałości na rozciąganie krzepnących metali i stopów. Wszystkie przedstawiona w pracy wersje stanowiska do badania wytrzymałości na rozciąganie krzepnących i stygnących metali i stopów to rozwiązania wstępne, umożliwiające jednakże uzyskanie materiału empirycznego niezbędnego do opracowania wersji ostatecznej, w której rozciąganie odlewu testowego powinno być realizowane mechanicznie, z możliwością doboru prędkości rozciągania. Przyjęta konstrukcja ramy urządzenia pozwoli łatwo zastąpić ręcznie napędzany mechanizm łańcuchowy odpowiednim mechanizmem z siłownikiem hydraulicznym lub napędem elektrycznym. Na podstawie badań na stopach z układu Al-Si stwierdzono, że spośród trzech analizowanych wersji form testowych do badań wytrzymałości na rozciąganie krzepnących metali i stopów przydatne okazały się rozwiązania z kołnierzem oporowym w górnej i dolnej części formy. Próba blokowania rozciąganego odlewu w jednej z połówek formy za pomocą kółek wchodzących do jej wnęki nie powiodła się dla stopów podeutektycznych z uwagi na ich zbyt małą twardość w okresie krzepnięcia. Taka wersja formy może być natomiast przydatna do określania wskaźnika umownej twardości odlewu w okresie krzepnięcia i stygnięcia.

LITERATURA

- [1] Ohm L.: *Mechanische Eigenschaften erstarrender Randschalen*, VDI-Verlag, Dueseldorf 1989, Reihe 18, nr 63.
- [2] Dickhaus P.: *Mechanische Eigenschaften erstarrender Randschalen aus Aluminium- und Kupferlegierungen*, Verlag Mainz – Wissenschaftsverlag, Aachen 1994, D 82, Diss. RWTH Aachen.

TEST STAND FOR INVESTIGATION OF TENSILE STRENGTH OF SOLIDIFYING AND COOLING METALS AND ALLOYS

SUMMARY

A stand for examination of tensile strength of solidifying and cooling metals and alloys has been described. The tensile force, extension of test casting and temperatures of his wall are in measurement registered. The influence of casting cooling rate can be examined.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Zenon Niedźwiedzki