



Çelik Dökümde Kullanılan Kum Katkılarının Karşılaştırılması

*R. E. Showman & E. S. Scheller (ASK Chemicals, Dublin OH), American Foundry Society, 2015

1. Giriş

Kimyasal bağlı kalıplarda ve maçalarda demir oksit gibi kum katkı maddelerinin kullanılması; döküm parçanın yüzey özellikleriyle birlikte damarlaşma ve penetrasyonun kontrol edilmesinde yaygın olarak tercih ediliyor. Ayrıca, söz konusu katkı malzemeleri hidrojen ve azot kaynaklı döküm hatalarını ve yüzey karbürizasyonunu önlemede de ciddi katkılar sağlıyor.

Çelik dökümlerde genellikle kalıp ve maçalar için birincil katkı malzemeleri olarak demir oksitler tercih ediliyor. Demir oksit malzemeler verimli sonuçlar verirken kalıp mukavemetinde neden olduğu düşüşler, geri kazanılmış kumda sürekli birikmesi ve yüksek seviyelerde artan metal penetrasyonu ve kum füzyonu gibi sorunlara da neden oluyor. Özel geliştirilen mühendislik ürünü kum katkı maddeleri ise belirli uygulamalarda üstün performans gösterse de parça özellikleri üzerinde olumsuz etkilere de yol açabiliyor.

Bu çalışma kapsamında, demir oksitlerin performansını diğer mühendislik kum katkı maddeleriyle karşılaştırmak için tasarlanmış deneyler gerçekleştirildi ve hem kalıp / maça özellikleri hem de döküm kalitesi üzerindeki etkiler ayrı ayrı incelendi. Tüm kum katkı maddeleri, damarlaşma üzerinde iyi performans gösterirken diğer yanda kalıp / maça özellikleri ve döküm yüzey özellikleri üzerinde farklı davranışlar sergiledi. Deney sonuçları, çelik dökümlerde belirli istenen özellikler için hangi kum katkı maddesinin kullanılması gerektiği ve kalıp / maça özellikleriyle ilgili hangi noktalarda ödün verilebileceği hakkında önemli fikirler veriyor.

Anahtar kelimeler: çelik, kum katkısı, damarlaşma, metal penetrasyonu, yüzey karbürizasyonu, demir oksit

Giriş

Kum katkı maddeleri, çelik döküm proseslerinde kalıp ve maçalarda yaygın olarak kullanılıyor ve döküm kalitesini hem fiziksel hem de kimyasal açıdan etkiliyor. Damarlaşma, metal penetrasyonu ve yüzey hataları gibi önemli döküm hataları engellenirken aynı zamanda sıvı metal ile kalıp/maça arasında gerçekleşen karbon alma veya gaz çözünmesi gibi kimyasal etkileşimler de en aza indiriliyor.

Çelik döküm alanında uzun süredir tercih edilen demir oksitler (hem kırmızı demir oksit (hematit, Fe_2O_3) hem de siyah demir oksit (manyetit, Fe_3O_4) başarılı sonuçlar verirken hem maliyet hem de döküm kalitesi açısından olumsuz etkilere yol açabiliyor. Daha düşük maliyet veya iyileştirilmiş damarlaşma direnci, daha az gaz hatası vb. sağladığı iddialarıyla tanıtılan bir dizi mühendislik kum katkısı (ESA) hakkında ise henüz yeterli oranda veri bulunmuyor.



Çalışma kapsamında belirlenen birkaç ESA'nın performansını kırmızı ve siyah demir oksitlerle karşılaştırmak için özel bir deney tasarımı (DOE) geliştirildi ve kalıp / maça özellikleri ile döküm kalitesi üzerindeki etkileri bir dizi proses parametresi üzerinden ölçülmeye çalışıldı. Elde edilen veriler istenen sonuç kümesine ulaşmak için hangi kum katkı maddesinin kullanılması gerektiği konusunda bizlere önemli bilgiler sunuyor.

Literatür

Bilindiği gibi, döküm prosesinde sıvı metal kimyasal bağlı kum kalıba döküldüğünde, sıvı metal kalıp / maça malzemeleri ile çeşitli şekillerde reaksiyona giriyor. Bu esnada sıvı metalden kum yüzeyine çok hızlı bir ısı enerjisi transferi ve çok dik termal gradyanlar oluşurken bu ısı girdisi, kum tanelerinin hacimsel olarak genleşmesine ve organik bağlayıcıyı kimyasalların pirolize uğrayarak; karbon monoksit ve sıvı metal ile potansiyel olarak reaksiyona girebilecek diğer gazları meydana getiriyor. Sıvı metal ve kalıp / maça yüzeyi arasındaki bu etkileşim, önemli döküm hatalarıyla sonuçlanabiliyor.

Damarlaşma

Damarlaşma uzun süre bir "genleşme kusuru" olarak kabul edildi. Silis kumu yaklaşık 573°C'de (1063°F) alfa'dan beta kuvarsa yapı değişikliğine uğradığından, hacminde önemli bir artışla birlikte doğrusal olmayan genleşmeye maruz kalarak kalıp / maça yüzeyinin çatladığına ve sıvı metalin çatlaklara akarak damarlar oluşturduğuna inanılıyordu.

Daha sonra yapılan araştırmalarda, bu açıklamanın eksik yanları olduğu görüldü. Kuzey Iowa Üniversitesi'nde Thiel ve Ravi² tarafından yapılan çalışmada, çatlama ve damarlaşmaya neden olan gerilmelerin, ilk hızlı genleşmeyi takiben silis kumunda meydana gelen hacim daralmasının bir sonucu olduğu görüldü. Kalıp / maça yüzeyi hızla ısınıp genişliyor ve ardından bir büzülme fazına geçiyor ve ısı, kalıp / maçaya iletildikçe, kalıp / metal ara yüzeyinden uzaktaki kum taneleri de genleşmeye başlıyordu. Thiel ve Ravi, "Gerilmenin esasında sıvı metalden farklı mesafelerde bulunan kalıp / maça yüzeylerinin çeşitli noktalarındaki sıcaklık dengesizliğine bağlı oluşan farklı termal genleşmeler/büzülmeler nedeniyle meydana geldiğini keşfetti.

Ayrıca, kum katkı maddelerinin bir "yastık" görevi görüp ilk genleşme hacmini azalttığı, bir flaks davranışı sergilediği ve kum tanelerinin yüzeyini yumuşattığı, tridimit ve kristobalit dönüşümleri için geçiş sıcaklıklarını düşürdüğü ve genleşme / büzülme eğrilerini değiştirebildiği görüldü.

Bir dizi farklı kum katkı maddesinin gri dökme demirlerde farklı damarlaşma önleyici özelliklere sahip olduğu görüldü³. Bununla birlikte, bu katkı maddelerinin çoğunun kalıp / maça özellikleri üzerinde olumsuz etkileri olduğu, gaz geçirgenliğini ve tezgah ömrünü düşürdüğü ve katalizör tüketimini arttırdığı gözlemlendi. Bu bulgular, çalışmaların, damarlaşmayı önlerken diğer özellikler üzerinde en az etkiye sahip katkı maddesinin bulunması üzerine yoğunlaşmasını sağladı.



Metal Penetrasyonu

Metal penetrasyonu (ve daha az şiddetli kum yanması olguları), sıvı metalin kum kalıp veya maçada taneler arasındaki çok küçük boşlukları doldurmasıyla meydana geliyor. Bu olay genellikle birkaç mm kalınlığında bir kum tabakasını döküm yüzeyine bağlayarak, kumlama sürelerini ve maliyetlerini önemli ölçüde artırıyor. Alabama Üniversitesi ve Caterpillar Inc. araştırmacıları^{4.5.6} konu üzerinde yaptıkları ayrıntılı çalışmalarda çelik dökümlerdeki metal penetrasyonunun mekanik ve kimyasal olmak üzere iki farklı mekanizma ile gerçekleştiğini keşfetti.

Mekanik penetrasyon; metalostatik basıncın kalıp yüzeyindeki kapiler basınçtan yüksek olduğu ve yüzey gerilimi aşıldığında yani metalin kum taneleri arasındaki küçük boşluklara "itildiği" durumlarda gerçekleşiyor. Sıvı çelik normalde kum yüzeyini "ıslatmadığından" ve kapiler basınç ve yüzey gerilimi oldukça yüksek olduğundan, bu mekanizma genellikle çok yüksek basınçlarda gerçekleşiyor.

Bazı durumlarda sıvı metal, kalıp malzemeleri (kum, bağlayıcı, boya ve katkı maddeleri) ile kimyasal olarak reaksiyona girerken arayüzdeki yüzey gerilimi, metalin kumu gerçekten ıslattığı noktaya kadar değişebiliyor. Bu durumda, sıvı metal kapiler hareket ile küçük boşluklara çekiliyor. Sıvı çelikte demir oksit (FeO) oluşumu ve demir oksidin kumla reaksiyona girerek fayalit (Fe_2SiO_4) oluşturması kum yüzeyinin ıslanmasına ve kimyasal metal penetrasyonuna neden oluyor.

Kum katkı maddeleri, her iki metal penetrasyon mekanizmasını da etkileyebiliyor. Kum tanelerinden daha küçük partikül boyutuna sahip bir katkı maddesi, kum taneleri arasındaki boşlukları doldurarak mekanik penetrasyon eğilimini azaltırken; demir oksit ve flaks karakterli ESA gibi kum katkı maddeleri fayalit reaksiyonunu teşvik ederek kimyasal penetrasyonu artırıcı etkiler oluşturabiliyor.

Yüzey Pürüzlülüğü

Çelik dökümde yüzey pürüzlülüğü esas olarak kalıp / maçanın yüzey özelliklerine bağlıdır. Büyük kum parçacıkları (düşük AFS numarasında), kum taneleri arasında daha büyük boşluklara ve daha pürüzlü bir yüzeye neden olurken; daha ince kum, daha pürüzsüz bir kalıp / maça yüzeyine ve dolayısıyla daha iyi bir döküm yüzeyi sağlıyor.

Yüzey kalitesi ayrıca sıvı metalin yüzey gerilimine ve kalıp / maça üzerindeki küçük kusurları kapatma kabiliyetine de bağlıdır. Yüksek oranda redükleyici kalıp içi atmosferi yüzey gerilimini artırabilirken, oksitleyici bir atmosfer yüzey gerilimini potansiyel olarak metal penetrasyonuna neden olacak kadar azaltabiliyor.

Kum katkı maddeleri, metal penetrasyonundakine benzer şekilde döküm yüzey kalitesini de etkiliyor. İnce malzemeler kalıp / maça yüzeyindeki kusurları doldurma eğilimi sergiliyor.



Karbonlu katkı maddeleri metal yüzey gerilimini olumlu etkileyebilirken, oksitler ve flakslar yüzey gerilimini azaltıcı etki yapıyor.

Karbon Kapma

Çelik dökümler, organik bağlayıcının ayrışmasıyla oluşan kalıp içindeki karbon açısından zengin atmosferden yapısına yüzey karbonu alabiliyor. Bu karbürize olan tabaka, döküm içerisindekinin birkaç katı karbon seviyeleri içerebiliyor ve dökümün içine birkaç mm uzanabiliyor. Büyüyen karbon katmanı, alttaki malzemedeki çok daha sert ve güçlü olmasına rağmen daha kırılabilir ve çatlamaya eğilimli bir karakter sergiliyor. Bu durum düşük karbonlu paslanmaz çelik gibi bazı alaşımlar için, korozyon özelliklerinin zayıflamasına, gerilme korozyonu çatlamasına ve deformasyona neden olabiliyor.

Yapılan testler⁷, karbon kapmanın, bağlayıcı türü ve yüzdesi başta olmak üzere bir dizi farklı proses parametresiyle kontrol edilebileceğini gösteriyor. Kum katkı maddesinin türü ve miktarı da yapıda önemli etkiler gösterebiliyor. Döküm sıcaklıklarında oksijen açığa çıkaran demir oksit gibi katkı maddeleri, organik bağlayıcının daha yüksek oranda yanmasını sağlayarak karbonun bir kısmını CO yerine CO₂ oluşumunu destekleyecek şekilde davranıyor. Diğer yandan karbon içerikli katkı maddeleri kalıp / maça geçirgenliğini azaltıp karbonlu gazların yapıdan çıkışını engelleyerek negatif etkiler meydana getiriyor.

Gaz Hataları

Çelik dökümlerde gaz hataları iki farklı mekanizma sonucu meydana geliyor. Kalıp / metal arayüzündeki gaz basıncı, metalostatik basınçtan daha yüksekse, kalıp gazı sıvı metal içerisine itilerek yanma kusurlarına neden olabiliyor. Kalıp atmosferi sıvı metalde çözünebilen gazlar içeriyorsa, sıvı metal katılaşma sırasında çözüldükten çıkabilecek hidrojen veya nitrojen gibi gazları bünyesine alıyor. Gazın sıvı metalde çözünmesi için H₂ veya N₂ formlarından ziyade H veya N gibi tek atomlu gaz formunda olması gerekiyor. Gazların bu tek atomlu türleri ise yalnızca, organik bağlayıcıların kalıp / maça içerisinde yüksek oranda indirgeyici koşullar altında pirolizini içeren özel koşullar altında oluşabiliyor.

Kum katkılarının kalıp / maça içerisinde oluşabilecek gaz içeriğini azalttığı düşünülüyor. Ancak, bazı kum katkıları potansiyel olarak daha fazla toplam gaz üretebileceği için dikkatli olmak gerekiyor. Buradaki esas nokta katkıların ortaya çıkardığı gazın türü olarak öne çıkıyor. Katkıları ek oksijen sağlayarak, kalıp içindeki yanma koşullarını değiştirerek farklı gaz türleri oluşturabiliyor. Örneğin, daha verimli bir yanma ile, sıvı metalde çözünebilen daha az tek atomlu hidrojen ve nitrojen içeriği sağlanabiliyor.

Test Süreçleri

Çelik dökümde kimyasal bağlı kalıplar / maçalar soğuk kutu veya sıcak kutu yerine daha çok no-bake üretildiğinden, deneylerde temel olarak no-bake sistemler seçildi. Önceki testlerde bağlayıcı kimyasının da büyük bir etkiye sahip olabileceği görülmüştü. Fenolik üretilen no bake



(PUNB) sistemlerini furan ile karşılaştırırken, fenolik üretanın birçok üretim avantajına sahip olduğu ve kum katkı maddelerine bağlı olarak döküm hatalarına daha yatkın olduğu tahmin edilmektedir.

Kum katkı maddelerinin kalıp ve maça özelliklerinin yanı sıra döküm özelliklerini ve kalitesini de etkileyeceği kabul edildiğinden kapsamlı bir proses parametreleri listesi oluşturuldu ve özellikle çalışma süresi / sıyırma süresi, çekme mukavemeti, nem direnci, geçirgenlik ve duman opaklığı parametreleri dahil edildi.

Döküm özelliklerini test etmek için basamaklı koni metodu tercih edildi. Bu metod genellikle gri dökme demirlerde damarlaşma, penetrasyon ve yüzey özelliklerinin testinde uygulanıyor. Basamaklı koni genel olarak maçanın dar ucu aşağıda olacak şekilde dikey konumda dökülüyor. Bu şekilde dip kısmı daha ağır / kalın uçlu dökümler üretiliyor. Bu koşullar, çok az çekinti gösteren gri dökme demirler için ideal olmasına rağmen, çelik dökümlerin maça yüzeyinde önemli çekintilere yaratabilir. Çelik için, basamaklı koni kalıbı ve maçası, maçanın küçük ucu (dökümün ağır bölümü) yukarı gelecek şekilde ters çevrildi ve parçanın üzerine bir yolluk eklendi (Şekil 1).



Fig. 1. The test casting with gating (left) and the casting and riser sections (right) are shown above.

Kum karışımları, Kalıp ve Maça Testi El Kitabı 3. Baskı'daki AFS 3332-04-S prosedürüne göre hazırlandı. Her bir kum karışımı, çekme mukavemetleri için "köpek kemiği" çekme numuneleri, çalışma süresi / sıyırma süresi (ÇS / SS) için bir kalıp takımı ve bir basamaklı koni maça üretmek üzere hazırlandı. Çalışma süresi ve sıyırma süresi AFS 3180-03-S'ye göre hesaplandı. ÇS / SS maçaları, köpek kemiği ve basamaklı koni maça elle sıkıştırıldı ve sıyırma süresine bırakıldı, sıyrıldı ve teste kadar sıcaklık kontrollü bir odaya (25°C, %50 nem) yerleştirildi. Köpek kemiği örnekleri Thwing & Albert QC-3A gerilme test cihazında %90 bağıl nemde 1 saat, 24 saat ve 24 saat + 1 saat sürelerinde kırıldı. Test maçalarının hazırlanışı Şekil 2'de görülüyor.



Fig. 2. Sand was mixed and hand-rammed (left) to prepare the stepcone and "dogbone" cores (right).

Duman opaklığı testi için ayrıca hazırlanan köpek kemiği maçaları ASK Chemicals tarafından tasarlanan bir duman odasına alındı (Şekil 3). Köpek kemiği maçalarından biri ilk olarak 1 dakika süreyle 700°C'deki (1292°F) fırına yerleştirildi ve tutuşmaya bırakıldı. Tutuştuktan sonra köpek kemiği fırından çıkarıldı ve hemen duman odasına yerleştirildi. Duman opaklığı, odanın "bacasındaki" fotoseller aracılığıyla ölçüldü ve 2 dakika sonra köpek kemiği dışarı alındı.

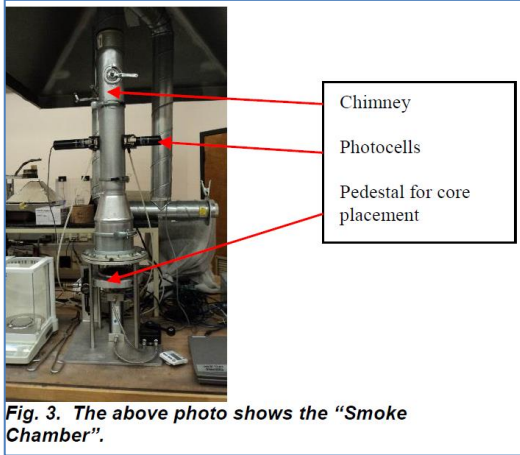


Fig. 3. The above photo shows the "Smoke Chamber".

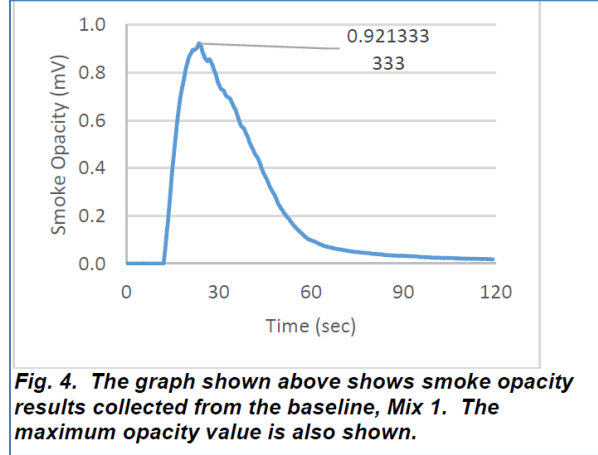


Fig. 4. The graph shown above shows smoke opacity results collected from the baseline, Mix 1. The maximum opacity value is also shown.

Fotosel verileri zamana karşı bir opaklık eğrisi oluşturmak için grafiğe aktarıldı (Şekil 4). Çalışmada bu verileri yorumlamada kullanılan çeşitli yöntemler içerisinde eğri üzerindeki maksimum opaklık değeri tercih edildi.

ÇS / SS maçalarının geçirgenliğini belirlemek için Simpson Gerosa Dijital Mutlak Permmetre (Parça No. 42105) cihazı kullanıldı (Şekil 5).



Fig. 5. Core permeability was measured with the unit shown above.

İlk test, düşük karbonlu çelik malzemede (ASTM A216 WCB) modifiye edilen basamaklı koni kullanılarak gerçekleştirildi. Basamaklı koni maçaları iki farklı kum (W410, AFS GFN 51 ve W460, AFS GFN 34) ve iki farklı PUNB bağlayıcı seviyesi %1(yaygın tercih edilen) ve mekanik reklamasyondan gelen kumlar düşünülerek daha yüksek LOI simülasyonları için %2 oranında ilave edildi. Maçalarda kum katkısı veya boya kullanılmadı.

Maçaların özellikleri Tablo 1'de gösteriliyor.

Tablo 1 : Maça Numunlerinin Özellikleri

<u>Değişken</u>	<u>Mix1</u>	<u>Mix2</u>	<u>Mix3</u>	<u>Mix4</u>
Kum	W410	W410	W460	W460
%PUNB	%1	2%	1%	2%
Maça Ağırlığı(g)	2.069	2.071	2.016	2.049
1 st Mukavemet (PSI)	115	210	131	213
24 st Mukavemet(PSI)	282	456	323	402
RH Mukavemet	176	277	213	275
Geçirgenlik (PAS)	204	187	411	344
Max Opasite (mV)	0,92	1,83	0,80	1,75

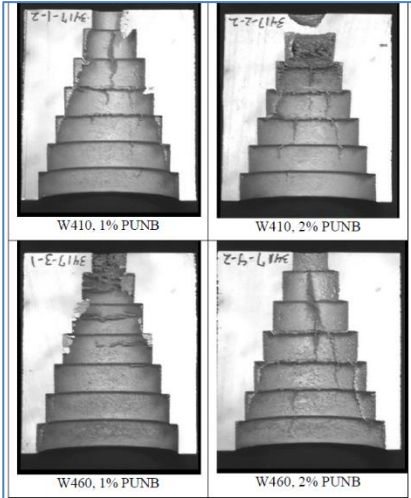


Fig. 6. The baseline casting sections are shown above.

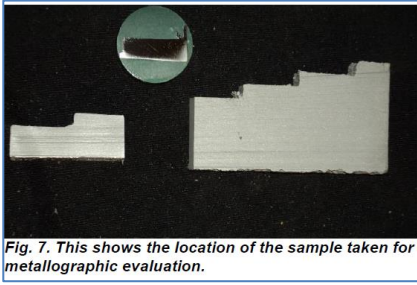


Fig. 7. This shows the location of the sample taken for metallographic evaluation.

Döküm işlemleri 1510°C'de (2950°F) gerçekleştirildi. Soğutma ve sarsak sonrasında yolluk ve besleyiciler ayrıldı ve kumlama yapıldı. Dökümler daha sonra fotoğraflandı (Şekil 6) ve damarlaşma, penetrasyon ve yüzey özellikleri açısından 1-5 arasında (1=mükemmel, 5=zayıf) derecelendirildi (Tablo 2).

Tablo 2 : Maça Numunlerinin Dğerlenidirilmesi

	Maça1	Maça2	Maça3	Maça4
Damarlaşma	1,0	3,0	1,5	1,0
Penetrasyon	3,0	3,0	2,25	3,5
Yüzey Kalitesi	3,0	2,5	4,0	4,0

Dökümler değerlendirildikten sonra yüzeylerinden kesitler alındı ve maça yüzeylerindeki yüzey karbürizasyonunu değerlendirmek amacıyla kaplanıp parlatılarak metalografik incelemeye tabi tutuldu. Şekil 7'de test için numune alınan bölümlerin konumu gösteriliyor.

İncelemelerde dökümlerin yüzey yapıları arasındaki farklılıklar hemen göze çarpıyordu (Şekil 8). W460 daha kalın kum ile üretilen iki döküm çok daha pürüzlü yüzeylere sahipti ve yanmış veya sıkışmış kum taneleri içeriyordu. %2 bağlayıcı ile üretilen iki döküm yüzey katmanında daha fazla perlit yani yüzey karbürizasyonu görülmekteydi.

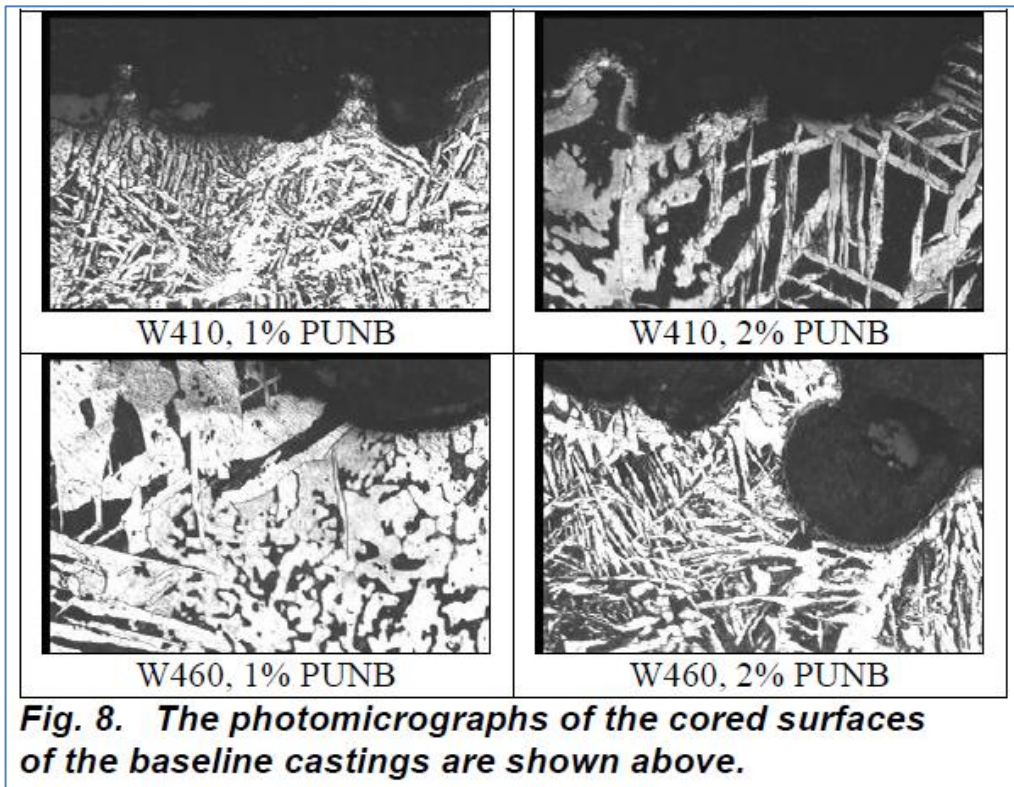


Fig. 8. The photomicrographs of the cored surfaces of the baseline castings are shown above.



Deneysel Tasarım

Kırmızı ve siyah demir oksidi diğer altı malzeme ve mühendislik kum katkılarıyla karşılaştırmak için bir deneysel tasarım geliştirildi. Her tip için yüksek ve düşük olmak üzere iki farklı katkı seviyesi seçildi. Yüksek saflıkta yuvarlak taneli AFS GFN 51 ve 34 olmak üzere iki kum tipi belirlendi. Fenolik üretan no bake bağlayıcı yüzdeleri %1 ve bir miktar kalıntı LOI ile mekanik geri kazanılmış kumdan üretilen maçanın simülasyonu için %2 oranında kullanıldı. Dökümler 1 saat sonunda hala ötektoid sıcaklığın üzerindeyken çıkarılarak sarsaktan önce oda sıcaklığına soğutuldu. Deneysel tasarım düzeni Tablo 3'te gösteriliyor.

Tablo 3. Deneysel Tasarım

Karışım	Katkı Tipi	Kum	% Bağlayıcı	Katkı Seviyesi	Sarsak Süresi
1	SX	W410	%1	H - %6	1 st
2	SX	W460	%2	L - %3	24 st
3	RIO	W410	%1	H - %2	24 st
4	RIO	W460	%2	L - %1	1 st
5	BIO	W410	%1	L - %1	24 st
6	BIO	W460	%2	H - %4	1 st
7	V2	W410	%1	L - %2	1 st
8	V2	W460	%2	H - %4	24 st
9	I900	W410	%2	H - %4	1 st
10	I900	W460	%1	L - %2	24 st
11	V400	W410	%2	H - %4	24 st
12	V400	W460	%1	L - %2	1 st
13	V2003	W410	%2	L - %2	24 st
14	V2003	W460	%1	H - %4	1 st
15	IL	W410	%2	L - %2	1 st
16	IL	W460	%1	H - %4	24 st

Kum katkı maddesi SX, sentetik bir ESA'dır. Esas olarak demir oksitten oluşur, ancak kuma benzer bir tane boyutuna ve yuvarlak bir tane şekline sahiptir. Tipik ekleme oranları %2 - 8 aralığında ve kalıp / maça mukavemeti üzerinde düşük etkiye sahiptir.

RIO, kırmızı demir oksit yani hematittir (Fe_2O_3). Yaklaşık %75'i 270 elekten geçen ince toz şeklindedir. Yüksek seviyelerde kullanımı kalıp / maça mukavemetini azalttığı için genelde %1-2 arasında kullanılıyor.

BIO, siyah demir oksit yani manyetittir (Fe_3O_4). İnce toz yapısında olmakla beraber RIO'dan daha iri ve %2-4 seviyelerinde tercih edilir.



Katkı V2, biraz kırmızı demir oksit içeren bir mineral ESA'dır. Demir dökümlerinde başarıyla kullanılmakta ve diğer birçok ESA'nın kabaca yarısı seviyesinde (%1-3) damarlaşma hatalarını önleyebilmektedir. Flaks karakteriyle kum tanelerinin yüzeyi ile etkileşime girerek ikincil büzülmeyi azaltır. Ayrıca kalıp / maça mukavemeti üzerinde RIO veya BIO'dan daha düşük bir etki göstermektedir.

Katkı maddesi I900 yine bir miktar kırmızı demir oksit içeren bir mineral ESA'dır. Tipik olarak %2-4 oranında kullanılır. Damarlaşmayı önleyici etkisi, diğer kum katkılarının çoğundan farklıdır. Gerekli sıcaklık aralığında silis kumunun kritik termal büzülmesini dengeleyen doğrusal olmayan termal genişlemeye sahiptir.

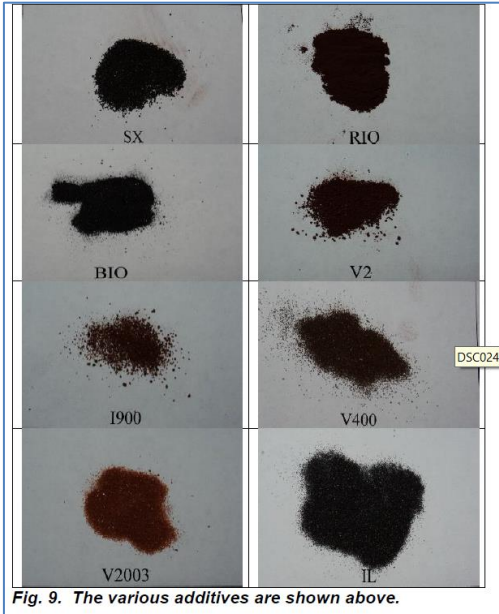


Fig. 9. The various additives are shown above.

V400, kırmızı demir oksit bazlı bir mineral ESA'dır. Hematit, manyetit ve diğer minerallerin bir karışımını içerir. Bununla birlikte, RIO veya BIO'dan çok daha büyük bir partikül boyutuna sahiptir. Kalıp / maça mukavemeti üzerinde uygun şekilde daha az etkilere neden olmakla beraber %2-4 gibi daha yüksek seviyelerde kullanılır.

V2003, bir lityum cevheri olan spodümen içeren bir mineral ESA'dır. Kuma benzer boyuttadır ve kalıp / maça mukavemeti üzerinde düşük bir etkiye sahiptir. Gri demir dökümlerde V2003 ile yapılan çalışmalar malzemenin kum yüzeyinde flaks profili göstererek

damarlaşmayı önlediğini göstermiştir, %1-8 oranında kullanılabilmesine rağmen %2-4 aralığı tercih ediliyor.

IL, ilmenit adı verilen doğal bir mineraldir. Esasında demir ve titanyum oksitler içerir. Silis kumunun tridimit ve kristobalite geç genişmesini etkileyen bir karakterdedir. Genellikle diğer ESA'lar ile birlikte bir bileşen olarak kullanılır, ancak bu çalışmada tekil etkisini incelemek amacıyla %2 ve %4 oranında deneysel tasarımın bir parçası olarak incelenmiştir.

Farklı katkı maddelerinin fotomikrografları, genel görünüm ve parçacık boyutunun karşılaştırılması için Şekil 9 ve 10'da veriliyor.

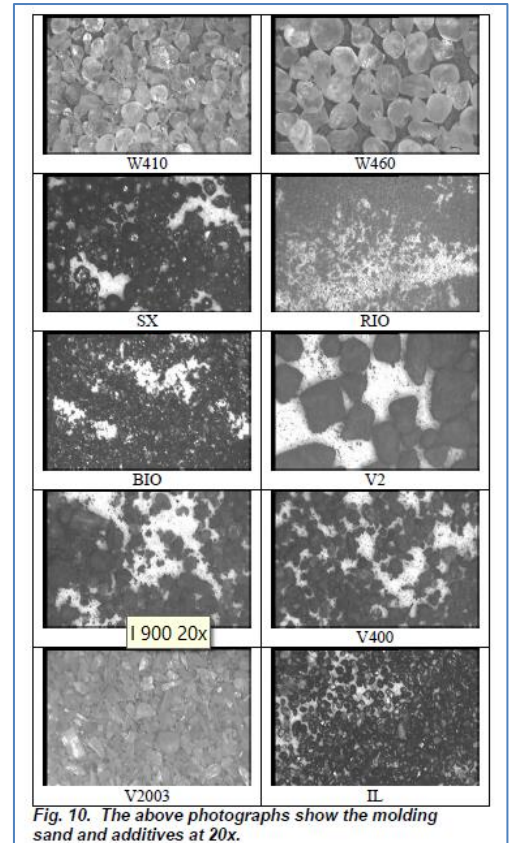


Fig. 10. The above photographs show the molding sand and additives at 20x.



MAÇA TEST SONUÇLARI

Her bir karışım için çalışma süresi / sıyırma süresi ölçüldü ve köpek kemiği çekme maçaları üçer kez test edilerek ortalaması alındı. (Tablo 4)

Tablo 4. Maça test sonuçları

Karışım	Çalışma Süresi (dk)	Sıyırma Süresi (dk)	1 st çekme(psi)	24 st çekme (psi)	RH çekme (psi)
1	10.50	13.00	101	254	173
2	7.50	9.00	194	421	344
3	23.00	33.00	34	148	119
4	10.25	12.25	147	360	307
5	11.75	13.75	84	223	172
6	7.25	9.00	169	389	303
7	18.00	24.25	53	198	155
8	16.00	19.25	70	255	201
9	11.00	13.00	133	377	261
10	13.50	15.50	90	242	181
11	22.75	29.50	39	180	143
12	32.00	36.75	30	124	91
13	10.50	12.00	165	431	284
14	13.75	15.75	77	227	179
15	7.25	10.00	178	459	316
16	12.00	14.50	117	292	212

Çalışma Süresi / Sıyırma Süresi Analizi

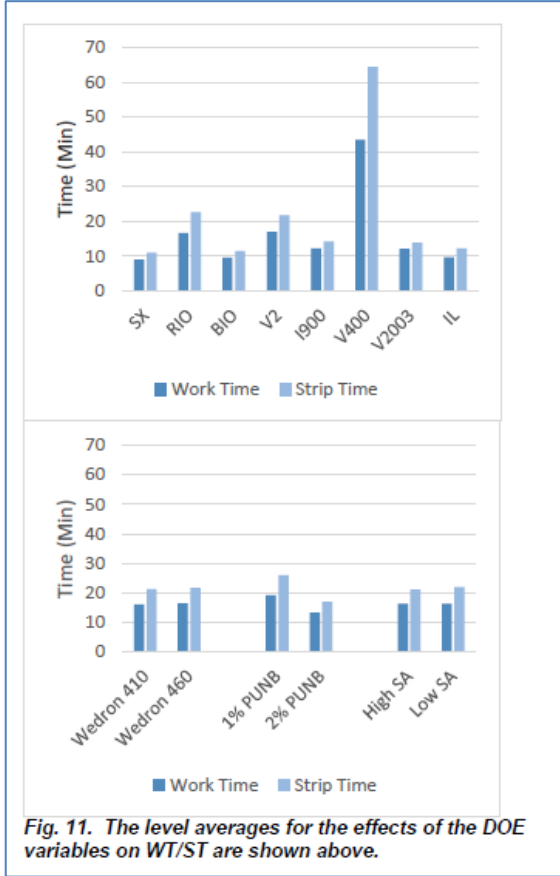
Her bir değişkenin düzey toplamları için DOE sonuçlarından alınan veriler analiz edildi (Şekil 11). ANOVA (Varyasyon Analizi) tabloları (Tablo 5) ayrıca serbestlik derecelerini (f), kareler toplamını (S), varyansı (V) veya S / f'yi, varyans oranını (F) veya faktör varyansının hata varyansına oranını, düzeltilmiş kareler toplamını (S') veya kareler toplamından hata varyansının çıkarımını, yüzde katkıları (%C) veya her faktör için düzeltilmiş kareler toplamının karelerin toplamına oranını karşılaştırmaya imkan vermektedir.

Sonuçlarda, V400 katkı maddesinin en büyük etkiye sahip olarak; karışımın ÇS / SS oranını önemli ölçüde uzattığı görülüyor. RIO ve V2 katkı maddeleri ise nispeten az ancak yine de önemli bir etkiye sahip. Kum türü ÇS / SS üzerinde minimum etkiye sahipken, yüksek bağlayıcı seviyeleri ÇS / SS'yi düşürüyor ve katkı maddesi seviyeleri ise çok az bir etki oluşturuyor.

ANOVA analizine göre, kum katkı maddelerinin ÇS / SS üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülürken bağlayıcı seviyesinin daha küçük, ancak yine de anlamlı bir etkiye sahip olduğunu



gözleniyor. Karma hatanın %13 ile nispeten büyük olması, değişkenlerin etkilerinden ziyade test metodunun “B” sertlik ölçeğini kullanmasına bağlıyor.



Tablo 5. ANOVA Çalışma Süresi Analizi

Parametre	f	S	V	F	S'	%C
Katkı tipi	7	1836	262.4	14.2	1707	81.0
Kum tipi	1	1	Karma			
% PUNB	1	142	142.5	7.7	124	5.9
Katkı oranı	1	1	Karma			
SO süresi	1	1	Karma			
Hata	7	129	18.5		276	13.1
Toplam	15	2108				100.0

Çekme Testi Analizi

Çekme verilerini analiz etmek için düzey ortalama grafikleri (Şekil 12) ve ANOVA tabloları (Tablo 6 & 7) kullanıldı.

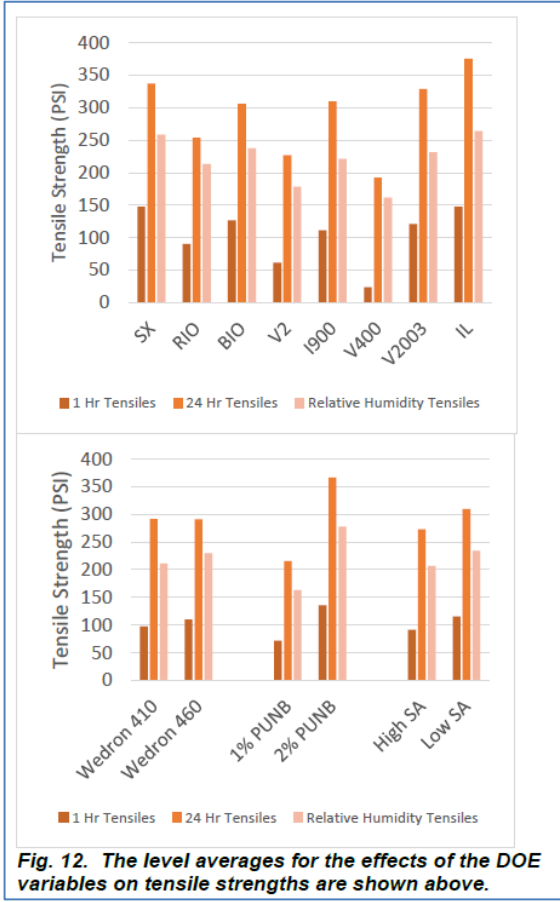
RIO, V2 ve V400 katkı maddeleri çekme mukavemetlerini azaltırken diğer katkı maddeleri nispeten düşük etkiler gösteriyor. Beklendiği gibi, yüksek bağlayıcı oranları mukavemeti büyük ölçüde artırırken, ayrıca bu sayede bazı kum katkı maddelerinin olumsuz etkilerinin sönmülenebileceği de gözleniyor.

Katkı maddesi tipi, 1 saatlik çekme mukavemeti üzerinde en büyük etkiye sahipken, 24 saat mukavemeti üzerinde daha az bir etki gösteriyor. Bu durumun ÇS / SS üzerindeki etkilerle de ilişkili olabileceği düşünülüyor. Yüksek bağlayıcı oranlarının ise kum türü ve katkı maddesi seviyelerine göre mukavemet üzerinde daha ciddi etkilere sahip olduğu görülüyor. Nem direnci de bağlayıcı oranından etkilenirken diğer tüm faktörler nispeten düşük etkiler gösteriyor.

Geçirgenlik Analizi

Maça geçirgenliği için oluşturulan ortalama değer grafikleri Şekil 8'de görülüyor.

Kum katkı maddeleri kalıp / maça geçirgenliğini kesinlikle etkilerken, kum ağırlığının sadece % 2-4'ü kadar kullanıldığında düşük etkiler gösterdiği görülüyor. Kum türü veya GFN, çok daha yüksek geçirgenlik sağlayan iri kum taneleri ile daha büyük etkiler oluşturuyor.



Tablo 6. ANOVA 1 saat çekme testi analizi

Parametre	f	S	V	F	S'	%C
Katkı tipi	7	26208	3744	15.7	24539	52.3
Kum tipi	1	663	663	2.8	424	1.0
% PUNB	1	16448	16448	69	16209	34.5
Katkı oranı	1	2425	2425	10.17	2187	4.6
SO süresi	1	1	0.3	Karma		
Hata	5	1191	238		3575	7.6
Toplam	15	46936				100

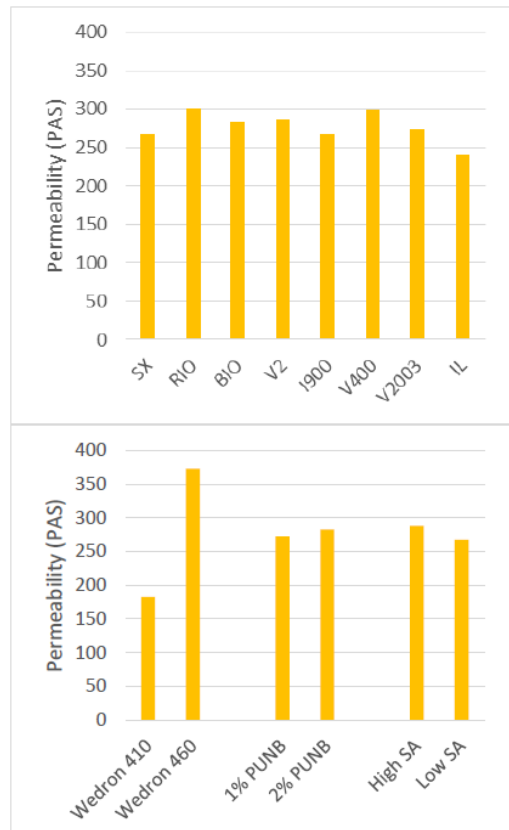
Tablo 7. ANOVA 24 saat çekme testi analizi

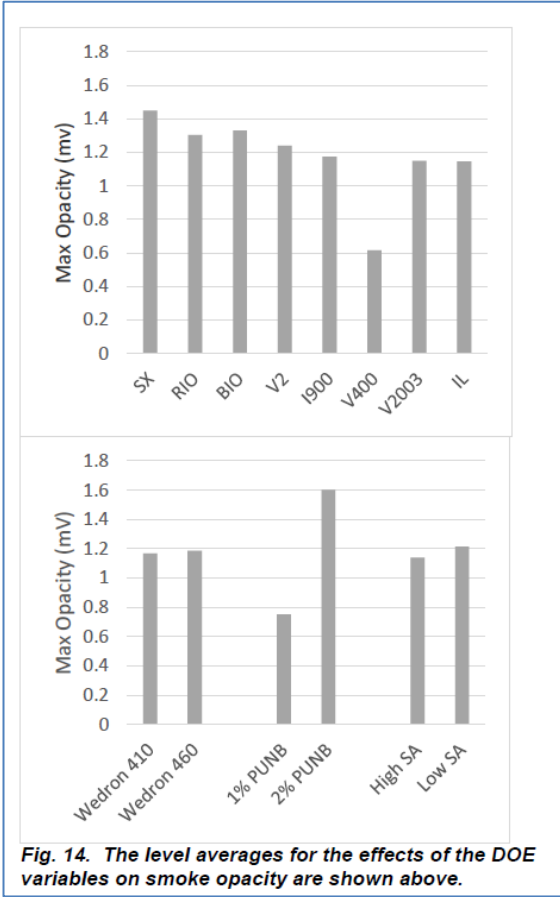
Parametre	f	S	V	F	S'	%C
Katkı tipi	7	53287	7612	8.9	47297	30.5
Kum tipi	1	0.25	Karma			
% PUNB	1	90902	90902	106	90046	58.2
Katkı oranı	1	5402	5402	6.3	4547	3.0
SO süresi	1	0.31	Karma			
Hata	6	5199.6	855.6		12934	8.3
Toplam	15	46936.49				100

Duman Opaklık Analizi

Duman opasitesi ortalama tablosunda (Şekil 14) şaşırtıcı sonuçlar görülüyor. Birkaç kum katkı maddesi opaklığı bir şekilde azaltırken, V400 opaklığı yaklaşık %50 azaltıyor. Beklendiği gibi %bağlayıcı oranları büyük etkiler meydana getiriyor.

ANOVA tablosunda (Tablo 8), bağlayıcı yüzdesinin en büyük etkiye sahip olduğu görülürken, katkı maddesi türlerinin de belirli oranlara sahip olduğu görülüyor ve bunun muhtemelen V400 malzemesinin tekil etkisinden kaynaklandığı düşünülüyor.





Tablo 8. ANOVA Duman opaklığı analizi

Parametre	f	S	V	F	S'	%C
Katkı tipi	7	0.817	0.125	8.75	0.77	20.0
Kum tipi	1	0.001	Karma			
% PUNB	1	2.89	2.89	203.1	2.88	74.5
Katkı oranı	1	0.02	Karma			
SO süresi	1	E-05	Karma			
Hata	7	0.10	0.014		0.213	5.5
Toplam	15	3.9				100

Döküm Sonuçları

Her bir karışımdan üretilen basamaklı koni maçalar, PUNB kalıplara yerleştirildi ve 2950°F'de düşük karbonlu çelik (ASTM A216 WCB) alaşımı döküldü. Deneysel tasarıma göre, bazı kalıplar 1 saat içinde bozuldu ve bazıları da 24 saat soğumaya bırakıldı. 1 saat sonra bozulan kalıplardaki sıcaklık yaklaşık 730-770°C'de (1350 - 1420°F) veya ötektoid dönüşüm sıcaklığının hemen üzerindedir. 24 saat

sonunda ise sıcaklık 150°C'den (300°F) düşüktü.

Sarsak ve soğutmanın ardından, dökümler maçaların ayırma yüzeyi boyunca kesitlere ayrıldı ve kum ile oksidasyonun giderilmesi için kumlandı. Maça yüzeyleri daha sonra 1-5 ölçeği kullanılarak damarlaştırma, penetrasyon ve yüzey açısından fotoğraflandı (Şekil 15). Dökümlerin dereceleri Tablo 9'da gösteriliyor. Dökümlerin her iki yarısı bağımsız olarak derecelendirildi ve sonuçların ortalaması alındı.

Dökümlerin hiçbirisi gaz veya penetrasyon hatalarına dair belirti göstermezken tümü "1" olarak derecelendirildi ve daha fazla analiz yapılmadı. Dökümlerde farklı seviyelerde çözünmüş gaz mevcut olsa da, bu araştırmanın kapsamı dışında olduğu için incelenmedi.

Damarlaştırma Analizi

Farklı değişkenlerin damarlaştırma üzerindeki etkilerine ilişkin düzey ortalamaları Şekil 16'da gösteriliyor. Damarlaştırma üzerindeki en büyük etkiyi BIO ve sonrasında I900, V400 ve V2003 katkıları gösteriyor. RIO ve IL ise daha az etkilere sahip. Daha düşük bağlayıcı seviyeleri, yüksek katkı maddeleri seviyelerinde olduğu gibi daha az damarlaştırma oluşturuyor.

ANOVA Tablo 10'da en yüksek etkiyi kum katkı maddelerinin ve ardından bağlayıcı seviyelerinin gösterdiği görülüyor.

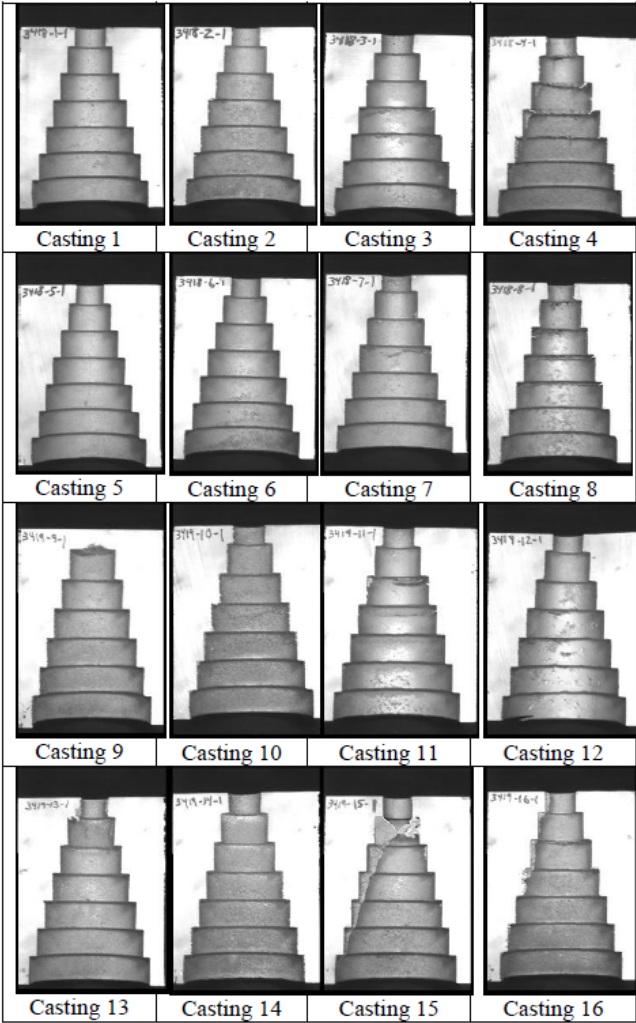


Fig. 15. Casting section photographs are shown above.

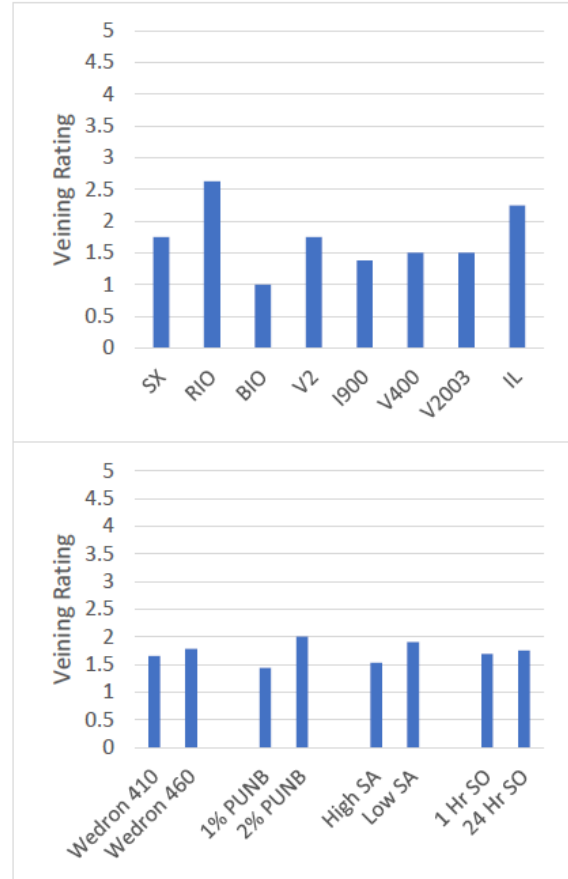


Fig. 16. The level averages for the effects of the DOE variables on veining are shown above.

Yüzey Özellikleri Analizi

Proses parametrelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri incelemek amacıyla düzey ortalamalarına bağlı grafikler oluşturuldu (Şekil 17).

Dökümler ve düzey ortalamaları arasındaki göreceli farklılıkların küçük olduğu görüldü. BIO, V400 ve IL en iyi sonuçları verirken, I900 ve RIO ise en kötü verileri sergiliyor ve daha ince kumun daha iyi bir yüzey sağladığı görülüyor.

Yüzey kalitesi ANOVA tablosunda en büyük etkiye sahip değişkenin kum türü olduğu görülüyor.



Tablo 9.Döküm numunelerinin değerlendirilmesi

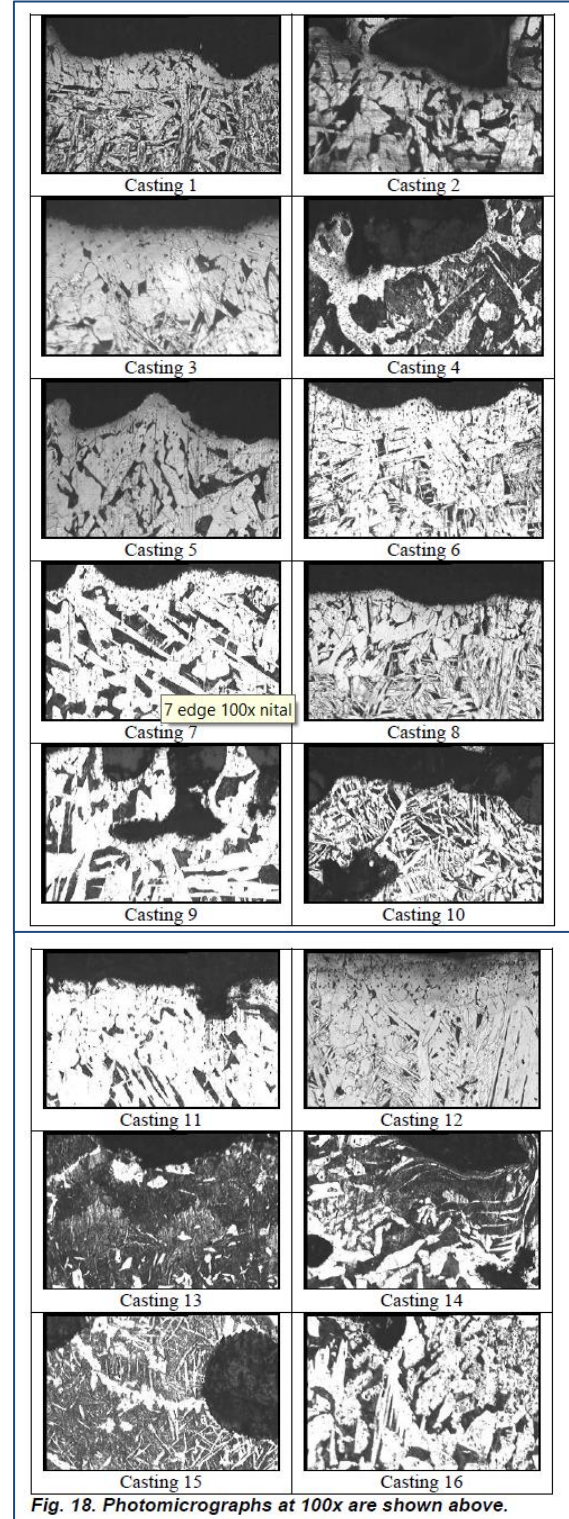
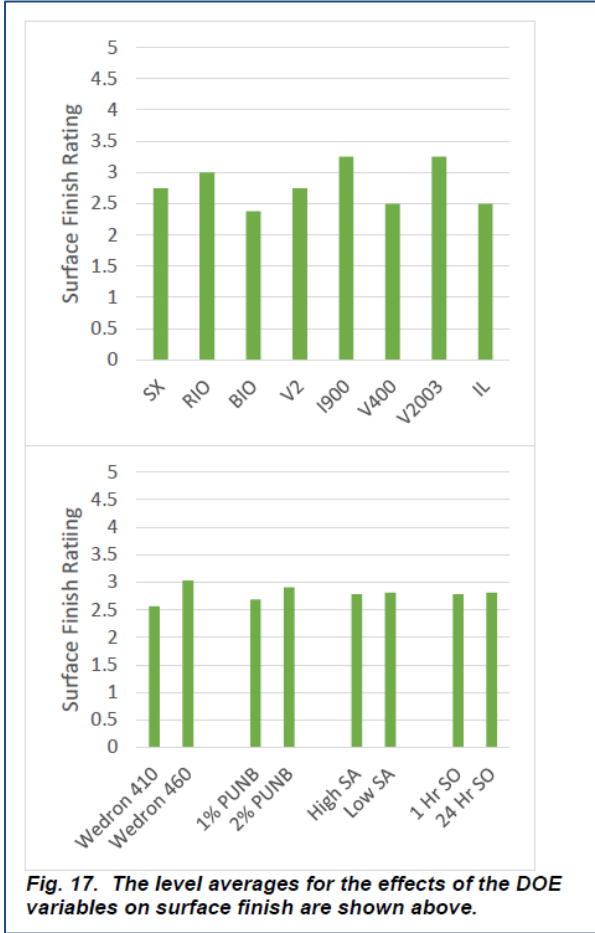
Numune	Damarlaşma	Yüzey Pürüzlülüğü
1	1.25	2.50
2	2.25	3.00
3	2.00	2.50
4	3.25	3.50
5	1.00	2.00
6	1.00	2.75
7	1.50	2.50
8	2.00	3.00
9	1.50	3.00
10	1.25	3.50
11	1.50	2.50
12	1.50	2.50
13	1.75	3.0
14	1.25	3.50
15	2.75	2.50
16	1.75	2.50

Tablo 10. ANOVA Damarlaşma analizi

Parametre	F	S	V	F	S'	%C
Katkı tipi	7	3.67	0.052	27.9	3.54	62.6
Kum tipi	1	0.063	0.063	3.32	0.044	0.8
% PUNB	1	1.27	1.27	67.3	1.25	22.0
Katkı oranı	1	<.01	Karma			
SO süresi	1	0.02	Karma			
Hata	5	0.094	0.019		0.282	5.0
Toplam	15	5.66				100

Tablo 11. ANOVA Döküm yüzey özellikleri analizi

Parametre	f	S	V	F	S'	%C
Katkı tipi	7	1.62	0.23	1.81	0.72	20.9
Kum tipi	1	0.88	0.88	6.85	0.75	21.7
% PUNB	1	0.19	0.18	1.49	0.06	1.8
Katkı oranı	1	<0.01	Karma			
SO süresi	1	<0.01	Karma			
Hata	6	0.77	0.13		1.92	55.6
Toplam	15	3.46				100



Yüzey Karbürizasyonu Analizi

Döküm numunelerin mikro yapılarını baz dökümlerle karşılaştırmak için 3. adımda her numuneden kesitler alındı. Herhangi bir kantitatif değerlendirme uygulanması zor olmasına karşın birkaç farklılık kaydedildi. 1 saat içinde kalıptan çıkarılan dökümlerin 24 saat soğutulan dökümlerden daha küçük tane boyutlarına sahip olduğu görüldü. Bu durum ötektoid dönüşüm yoluyla daha hızlı soğumaya bağlandı. Fotomikrograflar ayrıca, daha kaba kumun daha yüksek pikler ile daha fazla kum tane sınırı gösterdiğini, maça yüzeylerindeki yüzey özellikleri neticesinde doğruladı.

Perlit yüzdesi ile ölçülen yüzey karbonlaşmalarının değerlendirilmesi ise çok daha karmaşık olup; dökümlerin çoğu, yüzeyde, dekarbürizasyona işaret eden artan ferrit içerikleri gösteriyordu. Bununla birlikte, dekarbürizasyonun, daha düşük bağlayıcı seviyelerine sahip maçalarla üretilen dökümlerde daha yaygın olduğu görüldü.



Dökümlerin sadece dördü kayda değer yüzey karbürizasyonu gösterirken, bunlar V2003 katkısı ile üretilen 13 ve 14 numaralı dökümler ve illmenit ile üretilen 15 ve 16 numaralı dökümlerdi. İç yapılar diğer döküm numuneler ile benzerdi. Bu iki katkı maddesinde çok düşük seviyelerde demir oksit içeriği bulunuyordu ve bu dökümler ayrıca daha yüksek bağlayıcı seviyelerine sahip maçalarla yapılan dökümlere göre daha fazla karbürizasyon gösteriyordu.

Sonuç

Deneysel tasarımının sonuçları, çeşitli kum katkı maddelerinin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkarıyor. Tasarlanan deneyin sonuçları, çelik dökümlerde istenen özellikler için hangi kum katkı maddesinin kullanılması gerektiğine ve varsa kalıp / maça özelliklerinde hangi dengelerin beklenebileceğine dair fikirler veriyor. Bununla birlikte belirtilen kum katkı maddelerinin kalıp / maça özellikleri üzerindeki etkilerine dair veriler, diğer bağlayıcı sistemlerinin farklı reaksiyon mekanizmalarına sahip olması nedeniyle, sadece PUNB sistemleri ile sınırlı olarak inceleniyor.

V400, ÇS / SS'yi yavaşlatmada önemli bir etki sergilerken diğer yandan duman opaklığını diğer katkı maddelerinde görülenin yaklaşık yarısına düşürüyor. Bu etkileri daha fazla değerlendirmek ve ölçmek için ek çalışmalar devam ediyor.

Teşekkür

Karışımlar ve maça üretimindeki yardımları için Daniel Weaver'a, döküm testlerinin hazırlanması, dökülmesi ve değerlendirmesi noktasında yardımları için J. R. Isner ve Travis Leach'e teşekkürü borç bilirim.



KAYNAKÇA

1. Monroe, R.W., "Use of Iron Oxide in Mold and Core Mixes for Ferrous Castings", AFS Transactions, paper 80-55.
2. Thiel, J., Ravi, S., "Causes and Solutions to Veining Defects in Iron and Steel Castings", AFS Proceedings 2014, paper 14-030.
3. Showman, R.E., Harmon, S.B., "Further evaluations of Anti-Veining Sand Additives", AFS Proceedings 2012, paper 12-003.
4. Stefanescu, D.M., Owens, M.D., Lane, A.M., Piwonka, T.S., Hayes K.D., Barlow, J.O., "Penetration of Liquid Steel in Sand Molds, Part I: Physics and Chemistry of Penetration and Mathematical Modeling – Metal Side", AFS Transaction, paper 01-058.
5. Lane, A.M., Owens, M.D., Stefanescu, D.M., Piwonka, T.S., Barlow, J.O., Hayes K.D., "Penetration of Liquid Steel in Sand molds, Part II: Chemical Reactions at the mold/Metal Interface during Casting of Steel", AFS Transactions, paper 01-057.
6. Hayes, K.D., Barlow, J.O., Stefanescu, D.M., Piwonka, T.S., "Penetration of Liquid Steel in Sand Molds, Part III: Experimental Evaluation of the Metal – Molding Aggregate Interaction", ASF Transactions, Paper 01-083.
7. Showman, R.E., Lowe, K.E., "Controlling Carbon Pickup in Steel Castings", AFS Proceedings 2010, paper 10-005.
8. Tordoff, W.L., Tenaglia, R.D., "Test Casting Evaluation of Chemical Binder Systems", AFS Transactions 1980, vol. 88, pp 149-158 (1980).