



## Demir ve Çelik Dökümlerde Damarlaşma Hatalarının Nedenleri ve Çözümleri

\* J. Thiel & S. Ravi (University of Northern Iowa, Cedar Falls, Iowa), Paper 14-030, Page 1 of 16, AFS Proceedings 2014

### Özet

Kuzey Iowa Üniversitesi Metal Döküm Merkezi'nde demir ve çelik dökümlerde damarlaşma hatalarına neden olan mekanizmaları belirlemek için çalışmalar yapıldı. Çeşitli kum karışımlarının damar oluşturma eğilimlerini değerlendirmek için bilgisayarlı döküm simülasyonları ile birlikte gelişmiş test yöntemleri kullanıldı. Kum yüzeyinde döküm hatalarına hem katkıda bulunabilen hem de azaltıcı etki sergileyebilen iki kuvvetin etkili olduğu tespit edildi. Silis kumunun doğrusal genişlemesi, kum hacminin, alfa kuvarsdan beta kuvars fazına geçtiği 573°C'ye (1063F) kadar keskin bir şekilde artmasına neden oluyor. Daha fazla ısıtma üzerine kum, kum tanelerinin yüzeyindeki yumuşama nedeniyle hacmini kaybediyor. 573°C (1063F) üzerindeki sıcaklıklardaki bu hacim kaybı damar hatalarının ana nedeni olarak öne çıkıyor. Kalıp veya maça yüzeyinin sıcaklığı arttıkça kumun uzunluğu ve hacmi azalıyor. Hemen yüzeyin altındaki soğuk kum katmanı ise alfa-beta kuvars dönüşümünden geçerken hacim olarak artış gösteriyor. Yüzeydeki büzülen kumun hemen yüzeyin altındaki genişleyen katmanla birleşimi, damarlaşma olarak sınıflandırılan hatayı oluşturan ve sıvı metalle dolan çekme gerilmeleri yaratıyor. Damar hatalarını azaltan kum katkı maddeleri, kum tanesinin yüzeyinde bir sıvı sağlıyor ve tridimit veya kristobalit oluşumunu ve kumun daha fazla genişmesini destekliyor. Bu ikincil genişleme, maça yüzeyindeki negatif gerilimi azaltıp çekmeye bağlı oluşan çatlakları önüyor. Kum katkı maddelerinin flaks etkisi sayesinde, taneciklerin yüzeyleri birbirine yapışarak maça veya kalıp yüzeyindeki kumun çekme mukavemetini artırıyor. Bu mukavemet artışı, kum yüzeyindeki çekme kusurlarını ve damarlaşma hatalarını azaltıyor.

**Anahtar Kelimeler:** Silis kumu genişmesi, damarlaşma hataları, genişleme hataları, dökümler, döküm simülasyonu

### Giriş

Damarlaşma oluşumları tek başına veya ağ şeklinde meydana gelen, genellikle döküm yüzeyine dik olan damar şeklindeki çıkıntılar olarak tanımlanıyor. Genellikle birincil ayırma yüzeyi boyunca bu hatalara rastlanmıyor. Esas olarak demir esaslı veya bakır esaslı metallerde görülürken tüm malzemelerde gözlenebiliyor. Hatanın nedenleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da, kusurların arkasındaki temel nedenler belirsizliğini koruyor. Araştırmaların çoğu, hatayı azaltmak veya ortadan kaldırmak için kum katkı maddelerinin belirlenmesinin ve geliştirilmesinin önemine dikkat çekiyor.



Silis kumunun yüksek sıcaklık özelliklerine ilişkin önceki çalışmaların bazı fikirler verse de konuyu doğrudan ele almadıkları izleniyor. Sadece "Silis Kumunun Termal Genleşmeden Kaynaklanan Teknik Sınırlamaları" başlıklı çalışmada önemli bulgulara rastlanıyor. Araştırmada, hem doğal haldeki hem de bağlı döküm kumlarının termal genleşmesini ölçmek amacıyla yeni yöntemler inceleniyor. Kullanılan bağlayıcı ve katkı maddelerine bağlı olarak silisin alfa'dan beta kuvarsa geçişinde artan sıcaklıklarla birlikte hacimsel daralma yaşadığı belirleniyor. Çeşitli demir oksitler ve mühendislik ürünü kum katkıları dahil olmak üzere tüm kum katkı maddeleri esas olarak hacimsel büzülme azaltmayı veya ikincil bir hacimsel artış oluşturmayı amaçlıyor. Bu ilave faz değişiklikleri, meydana geldikleri sıcaklık aralığına bağlı olarak tridimit veya kristobalit dönüşümleri olarak tanımlanıyor ve bağlı kumların hacminde büyük değişikliklere neden oluyor. Kimyasal bağlı kumların yüksek sıcaklıktaki fiziksel özelliklerine ilişkin yapılan birçok araştırma, alfa / beta kuvars dönüşümünden sonraki hacim kaybını kum tanelerinin yüzeyindeki kısmi erime ile kumun sinterlenmesine bağlıyor<sup>3</sup>.

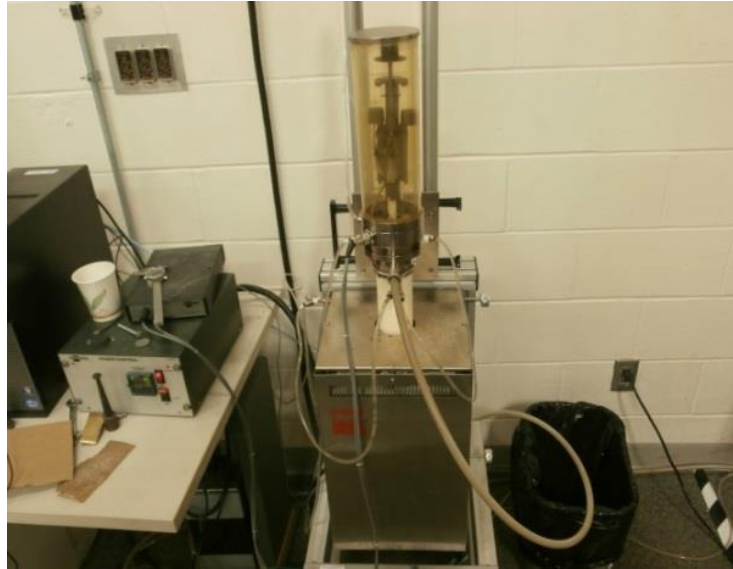
Bu araştırma, ilk olarak, dökümün katılaşması sırasında oluşan, damar gerilmesi olarak adlandırılan, maça veya kalıp yüzeyindeki gerilmeye işaret ediyor. Diferansiyel hacimsel genleşme oranlarının neden olduğu damar gerilmesinin, kum yapısını deformasyona uğratarak çekme kusurlarına ve dolayısıyla kalıp veya maça yüzeyinin çatlamasına neden olan bir yüzey gerilmesi oluşturduğu gösteriliyor. Damar gerilmesi, bağlı kumun yüzeyindeki hacim ile kalıp metal ara yüzünün hemen altındaki kumun hacmi arasındaki farkın ölçülmesiyle belirlenebiliyor. Bağlı kum boyunca kum sıcaklıklarını belirlemek ve bilinen termal genleşme özelliklerini test etmek için bilgisayarlı döküm simülasyonu kullanılıyor. Böylelikle hem damar gerilmesinin sayısal verileri hem de ampirik döküm sonuçlarıyla karşılaştırılabilecek görsel göstergeler elde edilmiş oluyor. Çatlak şeklindeki yüzey kusurlarının metalin katılaşmasından önce veya katılaşma sırasında meydana geldiği ve sıvı metal ile dolmaya müsait olduğu görülüyor. Bağlı kumun yüzeyindeki genleşme ile yüzeyin altındaki alanlar arasındaki fark, tridimit veya kristobalit dönüşümlerine neden olan kum katkı maddeleri ve bunlara karşılık gelen hacim artışları ile önemli ölçüde azaltılıyor. Kimyasal bağlı kumların yüksek sıcaklık fiziksel özellikleri üzerine yapılan önceki araştırmalar ise ayrıca, maça ve kalıbın artan sıcaklıklara maruz kalması nedeniyle kumun çekme mukavemetindeki düşümlere işaret ediyor<sup>4</sup>. Mekanik mukavemetteki bu azalma, maça yüzeylerinde çekmeye bağlı deformasyonların meydana gelmesi ve ortaya çıkan çatlak ağının oluşumuna bağlıyor. Bazı özel bağımsız araştırmalarda, yüzey sinterlenmesinin sadece kum tanelerini yumuşatıp yeniden düzenlenme sonucu büzölmelerine izin vermediği, diğer yandan bazı katkı maddelerinin yardımıyla, kısmen eriyen kum yüzeyinin viskozitesinin artışıyla yüzey sertliğinde artışlar oluşabileceği de ortaya çıkarılıyor<sup>5</sup>. Viskoz bir kum ve bağlayıcı sistemindeki artış, kum tanelerinin daha fazla bozulmasını ve yeniden düzenlenmesini önlemek için yüksek sıcaklıkta yeni bir bağ meydana getiriyor. Kalıp metal arayüzünde ölçülen sıcaklıkla birlikte kumun viskozitesi arttıkça, çekme deformasyonlarına ve buna bağlı damarlaşmaya karşı direnç de artıyor.



## Araştırmada Kullanılan Test Yöntemleri

### DÖKÜM KATKILARININ GENLEŞMESİ

Bağlanmamış kumun yüksek sıcaklık performansına ilişkin veri eksikliği, büyük olasılıkla, bağlanmamış kumun termal genişmesinin ölçülmesine izin verecek uygun ekipman ve yöntemlerin bulunmamasından kaynaklanıyor. Kuzey Iowa Üniversitesi Metal Döküm Merkezi, dökümhane kumlarının termal genişmesini ölçme sorununu çözmek için heterojen dökümhane kumlarının termal genişme özelliklerini doğru bir şekilde ölçebilen güncellenmiş bir dilatometre tasarlayıp bir araya getirdi. Dilatometre, gerekli sıcaklık aralığını ve doğruluk derecesini sağlamak için sağlam bir şekilde tasarlandı. Termal genişme testleri üniversitenin yüksek sıcaklık agrega dilatometresini kullanarak bağlı kum numuneleri üzerinde gerçekleştirildi (Şekil 1). Bu dilatometre kontrollü bir atmosfere ve tek itme çubuklu tasarıma sahip ve maksimum 1650°C (3002F) sıcaklığa ulaşabiliyor. Kum numuneleri yüksekliği 1.5 - 1.6 inç (3.81 - 4.06 cm) ve çapı 1.125 inç (2.86 cm) boyutlarında silindir şeklinde hazırlandı. Numuneler, bir seramik numune tutucusunda dakikada 15°C (27°F) ısıtma hızında 1650°C'ye (3002°F) ısıtıldı ve ortaya çıkan deformasyon kaydedildi. Dilatometreden alınan sonuçlar, itme çubuğunun ve numune tutucunun genişmesi hesaba katılarak düzeltildi.



Şekil 1. Testlerde kullanılan dilatometre

### DÖKÜM KUMLARININ YÜKSEK SICAKLIK VİSKOZİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ

Yüksek sıcaklıklara ısıtılmış küçük katı parçacıkların yüzey yumuşamasını ölçmek için kullanılan deneysel yöntem New York Şehir Koleji Kimya Mühendisliği Bölümünden Gabriel Tardos ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmadan örnek alındı<sup>6</sup>. Yapılan çalışmada granüler bir malzemenin deformasyon oranını ölçmek ve viskoziteyi hesaplamak için bir dilatometre



kullanılıyordu. Hesaplanan viskozite, granüler malzemenin sinterleme özelliklerinin açıklanmasında da büyük katkı sağlıyor.

Bu yöntem uyarlanarak, kum parçacıklarının yüzey yumuşamasını daha iyi anlamak için Kuzey Iowa Üniversitesi Metal Döküm Merkezinde de uygulandı. Yüzey viskozitesi ölçümü, kum parçacıklarının basma gerilmesi ve sabit ısıtma hızı altındayken sıkıştırılmasına dayandırıldı. Gözenekli kum parçacıkları başlangıçta sıcaklıkla genişip daha sonra tanecikler arası temas noktalarında meydana gelen yumuşama ve sinterlenme nedeniyle büzüşmesi karakteri gösteriyor. Bu davranış, basma yükünün yoğunlaştığı yüzeyin yumuşaması ve deformasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkıyor. Yüzeydeki yumuşak kum partiküllerinin, yüzey viskozitesinin tanımlanabildiği bir Newton sıvısı gibi davrandığı varsayılıyor.

Dilatometrede kaydedilen deformasyon, bağlı numunelerin viskozitesini hesaplamak için kullanılıyor. Viskoziteyi hesaplamak için kullanılan formül:

$$\eta_s = K F_p D_p^{-2} / [\partial (f \Delta l / 2 l_0)^{0.5} / \partial t^n]^{1/n}$$

'n' katsayısı, bir logaritma grafiğinde zamana karşı l'nin eğimi olup her deneyde 0,47 - 0,5 değeri aldığı belirlendi. "n" in 0,5 olduğu varsayıldığında, formül şu şekilde indirgeniyor:

$$\eta_s = K F_p D_p^{-2} / [\partial (f \Delta l / 2 l_0) / \partial t]$$

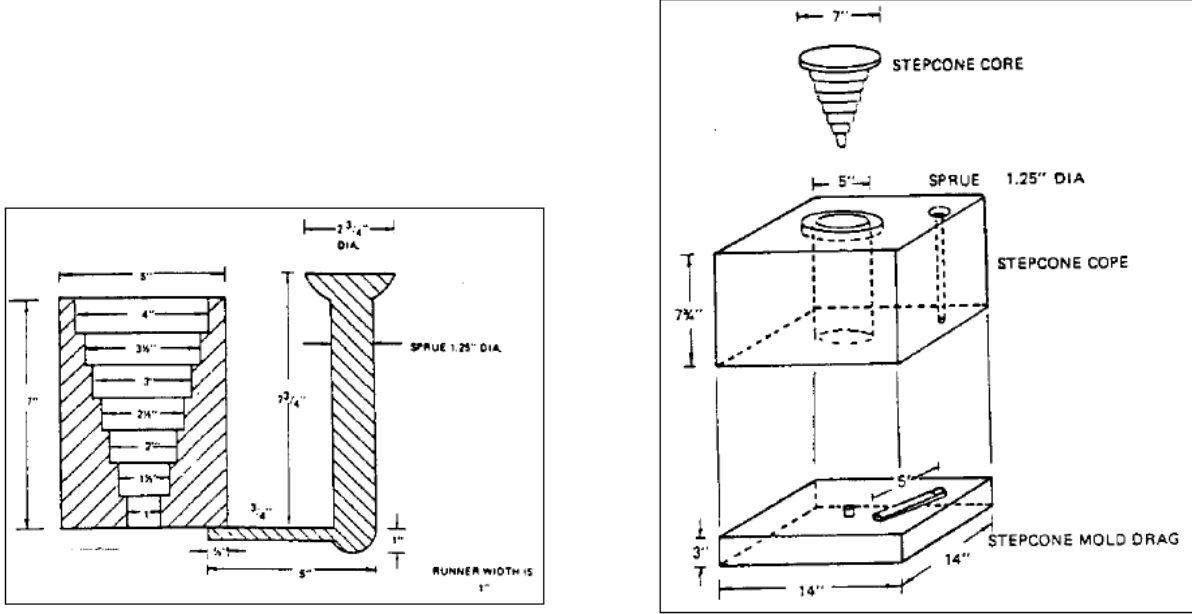
- payda, deformasyonun zamana karşı eğimi,
- sabit  $K = 2 / 5\pi$ ,
- $D_p$ , partikül çapı,
- $F_p$ , parçacıklar arası sıkıştırma kuvveti:  $F_p = 4\varepsilon D_p^2 L / \pi (1-\varepsilon) D_s^2$ ;
  - $\varepsilon$  numunenin porozitesi,
  - L numune üzerindeki yük,
  - $D_s$ , numune tutucunun çapı,
- $\Delta l / l_0$ , dilatometreden ölçülen doğrusal genişleme / daralma,
- katsayı f:  $3\beta / 2$ ,
  - $\beta$  katman aralığı,  $\beta = \sqrt{(2/3) * \{\pi / [3\sqrt{2} (1-\varepsilon)]\}}^{1/3}$

## BASAMAKLI KONİ TEST DÖKÜMLERİ

Basamaklı koni döküm testi, başlangıçta yeni geliştirilen fenolik üretilen bağlayıcı sisteminde gaz tespiti amacıyla geliştirildi<sup>7</sup>. O zamandan beri, test agregalarının ve bağlayıcıların penetrasyon ve damarlaşma oluşumlarına duyarlılıklarını da test edecek geniş bir uygulama alanına ulaştı<sup>8</sup>. Test, basamaklı bir silindir maçaya bir miktar sıvı metal dökülerek gerçekleştiriliyor. Maça, maça makinelerinde veya tekrarlanabilir ağırlıklarda elle paketlenerek üretiliyor. Maça ağırlıklarında %2'nin altındaki varyasyonlar göz ardı ediliyor. Kalıp ise ticari olarak temin edilebilen kumlar kullanılarak benzer bir kimyasal bağlayıcı sistemde derecesiz

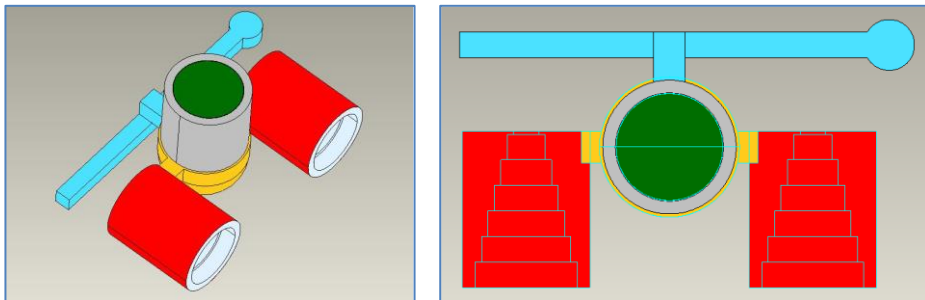


üretiliyor. Şekil 2 ve 3'te sistemin şemaları görülüyor. Kalıp kalitesi, döküm ve katılaşma sırasında bütünlüğünü koruması gerektiği ve aynı zamanda test dökümünün damarlaşma veya penetrasyon eğilimini etkilememesi açısından büyük rol oynuyor. Test dökümleri çeşitli metallere dökülebilir. Kullanılan yaygın metaller gri demir, çelik ve bakır bazlı malzemeleri içeriyor.

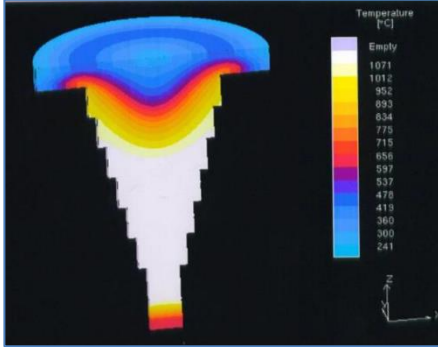


Şekil 2 Basamaklı koni yolluk sistemi / Şekil 3 : Basamaklı koni sistemi maça ve kalıp gösterimi

Kalıplara döküm süreleri yaklaşık sekiz saniye alıyor. Kalıplar soğuduktan sonra dökümler çıkarılıyor. Daha sonra yolluklar gevşek haldeki kumla birlikte dökümlerden ayrılıyor. Döküm yüzeyinin bütünlüğünü korumak için, dökümler bölümlere ayrılıyor ve temizlemek için tel fırça kullanılıyor<sup>9</sup>. Çelik dökümler, genellikle sıvı metal beslemesi gerektiren yönlü katılaşma sergiliyor. Şekil 4a ve 4b'de testin doğruluğunu etkileyebilecek büzülme kusurlarından kaçınmak için yeterli beslemeye izin vermek üzere yatay yönlendirilmiş kalıp boşluklarına sahip alternatif tasarım gösteriliyor.



Şekil 4a. Çelik döküm model tasarımı



Şekil 5. Basamaklı koni deney dökümünün termal profili

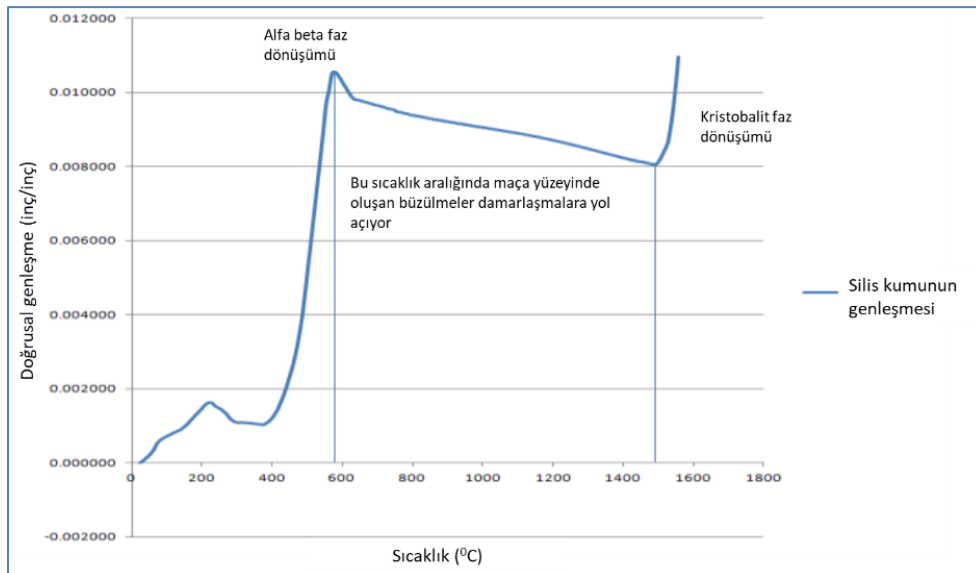
Şekil 5, dökümden hemen kısa bir süre sonra kumun ısınmasını gösteriyor. En uzun süre sıvı metale maruz kalan üç ile beş arasındaki halkaların en büyük damarlaşma örneklerine sahip olduğu gözlemleniyor. En ağır metal oranına sahip altıncı halka, ısı transferinin de en yüksek olduğu son kısımda yer alıyor. Bu da 5. halkada altıncı halkaya göre daha fazla damar oluşmasına neden oluyor. Numune parçası, yolluk sisteminin tasarımı nedeniyle, sistemin karşısındaki yan taraf üzerinde penetrasyon eğilimi gösteriyor. Sıralamada bu etkiler de göz önüne alınırken, maça kanatçıklarından kaçınmak amacıyla basamaklı koni

maçaların üretildiği maça sandığının fiziki durumuna dikkat ediliyor

## YÜZEY GERİLİMLERİNİN SİMÜLASYONU VE HESAPLANMASI

Yüzey gerilimi, MAGMASoft v4.4 (bundan sonra Yazılım A olarak anılacak) döküm simülasyon yazılımında simüle edildi. Yazılım A'daki API işlevleri, C dilinde yazılmış bir kod kullanarak maça üzerindeki gerilimi gösteren kullanıcı sonuçlarını simüle etmek ve görüntülemek için kullanıldı. API kodu üniversite dilatometresinden elde edilen doğrusal genişleme sonuçlarına dayandırıldı. Damarlaşma hataları silis kumundan maça ve kalıplarda daha yaygın görüldüğünden, modelde yüksek sıcaklığa ısıtılan silis kumunun genişmesi ve büzülmesi baz alındı.

Silis kumu, yüksek sıcaklıklarda çeşitli faz dönüşümlerine uğruyor ve alfa kuvars fazından beta kuvarsa geçtiği 573°C'de (1063F) genişmede bir pik görülüyor. Bu geçişten sonra, 1460°C'de (2660F) beta kuvarstan beta kristobalit faz geçişine kadar numunede sabit bir daralma görülüyor (Şekil 6). 573°C'nin (1063F) altında yüzey tabakası büzülürken, altındaki alt tabakaların genişmesi maça yüzeyinde bir gerilme oluşturuyor.

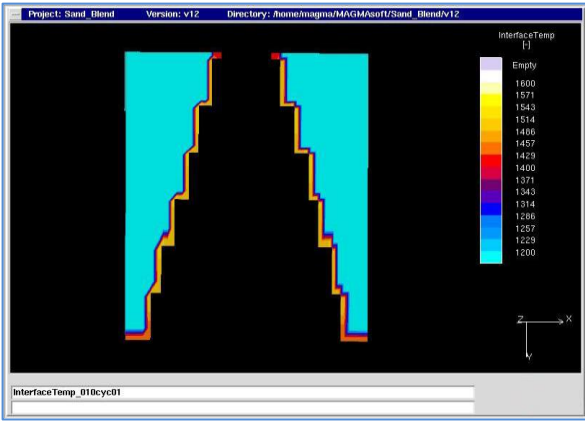


Şekil 6. Damar gerilim potansiyelini belirlemede kullanılan silis kumu genişleme verileri grafiği





Simülasyondaki yüzey gerilimi, enterpolasyonlu genişleme verileri kullanılarak 573°C'den (1063F) itibaren hesaplanıyor. Maça veya kalıptaki her kontrol hacmi için hesaplanıyor ve detaylı sonuçlar veriyor. Maça veya kalıp üzerindeki gerilme, kum-metal arayüzündeki metal sıcaklığı kritik sıcaklıktan yüksek olduğunda hesaplanıyor (Şekil 7). Bu kritik sıcaklık, metalin katılaşma başlangıç sıcaklığı olarak kabul ediliyor. Sonrasında metal kontrol hacmine bağlı olarak maça kontrol hacmi için gerilme hesaplanıyor. Yüzey gerilimi daha sonra belirli bir sıcaklıkta maça üzerinde oluşan toplam gerilimi değerlendirmek için kümülatif olarak hesaplanıyor. Büzülme durumunda genişlemedeki fark yüzey gerilimine ekleniyor.



Şekil 7. % 25 katı fraksiyondaki maça arayüz sıcaklık profili

## YÜKSEK SICAKLIK KUM MUKAVEMETİ TESTİ

Şekil 8'de gösterilen test ekipmanı, kum maçaların yüksek sıcaklık mekanik özelliklerini ölçmek için üniversitede tasarlandı ve üretildi. Makine tamamen programlanabilir bir sıcaklık kontrol cihazına sahip ve 1200°C (2192F) sıcaklığa ulaşabiliyor. Test esnasında atmosferin arındırılması amacıyla ana odaya yerleştirilen giriş çıkış ile azot gazı veriliyor. Bükülme mukavemeti ve elastisite modülü çeşitli sıcaklıklarda ölçülüyor ve 1000 lb'lık (454,5 kg) yük hücresi ise numune üzerinde yük verilerini sağlıyor. Yük hücresine bir

adım motoru kurularak numunenin sürekli bir şekilde yüklenmesi ve yük verilerinin düzenli olarak ölçülmesi amaçlandı. Numune sapmasını tam olarak ölçmek için doğrusal bir değişken yer değiştirme transformatörü (LVDT) yerleştirildi.  $\pm 0.125$  inç ( $\pm 0.3175$  cm) aralığına sahip LVDT adım motorunun yakınına yerleştirildi. LVDT problemlerini uzatmak için çelik çubuklar kullanıldı. Sıcaklığı doğru bir şekilde ölçmek için ısıtma odasına bir k tipi termokupl yerleştirildi.

Yük hücresi, LVDT ve termokupl'dan gelen veriler, NI DAQ 9241 veri toplama sistemi kullanılarak elde edildi. Veri toplama ve sıcaklık kontrolü için bir Lab View programı oluşturuldu ve nihai veriler otomatik olarak bir tabloya aktarıldı. Adım motoru, üretici tarafından sağlanan ve adım motoru davranışı için bir program yerleştirilen Si Programmer kullanılarak kontrol edildi.

Test prosedürü, plastiklerin elastisite modülünü ölçmede kullanılan ASTM standardı D5934'e göre üç noktalı bükme testini kullanıyor.

Silindirik çelik destek ve yükleme kafaları 0.5 inç (1.3 cm) çapında ve silindirik yapıları numuneler üzerinde çentiklenmenin önlenmesini sağlıyor. Destek başlıkları 7,5 inç (19,05 cm) aralıklarla ve 9 inç (22,86 cm) uzunluğundaki bir numuneyi barındıracak şekilde tasarlandı.



Şekil 8. Yüksek sıcaklık mekanik mukavemet test cihazı



Numune 9 inç x 1 inç x 1 inç (22.86 cm x 2.54 cm x 2.54 cm) ölçülerinde ve yük hücresine bağlanan yükleme kafası, yükü numunenin merkezine yerleştirmek için tasarlandı.

Üç noktalı bükmede aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilen verilerden gerilme ve gerinim hesaplanıyor:

Gerilme,  $\sigma = 3FL / 2bd$  (Denklem 1)

Gerinim,  $\epsilon = 6Dd / L^2$  (Denklem 2)

Dolayısıyla, elastisite modülü de aşağıdaki denklem ile hesaplanıyor:

Elastisite Modülü = Gerilme / Gerinim =  $FL^3 / 4Dbd^3$  (Denklem 3)

### **Damarlaşma Hatalarının Nedenleri**

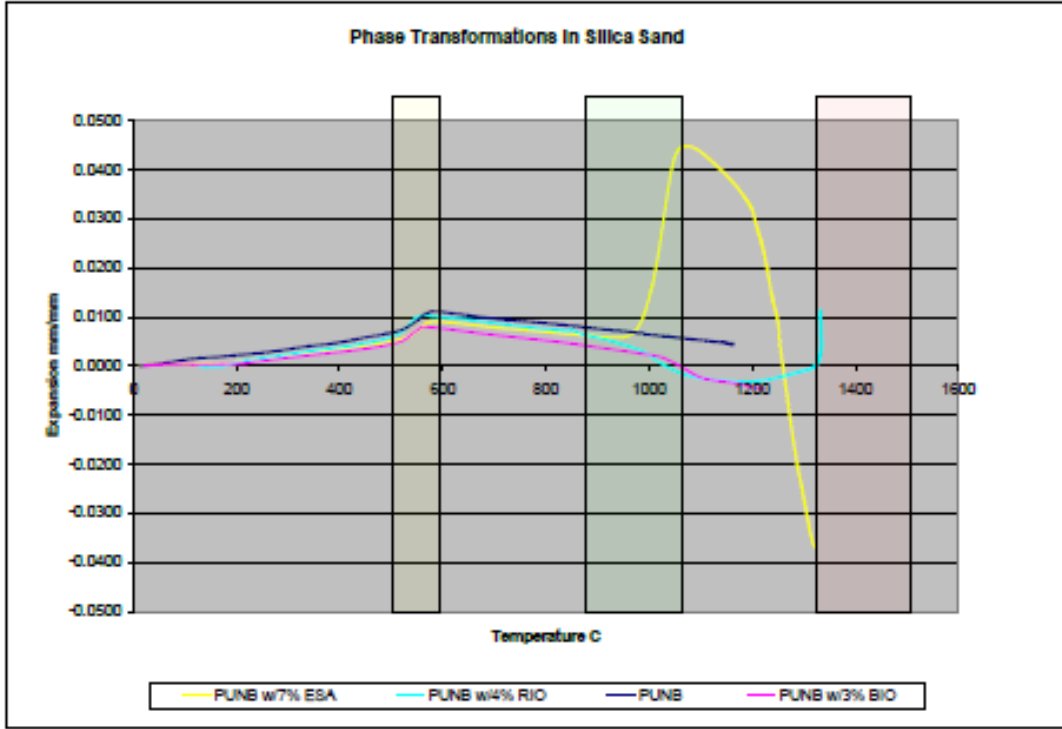
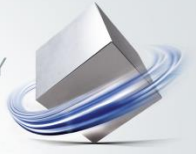
Önceki araştırmalarda maça ve kalıplardaki damarlaşma hatalarının, kalıp metal arayüzünde, yüzeydeki kumun büzülmesi ve altındaki tabakanın genleşmesi neticesinde kalıp metal arayüzünde oluşan çekme gerilmesinden kaynaklandığı ve bunun kumun 573C'ye (1063F) ulaştıktan sonra oluşan hacim kaybı ile mümkün olduğu belirtiliyor. Gerilme, ısı kaynağı olan sıvı metale farklı mesafelerdeki kum yüzeylerinin çeşitli noktalarında oluşan sıcaklık farklılıkları dolayısıyla ortaya çıkıyor.

Kalıp veya maçanın yüzeyine uygulanan kuvvetlerin yüzeydeki yüksek sıcaklık mukavemetini aştığında oluşan çekme kusuru sebebiyle kumda çatlaklar oluşuyor ve sıvı metal bu noktalardan içeri giriyor. Söz konusu oluşum; yüzey kumunun artan hacminden dolayı kum yüzeylerinin üst üste binmesiyle gözlenen kabuklanma ve burkulma kusurlarından ayrı bir olgu olarak biliniyor. Şekil 9, fenolik üretan bağlayıcı (PUNB) bağlı silis kumunun doğrusal genleşmesini gösteriliyor.

Numunenin uzunluğunun ve hacminin, fazın alfa kuvarsdan beta kuvarsa değiştiği 573°C'ye (1063F) kadar keskin bir şekilde arttığı görülüyor. Bu faz değişikliğiyle birlikte, kumun saflığına bağlı olarak % 0,9 ila 1,6 oranında bir hacim artışı meydana geliyor. Daha fazla ısınan kum, kum tanelerinin yüzeyindeki yumuşamaya bağlı olarak uzunluk ve hacmini kaybediyor. 573°C (1063F) üzerindeki bu hacim kaybı damarlaşma hatalarının ana nedeni olarak biliniyor.

Kalıp veya maça yüzeyinin sıcaklığı arttıkça, kumun uzunluğu ve hacmi Şekil 7'de gösterildiği gibi azalıyor. Doğrudan yüzeyin altındaki soğuk kumun, alfa-beta kuvars dönüşümüyle hacmi artıyor. Yüzeydeki büzülen kum ile doğrudan yüzeyin altında genleşen kumun birleşimi, damarlaşma olarak sınıflandırılan hatayı oluşturan, sıvı metal ile dolan çekme kusurları yaratıyor.





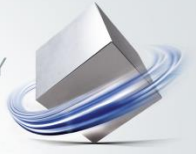
**Fig. 9. Transformation temperatures of silica phases are graphed.**

## TRİDİMİT VE KRİSTOBALİT DÖNÜŞÜMLERİ

Mühendislik kum katkı maddeleri iki etki neticesinde çalışıyor. İlki, kumda yaklaşık 870C'de (1598F) meydana gelen yüksek sıcaklık faz dönüşümünden yararlanıyor. Tablo 1'de, dökümhanelerin dikkat etmesi gereken dört ana kuvars fazı görülüyor. İlk aşama, oda sıcaklığından yaklaşık 573C'ye (1063F) kadar stabil olan alfa kuvars fazı, ikinci aşama beta kuvars fazı alfa kuvarstan daha az kararlı ve bir miktar yüzey yumuşamasına işaret eden daha düşük viskoziteye sahip ve bu bağlayıcı türünden bağımsız olarak meydana geliyor. Bu aşamada hacim kayıpları, numunenin orijinal uzunluğunun %50 ila %100'ü arasında değişiyor.

Kum tanelerinin yüzeyi sıvı oluşturmaya yetecek kadar yumuşadığında tridimit meydana geliyor<sup>10</sup>. Sodyum, lityum veya alüminyum gibi malzemeler, orijinal silis alfa beta genişlemesine göre, doğrusal değişimle ilişkili faz değişimini üç kat daha fazla zorlayabiliyor. Lityum içeren bir ESA malzemesinin kumlarda tridimit dönüşümünü zorladığı ve hacimde yüksek sıcaklık artışlarına neden olduğu; %12'ye varan hacim artışının yüzey gerilimini tersine çevirdiği ve böylece demir dökümlerinde damarlaşma kusurlarını etkili bir şekilde ortadan kaldırdığı gözleniyor.

Çelik dökümler daha yüksek sıcaklıklarda döküldüğünden kalıp metal ara yüzeyindeki kum sıcaklıkları daha yüksek olup;. ESA ile muamele edilen kumlar 1050°C'nin (1922F) üzerinde, Şekil 9'da görüldüğü gibi, bir yumuşama ve buna bağlı hacim kaybı yaşıyor. Daha yüksek



sıcaklıklarda bu hacim kaybı, düz silis kumunda oluşan gerilmeyi taklit ediyor ve çelik dökümlerde çatlama ve damarlaşmaya neden olan yüzey gerilmeleri oluşturuyor. Demir dökümlerinde çok etkili olmasına rağmen, tridimit faz değişimi ve hacim artışı, çelik dökümlerde ise damarlaşmayı önlemek için oldukça düşük bir sıcaklıkta meydana geliyor. Demir oksit ilaveli silis kumlarının genişlemesine bakıldığında, yumuşama oluşsa da beta kuvarstan beta tridimite faz değiştirmedikleri görülüyor. Hacim kaybı, silisin dördüncü fazına kadar artan sıcaklıkla devam ediyor.

Yaklaşık 1470°C (2678F) sıcaklıkta beta kuvarstan beta kristobalite geçişte %14,7'ye varan oranda hacimsel değişiklik görülebiliyor. Bu artış, ESA'nın demir döküm sıcaklıklarındaki etkisini taklit ediyor ve genişlemeyle maça veya kalıp yüzeyinde oluşan çekme gerilmesini azaltarak damarlaşmayı azaltabiliyor. Kristobalit dönüşümü ve buna bağlı genişleme ile birlikte kumun sinterlenme noktası azalıyor. Ne yazık ki, demir oksit kullanımıyla damarlaşmanın azaltılması, oda sıcaklığı gerilme mukavemetinde önemli etkilere neden olabiliyor. Şekil 9'da görüldüğü gibi, demir oksit içeren kumlar 573°C (1063F) ve 1470°C (2678F) arasında daha büyük bir hacim düşüşü sergiliyor.

**Tablo 1 : Silis kumunun ısı karşısında faz değişimi**

Faz Değişimi	Sıcaklık / °C	Yoğunluk Değişimi	Lineer Değişim
Alfa quartz – beta quartz	573	2,65 – 2,53 (+4,74%)	+1,56%
Beta Quart - Beta tridimite	870	2,53 – 2,22 (+12,44%)	+3,99%
Beta tridimite – beta cristobalite	1.470	2,25 – 2,20 (+2,27%)	+0,75%
Beta quarts – beta cristobalite	1.470	2,53 – 2,20 (+14,71)	+4,74%

### Damar Hatalarına Çözümler

Dökümlerde damarlaşma kusurlarını azaltmak için kabul edilen birkaç yöntem çalışmanın sonraki bölümlerinde irdelenecek.

Maça ve kalıpların yüzey ve yüzey altı bölümlerinin genişleme oranlarındaki farklılığı ortadan kaldırmak için kromit, zirkon, olivin ve seramik gibi düşük genişlemeli agregalar kullanılıyor. Bu malzemeler genellikle doğrusal termal genişleme ve çok az faz dönüşümü sergiliyor. Refrakter değerleri silis kumundan daha yüksek olup minimum yumuşama ve hacim kaybı gösteriyor. Kalıp metal arayüzündeki gerinim değerleri, yüzey altı gerinim değerleriyle yakından eşleşiyor ve bu nedenle, gerilme kusurlarına ve damarlara neden olabilecek mekanik kuvvetleri ortadan kaldırıyor. Düşük genişlemeli agregaların silis kumu ile karışımları, damarlaşma kusurlarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için başarıyla kullanılıyor.



Flaks içeren kum katkı maddeleri, silis kumları üzerinde iki farklı etkiye sahip olan demir oksit ve lityum bazlı ürünleri içeriyor. Flaks, silisin yumuşamaya başladığı sıcaklığı düşürüyor ve tanelerin yüzeyinde sıvı sağlıyor, reaktiviteyi arttırıp tridimit ve kristobalit geçiş sıcaklıklarını düşürüyor. Bu geçişler, yüzey altı kum hacmindeki artışları etkiliyor ve maça veya kalıp yüzeyindeki damar gerginliğini azaltıyor. Bu malzemeler ayrıca kumu yüksek sıcaklıklarda sinterleyebiliyor ve bağlı kumların viskozitesinin artmasıyla gösterildiği gibi çekme kusurlarına karşı direnci etkin bir şekilde arttırıyor.

Sakaritler veya dekstrin gibi organik malzemeler içeren kum katkı maddelerinin, alfa / beta dönüşümünde hafif bir tampon etkisi sağladığı, ancak esas olarak kumun yüksek sıcaklıkta bağlanması için bir karbon kaynağı görevi gördüğü gözleniyor. Kalıp boşluğundaki mevcut oksijen sıvı metal dolduktan kısa bir süre sonra tükeniyor ve oksijen yokluğunda, organik materyaller, yüzey kumunun viskozitesini ve çekme mukavemetini arttırıyor ve kum tanelerinin yüzeyine bağlanan primer karbona indirgeniyor. Çekme mukavemetindeki bu artış damarları azaltıyor. Genellikle bu malzemeler, etkinliklerini arttırmak için flakslar ve oksitlerle karıştırılıyor.

## TEST METODOLOJİSİ

Testte kullanılan maçalar ve kalıplar, 55/45 oranında kısım 1: kısım 2 kullanılarak, %1,1 bağlayıcı seviyesinde fenolik üretilen no-bake bağlayıcı sisteminde ve her bir basamaklı koni KitchenAid® mikserinde üretiliyor. Basamaklı koni sıyırma süresine ulaştıktan sonra kalıp yüksek katı içerikli zirkon maça boyasına daldırılıyor. Maçalar daha sonra kurutma için 121C'deki (250F) fırına yerleştiriliyor. Kuruduktan sonra maçalar fırından çıkarılıyor ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılıyor.

## ERGİTME PROSEDÜRÜ VE METAL ANALİZİ

Denemelerde ASTM A217-80 sınıfı WCB çeliği spesifikasyonu ile tutarlı çelik malzeme kullanıldı. Isıtmalarda kullanılan şarj malzemelerinde düşük karbonlu çelik malzemeler, dökümhane döndürleri, karbon yükselticiler ve ferro-silikon bulunuyordu. Kullanılan çeliğin kimyası Tablo 2'de gösteriliyor. Çelik, alümina refrakter astar kullanılarak 300 lb (136.4 kg) yüksek frekanslı çekirdeksiz indüksiyon fırınında ergitildi. Ergimedenden sonra, analiz için spektrometre numunesi alındı.

Eklemeler hesaplanarak analiz ayarlandı. Ergimiş metalin sıcaklığı, önceden ısıtılmış 340 lb (154.5 kg) kapasiteli ön ısıtılmış monolitik potaya dökülmeden önce yaklaşık 1700°C'ye (3092F) yükseltildi. Metal, alüminyum ile deokside edildi ve 1621°C (2950°F) hedef sıcaklıkta kalıplara döküldü.

Demir, nötr refrakter astar kullanılarak 300 lb (136.4 kg) yüksek frekanslı çekirdeksiz endüksiyon fırınında ergitildi. Ergimedenden sonra cüruf çıkarıldı, bir termal analiz numunesi alındı ve ergimiş metalin sıcaklığı yaklaşık 2850F'ye (1510°C) yükseltildi. 300 lb (136.4 kg) ısıtılmış bir monolitik potaya akıtılıp ferro-silikon ile aşılandı. Metal daha sonra 2700F (1482.2°C) hedef



dökme sıcaklığı ile kalıba döküldü. Yaklaşık olarak 67 lb (30.5 kg) demir gerektiren her kalıp için yaklaşık olarak 18 ila 25 saniyelik bir toplam döküm süresi kullanıldı.

Tablo 2 : Test Çalışması Kullanılan Analizler

Metal Chemistry of WCB Steel			
C	Si	Mn	P
.30	.60	1.00	.04
S	Cr	Mo	Ni
.045	.40 (Max)	.25 (Max)	.50 (Max)
Metal Chemistry of Grey Iron			
C	Si	Mn	P
3.00-3.20	1.80-2.20	0.25Max	0.06-0.11
S			
0.05-0.12			

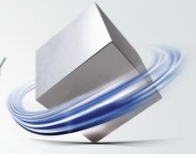
## DÖKÜM SİMÜLASYONU İLE TEST DÖKÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

### Silis Kum Çelik Döküm

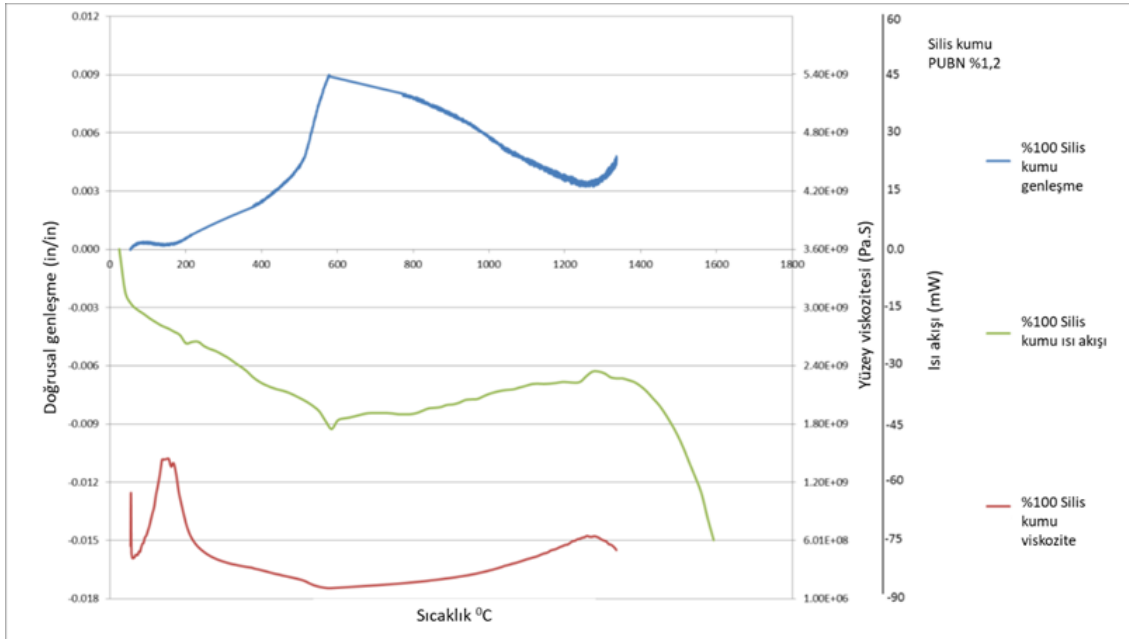
Damarların olduğu nokta Şekil 10'da görülüyor. Kum yüzeyinin sıcaklığı 1343°C'yi (2450F) aştığında, doğrudan altındaki kum 573°C (1063F) sıcaklığa ulaşıyor. Kalıp yüzeyindeki hacimde 0,002 inç / inç (0.005 cm / cm) genişleme görülürken, yüzey altı kumunda 0.008in./in.'yi aşan (0,020 cm / cm) doğrusal genişleme görülüyor. Şekil 10'daki döküm simülasyonu, maça yüzeyindeki damar gerginliğinin 0.01 inç / inç değerine eşit veya daha büyük olduğunu gösteriyor (0,03 cm / cm). Yüzeydeki kum yeterli çekme mukavemetini gösteremediğinde, yüzey altı kum hacmi artışının neden olduğu gerilme, kumun çekme mukavemetinin üzerine çıkarak çatlamaya neden oluyor. Yüzey kumunun viskozitesi, Şekil 11'de gösterildiği gibi yaklaşık 6.454E + 8 Pa·s (6.454E + 11 cP) ölçülüyor.

Maça sıcaklığı oda sıcaklığından yükseldikçe, organik bileşikler buharlaşıyor, viskozite ve mukavemet artıyor. Bu durum Şek. 11 ve 12'de oda sıcaklığından yaklaşık 100C'ye (212F) olan kısımda da görülüyor. Sıcaklık arttıkça, hidrojen, nitrojen ve oksijen polimer yapısından açığa çıkıyor ve bağlı kumun viskozitesi azalıyor. Araştırmalar, kalıp gazındaki kalan karbonu karbondioksite dönüştürmek için oksijen içeriğinin yetersiz olduğunu gösteriyor. 538C (1000F) üzerindeki sıcaklıklarda, bağlayıcı tarafından sağlanan oda sıcaklığı mukavemeti ortadan kalkıyor ve kum zayıf karbon bağları tarafından bir arada tutuluyor. Sıcaklık arttıkça, sinterlenmenin başlangıcı olarak düşünülebilecek olan viskozitedeki artış ve hacim kaybının gösterdiği gibi kum yüzeyi yumuşamaya ve bağlanmaya başlıyor.

Daha yüksek sıcaklıklarda (Şekil 11), silis kumunun kristobalit geçişi genişleme, viskozite ve ısı akış eğrilerinde görülebiliyor. Yaklaşık 1300C'deki (2372F) ısı akış eğrisindeki ekzotermik pik, viskozite eğrisindeki artış ve genişleme eğrisindeki ikincil genişlemenin başlangıcı ile de gözleniyor. Bu noktadan sonra, numunenin kısmen eridiğini gösteren ısı akış eğrisinde endotermik bir düşüş görülüyor. Bu noktada viskozite giderek azalmaya başlıyor



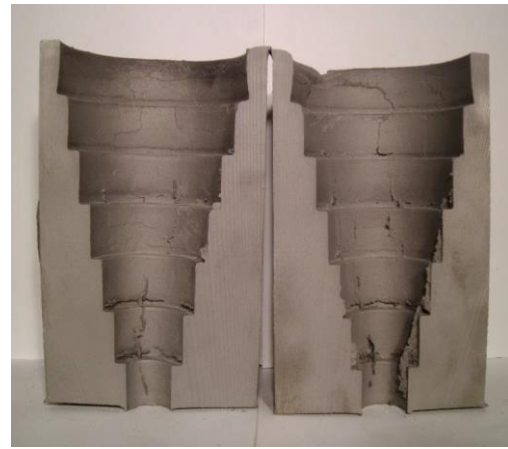
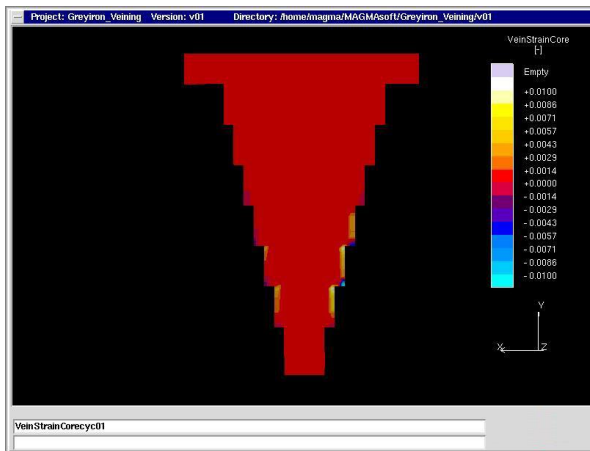
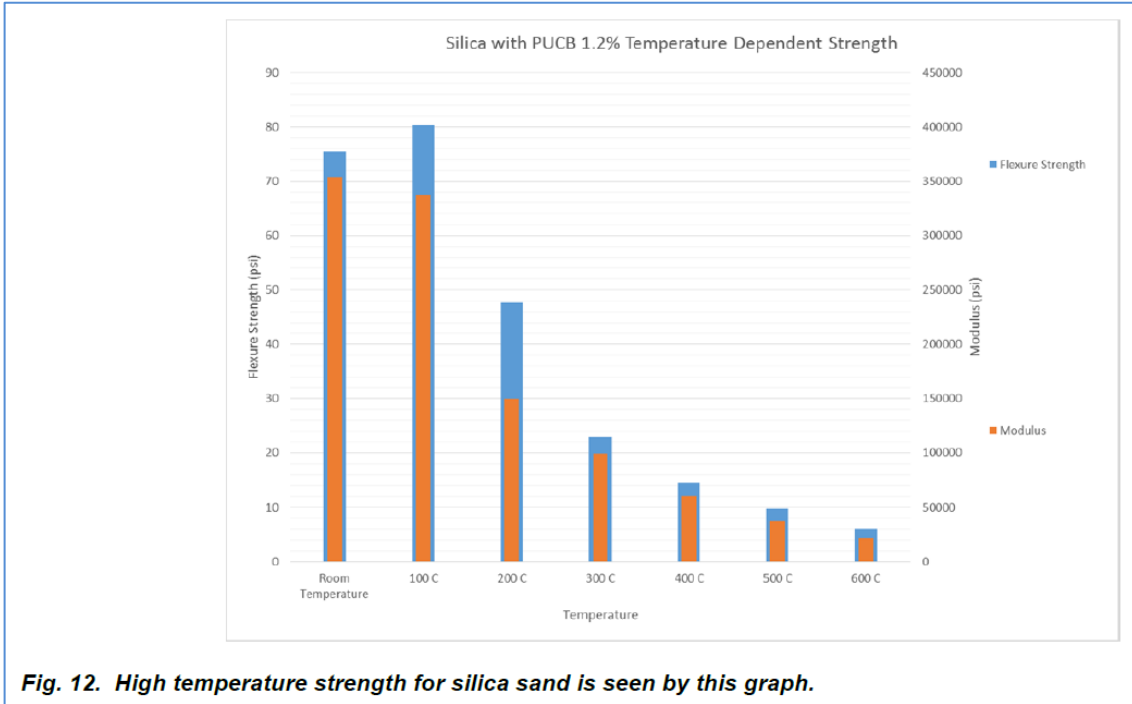
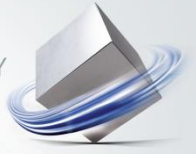
Şekil 10. Silis kumu simülasyonunun çelik basamaklı koni test dökümü ile karşılaştırılması



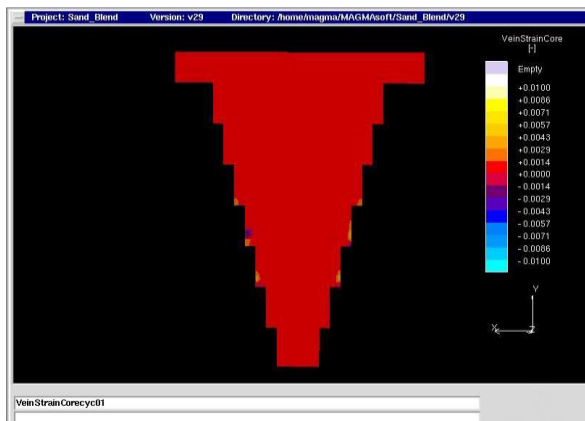
Şekil 11. Silis kumu genleşme, ısı akışı ve viskozite

## Dökme Demir / Silis Kumu

Şekil 13'te gri demir dökümlerin üç daha kalın kısımlarında daha yüksek bir gerilme görülüyor. 1,5 inç (3,81 cm) ve 2 inç (5,08 cm) adımlarda yaklaşık 0,008 inç / inçlik bir (0,020 cm / cm) gerilme görülüyor. 2.5 inç (6.35 cm) adım, yaklaşık 0.005 inç / inçlik bir gerilmeye sahip (0,013 cm / cm). Değerler çelik dökümden daha düşük olsa da, daha kalın bölümlerdeki 0,008 inç / inçlik (0,020 cm / cm) gerinimler damar hatalarına ve maça yüzeyinde çatlak oluşumuna eğilim olduğunu gösteriyor. Simülasyonda da daha yüksek gerinim değerine sahip iki kalın kesitte damarlaşma olabileceği görülüyor.

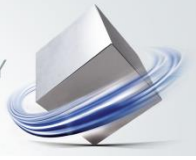


Şekil 13. Silis kumu simülasyonu ile gri dökme demir basamaklı koni dökümü karşılaştırması



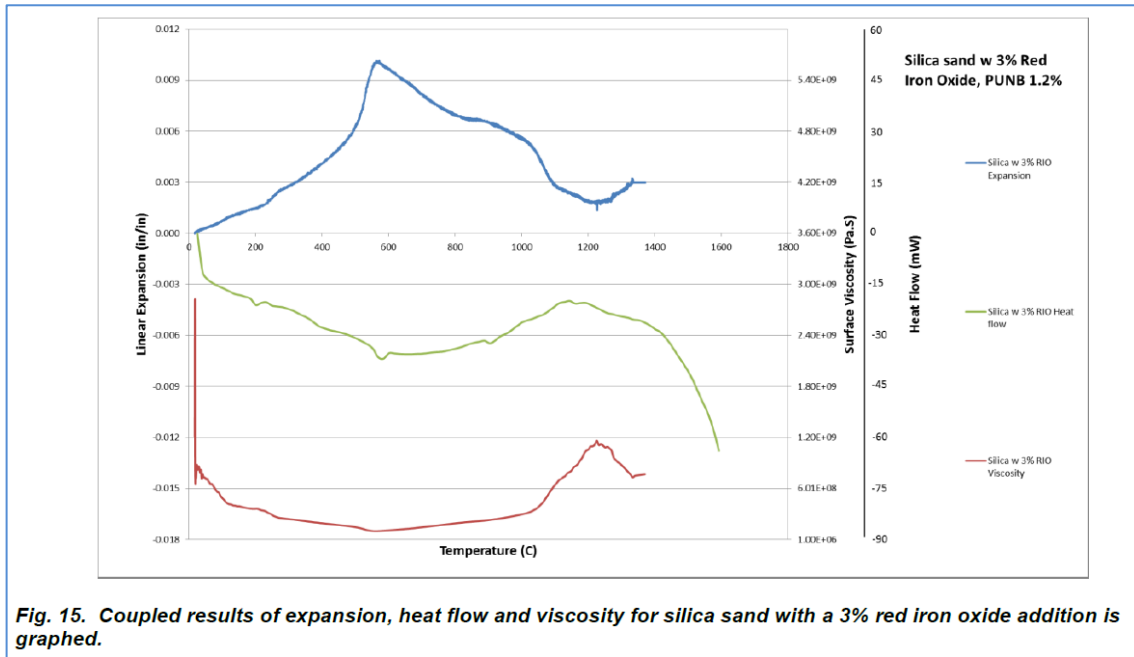
Şekil 14. %3 kırmızı demir oksit simülasyonu ile basamaklı koni çelik döküm numunesi karşılaştırması





## Kırmızı Demir Oksit Katkılı Silis Kumu Çelik Döküm

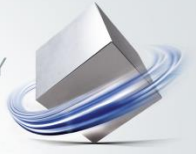
Şekil 14 ve 15, çelik dökümde silis kumuna %3 kırmızı demir oksit ilavesinin etkisini gösteriyor. Test numuneleri arasında beta kuvars dönüşümünden sonraki en belirgin yumuşama burada görülüyor. Yüksek sıcaklık viskozite etkisinin %3 çelik döküm ESA'ya benzer olduğu görülürken genişleme eğrisi 1232C (2250F) civarına düşen bir kristobalit dönüşüm noktası gösteriyor. Simülasyonda kum yüzeyinde gösterilen damar gerginliği %3 çelik döküm ESA ilavesine benzer şekilde 0,004 ila 0,006 inç / inç'lik (0.010 ila 0.015 cm / cm) bir değer veriyor. Bu damar gerginliği seviyesi, Şekil 14'te gösterilen test döküm görüntüsü ile uyuşan daha kalın bölümlerde küçük bir damarlaşma oluşumunu öngörüyor. % 3 kırmızı demir oksitli silis kumu için sinter noktasında  $1.12e + 09$  Pa·s ( $1.12e + 12$  cP) gibi bir pik viskozite ölçülüyor. Baz örneğinde olduğu gibi, yaklaşık 1200°C'de (2192F) viskozite pikine karşılık gelen bir ekzotermik pik ve ardından bir endotermik ısı akışı görülüyor.



## Kırmızı Demir Oksit Katkılı Silis Kumu Dökme Demir

Şekil 16'da %3 kırmızı demir oksitli silis kumu için simülasyon ve basamaklı koni dökümü arasındaki karşılaştırma gösteriliyor. Elde edilen gerilmenin çelik dökümden biraz daha yüksek, iki kalın bölümde yaklaşık 0,007 inç / inç (0,018 cm / cm), 2,5 inç (6,35 cm) adımda 0,005 inç / inç. (0,013 cm / cm) olduğu görülüyor. Şekil 17'de gösterildiği gibi, gri demirin daha düşük döküm sıcaklıkları ve maça yüzeyindeki daha düşük sıcaklık nedeniyle gerilimin bu durumda daha yüksek olduğu gözleniyor.

Damarlaşmanın tahmin edildiği noktadaki sıcaklık yaklaşık 1100°C (2012F) ve Şekil 15'e bakıldığında, maçanın bu sıcaklıkta hala büzülmekte olduğu ve henüz gerilmeyi yok eden ikincil genişlemenin oluşacağı kristobalit faz geçişine ulaşılmadığı görülüyor. Simülasyonun,



özellikle maçaanın 1.5 inç (3.81 cm) ve 2 inç (5.08 cm) bölümlerinde, döküm sonuçlarıyla iyi uyduğu görülüyor.

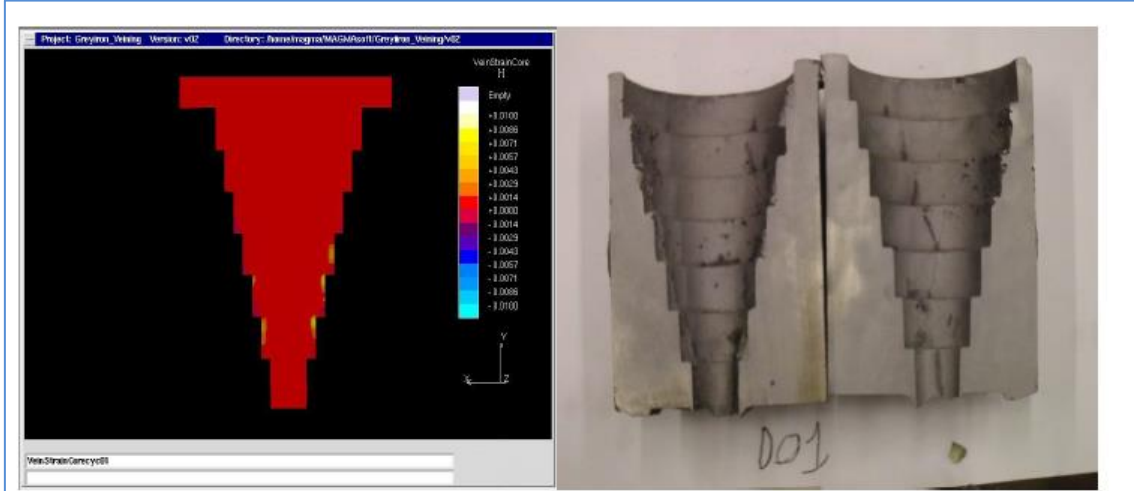


Fig. 16 Silica sand with 3% red iron oxide addition simulation is compared to corresponding grey iron step cone test casting.

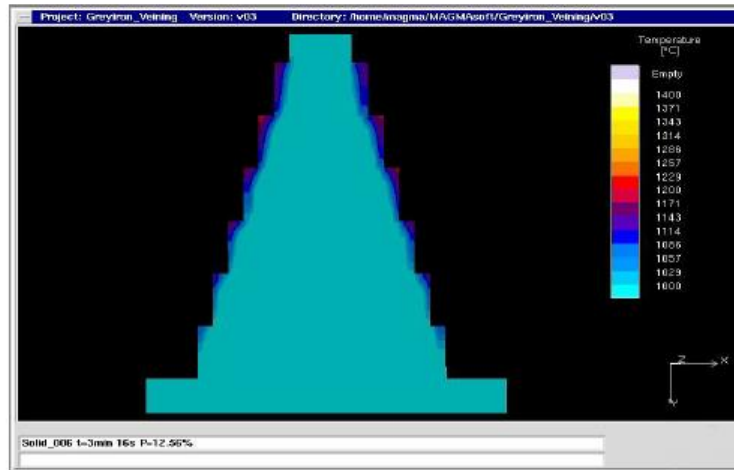


Fig. 17. Temperature profile of iron casting core is illustrated.

### Siyah Demir Oksit İlaveli Silis Kumu Çelik Döküm

% 3 siyah demir oksit ilaveli siliste görülen genişleme profili, %3 kırmızı demir oksit ilaveli malzemeye benzerdir. Bununla birlikte, sinter sıcaklığında yaklaşık  $2.15E + 09 \text{ Pa}\cdot\text{S}$  ( $2.15E + 12 \text{ cP}$ ) gibi daha yüksek bir viskozite görülüyor (Şekil 19). Bu durumun, bu sıcaklık aralığında daha yüksek mukavemet sağladığı düşünülüyor. Şekil 18'deki simülasyon sonuçlarına bakıldığında, yaklaşık 0,004 inç / inçlik (0,010 cm / cm) düşük gerilim değerlerine sahip birkaç noktanın olduğu görülüyor. Bu düşük gerilimin, maçadaki çatlakları ve damarlaşıma hatalarını önlemesi beklenmezken, simülasyon ve döküm sonuçları arasında damar hatalarının gözlenmediği iyi bir korelasyon görülüyor.

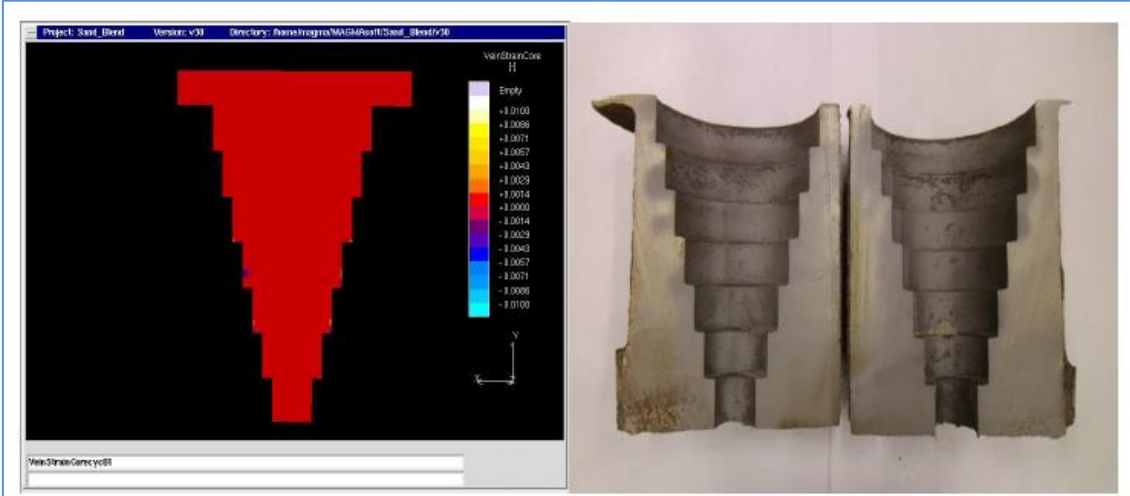
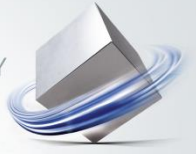


Fig. 18. Silica sand with 3% black iron oxide addition simulation is compared to corresponding steel step cone test casting.

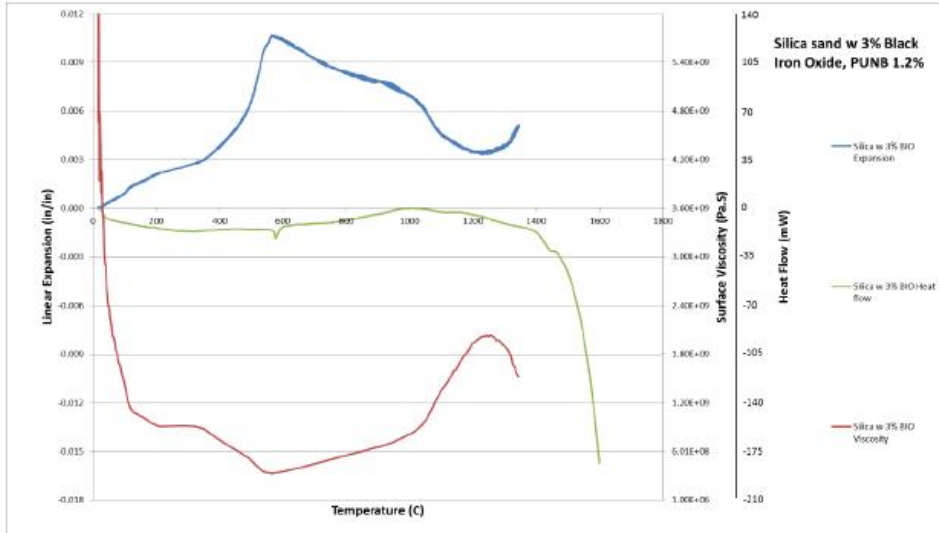
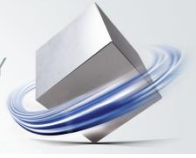


Fig. 19. Coupled results of expansion, heat flow and viscosity for silica sand with a 3% black iron oxide addition is graphed.

## ESA Katkılı Silis Kumu Çelik Döküm

%7 çelik döküm ESA ile silis kumundan elde edilen sonuçlar Şekil 20 ve 21'de gösteriliyor. Alfa beta faz geçişinden sonra büzülmenin yaklaşık 1050°C'ye (1922F) kadar daha düşük olduğu görülüyor. Bu noktadan sonra, 1050°C (1922F) ile 1225°C (2237F) arasındaki küçük bir sıcaklık aralığında hızlı bir daralma görülüyor ve bu noktada kristobalit faz geçişi başlıyor. Faz geçişinde viskozitede büyük bir artış görülmeyle beraber maçanın daha yüksek mekanik mukavemet göstermesi sağlanıyor.

Viskozitede sinter noktasında 5.94E + 09 Pa·s'lik (5.94E + 12 cP) %100 silis kumundan yaklaşık 9,2 kat daha yüksek bir pik ölçülüyor. 1225°C'de (2237F) ısı akışındaki küçük ekzotermik pikten sonra, ısı akışının yaklaşık 1420°C'ye (2588F) kadar ekzotermik bir eğilimde devam ettiği ve ardından bir endotermik akış görüldüğü izleniyor. Şekil 20'deki simülasyon



sonucuna bakıldığında, maça üzerinde minimum gerilme olduğu, dolayısıyla maça yüzeyinde çatlak oluşumunun önlendiği görülüyor. Simülasyon sonuçları, damarlaşma hatalarının gözlenmediği döküm sonuçlarıyla uyum gösteriyor.

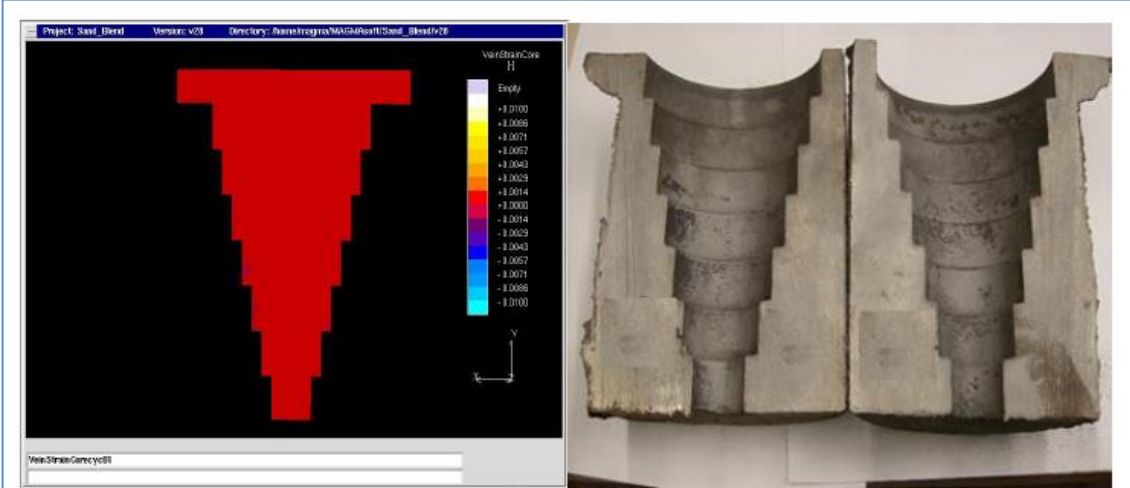


Fig. 20 Silica sand with 7% Steel ESA addition is compared to corresponding steel step cone test casting.

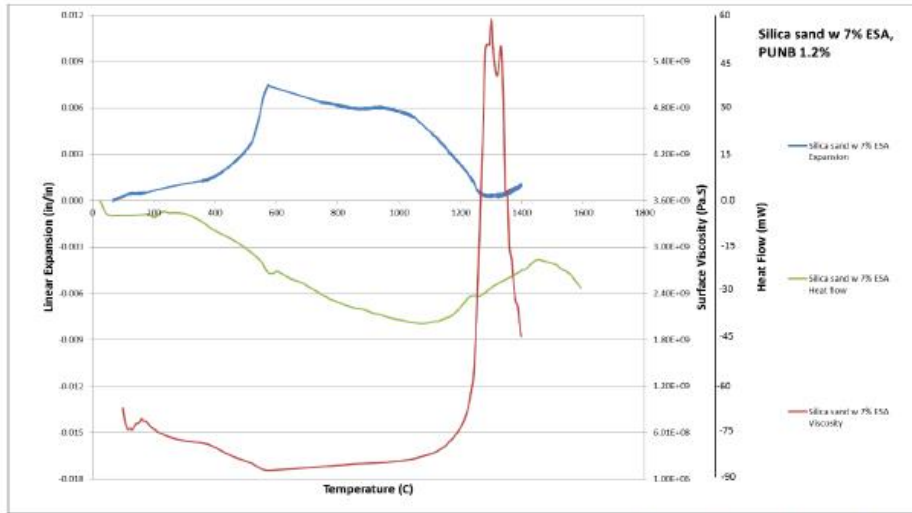
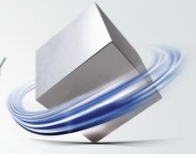


Fig. 21. Coupled results of expansion, heat flow and viscosity for silica sand with a 7% Steel ESA addition are graphed.

## ESA Katkılı Silis Kumu Demir Döküm

Şekil 23'teki genişleme profilinden, %7 demir döküm ESA ilaveli silis kumunun yaklaşık 1000°C'de (1832F) tridimit faz geçişi görülüyor. Daha önce belirtildiği gibi, bu faz geçişine büyük bir ikincil genişleme eşlik ediyor. 1166C'de (2041F), numune hızla büzölmeye başlıyor. Numunenin sinter sıcaklığını ifade eden 1242C'de viskozitede (2268F) yaklaşık 5.4E + 09 Pa.s'lik (5.4E + 12 cP) bir pik ölçülüyor.

Şekil 22'deki simülasyon sonuçlarında, daha kalın iki bölümün yaklaşık 0,008 - 0,009 inç / inçlik bir gerilmeye (0,020 - 0,023 cm / cm) sahip olduğu görülüyor. 2.5 inç (6.4 cm) adım ise 0.005 inç / inçlik (0,013 cm / cm) bir gerilmeye sahip. İkincil genişleme, Şekil 22'de maça



üzerindeki koyu mavi noktalardan görüldüğü gibi, maça üzerindeki gerilimi bir dereceye kadar ortadan kaldırmaya yardımcı olsa da, sonraki daralma, maçada çatlakları önlemek için çok düşük bir sıcaklıkta meydana geliyor. Sonuç olarak, sıcaklığın Şekil 23'te görülen ikincil genişleme aralığını aştığı alanlarda birkaç çatlak oluşuyor ve bu da damarlaşma hatalarına yol açıyor. Simülasyon ile döküm arasında iyi bir korelasyon elde edildiği görülüyor.

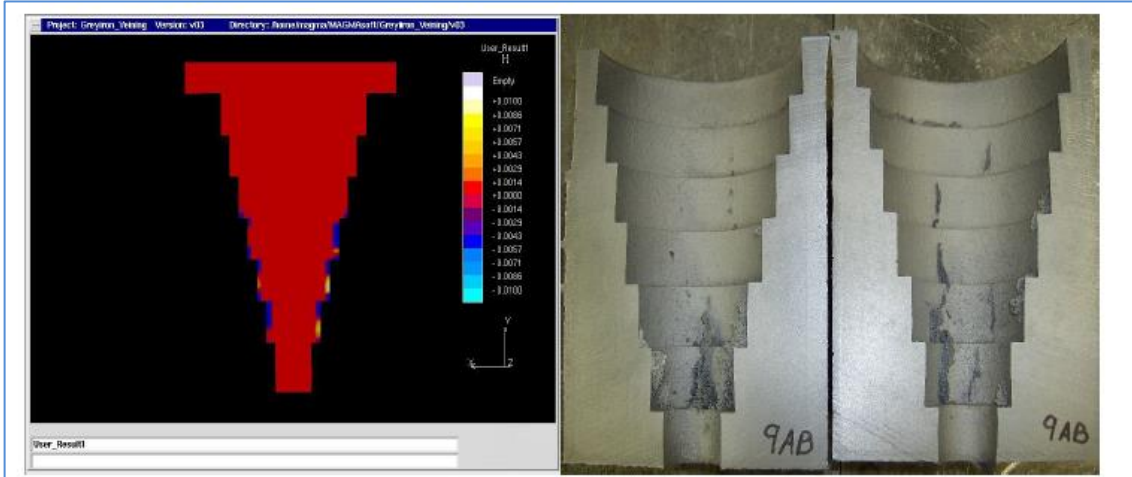


Fig. 22. Silica sand with 7% iron ESA addition is compared to corresponding grey iron step cone test casting.

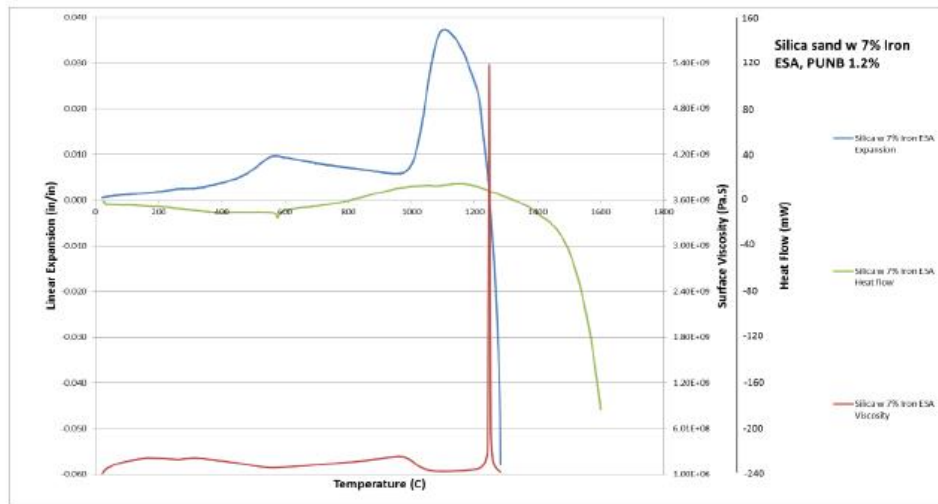


Fig. 23. Coupled results of expansion, heat flow and viscosity for silica sand with a 7% iron ESA addition are graphed.





## SONUÇ

Araştırmalar, maça ve kalıplardaki damarlaşma hatalarının, kalıp metal arayüzünde büzülen kum ile hemen altındaki genişleyen kumun oluşturduğu çekme gerilmesinin bir sonucu olduğunu gösteriyor. Çekme kusuru, kumun 573°C'ye (1063F) ulaştıktan sonra yaşadığı hacim kaybından kaynaklanıyor. Gerilme, ısı kaynağı olan sıvı metale farklı mesafelerdeki kum yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık farklılıkları ve hacimsel değişimler nedeniyle meydana geliyor. Kalıp veya maçanın yüzeyine uygulanan kuvvetler yüzeydeki yüksek sıcaklık mukavemetini aştığında, kumun çatlamasına ve sıvı metalin dolmasına yol açan çekme kusurları meydana geliyor. Kumun hacmi, alfa kuvarstan beta kuvarsa geçtiği 573°C'ye (1063F) kadar keskin bir şekilde artış gösteriyor. Bu faz değişikliğine, kumun saflığına bağlı olarak %0,9 ila 1,6 oranında bir hacim artışı daha eşlik ediyor. Daha fazla ısıtıldığında kum tanelerinin yüzeyindeki yumuşama ve oluşan deformasyon nedeniyle hacim kaybı başlıyor. 573°C (1063F) üzerindeki sıcaklıklarda oluşan bu hacim kaybı damarlaşma hatalarına yol açıyor. Kalıp veya maça yüzeyinin sıcaklığı arttıkça kumun uzunluğu ve hacmi azalıyor. Doğrudan yüzeyin altındaki soğuk kum, alfa-beta kuvars dönüşümünden geçerken hacim olarak artış gösteriyor. Yüzeyde büzülen kumun doğrudan yüzeyin altında genişleyen kumla birleşimi, damarlaşma olarak sınıflandırılan hatayı oluşturan sıvı metalle dolan çekme kırılmaları yaratıyor.

Dökümlerde damarlaşma hatalarını azaltmak için kabul edilen birkaç yöntem bulunuyor:

1. Maça ve kalıpların yüzey ve yüzey altı bölümlerinin genişleme oranlarındaki farklılığı ortadan kaldırmak için kromit, zirkon, olivin ve seramik gibi düşük genişlemeli agregalar kullanılıyor. Bu malzemeler genellikle azaltılmış doğrusal termal genişleme ve çok az faz dönüşümü sergileyip; refrakter değerleri silis kumuna göre daha yüksek olduğundan minimum yumuşama ve hacim kaybı gösteriyor. Kalıp metal arayüzündeki gerinim değerleri, yüzey altı gerinim değerleriyle yakından eşleşiyor ve bu nedenle, çekme kusurlarına ve damarlara neden olabilecek mekanik kuvvetleri ortadan kaldırıyor. Düşük genişlemeli agregaların silis kumu ile karışımları, damarlaşma hatalarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için başarıyla kullanılıyor.

2. Flaks içeren kum katkı maddeleri, silis kumları üzerinde iki farklı etkiye sahip olan demir oksit ve lityum bazlı ürünleri içeriyor. Flakslar, silisin yumuşamaya başladığı sıcaklığı düşürüp tanelerin yüzeyinde sıvı sağlıyor, reaktiviteyi artırıyor ve tridimit ve kristobalit için geçiş sıcaklıklarını düşürüyor. Bu geçişler, yüzey altı kum hacmindeki artışları zorlayıp maça veya kalıbın yüzeyindeki damar gerginliğini azaltıyor. Bu malzemeler, aynı zamanda, yüksek sıcaklıklarda kumun sinterlenmesini sağlayarak, viskozitelerinin de artmasını sağlayıp çekme mukavemetlerini yükseltebiliyor.

3. Sakaritler veya dekstrin gibi organik malzemeler içeren kum katkı maddelerinin, kumun alfa / beta dönüşümünde hafif bir tamponlama etkisi sağladığı, ancak esas olarak kumun yüksek sıcaklıkta bağlanması için bir karbon kaynağı görevi gördüğü görülüyor. Kalıp boşluğundaki mevcut oksijenin sıvı metal ile doldurulduktan kısa bir süre sonra tükendiği görülürken; oksijen yokluğunda, organik malzemeler öncelikle karbona ayrılıyor ve bu da kum tanelerinin yüzeyine





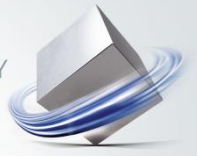
bağlanarak yüzey kumunun viskozitesini ve gerilme mukavemetini arttırıyor. Çekme mukavemetindeki bu artış damarlaşmaların azalmasını sağlıyor. Bu malzemeler genellikle etkinliklerini artırmak için flaks ve oksitlerle karıştırılıyor.

## TRİDİMİT VE KRİSTOBALİT DÖNÜŞÜMLERİ

Mühendislik kum katkı maddeleri karışım üzerinde iki farklı etki gösteriyor. İlki, kumda yaklaşık 870°C'de (1598F) meydana gelen yüksek sıcaklık faz değişiminden yararlanıyor. Dört ana kuvars fazının ilk aşaması, oda sıcaklığından yaklaşık 573°C'ye (1063F) kadar stabil olan alfa kuvarstır. İkinci aşama beta kuvars olup silis kumunun bu fazı, alfa kuvarstan daha az kararlı ve düşük viskozitesi de bir miktar yüzey yumuşaması oluştuğunu gösteriyor. Bu değişikliğin, bağlayıcı türü veya tane boyutundan bağımsız olarak meydana geldiğine dikkat çekiliyor. Bu aşamadaki hacim kayıpları, numunenin orijinal uzunluğunun %50 ila% 100'ü arasında değişebiliyor.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneylerdeki yardımları için Kuzey Iowa Üniversitesi Metal Döküm Merkezinin öğrenci çalışanlarına; damar gerginliğini değerlendirmek için kullanılan API kodunun geliştirilmesine sunduğu katkı için Alabama Üniversitesi'nden Dr. Charles Monroe'ya, Malzeme temini konusunda Ashland Chemicals ve Magma Foundry simülasyon yazılımının kullanımı ve operasyonunda verdiği teknik destek için de Shelley Dutler'e teşekkür ediyorlar.



## KAYNAKÇA

1. International Atlas of Casting Defects, American Foundry Society (1993).
2. Thiel, J., Ziegler, M., Dziekonski, M., Joyce, S., "Investigation into the Technical Limitations of Silica Sand Due to Thermal Expansion," AFS Transactions, vol. 115, paper 07-145 (2007).
3. Thiel, J., Monroe, C., "High Temperature Physical Properties of Chemically Bonded Sands and What To Do with Them," SFSA Technical and Operating Conference Proceedings (2009).
4. Thiel, J., "High Temperature Physical Properties of Chemically Bonded Sands Provide Insight into Core Distortion," AFS Transactions, vol. 117, paper 09-067, pp. 323-339 (2009).
5. Thiel, J., Ravi, S., "Evaluation of Additions of Veinseal HRM and its Effect on Veining Defects," unpublished, (2011).
6. Tardos, G., et al from the Department of Chemical Engineering, City College of New York.
7. Naro, R.L., "Variables Affecting the Formation of Porosity Defects in Grey Iron Castings Prepared with Urethane Binder Systems," AFS Transactions, vol. 82, p. 257 (1974).
8. Tordoff, W. L., Tenaglia, R.D., "Test Casting Evaluation of Chemical Binder Systems," AFS Transactions, vol. 88, pp. 149-158 (1980).
9. Giese, S., Thiel, J., "Numeric Ranking of Step Cone Test Castings," AFS Transactions., vol. 115, paper 07-146(04) (2007).
10. Modern Refractory Practice, fourth edition, Harbison-Walker Refractories Co. (1961).