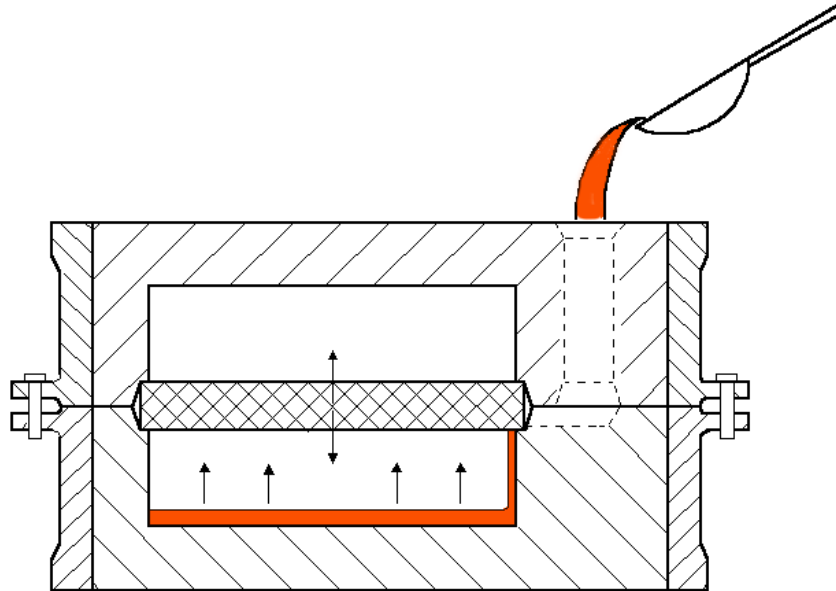


Metody kompleksowych badań mas rdzeniowych

Przedstawiona analiza pokazuje, że zachowanie się mas w temperaturach zalewania jest badane od wielu lat. Podstawowe zjawiska zachodzące w czasie oddziaływania cieplnego w poszczególnych składnikach masy są opisane. Literatura nie dostarcza jednak zbyt wielu informacji dotyczących analizy zachowań masy a nie jej poszczególnych składników. Jediną metodą która umożliwia takie badanie jest metoda, która określa parametr hot distortion.

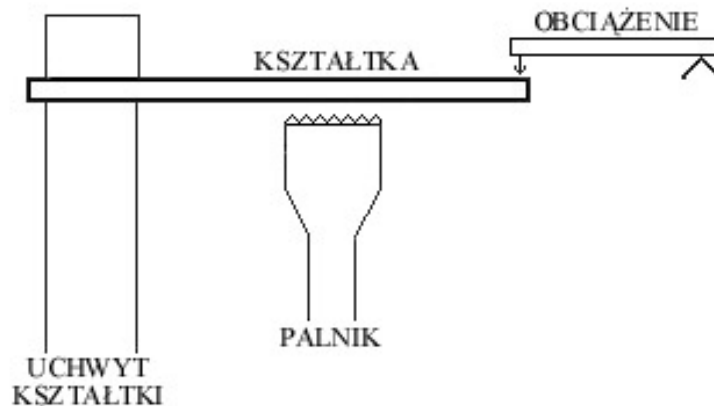
Powszechnie stosowane badania określające przydatność mas formierskich i rdzeniowych do zastosowania w produkcji skupiają się głównie na analizie własności wytrzymałościowych (wytrzymałość na zginanie, rozciąganie, czy twardość powierzchni). Są to bardzo ważne parametry, jednak nie odzwierciedlają one zachowań rdzeni i form w podwyższonych temperaturach, czyli w rzeczywistych warunkach powstawania odlewów. W czasie zalewania formy ciekłym metalem (rys. 22), lustro metalu podnosi się ku górze i następuje intensywne nagrzewanie formy oraz rdzenia. W formie wykonanej najczęściej z wilgotnych mas bentonitowych, powstaje w tym czasie strefa przewilżona. Rdzenie wykonane z mas generacji II, czyli mas wiązanych za pomocą spoiwa w początkowym etapie są nagrzewane jednokierunkowo. Zachodzi tam wiele różnych zjawisk, jak na przykład deformacja cieplna (rozszerzanie i kurczenie), termoplastyczność, destrukcja cieplna i mechaniczna, które w sumie decydują o końcowym kształcie odlewu, jego dokładności wymiarowej i ostatecznie o jakości produkowanych odlewów.

Problem badania zjawisk zachodzących w wysokich temperaturach nie jest nowy. Znanych jest szereg metod, które służą do ich badania. Jednak żadna z tych metod nie jest kompleksowa. Umożliwiają one badanie pojedynczych zjawisk, które zachodzą równocześnie w czasie nagrzewania rdzeni i form. Analiza literatury pozwala na stwierdzenie, iż zainteresowanie możliwością równoczesnego badania wielu czynników wpływających na odkształcenia cieplne rdzeni wzrasta, jednak tylko nieliczne ośrodki naukowe i przemysłowe na świecie dysponują aparaturą umożliwiającą kompleksową analizę tych zjawisk zachodzących w podwyższonych temperaturach. Spotkać się można w zasadzie z opisem dwóch takich metod. Pierwszą i najlepiej opisaną jest metoda BCIRA [i, ii, iii, iv, v, vi, vii, viii, ix], w której parametr określający zachowanie mas rdzeniowych w czasie oddziaływania cieplnego określony jest angielską nazwą „hot distortion”.



Rys. 1. Zalewanie formy ciekłym metalem – schemat.

W próbie BCIRA pokazanej schematycznie na rysunku 23, kształtka masy jest umieszczona na wsporniku i silnie nagrzana na środku po jednej stronie. W wyniku różnicy w rozszerzalności cieplnej pomiędzy nagrzaną i zimną powierzchnią, kształtka odkształca się od źródła ciepła. Ta wielkość odkształcenia jest mierzona i rejestrowana na wykresie. Do wolnego końca kształtki przykładane jest obciążenie przeciwnie do kierunku odkształcenia.



Rys. 2. Schemat urządzenia BCIRA do badania hot distortion [i].

Na skutek termoplastycznej natury wiązania podczas nagrzewania osiągany jest punkt, gdzie utwardzona masa nie może się dłużej odkształcać przy obciążeniu,

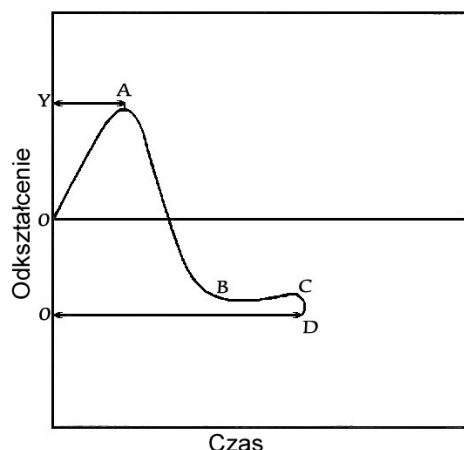
po czym następuje odkształcenie w przeciwnym kierunku. Wielkość tego przeciwnego odkształcenia także jest mierzona i rejestrowana na wykresie. Ostatecznie dalszy rozkład wiązania objawia się całkowitą utratą wytrzymałości i uplastycznieniu kształtki.

Przedstawione zmiany w strukturze masy mają miejsce w rzeczywistych rdzeniach i formach podczas odlewania; objawiają się zniekształceniem cienkich rdzeni, pękaniem oraz odpryskiwaniem form, erozją i żyłkami. Pod tym względem warunki próby dobrze symulują te występujące w praktyce odlewniczej zjawiska.

Charakterystyki zjawiska hot distortion dla poszczególnych spoiw różnią się znacząco. Ze względu na istotne różnice w tych charakterystykach, należy stwierdzić, że głównym celem zastosowania tej metody testowania spoiw powinno być zwrócenie uwagi szerokiego grona odlewników na procesy zachodzące w wysokich temperaturach.

Kształtki do badania są przygotowywane z masy przez wstrzelenie do rdzennicy o wymiarach wewnętrznych 25,4 x 6,3 x 114 mm [ii]. W czasie przygotowania kształtki z mas wiązanych żywicą w procesie gorącej rdzennicy, rdzennica jest nagrzewana do temperatur w zakresie 210 – 260°C (zwykle 240°C) i utwardzanie następuje w czasie od 5 do 60 sekund. Następnie kształtki są wyjmowane z rdzennicy i pozostawiane do osiągnięcia przez nie temperatury pokojowej.

Kształtki mogą także być przygotowane poprzez odcięcie części z wykonanych rdzeni i szlifowanie ich do właściwych wymiarów. Należy zagwarantować, aby powierzchnia płaska kształtki odpowiadająca płaskiej powierzchni rdzenia była nagrzewana przez płomień podczas próby. Wydaje się jednak, że nie jest to najwłaściwszy sposób przygotowania kształtek, ponieważ w trakcie cięcia i szlifowania mogą one ulegać uszkodzeniom mechanicznym.



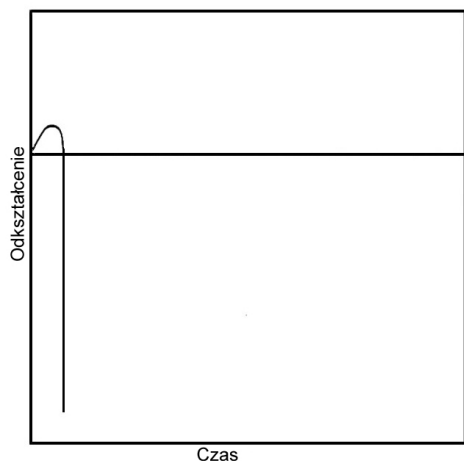
Rys. 3. Typowy wykres otrzymany w czasie badania hot distortion [ii].

Wykresy uzyskane podczas próby są charakterystyką zachowania się kształtki w czasie nagrzewania i przedstawiają krzywe otrzymane na skutek działania rozszerzalności cieplnej, termoplastyczności i rozkładu termicznego badanej masy.

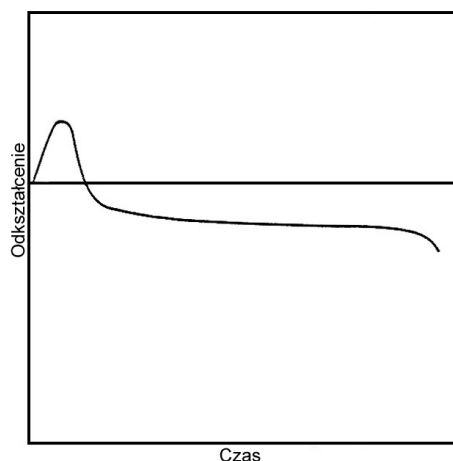
W celu objaśnienia przebiegu krzywej, różne jej części są używane do określenia stopnia i czasu, w którym każde z powyższych zjawisk przeważa. Za pomocą interpretacji rozszerzalności cieplnej, wielkości i początku występowania termoplastyczności wyznaczane jest tempo rozkładu i rozpadu kształtki.

Na rysunku 24 [ii] przedstawiona jest typowa krzywa charakterystyczna dla wielu utwardzonych mas. Część 0A wskazuje głównie na wzrost rozszerzalności cieplnej skierowany ku górze, co sugeruje także wytrzymałość w wysokich temperaturach. Odcinek YA jest odpowiednikiem czasu, w którym ta rozszerzalność i wytrzymałość utrzymują się. Maksymalny wzrost rozszerzalności jest osiągnięty w punkcie A, po czym z powodu dalszego wzrostu temperatury i termoplastyczności, obciążenie nie może być podtrzymywane i powoduje odkształcenie ku dołowi, czego wynikiem jest opadający odcinek AB na wykresie. Jest to skutek zwiększonego wpływu termoplastyczności w wyniku nagrzewania. Niektóre spoiwa ulegają termoutwardzaniu podczas tego okresu. W takich przypadkach może następować przeciwdziałanie obciążeniu, ponieważ zostaje przywrócona pewna szczątkowa wytrzymałość w wysokich temperaturach. Pokazuje to odcinek BC na krzywej. Ostatecznie ma miejsce całkowite uplastycznienie lub złamanie kształtki (punkt D na wykresie). Czas pomiędzy punktami 0 i D można przyjąć jako proporcjonalny do całkowitej szybkości rozpadu związanej masy.

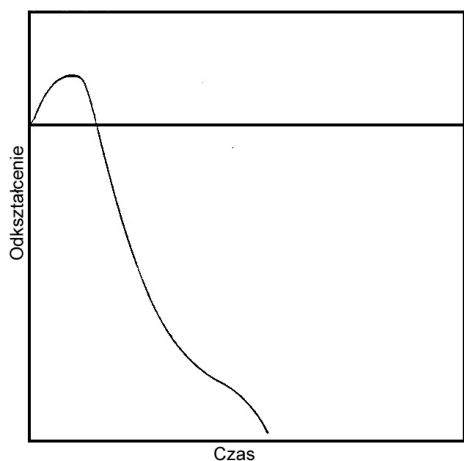
Krzywe charakterystyczne dla mas związanych różnymi spoiwami chemicznymi są pokazane na rysunkach 25 – 28.



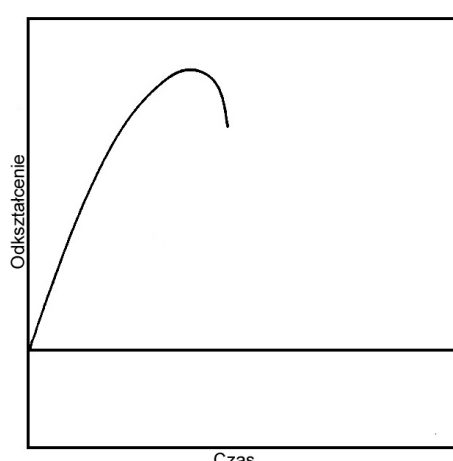
Rys. 4. Gwałtowne załamanie kształtki [ii].



Rys. 5. Wolne uplastycznienie kształtki [ii].



Rys. 6. Nadmierna termoplastyczność kształtki [ii].



Rys. 7. Wysoka rozszerzalność cieplna kształtki [ii].

Nie są to charakterystyki dla konkretnych mas, tylko najbardziej typowe przypadki, które mogą występować podczas badań. Na ich przykładzie zobrazowano różnorodność zachowań układów mas występującą w podwyższonych temperaturach.

Urządzenie BCIRA pokazane jest na rysunku 29 [ii]. Aparat BCIRA pomimo, że dość dobrze oddaje rzeczywiste warunki oddziaływania cieplnego na rdzeń w swej budowie ma kilka istotnych niedociągnięć. Najistotniejsze jest bezpośrednio oddziaływanie płomienia palnika gazowego na kształtkę z masy. W rzeczywistości rdzenie w początkowej fazie zalewania form podlegają nagrzewaniu poprzez promieniowanie. Drugą wadą metody jest brak rejestracji temperatury, a także

regulacji szybkości nagrzewania. Jest to ważne zagadnienie, ponieważ taka informacja w połączeniu z danymi uzyskanymi innymi metodami mogłaby umożliwić lepszą interpretację otrzymanych wyników.



Rys. 8. Aparat BCIRA do badania parametru hot distortion [ii].

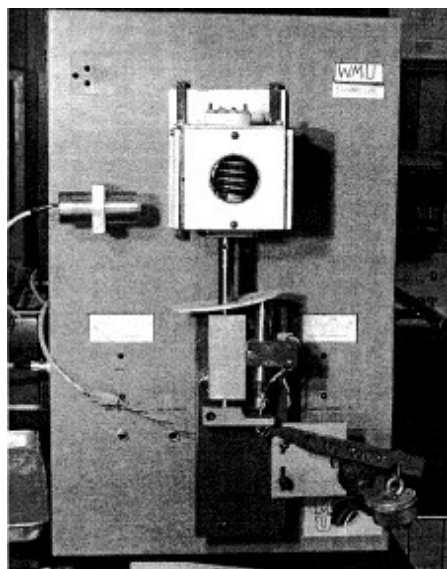
Drugim urządzeniem do kompleksowego badania zachowań mas w podwyższonej temperaturze jest aparat do badania zjawiska hot distortion skonstruowany w Western Michigan University (rys. 30) [x]. W dostępnej literaturze znajduje się niewiele informacji na jego temat.

W czasie pomiarów stosowane są próbki do badania wytrzymałości w postaci dysku (rys. 31). W przeciwieństwie do urządzenia BCIRA ten aparat może być użyty do symulowania specyficznej temperatury układu; np. 760°C dla aluminium, 1204°C dla mosiądzu, 1371°C dla żelaza [x].

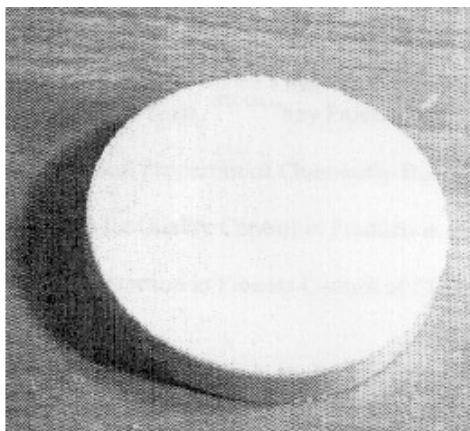
Próbka jest poddana bezpośredniemu kontaktowi ze źródłem ciepła, co symuluje kontakt z ciekłym metalem. Skupione naprężenia przyłożone do próbki w doświadczeniu przy nagrzewaniu mają za zadanie symulować mechaniczne i termiczne naprężenia, które są przyczynami wad rdzeni i form w praktyce odlewniczej.

Na aparacie może być wykonana także jakościowa ocena wypalania się próbki. Po określeniu początkowej masy próbki i masy po badaniu hot distortion, można określić procentową utratę masy próbki.

Do urządzenia podłączony jest komputer który rejestruje przebieg odkształcenia. Próbką umieszczona jest w uchwycie w kształcie dysku.



Rys. 9. Aparat do badania zjawiska hot distortion skonstruowany w University of Michigan [xi].



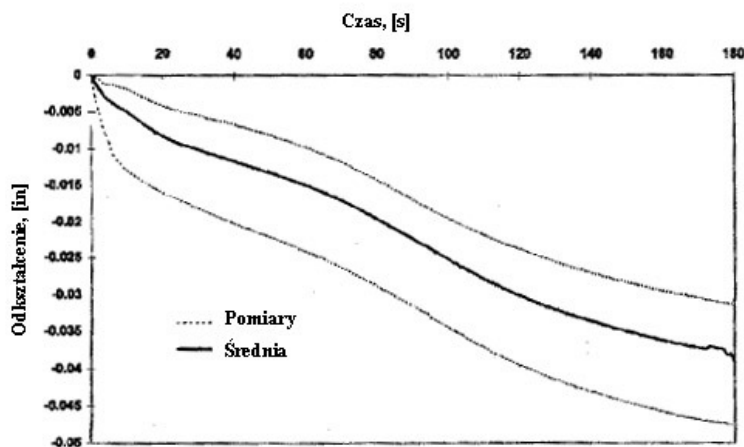
Rys. 10. Próbką stosowana do badania hot distortion z zastosowaniem aparatu skonstruowanego w University of Michigan [x].

Doświadczenia przeprowadza się z uprzednio ustalonym obciążeniem w celu zasymulowania siły ciśnienia przeciwko rdzeniom czy formom. Obciążenie przykładane jest do obwodu próbki. System otrzymywania danych automatycznie zapisuje i rysuje krzywe odkształcenia w funkcji czasu/temperatury.

Badanie odkształcenia termicznego rozpoczyna się od nagrzania elementu nagrzewającego, co zajmuje od 0,5 do 1,5 godziny. Długość testu wynosiła 3 minuty ale, jeśli jest to konieczne, może być dostosowana.

Typowa krzywa termicznego odkształcenia (rys. 32) – TDC (thermal distortion curve) nie przypomina krzywej BCIRA. Typowa krzywa BCIRA wskazuje wyraźny wzrost rozszerzalności cieplnej, opad krzywej wskazujący na plastyczną deformację i ewentualnie termoutwardzanie. Krzywa TDC nie pokazuje wyraźnego piku wzrostu w funkcji czasu, kiedy zastosowane jest obwodowe obciążenie i źródło ciepła wsparte jest w centrum próbki. Nie widać tu oddziaływania rozszerzalności cieplnej piasku. Jakkolwiek rozszerzalność cieplna jest wytłumaczeniem deformacji.

Aparat ten ma możliwość symulowania temperatury w zależności od doboru tworzywa w czasie rzeczywistego zalewania. Nie ma jednak, podobnie jak aparat BCIRA, możliwości rejestracji temperatury przy badanym rdzeniu w czasie dokonywania pomiaru. Również bezpośredni kontakt elementu grzejnego nie w pełni oddaje rzeczywiste warunki. Zastosowanie kształtek w postaci dysku bardziej odpowiada sytuacji oddziaływania na formę, nie na rdzeń. Sytuacja symulująca deformację rdzeni wydaje się być bardziej korzystna, ponieważ to rdzenie są bardziej narażone na deformację.



Rys. 11. Typowa krzywa termicznego odkształcenia.

- i. MORGAN D., FASHMAN E. W.: *THE BCIRA HOT DISTORTION TESTER FOR QUALITY IN PRODUCTION OF CHEMICALLY BONDED SANDS*, AFS TRANSACTION, NR 91, 1975, s. 73 – 80
- ii. *HOT-DISTORTION TESTER FOR BONDED SANDS – INSTRUCTION MANUAL*
- iii. LAITAR R., JOHNSON C. K. : *HIGH HOT STRENGTH PHENOLIC URETHANE COLD BOX SYSTEM*, AFS TRANSACTION, NR 34, 1986, s. 187 – 194

-
- iv. HUANG N. Y., SU G. X. : *INVESTIGATION ON THE BONDING EFFICIENCY OF CHEMICAL BONDED SAND*, AFS TRANSACTION, NR 128, 1988, s. 109 – 114
 - v. FOUNTAINE G. C., HORTON K. B.: *HOT DISTORTION OF COLD BOX SYSTEM*, AFS TRANSACTION, NR 70, 1990, s. 9 – 16
 - vi. GEOFFREY M. M.: *ENVIRONMENTAL IMPROVEMENTS IN PHENOLIC URETHANE NOBAKE RESINS*, AFS TRANSACTION, NR 67, 1993, s. 195 – 197
 - vii. ARMBRUSTER D. R., DODD S. F.: *NEW INORGANIC CORE AND MOLD SAND BINDER SYSTEM*, AFS TRANSACTION, NR 65, 1993, s. 853 – 856
 - viii. MCINTYRE S., STROBL S. M.: *ADAPTING HOT DISTORTION CURVES TO PROCESS CONTROL*, FOUNDRY MANAGEMENT & TECHNOLOGY, MARCH, 1998, s. 22 – 26
 - ix. TRBIŽAN M.: *OBERFLÄCHENFEHLER BEIM STAHLGIEßEN NACH MASKENFORMVERFAHREN*, ČESKÁ SLÉVÁRENSKÁ SPOLEČNOST, 2004, s. 97 – 106
 - x. RAMRATTAN S. N., VELLANKI S., JIDEAKU O., HUANG C.: *THERMAL DISTORTION IN PROCESS CONTROL OF CHEMICALLY-BONDED SANDS*, AFS TRANSACTION, NR 125, 1997, s. 161 – 165
 - xi. KRYSIAK M. B., KEENER T. J., RAMRATTAN S. N., CHEAH S. F.: *THRERMAL DISTORTION OF GREEN SAND AND CHEMICALLY BONDED SAND AT CAST IRON FILL TEMPERATURES*, AFS TRANSACTION, NR 37, 2002, s. 651 – 664