



Al-18Si Alaşımında Döküm Kalitesi, Mikroyapı Ve Mekanik Özellikler Arası İlişkinin İncelenmesi

Investigation of the Relationship Between Casting Quality, Microstructure and Mechanical Properties in Al-18Si Alloy

Muhammet ULUDAĞ^{*1}

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh., 16310, Bursa, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 08/08/2017

Kabul/Accepted: 17/11/2017

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Bu çalışmada, primer silis ve ötektik mikroyapı morfolojisine sahip Al-18Si alaşımında döküm kalitesi, soğuma hızı ve sıvı durumda bekletme sürelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. 10, 15 ve 20 mm kesit kalınlığına sahip üç farklı basamağı barındıran kum kalıplar soğuma hızı farkı için kullanılmıştır. Al-18Si ötektik üstü alaşım SiC potada eritildikten sonra üç farklı bekletme sürelerine (0, 60 ve 120 dk.) tabi tutularak kum kalıplara dökümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen döküm parçalarından mikroyapı, porozite incelemeleri ve çekme testleri için numuneler çıkarılmıştır. Elde edilen görüntüler üzerinde SigmaScan marka görüntü analiz programı yardımı ile incelemeler ve elde edilen datalar üzerinde de Minitab istatistiksel analiz yazılımı ile de analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm verilerde %18 Si içeriğine sahip Al-18Si ötektik üstü alaşımında bifilm varlığının silis oluşumunu ve buna bağlı olarak da mekanik özellikleri değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Al-18Si alaşımı, Porozite, Bifilm, Mekanik özellikler, Si morfolojisi”

Abstract

In this work, the effect of melt quality, cooling rate and holding time over the microstructure and mechanical properties of Al-18Si alloy was investigated. This alloy contains primer silicon and eutectic microstructure. A sand mold that has 10, 15 and 20 mm thickness that is in shape of a step mold was used. Al-18Si hypereutectic alloy was melted in SiC crucible and the casting were completed after three different holding time (0, 60 and 120 min.). Cast samples were subjected to microstructure, porosity and mechanical analysis. The images were analyzed by SigmaScan and the data were statically analyzed by Minitab. It was found that bifilms initiated silicon formation and mechanical properties were related to this mechanism

Key Words

“Al-18Si alloy, Porosity, Bifilm, Mechanical properties, Si morphology”

1. GİRİŞ

Alüminyum, alaşımlandırma yapılarak kazandığı mukavemet/özgül ağırlık başta olmak üzere kendine has özelliklerinden dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Metaller arasında en genç metal olarak bilinen alüminyum ve alaşımları üzerinde pek çok çalışma yapılmasına rağmen halen araştırılmaya ihtiyaç duymaktadır (Campbell 2003). İçerdiği alaşım elementi ve miktarına göre çok farklı özellikler kazanabilen alüminyum alaşımları ısıtılma yapılarak da mekanik özellikleri çeliğin kullanıldığı birçok alanda kullanılabilir seviyede iyileştirilebilmektedir. Silisyum elementinin ilavesi ile silis miktarı ve morfolojisine bağlı olarak ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü alaşımları elde edilebilmektedir (Gruzleski, Closset et al. 1990). Dendritik+ötektik katılaşma morfolojisine sahip ötektik altı alüminyum silisyum alaşımları dendritlerin sünekliliği ve silislerin mukavemet artırma etkisi sayesinde tokluğun istenildiği uygulamalarda tercih edilirken ötektik morfolojiye sahip alaşımlar akışkanlığın yüksek olması sayesinde ince cidarlı parçalarda ve primer silislerden ötektik morfolojiden oluşan ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımları silisin verdiği yüksek aşınma özelliği sayesinde aşınmaya dayanıklı parçalarda tercih edilmektedir (Gruzleski, Closset et al. 1990).

Ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında Sr modifikasyonu ile silis morfolojisi kontrol edilebilmektedir (Miresmaeili, Shabestari et al. 2003, Shabestari, Miresmaeili et al. 2003, Lu and Dahle 2006). Modifikasyon işleminin yanı sıra farklı döküm sıcaklığı ve porozite içeriğinin de mikroyapı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Primer silislerin mikroyapıda hangi boyutlarda oluştuğu ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında mekanik özellikler açısından önemli bir parametredir. Ötektik üstü alaşımlarda birincil Si boyutlarında meydana gelen artış aşınma direncinde de artış sağlamaktadır (Lasa and Rodriguez-Ibabe 2003). Diğer taraftan bu alaşımlar, korozyon dirençlerinin iyi olması sayesinde denizcilik sektöründe tercih edilmektedirler.

Chang (Chang, Moon et al. 1998) V geometrisine sahip bir kalıpta çalışma yapmış ve nadir toprak elementlerin Silisyum morfolojisine etkisini araştırmıştır. Mikroyapıda meydana gelen değişimin katılaşma hızına bağlı olduğunu ve ötektik oluşum sıcaklığındaki değişim ile doğrudan ilişkili olduğunu iddia etmiştir. Chen (Chang, Kim et al. 1998, Chen, Liu et al. 2007) de benzer bir çalışma yaparak fosforun etkisine bakmıştır. Fosfor miktarının artmasıyla ilave edilen elementlerin modifiye etkilerinin de arttığını göstermiştir.

Literatürde mevcut bazı çalışmalarda ise (Abramov, Abramov et al. 1997, Radjai, Miwa et al. 1998, Lu, Jiang et al. 2007) birincil silisyum morfolojisinde meydana gelen değişimleri incelemek için ergimiş alaşımı elektromanyetik olarak karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Karıştırma parametrelerinin etkili olduğu ileri sürülmüştür. Karıştırmada meydana gelen artış, kaviteyi da artırmaktadır. Bunun sonucu olarak, sıvıdan katıya geçiş esnasında birincil silisyumların hemen hemen hepsinin ince ve homojen bir şekilde dağıldığı ve ötektik yakın bir kimyasal içerik elde edildiği bulunmuştur. Matsuura (Matsuura, Kudoh et al. 2003), Silisyum partiküllerinin boyutunu 20 nm olacak şekilde alüminyum silisyum alaşımına eklemiştir ve çok hızlı soğutma yaparak katılaşma sonrası ince morfolojide silisyum dağılımını gözlemiştir. Buna bağlı olarak da, sertlik değerlerinde ciddi artışlar elde edilmiştir. Xu (Xu and Jiang 2006) aşırı ısıtma ve soğuma hızının silisyum oluşumu üzerindeki etkisini incelemiştir. Soğuma hızının artmasıyla birincil silislerin boyut olarak çok az oranda azaldığını bulmuştur. Fakat soğuma hızına bağlı olarak silisyum rafinasyonunun değişmediğini iddia etmiştir.

Diğer taraftan alüminyum alaşımlarında mekanik özellikler başta olmak üzere pek çok özelliği önemli derece etkileyen bir faktör ileri atılmıştır (Dispınar and Campbell 2004, Dispınar and Campbell 2004). Sıvı metalin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının katlanarak sıvı metal içerisine girme ve orda katılaşma esnasında açılarak poroziteyi oluşturma prensibine dayanan bu faktör bifilm oluşum teorisidir. Bifilm sıvı metalde porozite oluşumu için ana kaynak olarak gösterilmiştir. Literatürde mevcut olan hidrojen ve çekilme boşluğu etkenlerinin porozite oluşumu için ana kaynak değil tetikleyici faktör olduğuna inanılmaktadır. Bir sıvı metalde bifilm indeks değeri ne kadar düşükse mekanik özellikler o kadar yüksek olmaktadır (Tiryakioglu, Campbell et al. 2009, Dispınar, Akhtar et al. 2010, Dispınar and Campbell 2011).

Bu doğrultuda bu çalışmada, Al-18Si ötektik üstü alaşımının zamana bağlı (0, 60 ve 120 dk.) döküm kalitesi incelenmiştir. Farklı bekletme zamanlarında meydana gelen döküm kalitesi azaltılmış basınç test analizi ile test edilmiştir. Diğer taraftan farklı bekletme zamanlarında döküm kalitesinde meydana gelen değişimlere bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi araştırılmıştır. Ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında sıvı durumda bekletme süresinin soğuma hızının mekanik özelliklerde ve döküm kalitesinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir.

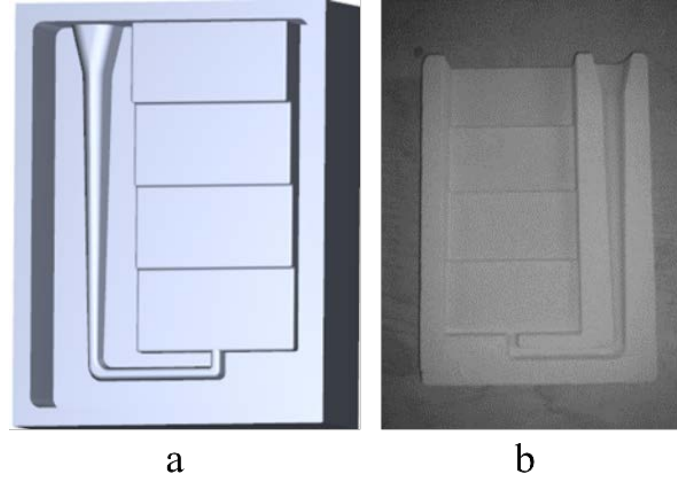
2. DENEYSEL PROSEDÜR

Çalışmada kullanılan alüminyum silisyum alaşımlarından % 18 Si içeriğine sahip ötektik üstü alaşım primer olarak ETİAL, Seydişehir firmasından tedarik edilmiştir. Alaşıma ait kimyasal kompozisyon Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Deneyde kullanılan Al-18Si alaşımının kimyasal bileşim aralığı

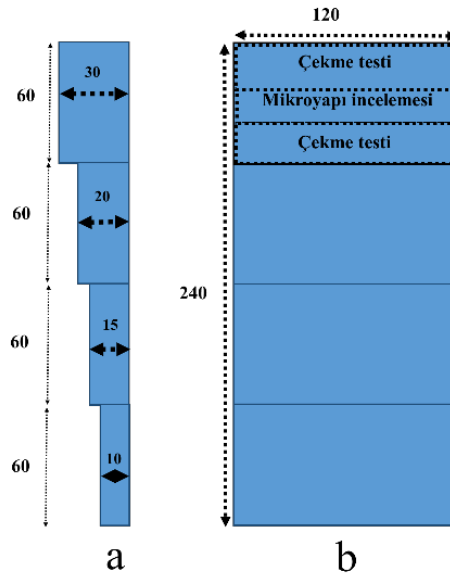
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
18	0,60	1,2	0,20	1,1	0,20	0,10	Kalan

Al-18Si alaşımının 22 kg kapasiteli SiC potada ve elektrikli direnç ocağı kullanılarak ergitilmiş ve 725 °C ye geldiğinde basamak tipli kum kalıplara ilk dökümler gerçekleştirilmiştir. İkinci dökümlerde metalin sıvı duruma gelmesinden sonra 60 dakika beklenilmiş ve ilk dökümle aynı şartlarda dökümlerde gerçekleştirilmiştir. Son ve üçüncü döküm ise metalin sıvı duruma getirilmesinden sonra 120 dakika beklenilerek tamamlanmıştır. 10, 15, 20 ve 30 mm kesit kalınlığına sahip basamak tipli kalıp modelinden 60-65 AFS boyutlarında silis kumundan kalıplar üretilmiştir. Kalıp üretiminde kullanılan model ve kum kalıp görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. a) Dökümlerde kullanılan kalıp modeli b) Kalıp resmi

Her üç döküm parametresine ait sıvı metalden döküm kalitesini belirleme amaçlı azaltılmış basınç test (RPT) numuneleri elde edilmiştir. RPT numunelerinin eldesinde 80 mbar vakum değerinde Dışınar (Dispınar and Campbell 2004) tarafından kullanılan RPT kalıbının ikili modeli kullanılmıştır. 30 mm kesit kalınlığına sahip basamak bu kalıp tasarımında besleyici görevi gördüğünden elde edilen döküm parçalarında incelenmemiştir. Diğer üç basamaktan ikişer adet çekme test numunesi ve mikroyapı numuneleri elde edilmiştir. Parçaların iç yüzeyleri talaşlı işleme yöntemleri ile çekme testi numunesi geometrisine getirilmeden önce metalografik inceleme yöntemleri ile hazırlanıp porozite ölçümüne tabi tutulmuştur. Dökümden elde edilen parçanın ölçüleri ve numune eldesini gösteren şematik gösterimler Şekil 2’de verilmiştir.



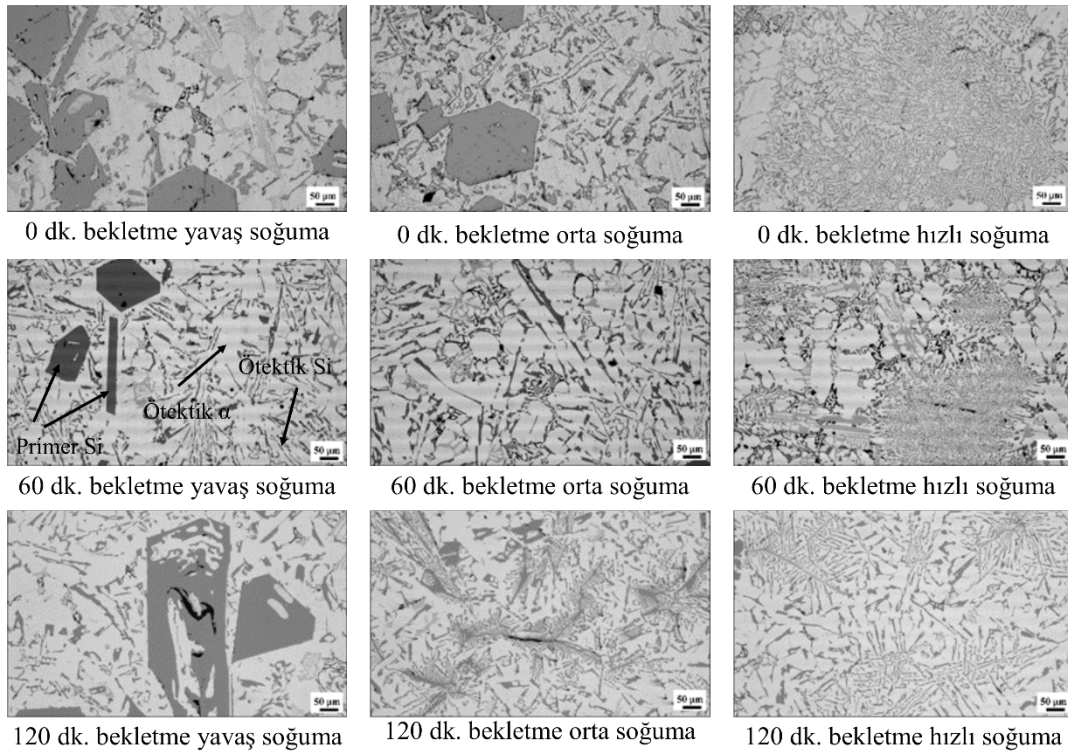
Şekil 2. a) Döküm parçasının kesit ölçüleri, b) numune bölgeleri

Dökümlerden elde edilen RPT numuneleri ortadan dikey olarak ikiye bölünmüş ve parçalardan biri makro numune hazırlama işlemlerine tabi tutularak yüzey görüntüleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. RPT görüntüleri üzerinde görüntü analiz programı yardımı ile döküm kalitesini sayısal olarak veren bifilm indeks değerleri hesaplanmıştır. Mikroyapı numuneleri de metalografik numune hazırlama yöntemleri ile hazırlanmış ve Nikon marka mikroskop yardımıyla mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Çekme

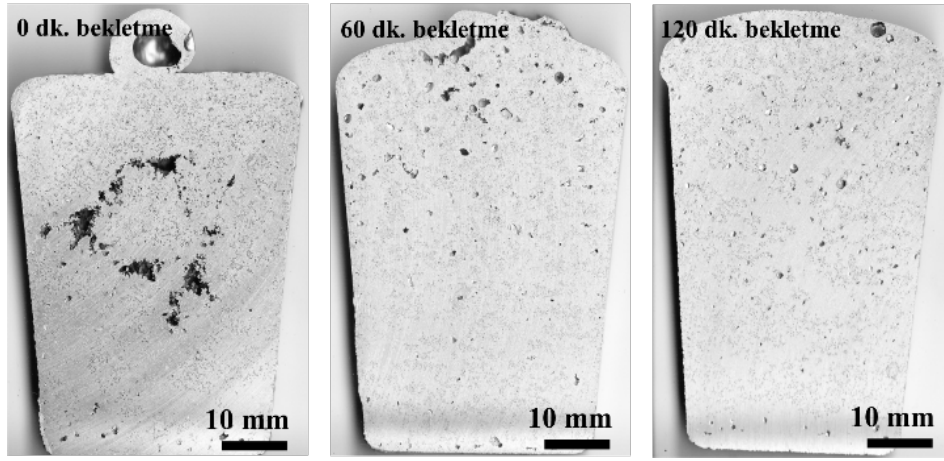
testleri İnstron marka universal çekme test cihazında gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ile döküm parametreleri arasında Minitab istatistiksel analiz programı yardımı ile ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sıvı durumda bekletme süresine göre farklı kesit kalınlıklarından elde edilen farklı silis morfolojilerini gösteren mikroyapı görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Sıvı durumda bekletmeksizin yani 0 dakika beklemede gerçekleştirilen dökümlere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kesit kalınlığı farkı çok net bir şekilde görülebilmektedir. Yavaş soğuma gösteren en kalın kesitte (20 mm) çok büyük ve düzenli bir geometride primer silislerin oluştuğu ve bunun yanında ötektik silislerin de kaba ve uzun yapıda oluştuğu görülmektedir. Kesit kalınlığı azalmasıyla soğuma hızı artmakta ve hem primer silislerin hem de ötektik silislerin büyük yapıdan daha küçük yapılara dönüştüğü görülmektedir. Katılaşmanın en hızlı olduğu 10 mm kesit kalınlığına sahip görüntülerde primer silislerin yok denecek kadar olduğu bunun yerine ötektik silislerin çok daha ince yapıda çok yoğun bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Katılaşmanın çok hızlı olduğu kesitte dendritik yapının da varlığı göze çarpmaktadır. Soğumanın hızlı olması primer silislerin çekirdeklenmesi için yeterli ama büyümesi için yeterli olmadığı görülmektedir. Soğuma hızı, sıcaklık gradyenti ve silislerin ısıyı tutma özelliğinden dolayı katılaşamayan silis miktarı ötektik bileşimin altında yer alabilmektedir. Bu sebepten dolayı Şekil 3’de verilen 0 dakika bekleme parametresinin hızlı katılaşma görüntülerinde dendritik morfoloji karşımıza çıkmıştır. Soğuma hızına bağlı 0 dakika bekleme dökümlerinden meydana gelen mikroyapısal değişim 60 dakika ve 120 dakika bekleme parametrelerine ait görüntülerde de görülmektedir. Sıvı durumda tutma süresinin mikroyapıya etkisi için görüntüler dikkatli bir şekilde incelenecek olunursa bekleme süresinin artmasıyla primer silis morfolojisinin düzenli beşgen geometrisinden düzensiz ve geometriye doğru değiştiği söylenebilir. Oluşan primer silislerin soğuma hızına bağlı olarak farklı morfolojiler sergilemesinin yanı sıra ötektik silislerin de daha kaba yapıya dönüştüğü görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni Campbell’ ın (Campbell 2015) daha önce ileri sürdüğü gibi sıvı metal içerisindeki bifilm içeriği ile ilgilidir. Bifilm oksit yapılar olduklarından sıvı içerisinde yakın yoğun değerlerinden dolayı askıda kalabilmektedirler. Silisler de oksit yapıdaki bifilmelerin altlık görevi görmesi avantajı ile bifilmelerin buldukları noktalarda çekirdekleşebilmektedirler. Şekil 4’de verilen RPT yüzeyleri incelendiğinde zamana bağlı bifilmelerin boyutlarının küçüldüğü ve sayısının arttığı görülmektedir. Bu değişimin silislerde de görülmesi bifilm ile silisler arasındaki ilişkinin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

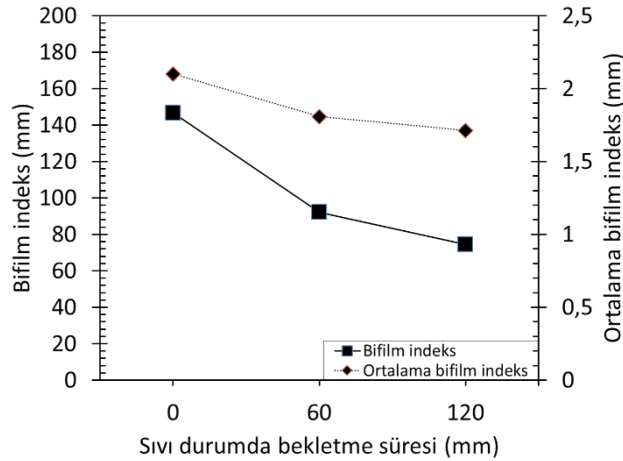


Şekil 3. Sıvı durumda bekletme zamanına ve kesit kalınlığına (soğuma hızına) göre mikroyapı resimleri



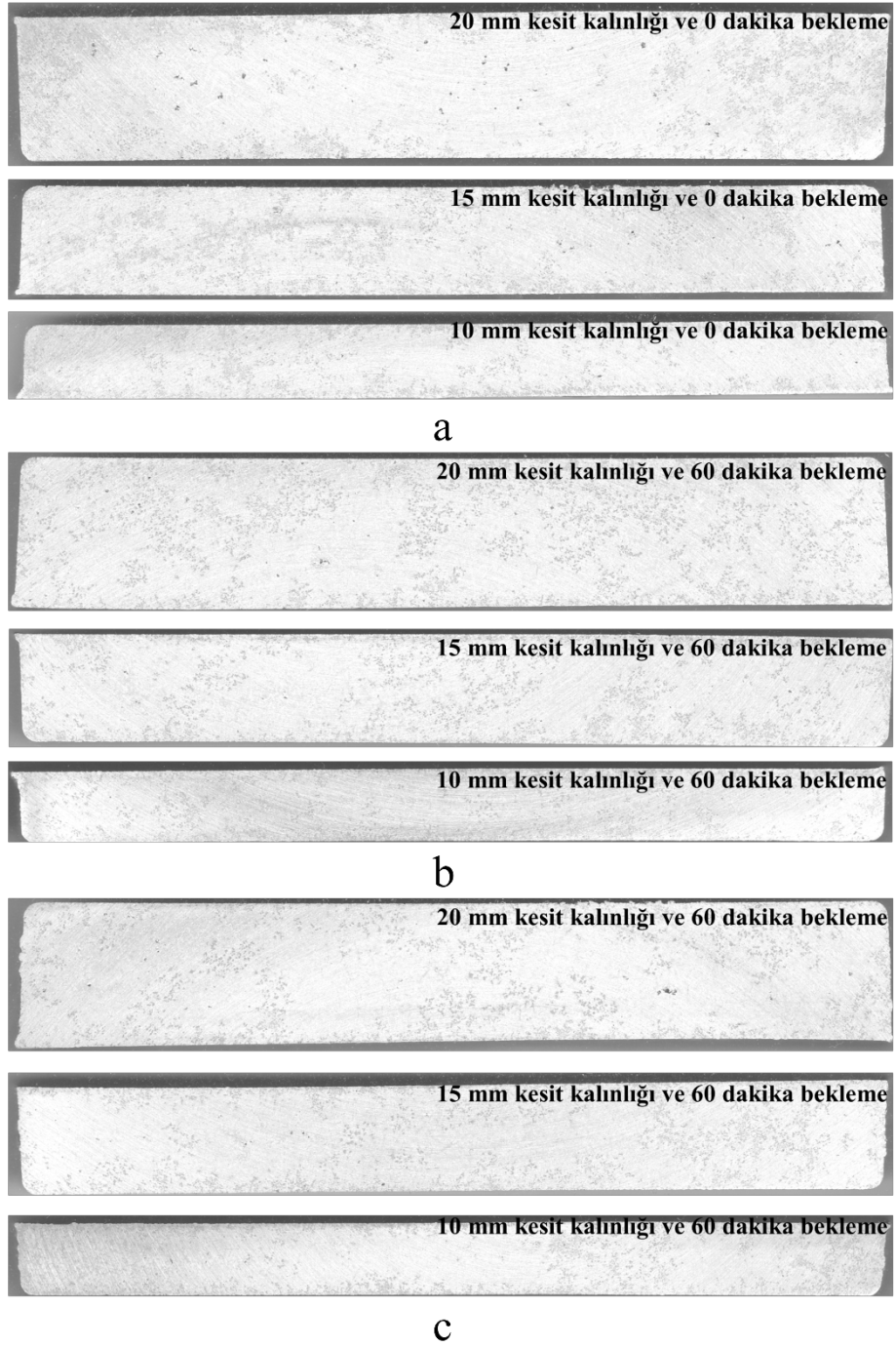
Şekil 4. Sıvı durumda farklı bekletme zamanlarından alınmış temsili RPT görüntüleri

Şekil 4’de RPT numunelerine ait verilen temsili görüntüler incelendiğinde sıvı durumda bekletmeden gerçekleştirilen dökümlerde oluşan bifilmelerin büyük boyutlarda ve az sayıda olduğu görülmektedir. Katılaşmanın kalıp kenarlarından başlayıp en kalın kesite doğru ilerlediği düşünülürse kalıbın tam ortasında ve üstünde ötektik katılaşmadan kaynaklı büyük bir bifilm oluştuğu göze çarpmaktadır. Sıvı içerisinde var olan küçük boyuttaki bifilmeler katılaşma yönünde hareket ederek son katılaşan bölgede birleşerek tek ve büyük boyutta bir bifilme dönüşmektedirler. Şekil 4’de verilen temsili görüntüde bifilmelerin bu karakteristik özelliği çok belirgin bir şekilde görülmektedir. Sıvı durumda bekletme zamanı arttıkça görüntülerden de anlaşılacağı gibi bifilm boyutları azalmakta ve sayıca artmaktadır. 120 dakika bekleme süresine ait temsili görüntüde bifilmelerin diğer bekleme zamanlarına nazaran çok daha küçük boyutta ve daha çok sayıda oluştuğu göze çarpmaktadır. Görsel olarak gerçekleştirilen inceleme sonucu elde edilen bulgular Şekil 5’de verilen sıvı durumda bekletme süresi ile bifilm ölçüm sonuçları arası ilişki grafiğinde sayısal olarak da karşımıza çıkmaktadır. Zamana bağlı olarak hem bifilm indeks değerinin hem de ortalama bifilm indeks değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Sıvı durumda bekleme zamanının bifilmeler üzerine etkisi daha önce araştırılmıştır (Dispınar, Akhtar et al. 2010, Dispınar and Campbell 2011, Mostafaei, Ghobadi et al. 2016, Uludağ, Çetin et al. 2017). Sıvı durumda bekleyen metal içerisinde var olan bifilmeler zamana bağlı olarak dibe çökerek temizlenmektedir. Bifilmelerin bu temizliği tane inceltici olarak ilave edilen Ti içerikli master alaşımlarının bifilmelerin üzerine gelmesi ve dibe çöktürmesi ile daha kolay yapılabilir (Gürsoy, Erzi et al. 2016).



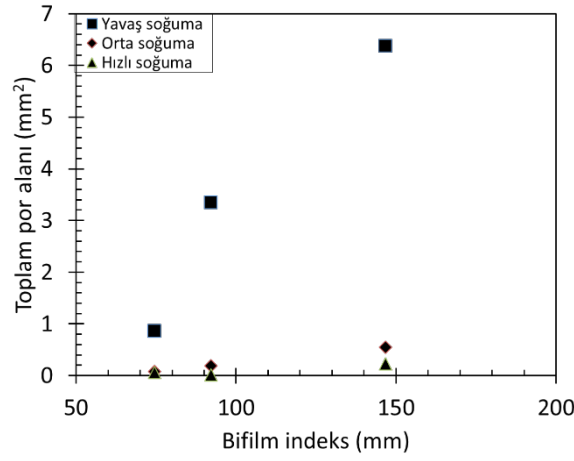
Şekil 5. Sıvı durumda bekletme zamanına göre bifilm indeks ve ortalama bifilm indeks değerleri

Farklı kesit kalınlıklarından elde edilen çekme test numuneleri üzerinde ilk olarak porozite ölçümü gerçekleştirilmiştir. Makro numune hazırlama yöntemleri sonrası elde edilen yüzey görüntüsü Şekil 6’da verilmiştir. Görsel olarak makro porozite ölçüm yüzeyleri incelenecek olunursa kesit kalınlığına bağlı olarak oluşan porozitelerin soğuma hızı arttıkça azaldığı görülmektedir. Sıvı durumda bekletme zamanına bağlı olarak ise benzer sonuç elde edilmektedir. Sıvı durumda bekletme süresi arttıkça sıvı metaldeki bifilmeler temizlenmekte ve buna bağlı olarak porozite oluşumu azalmaktadır.

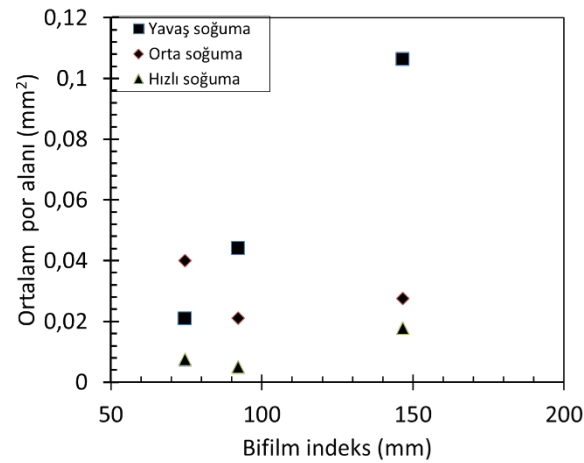


Şekil 6. a) Üç farklı kesit kalınlığından 0 dakika bekleme zamanına göre elde edilmiş makro porozite ölçüm görüntüleri
b) Üç farklı kesit kalınlığından 60 dakika bekleme zamanına göre elde edilmiş makro porozite ölçüm görüntüleri
c) Üç farklı kesit kalınlığından 120 dakika bekleme zamanına göre elde edilmiş makro porozite ölçüm görüntüleri

Şekil 6'da görsel olarak verilen sonuçlar üzerinde görüntü analiz programı yardımı ile gerçekleştirilen analiz sonuçları bifilm indeks sonuçlarına bağlı olarak toplam por alanı değişimi Şekil 7'de, ortalama por alanı değişimi Şekil 8'de por sayısı değişimi de Şekil 9'da verilmiştir.

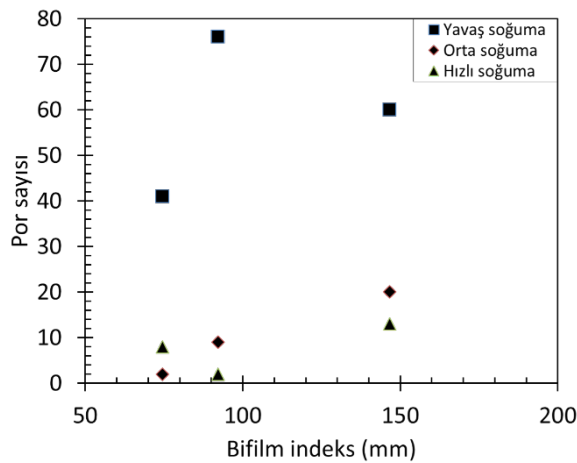


Şekil 7. Bifilm indeksi ve toplam por alanı arasındaki ilişki



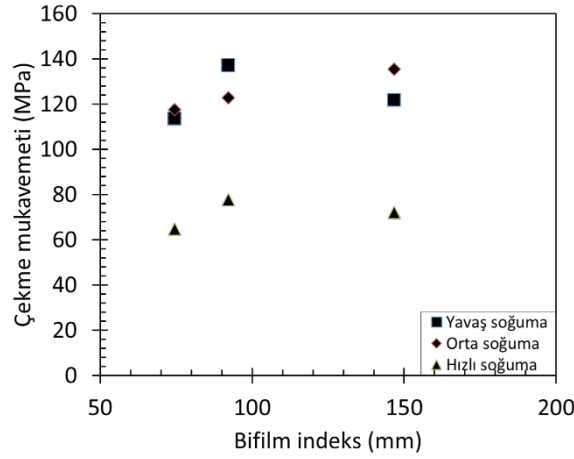
Şekil 8. Bifilm indeksi ve ortalama por alanı arasındaki ilişki

Şekil 7 de verilen bifilm indeksi ile toplam por alanı değişimi ve Şekil 8’de verilen bifilm indeksi ile ortalama por alanı değişimi grafikleri genel olarak her üç soğuma hızı için de aynı eğilimde olduğu görülmektedir. Por alanı değerleri bifilm indeksi ile doğrudan ilişkili gözükmemektedir. Bifilm indeksi arttıkça por alanı değerleri de artmaktadır. Soğuma hızına bağlı olarak ise azalmaktadır. Yavaş soğuma meydana gelen dökümlerde daha büyük poroziteler oluşurken hızlı soğuma gerçekleşen dökümlerde ise daha küçük porozite oluşmaktadır. Bu bulgu hem toplam por alanı değerleri için hem de ortalama por alanı değerleri için de geçerlidir. Şekil 9’da sunulan por sayısı bifilm indeksi ilişkisi grafiğine göre ise hemen hemen benzer şeyleri söylemek mümkündür. Katılma hızı ile porozite sayısı arasında aynı ilişki gözle çarpmakta soğuma arttıkça porozite sayısı azalmaktadır (Matsuura, Kudoh et al. 2003, Xu and Jiang 2006).

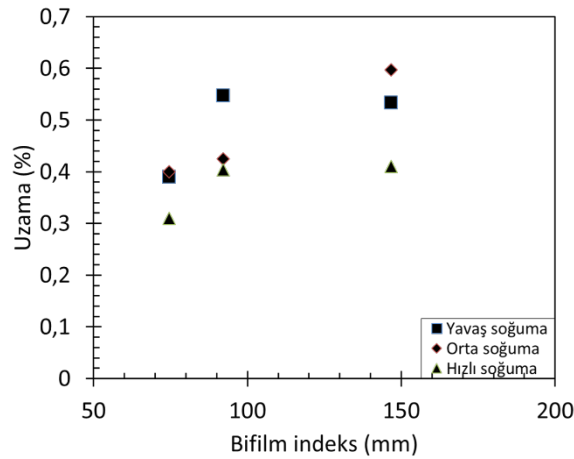


Şekil 9. Bifilm indeksi ile por sayısı arasındaki ilişki

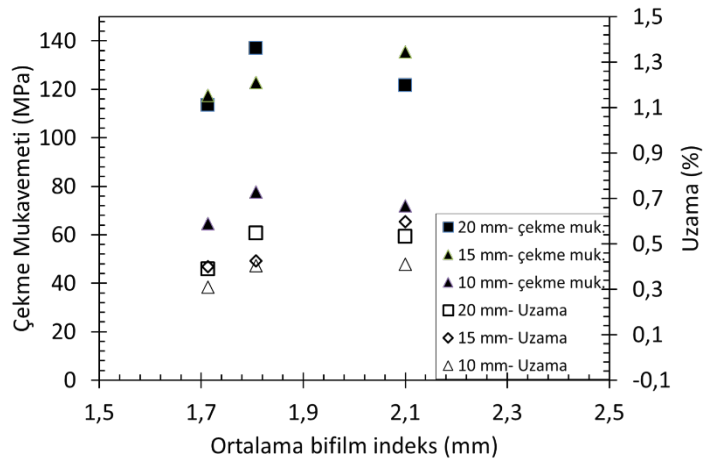
Çekme test numuneleri makro porozite inceleme sonrası teste tabi tutulmuştur. Elde edilen mekanik ölçüm değerlerinin bifilm indeks değerlerine göre değişimi çekme mukavemeti için Şekil 10'da % uzama için de Şekil 11'de verilmiştir. Ortalama bifilm indeks değerleri ile mekanik özellikler arası ilişki de Şekil 12'de sunulmuştur. Bifilm indeks değerlerinin çekme mukavemeti ve % uzama üzerinde göstermiş olduğu etkiler aynı eğilimdedir (Şekil 10 ve 11). Bifilm indeks arttıkça mekanik özellikler iyileşmektedir. Aynı sonuç ortalama bifilm indeks değerleri ile mekanik özellikler arasında da görülmektedir. Alüminyum alaşımlarında bifilm indeks değeri arttıkça mekanik özellikler kötüleşmektedir (Dispınar and Campbell 2006, Dispınar and Campbell 2007, Dispınar and Campbell 2011). Bu çalışmada kullanılan alaşımanın ötektik üstü (Al-18Si) olduğu düşünülünce elde edilen ters ilişki normal olarak görülmektedir. Çünkü ötektik üstü alaşımlarda oluşan primer silis ve ötektik silis morfolojisi mekanik özellikler üzerinde çok etkilidir. Bifilm indeks değerinin azalmasına bağlı olarak oluşan primer silislerin ve ötektik silislerin boyutları kabalaşmaktadır. Bu mekanik özellikleri kötü etkilemektedir. Bifilm indeks değeri ne kadar yüksekse sıvı içerisinde var olan bifilmelerin üzerinde çekirdeklenen silislerin boyutları daha düşük olmakta ve buna bağlı mekanik özellikler daha yüksek elde edilmektedir.



Şekil 10. Bifilm indeks ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki

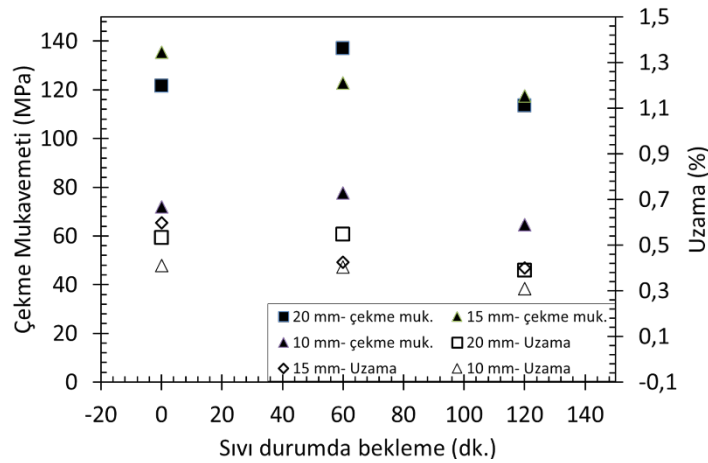


Şekil 11. Bifilm indeks ile uzama arasındaki ilişki



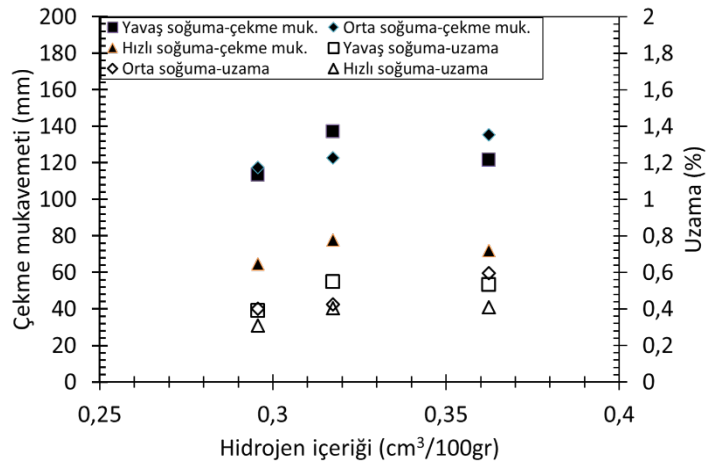
Şekil 12. Ortalama bifilm indeks ile mekanik özelliklerin değişimi

Sıvı durumda üç farklı sürede bekletilerek dökülen ötektik üstü alaşımda bekleme süresi ile mekanik özellikler arası ilişki Şekil 13’de verilmiştir. Sıvı durumda bekleme süresi arttıkça hem çekme mukavemeti hem de % uzama azalma eğilimindedir. Bunu da yukarıda tartışması yapılan bifilm indeks sonuçlarının silis boyutlarına etkisi ile açıklamak mümkündür. Sıvı metal bekledikçe içinde var olan bifilm azalmakta buna bağlı silis boyutları büyümektedir. Bu da mekanik özellikleri düşürmektedir. Bu etki 60 dakikadan sonra daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.



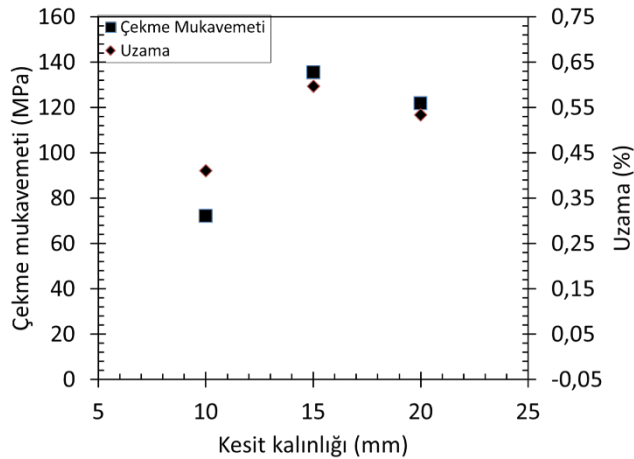
Şekil 13. Sıvı durumda bekleme süresi ile mekanik özellikler arası ilişki

Kalıplara döküm öncesi sıvı metalin bekletilmesi esnasında ALSPEK marka hidrojen ölçüm cihazı ile elde edilen hidrojen değerleri ile mekanik özellikler arasındaki ilişki Şekil 14’de sunulmuştur. Döküm parametrelerinin hidrojen içeriği değerleri arasında çok büyük farklar olmamakla birlikte küçük değişimlerin de mekanik özellikleri değiştirdiği görülmektedir. Sıvı metalde mevcut olan çözünmüş hidrojen miktarı direkt poroziteyi oluşturmamakta, porozite oluşum kaynağı olan bifilmelerin katılaşma esnasında büyümesini tetiklemektedir (Dispınar and Campbell 2011). Yani hidrojen alüminyum alaşımlarının dökümünde porozite oluşumu için ana kaynak değil tetikleyici bir faktördür. Bu sebepten grafikte de görüldüğü gibi hidrojen miktarı arttıkça mekanik özellikler de artmaktadır. Bunun da sebebi hidrojenin bifilmeler üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak da silis morfolojisini değiştirmesidir.



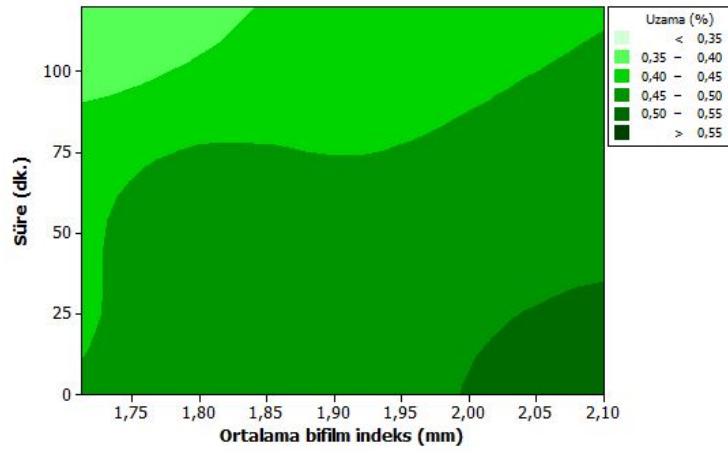
Şekil 14. Hidrojen içeriğine göre mekanik özelliklerin değişimi

Şekil 15’de tüm parametrelerden bağımsız olarak kesit kalınlığı yani soğuma hızı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi soğuma hızı arttıkça mekanik özellikler düşmektedir. Soğuma hızı arttıkça tane yapısı küçülür ve buna bağlı olarak mekanik özellikler iyileşir (Flemings 1974). Fakat bu çalışmada kullanılan alaşım ötektik üstü alaşım olduğundan dolayı kesit kalınlığı 10 mm den 15 mm ye çıktığında meydana gelen soğuma hızı farkı mekanik özelliklerde artışa sebep olmuştur. 15 mm den 20 mm ye çıktığında ise tekrar bir azalış söz konusudur. Buradan elde edilen sonuçtan mekanik özelliklerin değişiminde sadece primer silis oluşumunun değil aynı zamanda sıcaklık gradyentine bağlı olarak ötektik silis ve dendritik morfolojinin de etkili olduğu anlaşılmaktadır.

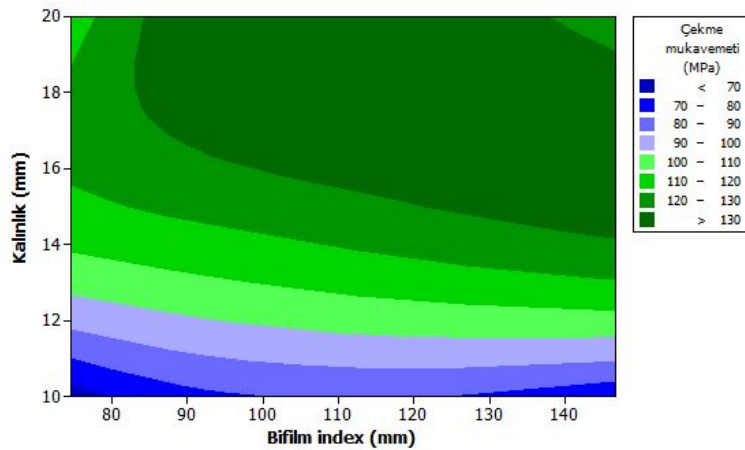


Şekil 15. Kesit kalınlığı (soğuma hızı) ile mekanik özellikler arası ilişki

Tüm deney parametrelerinden elde edilen mekanik sonuçlar Minitab analiz programı yardımı ile istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Yapılan incelemelerde Şekil 16’da verilen ortalama bifilm indeksi ve bekleme süresinin mekanik özelliklere etkisi ile Şekil 17’de verilen bifilm indeksi ile kesit kalınlığının mekanik özelliklere etkisi sonuçları ilgi çekmektedir. Sürenin sabit olduğu durumlarda ortalama bifilm indeksi arttıkça mekanik özellikler artmaktadır. Ortalama bifilm indeksi değerinin sabit olduğu durumlarda sıvı durumda bekleme süresi arttıkça mekanik özelliklerin kötüleştiği karşımıza çıkmaktadır. Şekil 16’da verilen sonuçlara göre maksimum bifilm indeksi minimum bekleme süresinde en iyi mekanik özellikler elde edilmektedir. Bu da tamamen bifilm varlığının silis çekirdeklenmesi ve büyümesi üzerindeki rolünden kaynaklanmaktadır. Şekil 17’de verilen sonuçlara göre düşük kalınlıklarda yani hızlı soğuma dökümlerinde bifilm indeksi değerinin değişmesinin mekanik özellikleri değiştirmedeği görülmektedir. Fakat bifilm indeksi sabit tutulursa kalınlık arttıkça mekanik özelliklerin arttığı söylenebilir. Bunu da kalınlık farkından dolayı sıcaklık gradyentinin etkisi ile oluşan mikroyapı morfolojisi ve buna bağlı bifilm açılımı ile açıklamak mümkün görülmektedir.



Şekil 16. Ortalama bifilm indeksi ve sıvı durumda bekleme süresinin mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişim



Şekil 17. Bifilm indeksi ve kesit kalınlığının mekanik özelliklerde meydana getirdiği değişim

4. Sonuçlar

Alüminyum alaşımlarına ait mekanik özellikler sıvı işlemleri ile ciddi bir şekilde değişmektedir. Fakat alaşım kompozisyonu bu değişim üzerinde önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada kullanılan % 18 Si içerikli ötektik üstü alaşımın mikroyapısal morfolojisi göz önüne alınarak bulgulardan elden edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sirlanabilir.

1- Sıvı durumda bekletilen Al-18Si alaşımı için bekletme süresinin bifilm oluşumu üzerine etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sıvı durumda bekletme süresi arttıkça bifilm oluşumu azalmaktadır. Bekleyen sıvı metal içerisinde mevcut olan bifilm yoğunluk farkının az olmasından dolayı dibe çökmektedir.

2- Sıvı metalde azaltılan bifilm indeksi değeri silis boyutlarının daha kaba oluşması ile sonuçlanmaktadır.

3- Hem primer silisler hem de ötektik silisler büyüdükçe mekanik özellikler düşmektedir.

4- Sadece soğuma hızı göz önüne alındığında ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımında sıcaklık gradyentinin mikroyapı üzerinde etkili olduğu ve buna bağlı mekanik özelliklerin de etkilendiği elde edilmiştir. Bu etkilenme için kritik değerin 15 mm kesit kalınlığı olduğuna rastlanılmış ve bu değerin üstünde ve altında mekanik özelliklerin düştüğü bulunmuştur.

REFERANSLAR

Abramov, V. O., O. V. Abramov, B. B. Straumal and W. Gust (1997). "Hypereutectic Al-Si based alloys with a thixotropic microstructure produced by ultrasonic treatment." *Materials & Design* **18**(4-6): 323-326.

Campbell, J. (2003). *Castings : [the new metallurgy of cast metals]*, Butterworth Heinemann.

Campbell, J. (2015). *Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design*, Butterworth-Heinemann.

- Chang, J., I. Moon and C. Choi (1998). "Refinement of Cast Microstructure of Hypereutectic Al-Si Alloys Through the Addition of Rare Earth Metals." Journal of Materials Science **33**(20): 5015-5023.
- Chang, J. Y., G. H. Kim, I. G. Moon and C. S. Choi (1998). "Rare earth concentration in the primary Si crystal in rare earth added Al-21wt.%Si alloy." Scripta Materialia **39**(3): 307-314.
- Chen, C., Z.-x. Liu, B. Ren, M.-x. Wang, Y.-g. Weng and Z.-y. Liu (2007). "Influences of complex modification of P and RE on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al-20Si alloy." Transactions of Nonferrous Metals Society of China **17**(2): 301-306.
- Dispınar, D., S. Akhtar, A. Nordmark, M. Di Sabatino and L. Arnberg (2010). "Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356." Materials Science and Engineering: A **527**(16-17): 3719-3725.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2004). "Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena." International Journal of Cast Metals Research **17**(5): 280-286.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2004). "Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification." International Journal of Cast Metals Research **17**(5): 287-294.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2006). "Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality." International Journal of Cast Metals Research **19**(1): 5-17.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2007). "Effect of casting conditions on aluminium metal quality." Journal of Materials Processing Technology **182**(1-3): 405-410.
- Dispınar, D. and J. Campbell (2011). "Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings." Materials Science and Engineering: A **528**(10-11): 3860-3865.
- Flemings, M. C. (1974). "Solidification processing." Metallurgical Transactions **5**(10): 2121-2134.
- Gruzleski, J. E., B. M. Closset and A. F. s. Society (1990). The Treatment of Liquid Aluminum-silicon Alloys, American Foundrymen's Society, Incorporated.
- Gürsoy, Ö., E. Erzi, Ç. Yüksel and D. Dispınar (2016). Effect of Duration on Ti Grain Refinement of A356 and Melt Quality. Shape Casting: 6th International Symposium, Springer.
- Lasa, L. and J. M. Rodriguez-Ibabe (2003). "Wear behaviour of eutectic and hypereutectic Al-Si-Cu-Mg casting alloys tested against a composite brake pad." Materials Science and Engineering: A **363**(1-2): 193-202.
- Lu, D., Y. Jiang, G. Guan, R. Zhou, Z. Li and R. Zhou (2007). "Refinement of primary Si in hypereutectic Al-Si alloy by electromagnetic stirring." Journal of Materials Processing Technology **189**(1-3): 13-18.
- Lu, L. and A. K. Dahle (2006). "Effects of combined additions of Sr and AlTiB grain refiners in hypoeutectic Al-Si foundry alloys." Materials Science and Engineering: A **435-436**(0): 288-296.
- Matsuura, K., M. Kudoh, H. Kinoshita and H. Takahashi (2003). "Precipitation of Si particles in a super-rapidly solidified Al-Si hypereutectic alloy." Materials Chemistry and Physics **81**(2-3): 393-395.
- Miresmaeili, S. M., S. G. Shabestari and S. M. A. Boutorabi (2003). "The effect of Sr-modification treatment on porosity formation of reduced pressure 319 Al alloy castings." Canadian metallurgical quarterly **42**(2): 245-251.
- Mostafaie, M., M. Ghobadi, M. Uludağ and M. Tiryakioğlu (2016). "Evaluation of the Effects of Rotary Degassing Process Variables on the Quality of A357 Aluminum Alloy Castings." Metallurgical and Materials Transactions B **47**(6): 3469-3475.
- Radjai, A., K. Miwa and T. Nishio (1998). "An investigation of the effects caused by electromagnetic vibrations in a hypereutectic Al-Si alloy melt." Metallurgical and Materials Transactions A **29**(5): 1477-1484.
- Shabestari, S. G., S. M. Miresmaeili and S. M. A. Boutorabi (2003). "Effects of Sr-modification and melt cleanliness on melt hydrogen absorption of 319 aluminium alloy." Journal of materials science **38**(9): 1901-1907.
- Tiryakioğlu, M., J. Campbell and N. D. Alexopoulos (2009). "On the Ductility of Cast Al-7 Pct Si-Mg Alloys." Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science **40A**(4): 1000-1007.
- Uludağ, M., R. Çetin, D. Dispınar and M. Tiryakioğlu (2017). "Characterization of the Effect of Melt Treatments on Melt Quality in Al-7wt% Si-Mg Alloys." Metals **7**(5): 157.
- Xu, C. L. and Q. C. Jiang (2006). "Morphologies of primary silicon in hypereutectic Al-Si alloys with melt overheating temperature and cooling rate." Materials Science and Engineering A **437**: 451-455.