

Kimyasal Bağlı Silis Kumlarının Termal Genleşmesi

*J. Thiel (University of Northern Iowa, Cedar falls, IA), AFS Proceedings 2011, Paper 11-116.pdf

Özet

Silis kumlarının genleşmesi, sektörde uzun süredir hatalı bir şekilde çeşitli döküm hatalarının nedeni olarak ifade ediliyor. Kumun genleşme şeklinin değiştirilemeyeceği de aynı şekilde yanlış anlaşılan bir olgu konumunda. Bu çalışmada, silis kumlarının genleşmesi ve faz değişimlerinin etkileri derinlemesine inceleniyor. Elde edilen veriler, bazı malzemelerin silis kumunun yüksek sıcaklık fazları ve buna karşılık gelen genleşme değerleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu gösteriyor. Bu faz değişiklikleri, çeşitli döküm hatalarına ve hataların giderilmesine dair metodolojilere farklı bir bakış açısı getiriyor. Sonuçlar, aynı zamanda, dökümlere daha düşük boyutsal varyasyon ve daha yüksek boyutsal öngörülebilirlik sağlamadaki zorluk ve karmaşıklığın daha iyi anlaşılmasını sağlıyor.

Anahtar kelimeler: silis, kum, genleşme, faz değişimi, dökümde boyutsal doğruluk.

Giriş

Metallerin dökümü, insanoğlunun bildiği en pratik metal şekillendirme teknolojisi olmaya devam ediyor. Başka hiçbir teknikte rakip teknolojilerin maliyetinin çok daha altına karmaşık iç geometrik özelliklerin oluşturulması halen mümkün değil. Günümüzde geleneksel demir ve demir dışı malzemelerin bir kaç gramdan yüzlerce tona kadar karmaşık şekillerde dökülmesi olağan bir durum. Bununla birlikte, silis kumunun ani termal genleşmesi ve kararsız kristal fazları nedeniyle, bu malzemelerde üretilen dökümlerin boyutsal doğruluğu zaman zaman tehlikeye giriyor. Zirkon, kromit ve çeşitli mullit seramik agregaları, düşük ısı genleşmeleri ve boyutsal kararlılıkları nedeniyle yüksek hassasiyetli dökümlerde silisin yerine tercih edilebiliyor. Ancak, silis kumu, alternatif malzemelere göre daha uygun maliyetlerle boyutsal olarak doğru dökümler üretmede hala önemli bir yere sahip.

Metal döküm endüstrisinde kalıp ve maça üretiminde kullanılan tüm agregalar arasında, silis kumu en büyük termal genleşmeye ve dolayısıyla dökümlerin boyutsal özellikleri üzerinde en ciddi etkilere sahip malzemedir. Bu genleşmenin daha derinlemesine incelenmesi, bu bol ve uygun maliyetli malzemedeki üretilen dökümlerin boyutsal doğruluğunun artmasında önemli bir potansiyele sahip. Araştırmaların büyük bir kısmı, silisin genişledikçe geçirdiği faz değişikliklerine odaklanıyor. Bu sayede sadece genleşme stabilitesi değil aynı zamanda malzemenin yumuşadığı ve sinterlendiği noktaların da kontrol edilmesi amaçlanıyor.

Önceki araştırmalarda, damarlaşıma kusurlarının nedeninin kumun genişlemesi değil, Alfa/Beta faz dönüşümünden sonraki daralma olduğu görülmüştü¹. Bu büzülme, silisin maruz kaldığı geçiş sıcaklığının bir göstergesi ve tanımı olarak kabul ediliyor. Bu daralmanın / geçişin



anlaşılması ve ölçülmesi, damarlaştırma kusurlarının ortadan kaldırılmasında ve silis kumu kullanımına eşlik eden deformasyonların kontrol edilmesinde çok önemli. Bu daralma yavaşlatılabilir veya tersine çevrilebilirse, kum termal olarak çok daha kararlı hale getirilebilir ve gerçek genleşme süreklilik arz edecek şekilde stabilize edilebilir.

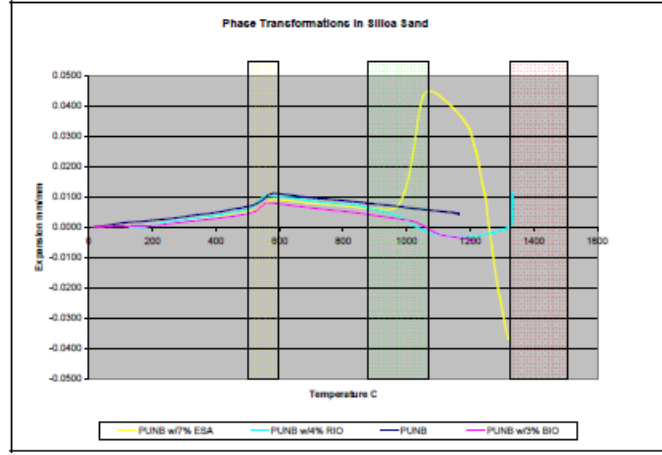
Dökümhane kumlarının çoğu alfa-kuvarsdan oluşuyor. Bu kumlar, kuvarsın beta-kuvars faz değişimine uğradığı 573°C (1063F) civarında yavaşça genleşiyor². Bu faz değişikliği, hızlı hacim değişimini (%4,74) ve doğrusal genişlemeyi (%1,56, 0.015 mm/mm) beraberinde getiriyor. Bu hızlı genleşme, genellikle damarlaştırma kusurları ve kum tanelerinin termal çatlamasına sebep olabiliyor. Organik dolguların kullanımı, kum taneleri arasında boşluklar oluşturarak tampon vazifesi görürken; kum hacminin korunması için belirli miktarlarda kullanılmaları gerekiyor. Bu dolgular, genel genleşmeyi azaltırken, bağlanan kumun mekanik bütünlüğünün erken bozulmasına neden olabiliyor. Şekil 1'de görüldüğü gibi, katkı maddeleri olmadan fenolik üretilen no-bake reçine ile bağlanmış kumlar, 573°C'den (1063F) yaklaşık 1176°C'ye (2150°F) kadar ısıtıldığında yavaş bir daralma sergiliyor. Kuvarsdaki sıcaklık artışlarıyla ilişkili faz değişiklikleri Tablo 1'de veriliyor.

Tablo 1 : Silis kumunun ısı karşısında faz değişimi

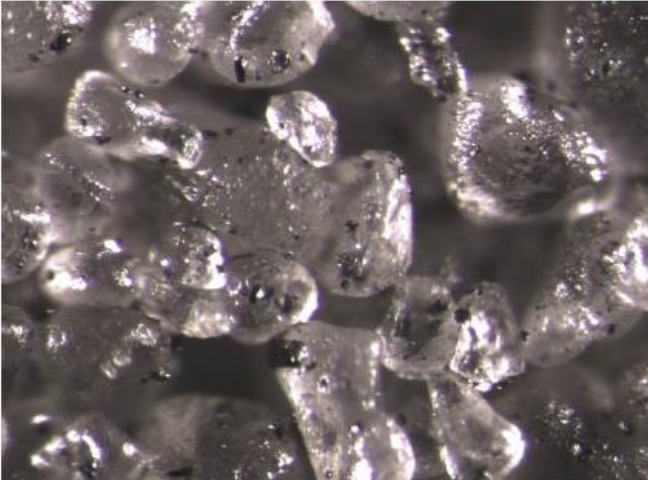
Faz Değişimi	Sıcaklık / °C	Yoğunluk Değişimi	Lineer Değişim
Alfa quartz – beta quartz	573	2,65 – 2,53 (+4,74%)	+1,56%
Beta Quart - Beta tridymite	870	2,53 – 2,22 (+12,44%)	+3,99%
Beta tritmite – beta cristobalite	1.470	2,25 – 2,20 (+2,27%)	+0,75%
Beta quarts – beta cristobalite	1.470	2,53 – 2,20 (+14,71)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

Beta kuvars, 870°C'de (1598°F) beta-tridimite dönüşürken, hacimde orijinal alfa-beta-kuvars dönüşümünden daha büyük oranda %12.44'lük bir değişim meydana geliyor. Bu dönüşümler genellikle, mühendislik kum katkıları (ESA) kullanıldığında veya bentonit bağlı yaş kumlarda sodyum bulunduğunda görülüyor. Sodyum ve alüminyumun genellikle tridimit dönüşümünü stabilize ettiği biliniyor. Tridimit dönüşümü nedeniyle hacimdeki bu artışın, ESA'nın dökme demirlerdeki damarlaştırmayı azaltmada veya önlemede etkili olmasını sağlayan mekanizma olduğu düşünülüyor.

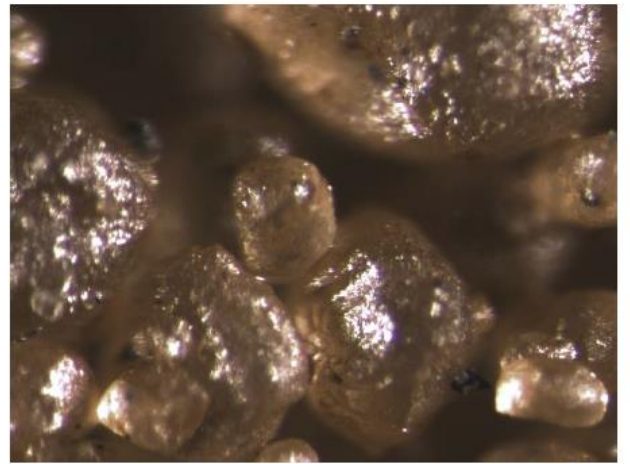
Yeterli miktarlarda demir oksitler bulunduğunda, kumlar, Tablo 1 ve Şekil 1'de görüldüğü gibi hacimdeki keskin azalmayla birlikte 1000 ile 1100 °C (1832 ve 2012°F) arasında yumuşamaya başlıyor. %3'ü aşan siyah (Fe₃O₄) yada kırmızı (Fe₂O₃) bileşenler, bağlı kumların sinterlenmesi veya kısmen erimesi gibi benzer etkilere sahip. Isıtıldıktan sonra dilatometreden alınan numuneler, Şekil 2 ve 4'te görüldüğü gibi numunelerin kısmen erimesine varan sinterlenme işaretleri gösteriyor.



Şekil 1: Silika fazlarının dönüşüm sıcaklığı



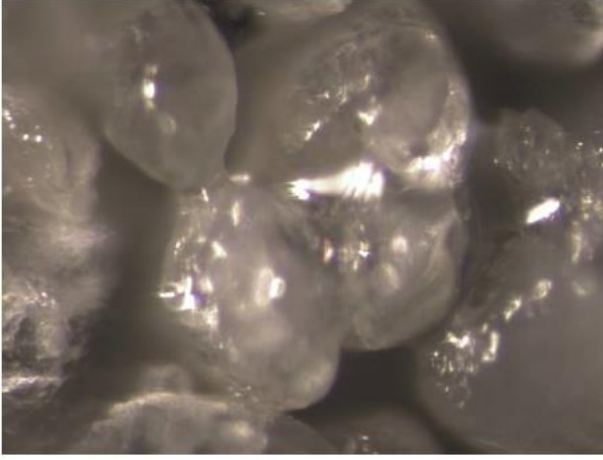
Şekil 2. Fenolik üretilen no-bake reçine ve %3 siyah demir oksit ilaveli sinterlenmiş numune



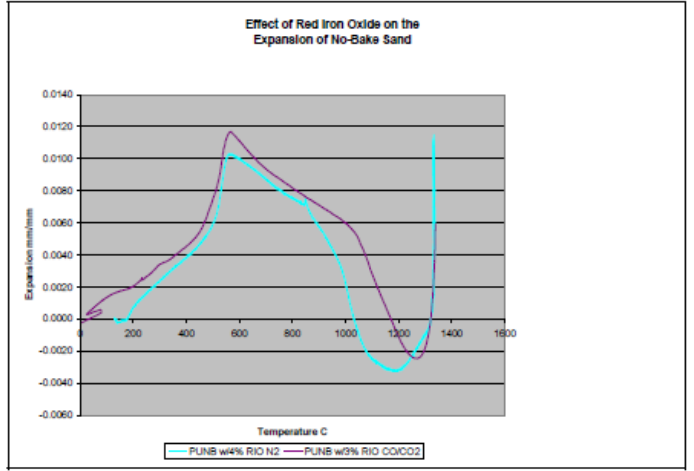
Şekil 3. Fenolik üretilen no-bake reçine ve %3 kırmızı demir oksit ilaveli sinterlenmiş numune

Sinterlenme veya kısmi erimenin, maça veya kalıp yüzeyinin çekme mukavemetinde bir artış sağladığı ve bunun da çatlama ve damarlaşmanın önlenmesine yardımcı olabileceği düşünülüyor. 815°C'de (1500°F) 1 saat süreyle tutulan ve oksit içeren numunelerde ilginç bir şekilde büzülme yada deformasyon görülüyor. Bu sıcaklıklardan soğutulduğunda ise büzülme tamamen tersine dönüyor. LOI analizi, oksit içeren numunelerin orijinal şeklini koruduğunu ve önemli kırılma mukavemetlerine sahip olmalarına rağmen, yanıcı içeriklerinin %0,5 olduğunu gösteriyor. Negatif LOI, örneklerin kül fırınında ısıtma sırasında ağırlık kazandığını gösteriyor. Bu ağırlık artışının, kum taneleri üzerinde kalan demirin yeniden oksitlenmesinin bir sonucu olduğu düşünülüyor. Bu yanıcı seviyesi, yapıda herhangi bir organik bağlayıcının mevcut olma olasılığını ortadan kaldırıyor.

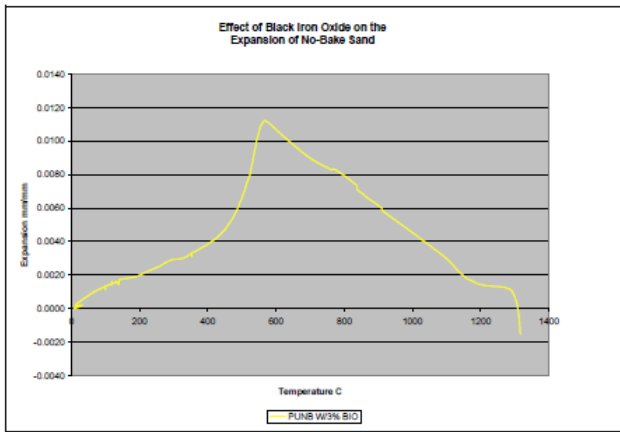
Şekil 4, kırmızı demir oksit ilaveli kumların, kum tanelerinin erimesini açıkça göstermektedir.



Şekil 4. Kırmızı demir oksit ilaveleri nedeniyle kısmi erimiş silis taneleri



Şekil 5. Kırmızı demir oksit ilave kumların genişmesi



Şekil 6. Siyah demir oksit ilaveli kumların genişmesi

Örnekler daha fazla ısıtıldıkça, kırmızı demir oksit içeren numuneler Şekil 1 ve 5'te görüldüğü gibi yaklaşık 1470°C'de (2678°F) kristobalite dönüşüyor. Bu dönüşüm %14,71'lik bir hacim artışı ile işaretleniyor. Siyah demir oksit içeren kumlarda, Şekil 6, daha yüksek bir sıcaklıkta meydana gelmiş olabilecek bu dönüşüm görülüyor. Dilatometre testi 1350°C (2462°F) ile sınırlı olduğundan, kristobalit dönüşümünün neden olduğu genişlemenin sadece başlangıcı izlenebiliyor. Testlerde hem CO / CO₂ ortamı ve hem de inert N₂ atmosferleri deniyor ve genişlemenin dilatometredeki

atmosferden bağımsız olarak meydana geldiği gözlemleniyor.

Demir oksitlerin damarlaşmayı önlemede çelikte olduğu gibi demir malzemelerde etkili olmamasının nedenlerinden birinin kristobalit dönüşümündeki yüksek sıcaklık olduğu düşünülüyor. Kısmi sinterlenme yada erime ile yüzey tanelerinin birbirine daha çok yapışarak yüksek sıcaklık çekme dayanımını arttırmasının da olası nedenlerden biri olduğu belirtiliyor.

Metodoloji

Test için kullanılan kumlar, yüksek silisli yuvarlak taneli (HSR) ve düşük silisli ve köşeli göl kumu (LSSA) içeriyordu. Test numuneleri ise şu prosedüre göre hazırlandı; yaklaşık 3.000 gram kum, bir 18-1 ayırıcı kullanılarak bölündü ve en yakın grama kadar tartıldı. Bağlayıcı, toplam kum miktarı esas alınarak hesaplandı ve bir KitchenAid® karıştırıcısına eklenip her



bağlayıcı için 60 saniye karıştırıldı. Her bir üretimde, üreticilerin tavsiye ettiği bağlayıcı oranları kullanıldı.

Kum karışımları, standart AFS köpek kemiği maça sandığıyla 372-A-O Soğuk Kutu Gerilme Kütleme Makinesinin üfleme haznesine yerleştirildi. İkinci karışım AFS standart yüksek sıcaklık örneğini içeren ikinci maça kutusuna üflendi. Bu numuneler 1.125 inç çapında ve yaklaşık 2.0 inç uzunluğundaydı. Yüksek sıcaklıktaki numunelerin uçları, özel bir fikstürle 1.6 inç kenar uzunluğuna sahip kareler haline getirildi. Köpek kemiği numuneleri kürlenmeden sonra 30 saniye, 5 dakika, 1, 3 ve 24 saatlik aralıklarla teste tabi tutuldu.

NO BAKE ÇEKME NUMUNELERİ

Kum örnekleri temsili bir tane dağılımı için 16 yollu kum ayırıcıyla ayrılıp mikserle yerleştirildi ve kuru ilaveler iyice karıştıncaya dek karıştırıldı. Kum karışımına 1 numaralı reçine ilave edildi ve 45 saniye karıştırıldı. Kase çıkarılıp karışım ters çevrildi ve 45 saniye daha karıştırıldı ve yine ters çevrildi. 2 numaralı reçine eklenip aynı karıştırma prosedürü tekrarlanarak karıştırıldı. Son aşamada paketlenip 12 gözlü köpek kemiği çekme numunesi maça sandığına sıkıştırıldı. Fazla kum düz kenar yoluyla uzaklaştırıldı ve kürlenmesi için beklemeye geçildi. Kalan kumdan düz 4 "x1" bir silindir oluşturuldu.

B ölçeğinde yaş dayanım periyodik olarak test edildi. Yaş mukavemet 45 (çalışma süresi) ve 90 (sıyırma süresi) değerlerine ulaştığı süreler kaydedildi. Mukavemet 90'a ulaştıktan sonra çekme numuneleri test için sandıktan çıkarıldı.

BASAMAKLI KONİ NUMUNELERİ

Kum örnekleri temsili bir tane dağılımı için 16 yollu kum ayırıcıyla ayrılıp mikserle yerleştirildi ve kuru ilaveler iyice karıştıncaya dek karıştırıldı. Kum karışımına 1 numaralı reçine ilave edildi ve 45 saniye karıştırıldı. Kase çıkarılıp karışım ters çevrildi ve 45 saniye daha karıştırıldı ve yine ters çevrildi. 2 numaralı reçine eklenip aynı karıştırma prosedürü tekrarlanarak karıştırıldı. Son aşamada paketlenip basamaklı koni maça sandığına sıkıştırıldı. Fazla kum düz kenar yoluyla uzaklaştırıldı ve kürlenmesi için beklemeye geçildi. Kalan kumdan düz 4 "x1" bir silindir oluşturuldu.

B ölçeğinde yaş dayanım periyodik olarak test edildi. Yaş mukavemet 45 (çalışma süresi) ve 90 (sıyırma süresi) değerlerine ulaştığı süreler kaydedildi. Mukavemet 90'a ulaştıktan sonra çekme numuneleri test için sandıktan çıkarıldı.



Deney Sonuçları

REÇİNELİ KUMLARIN MUKAVEMET PROFİLİ

Sodyum silikat test maçalarının çekme özellikleri Şekil 7 ve 8'de yer alıyor. Sodyum silikat bağlı maçaların çekme özelliklerinin, en yüksek bağlayıcı oranına sahip olmalarına rağmen, teste tabi tutulan tüm malzemeler içerisindeki en düşük değerlere sahip olduğu görülüyor. Üretici tarafından önerilen bağlayıcı içeriği minimum % 3.0 olsa da malzemeyi epoksi akrilik, reçine ve fenolik üretilen bağlı kumlarla daha yakından karşılaştırmak için daha düşük içerikler de kullanıldı. Şekil 9'da malzemelerin dirençlerine bağlı olarak atmosferik neme karşı zaman içerisindeki davranış profili görülüyor.

Şekil 9 ve 10'da fenolik üretilen bağlı kumların çekme profilleri görülüyor. Çekme özelliklerinin genel olarak kullanılan bağlayıcı miktarı ile orantılı olduğu görülüyor. Şekil 10 ayrıca bağlayıcı içeriğinin % 1.35 civarı ve üzerinde en stabil olduğunu gösteriyor. % 1.35'in altındaki bağlayıcı içeriğinde geçen süreyle birlikte sabit bir çekme mukavemeti gözleniyor.

Tablo 2 : Kum özellikleri

Temel Özellikler	InCast 55
Asit ihtiyacı (ADV)	3.0
pH	7.16
LOI	0.30
AFS Kil %	0.32
AFS GFN	49.44

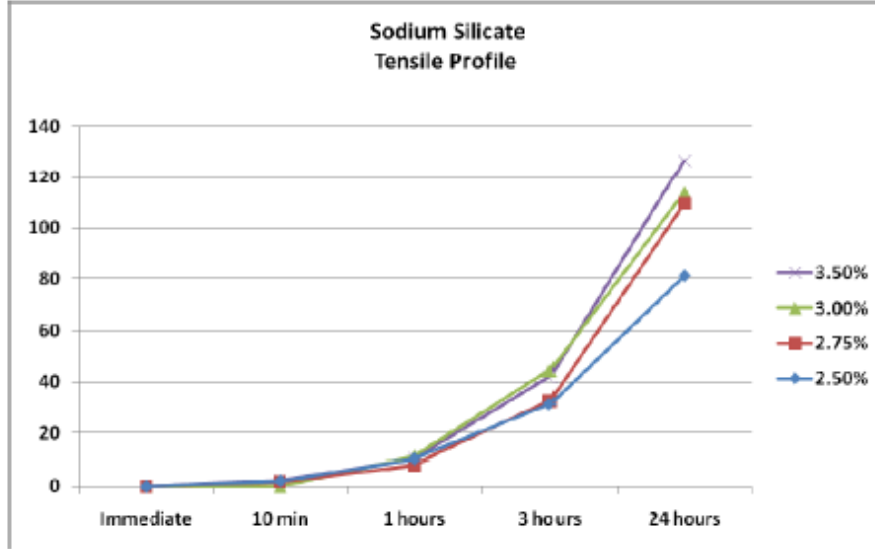
Table 3. Screen Distribution of Testing Sand

Sieve Size	Cumulative weight	Retained on Screen	% Retained	Multiplier	Product
20	0.003	0.003	0.01	0.10	0.0006
30	0.181	0.178	0.33	0.20	0.0656
40	7.383	7.202	13.28	0.30	3.9833
50	26.059	18.676	34.43	0.40	13.772
70	42.128	16.069	29.62	0.50	14.812
100	52.251	10.123	18.66	0.70	13.063
140	54.185	1.934	3.57	1.00	3.5655
200	54.227	0.042	0.08	1.40	0.1084
270	54.234	0.007	0.01	2.00	0.0258
Pan	54.242	0.008	0.01	3.00	0.0442
Total	54.24	54.24	100.00	GFN	49.44

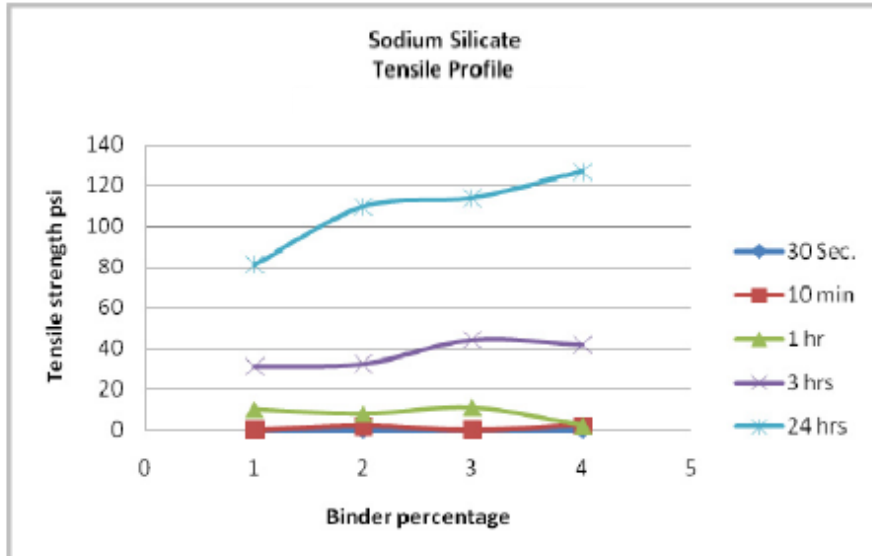
Testlerde en yüksek mukavemet özellikleri reçine bağlı kumlarda gözleniyor. Reçineli kumlar, aynı zamanda, en düşük bağlayıcıdan (%1) en yüksek bağlayıcı içeriğine kadar (%5) en stabil davranışı sergiliyor. Bağlayıcı içeriği ile mukavemetin doğru orantılı olduğu da elde edilen



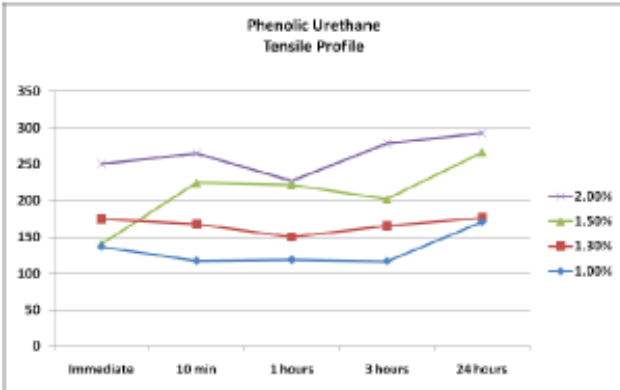
sonuçlar arasında. Şekil 12 ve 13'te görülen poksi akrilik bağlı kumların özellikleri fenolik üretiler ile karşılaştırılabilir olmakla beraber üretimden sadece 24 saat sonra nemden çok az oranda etkilendiği görülüyor



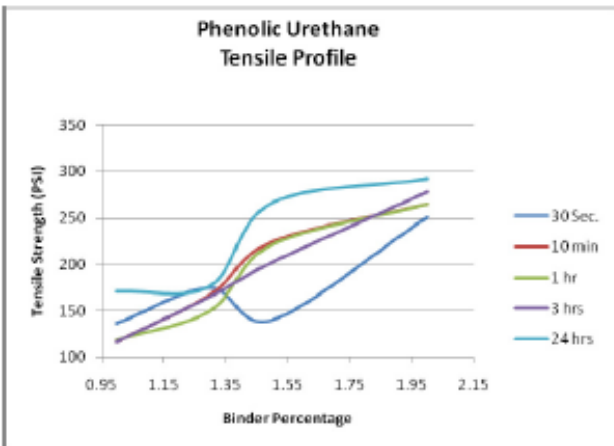
Şekil 7. Sodyum silikat zamana bağlı çekme özellikleri



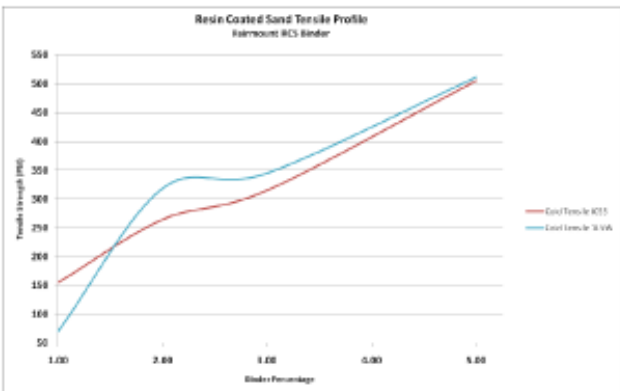
Şekil 8. Sodyum silikat bağlayıcı içeriği ve çekme mukavemeti ilişkisi



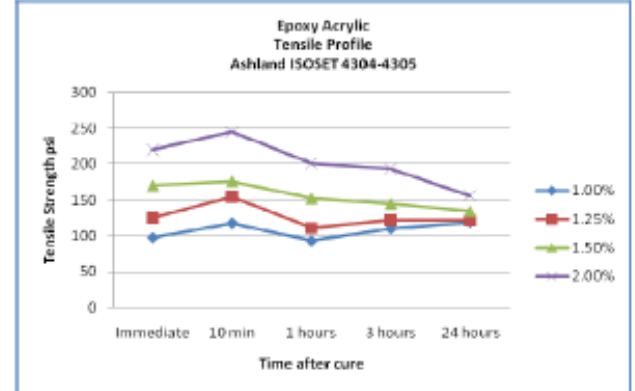
Şekil 9. Fenolik ürethan zamana bağlı çekme özellikleri



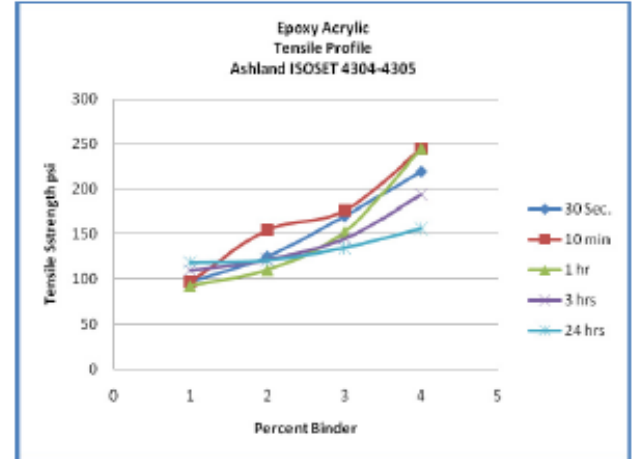
Şekil 10. Reçine bağlayıcı içeriği ve çekme mukavemeti ilişkisi



Şekil 11. Kaplanmış kum bağlayıcı içeriği ve çekme mukavemeti ilişkisi



Şekil 12. Epoksi akrilik zamana bağlı çekme özellikleri



Şekil 13. Epoksi akrilik bağlayıcı içeriği ve çekme mukavemeti ilişkisi



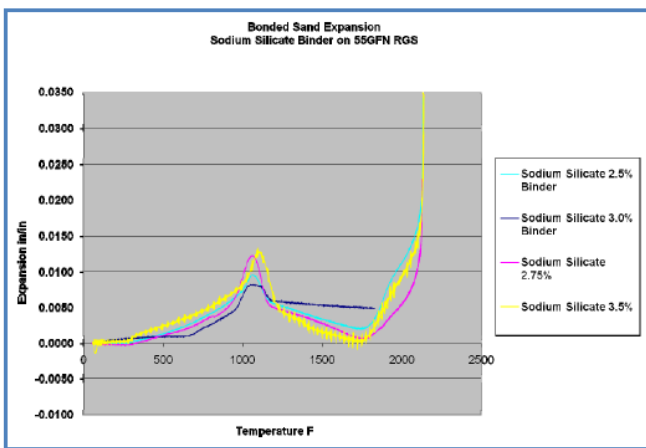
GENLEŞME SONUÇLARI

Termal Genleşme Testi

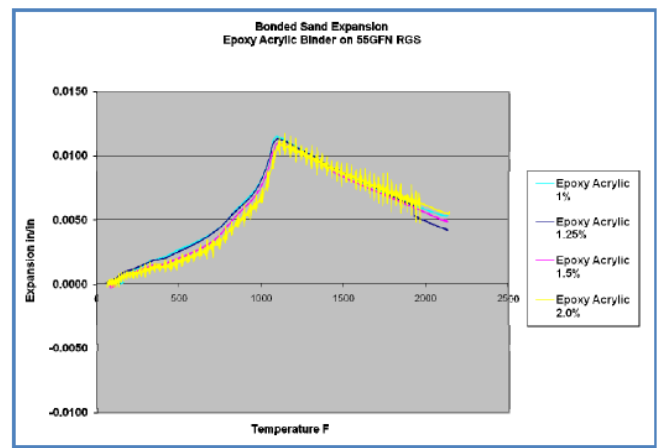
Termal genleşme testleri üniversitenin yüksek sıcaklık agrega dilatometresi kullanılarak yapıldı. Bu dilatometre, kontrollü atmosferli tek itme çubuğu tasarımına dayanıyor ve 1500°C'yi (2732°F) aşan sıcaklıklarda çalışabiliyor. Test sonuçları, dilatometre itme çubuğunun, numune tutucunun ve mikrometre kademesinin genleşmesinden kaynaklanan hataları düzeltmek için normalleştirmeden geçiriliyor.

Bağlayıcı Kumların Termal Genleşme Testi Sonuçları

Tüm kimyasal bağlayıcı sistemler arasında en reaktif olanın sodyum silikat sistemi olduğu görülmekle beraber tüm sistemlerde alfa-beta kuvars dönüşümü, 0,008 inç / inç'ten 0,013 inç / inç'e genleşme ile belirgin olarak izleniyor. Şekil 14'te görüldüğü gibi, genleşme 593°C'nin (1100F) biraz üzerinde zirve yapıyor ve ardından yaklaşık 927°C'ye kadar (1700F) dramatik bir şekilde daralıyor. Bu negatif genleşme veya daralma, kum tanelerinin yumuşamasını veya sinterlenmesini temsil ediyor. Isıtmadan sonra dilatometreden çıkarılan test numunelerinin bu kısmi erimesi nedeniyle şeklini koruduğu görülüyor. Sodyum silikat bağlı numunelerin kristobalit faz dönüşümü dolayısıyla 1535°C'ye kadar büyük bir hacimsel genişlemeye maruz kaldığı görülüyor. Bu aşamadaki genleşmelerin .05 inç / inç'i aştığı gözleniyor. Çeşitli bağlayıcı seviyelerindeki genleşmelerin lineer olmamasıyla beraber, bağlayıcı yüzdesinin varyasyonunun bir sonucu olarak daha fazla veri elde edilmesi beklenmekteydi. Şekil 15'te epoksi akrilik bağlayıcının genleşme verileri görülüyor. A/B dönüşümünden daha yüksek sıcaklıklarda bir miktar yumuşama görülürken bunun sodyum silikat bağlı örneklerden daha az olduğu gözleniyor. Genleşmenin bağlayıcı içeriği ile orantılı olmadığı ortaya çıkıyor.



Şekil 14. Sodyum silikat bağlı kumun termal genleşmesi



Şekil 15. Epoksi akrilik bağlı kumun termal genleşmesi

Şekil 16'da fenolik üretilen bağlı numunelerin genişmesi görülüyor. Test sonuçlarının toplam genişmede küçük varyasyonlara rağmen bağlayıcı yüzdeleriyle tutarlı olduğu gözleniyor. Numunelerin tümü, kum taneciklerinin sinterine bağlı olarak daralmayla birlikte alfa / beta dönüşüm sıcaklığında genişleme açısından karakteristik bir pik gösteriyor.

Reçine bağlı kumlar Şekil 17'de gösteriliyor. Numunelerin genişmesi alfa / beta faz dönüşüm aralığında doğrusal olmayan bir genişleme oranı ile kimyasal bağlayıcılardan ayrışıyor. Bu sonuç, daha önce test edilen numunelerle örtüşürken bunun daha yüksek bağlayıcı içeriğinde karşılaşılan deformasyonlarla ilişkili olduğu düşünülüyor. Doğrusal genişmeden sapma oranının numunelerde kullanılan bağlayıcı miktarıyla orantılı değiştiği görülüyor. %5 içerik en fazla varyasyonu gösterirken, %1 içerik en az varyasyonu sunuyor. %1 bağlı numune hacmindeki keskin düşüş, test sırasında numune bütünlüğünün bozulmasına ve hacim kaybına bağlıyor.

Basamaklı Koni Testi Sonuçları

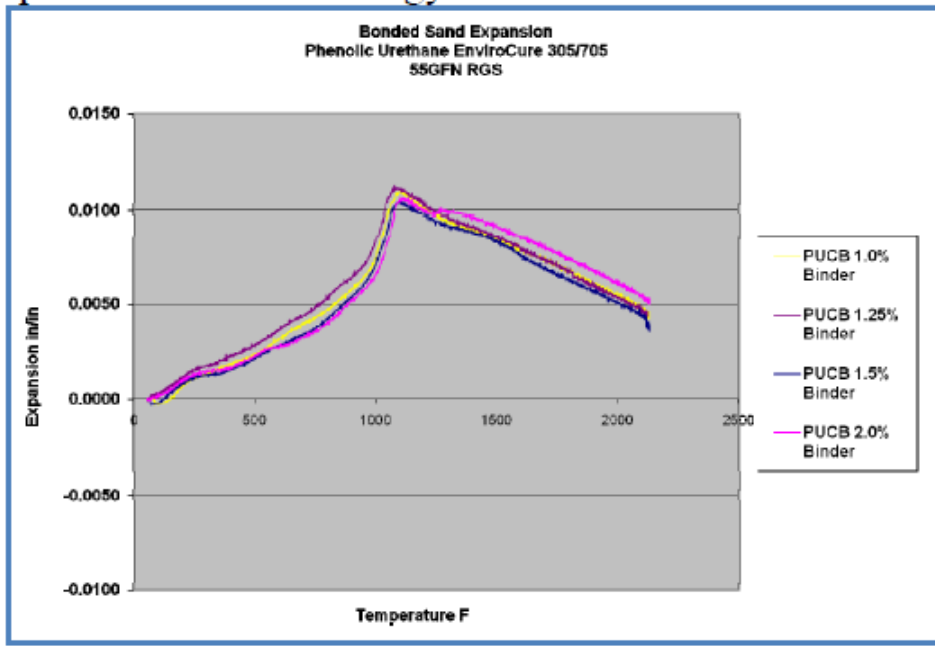
Basamaklı koni testi dökümleri, penetrasyon ve damarlaşma hatalarının değerlendirilmesinde raporlama prosedürlerindeki farklılıkları en aza indirmek için yarı niceliksel bir metodoloji kullanılarak değerlendirildi. Basamaklı koni dökümünün bir diyagramı Şekil 18'de görülüyor. Bazı araştırmalarda basamaklı koni dökümü kalitatif görsel inceleme ile değerlendirilirken⁴, küçük bir kusur orta düzeyde bir kusur olarak kabul edilebileceğinden veya bunun tersi de geçerli olabileceğinden bazı belirsizliklerin ortaya çıkmasının doğal olduğu kabul ediliyor. Kuzey Iowa Üniversitesi Metal Döküm Merkezi'nde dökülen basamaklı koniler, ağırlıklı değerlendirme yaklaşımına göre sıralanıyor⁵.

İnceleme ve değerlendirme tekniği, metal penetrasyonu ve damarlanma hatalarını bağımsız olarak değerlendiriyor. Dökümün her halkasına 1'den 6'ya kadar bir çarpan faktörü atanıyor. Faktör, metalostatik basıncı, sıcaklığı ve dinamik basıncı dikkate alıyor ve hem penetrasyon hem de damarlanma hatalarını değerlendirmek için kullanılıyor. Örnek olarak, dökümün üst halkasına, üst halka en son dolduğu ve en düşük metal sıcaklığına, minimum metalostatik basınca ve en düşük dinamik basınca sahip olduğu için 1 olarak atanıyor. Metal penetrasyon ve damarlanma hatalarının bu seviyede minimum olması beklenirken en yüksek olması beklenen alt halkaya çarpan faktörü 6 olarak atanıyor.

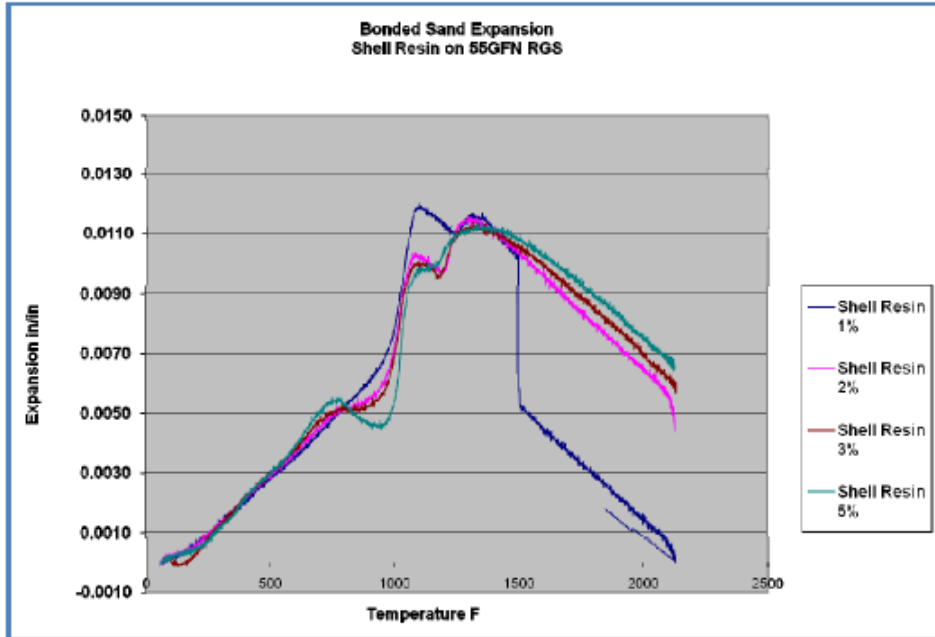
Her halka, hatanın ciddiyetine göre değerlendiriliyor. Hata ciddiyeti için de bir sıralama ölçeği kullanılıyor. Metal penetrasyonu, nüfuz eden metalin kapladığı alana ve derinliğine göre değerlendiriliyor. Temiz bir yüzeye 0 sayısı verilirken, hafif penetrasyonu temsil eden 1 numara, alanın küçük olmasına veya orta derecede kum yanmasına göre atanıyor. Orta derecede metal penetrasyonuna ise 2 numara veriliyor. Orta derecede penetrasyon, orta derecede alanı kapsayan hafif penetre etmiş metali veya tamamen yanmış kumla kaplı bir halkayı temsil ediyor. Büyük kütle ve/veya alana sahip ve büyük hacimdeki penetrasyona numara olarak 3 veriliyor. Dökümden temizlenmesi mümkün olmayan kuma yapışan alanlara 4 sayısı atanıyor. Metal penetrasyonu bazında dökümün yarı kantitatif değerlendirilmesi için, 0 ila 4 arasında belirlenen sayı her halka için karşılık gelen halka faktörü ile çarpılıyor. Örneğin,



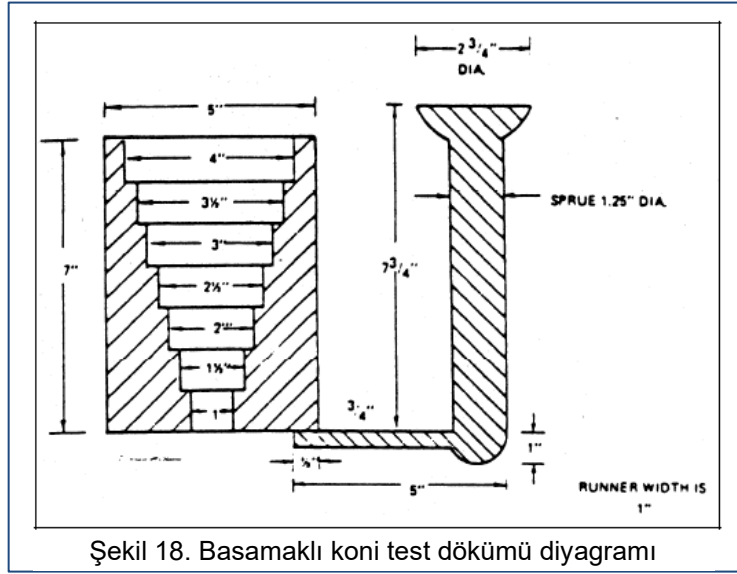
dökümün tepesinden itibaren beşinci halkada orta derecede penetrasyon (2 numara) gözleniyorsa, bu halka için hesaplanan değer 5 çarpı 2 şeklinde 10 olarak kaydediliyor. Döküm değerlendirildikten ve derecelendirildikten sonra, her bir halka için hesaplanan değer toplanıp, iki yarıyı hesaba katmak için ortalaması alınıyor ve elde edilen veri indek değeri olarak rapor ediliyor.



Şekil 16. Fenolik ürethan bağlı kumun termal genişmesi



Şekil 17. Reçine bağlı kumun termal genişmesi



Şekil 18. Basamaklı koni test dökümü diyagramı

Damarlaşma için, damar hatalarına karşı direnci belirlemede benzer bir yaklaşım kullanılıyor. Metal penetrasyonu için kullanılan metodolojide olduğu gibi, dökümün her halkasına 1 ila 6 arasında çarpan faktörü atanıyor; burada 1, dökümün tepesini ve 6, dökümün en düşük halkasını temsil ediyor. Damarlaşma hatasının ciddiyeti tekrar 0 ile 4 arasında derecelendiriliyor; 0 damar olmadığını gösterirken, 4 metal penetrasyonunu ve şiddetli damarlaşmayı temsil ediyor. Hafif damarlaşma, bir damarın olduğu ve derinliğin az olduğu durum olarak adlandırılıyor. Orta derecede damarlaşma, damar derinliğinin önemli ölçüde fark edilebilir olduğu ve incelenen halka alanı boyunca uzandığı durum olarak ifade ediliyor. 3 numara şiddetli damarlaşma, döküm arayüzünde çok sayıda damar oluşumu ile birlikte kumda önemli bir yapının oluştuğu duruma veriliyor. Şiddetli metal penetrasyonu ile ilişkili damarlara 4 değeri atanıyor. Metal penetrasyonu için kullanılan yaklaşıma benzer şekilde, her bir halka için bir damarlaşma hatası şiddet değeri belirleniyor ve basamaklı koni dökümünün her bir bölümünün yarısındaki halkaların toplamı hesaplanıyor.

ÇEŞİTLİ BAĞLAYICI SİSTEMLERİNDEKİ BOYUTSAL TUTARLILIKLAR

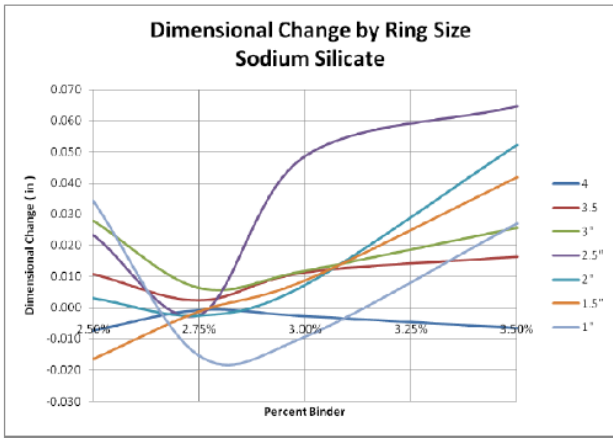
Basamaklı koni deneme dökümleri ayrıca bağlayıcı türü ve seviyesinin nihai dökümlerin boyutsal doğruluğu üzerindeki etkisini belirlemek için de kullanılıyor. Bu testlerde kullanılan maçalar önceki bölümlerde ana hatları verilen prosedür kullanılarak üretiliyor. Maçaların her adımı, numunenin ortalama çapını elde etmek için üç farklı yerde ölçülüyor. Basamaklı koni maçalar ticari bir grafit esaslı maça boyasıyla boyanıp, kurutulup ölçülüyor. Maçaların çapları, maça malzemelerinin boyutsal kararlılığını gösteriyor. Maçaların her biri bir test kalıbına yerleştirilip döküm yapıldıktan sonra elde edilen parçalar ölçülüp orijinal maça boyutu ve boyanmış maça boyutu ile karşılaştırılıyor. Test sonuçları Şekil 19 - 22 arasında gösteriliyor. Bu ölçüm yöntemi ile normal büzülme negatif bir sayı olarak görülürken, kum genişmesi ile büyüyen döküm çapları artışlar veya pozitif sayılar şeklinde yansıtılıyor. En küçük boyutsal değişim aralığını sergileyen numunelerin, tüm kesit kalınlıkları boyunca en küçük boyutsal farklılığa sahip dökümleri ortaya çıkaracağı düşünülüyor.



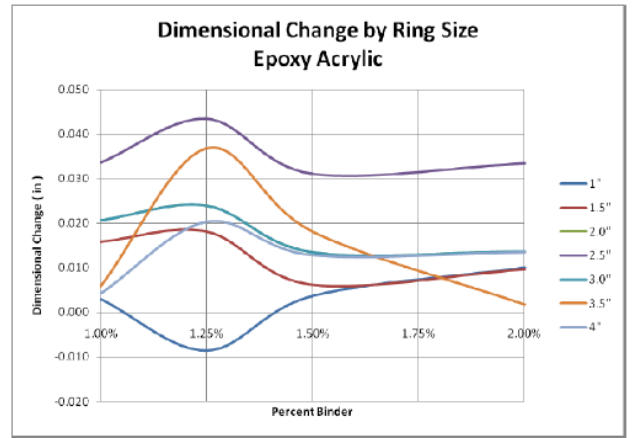
Şekil 19'daki sodyum silikat test numuneleri, döküm boyutlarının hem en büyük hem de en küçük varyasyonunu sergiliyor. Grafikler, yaklaşık %2,7 bağlayıcı oranında değişimi yaklaşık 0.020" olarak gösteriyor. %3,5 bağlayıcıda ise değişim aralığı 0,075"i aşıyor. En son katılaştıran ve en büyük çapa sahip 2,5" çapındaki numune bu özelliğini ısıl genişleme profilinde de sergiliyor ve bunun Şekil 14'te görülen kristobalit dönüşümündeki büyük genişlemeyle orantılı olduğu görülüyor. Bu sonuç, daha ince kesitlerin daha az etkilendiğini gösteriyor, fakat katılaşma süreleri arttıkça, sıvı metal, genişleyen kumların neden olduğu daha fazla boyutlarına uyum sağlıyor.

Kristobalit dönüşümüyle artan bu genişleme, katılaşmadan önceki genişlemeyi ve dolayısıyla çap boyutunu da artırıyor.

Şekil 20'de epoksi akrilik soğuk kutu (EACB) bağlayıcı sistemiyle üretilen maçanın sergilediği boyutsal farklılıklar gösteriliyor. Genel olarak, EACB sisteminin en dar varyasyona sahip olduğu, ancak minimum % 1,5 ilavesinden sonra yeterli mukavemetin sağlanabildiği görülürken bu durumun üreticinin önerdiği oranlar ile örtüştüğü görülüyor.



Şekil 19. Sodyum silikat bağlı maçaların boyutsal değişimleri



Şekil 20. Epoksi akrilik bağlı maçaların boyutsal değişimleri

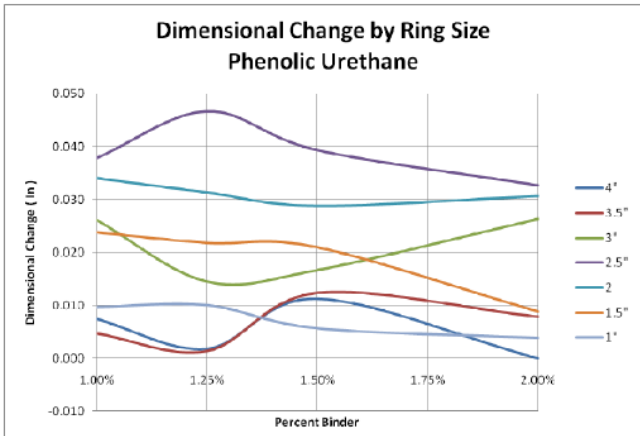
Şekil 21 günümüzde dökümhanelerde kullanılan en yaygın sistem fenolik üretilen soğuk kutu maçalarının boyutlarının değişimini gösteriyor. Test sonuçlarında, varyasyonun büyük olduğu görülse de, %1 ve %2 bağlayıcı oranları arasında çok fazla bir değişim olmadığı görülüyor.

Şekil 22'de reçine bağlı kumların daha düşük bağlayıcı seviyelerinde daha büyük miktarlarda boyutsal değişim sergilediği görülüyor. Bu bağlayıcı seviyeleri, gri demir dökümlerinin döküldüğü normal üretim durumlarında öngörülenden çok daha düşük seviyelerde olduğu belirtiliyor. Bağlayıcı seviyesi %3,5 ve üzeri normal proses değerlerine yükseltildikçe boyutsal doğruluk da önemli ölçüde artıyor.

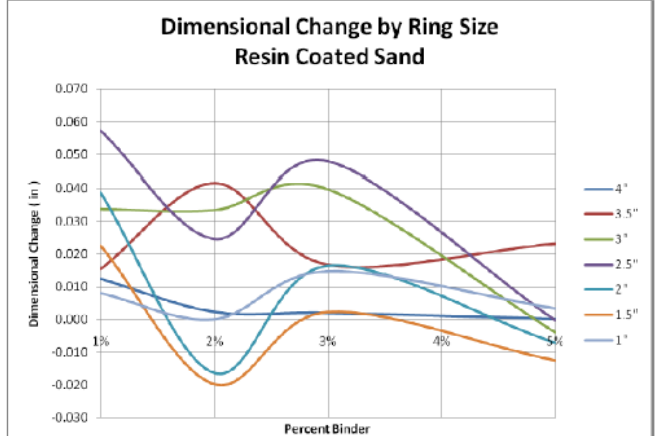


Tablo 4. Basamaklı Koni Analiz Sonuçlar

Basamaklı Koni Analizi	Penetrasyon İndeksi		Damarlaşma İndeksi		Toplam	Sıra
	Değerlendirici 1	Değerlendirici 2	Değerlendirici 1	Değerlendirici 2		
Döküm						
Sodyum Silikat %3	39	34	11	13	96	1
Sodyum Silikat %3,5	43	28	19	15	105	2
Sodyum Silikat %2,75	28	34	25	24	111	3
Shell %5	20	28	35	34	117	4
305/705 %2	35	27	28	28	117	5
Sodyum Silikat %2,5	43	39	17	22	120	6
Shell %3	24	26	37	37	123	7
Shell %2	31	36	35	24	125	8
305/705 %1,5	31	36	45	44	155	9
Epoksi Akrilik (SO ₂) %1	15	8	69	67	158	10
Epoksi Akrilik (SO ₂) %2	18	18	68	67	171	11
Epoksi Akrilik (SO ₂) %1,25	15	20	72	65	172	12
Epoksi Akrilik (SO ₂) %1,5	21	13	69	72	174	13
305/705 %1,25	30	33	57	59	178	14
305/705 %1	35	35	60	60	190	15



Şekil 21. Fenolik ürethan bağlı maçaların boyutsal değişimleri



Şekil 22. Reçine bağlı maçaların boyutsal değişimleri



Sonuçlar ve Öneriler

Boyutsal doğruluk testlerinde, dökümlerde katılan son metalin negatif çekinti gösterdiği görülüyor. Bu negatif büzülme, çeşitli reçine sistemleri ile bağlanan kumların genişmesi ile örtüşüyor. Maça kumunun genişmesinden önce katılan döküm kesitleri çok az yada hiç genişme göstermezken, geleneksel model yapımında beklenen oranlara yakın boyutsal daralmalar gözleniyor. Bu sonuç, sürekli bir biçimde boyutsal olarak dökümlerin üretilmesinde döküm takımlarının tasarlanmasındaki zorluğu gözler önüne seriyor ve kumun genişmesi ve/veya daralmasına izin verecek modellerin tasarımına dair önemli veriler sunuyor. Sonuçlarda metalin maça etrafında serbestçe akmayı bıraktığı ve maça genişmeye başladıktan sonra şeklini almaya başladığı ya da birincil genişmeden sonra maçanın daralması sırasında çeşitli noktalardaki süreçler hakkında veriler bulunmuyor. Boyutsal sonuçlar hakkında daha detaylı bir açıklama yapılabilmesi için bağlayıcı sisteminin kendisinin genişmeye karşı direncini de bilmenin önemli olduğu ifade ediliyor. Kumların ısıtıldıkça genişmesinin ve buna müteakip daralmasının, bağlayıcıların yüksek sıcaklık mukavemetleri tarafından sınırlandırıldığı düşünülüyor. Bu durumun, ayrıca, reçine kaplı kum maçalarındaki yüksek bağlayıcı yüzdelerinde görülen düşük boyutsal varyasyonun da sağlayıcısı olduğu düşünülüyor. Bu yüksek sıcaklık mukavemetinin, hem metal penetrasyonuna bir bariyer oluşturmak hem de büzülmeden kaynaklanan gerilmelere dayanım için kumların lokalize erimesine veya sinterlenmesine neden olduğu düşünülen demir oksit ilavesiyle de desteklendiği düşünülüyor.

Bağlayıcıların çeşitli bağlayıcı sistemlerinin boyutsal doğruluğundaki rolünü tam olarak anlamak için bağlayıcı sistemlerinin yüksek sıcaklık mukavemetinin daha iyi anlaşılması gerekiyor. Bu yöndeki bilgiler döküm prosesinin modellenmesi ve tekrarlanabilir dökümler üretecek döküm takımlarının tasarlanmasında büyük katkılar sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Silis kumu özelliklerine yönelik araştırmalara verdikleri cömert destek için Ulusal Endüstriyel Kum Derneği'ne; sağladıkları materyaller için , Ashland Casting Solutions (ASK Chemicals) , Fairmount Minerals ve UNIMIN Sand Corp. kuruluşlarına ve ayrıca araştırma boyunca gerekli olan çok sayıda testin gerçekleştirilmesine yardımcı olan lisans öğrencim Kris Boss'a teşekkürü bir borç bilirim.



Referanslar

1. Thiel, J. Zeigler, M., Dziekonski, P., Joyce, S., „Investigation into the Technical Limitations of Silica Sand Due to Thermal Expansion“ Transactions of the American Foundry Society, Vol 115 (2007)
2. Modern Refractory Practice 4th Edition / Harbison-Walker Refractories Company, Pittsburg, PA (1961)
3. Thiel, J., Monroe, C., „High Temperature Physical Properties of Chemically Bonded Sands with Applications Using Simulation“ Steel Founders Society of America Technical and Operating Conference, (December 2009).
4. Tordoff, W., and Tenaglia, R., „Test Casting Evaluation of Chemical Binder Systems“ Transactions of the American Foundry Society, Vol 88 (1980)
5. Giese, S., Thiel, J., „Defect Analysis Technique for the Step Cone Casting“ Transactions of the American Foundry Society, Vol 115 (2007)