



20 - 21 Ekim / October 2017 - ESKİŞEHİR
Tüdöksad Akademi 9. Döküm Kongresi / 9th Foundry Congress by TUDOKSAD Academy

**«B, Sr ve Ti İlavelerinin AlSi10Mg0.3 Döküm Alaşımında
Tane İnceltme Ve Modifikasyon Üzerine Etkilerinin
İncelenmesi ve Optimum İlave Miktarının Belirlenmesi »**

Ferhat Tülüce, Yücel Birol, Elvan Bilge Menteşe
(Dokuz Eylül Üniversitesi - Componenta Dökümcülük Manisa)

4.Oturum: Döküm Teknolojileri Demir Dışı
Oturum Başkanı: Prof. Dr. M.Cahit Ensari (Yalova Üniversitesi)



Oturumlarda yer alan sunumlar 27 Ekim 2017 Cuma tarihinde akademi web sayfasına (akademi.tudoksad.org.tr) yüklenecektir.

B, Sr VE Ti İLAVELERİNİN AlSi10Mg0.3 DÖKÜM ALAŞIMINDA TANE İNCELTME VE MODİFİKASYON ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMUM İLAVE MİKTARININ BELİRLENMESİ

Ferhat Tülüce ¹

Elvan Bilge Menteşe ²

Yücel Birol ¹

1: Dokuz Eylül Üniversitesi 2: Componenta Dökümcülük A.Ş. - Türkiye



Projenin Konusu



Literatür Bilgileri



DeneySEL Çalışmalar



DeneySEL Sonuçlar ve Tartışma



Sonuçlar

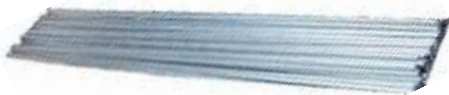


PROJENİN KONUSU

COMPONENTA

Tane inceltme ve Si modifikasyonunun Al-Si esaslı döküm alaşımlarına fayda sağladığı bilinmektedir. Günümüzde döküm alaşımlarında tane inceltme ve modifikasyonu sağlamak için Al-Ti-B, Al-Sr master alaşım ilaveleri yapılmaktadır.

Bu çalışmada AlSi10Mg0.3 alaşımına farklı ilave miktarları ile yapılan deneylerin sonuçları sunulmuş, makroyapı incelemeleri ve termal analiz yöntemi kullanılarak farklı ilave miktarlarının tane inceltme ve modifikasyon üzerine olan etkileri incelenmiş, optimum ilave miktarları belirlenmiştir.



AlTi5B1



AlSr5



- Alüminyum döküm alaşımları dökülebilirliği, nispeten düşük maliyetleri, yeterli mukavemet değerlerini sağlayabilmeleri ve hafiflikleri ile otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Al-Si alaşımları, düşük yoğunlukla birlikte, üstün mekanik ve fiziksel özellikler, kaynaklanabilirlik, yüksek korozyon direnci ve mükemmel dökülebilirlik sergilerler.
- Endüstride alüminyum döküm parçaların çok önemli bir kısmı Al-Si alaşım sisteminden üretilir.
- Al-Si alaşımlarının dökümünde istisnasız olarak 2 teknolojik işleme başvurulur: Tane inceltme ve modifikasyon.

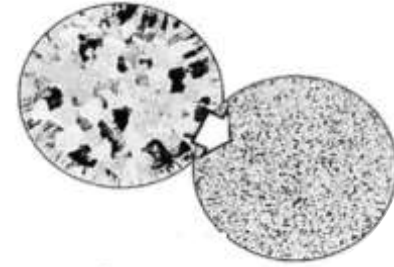




Başarılı bir tane inceltme işlemi;

İkincil fazların ve mikro porozitenin homojen dağılmasını sağlayarak;

- Tokluğu
- Akma mukavemetini
- Şekil verilebilirliği
- Yüzey kalitesini
- Döküm operasyonunun verimini arttırır.





Tane inceltme işlemi için düşük aşırı soğutmalarda aktif hale gelebilecek ve katılaşmayı başlatacak çekirdeklere ihtiyaç vardır.

Al için en uygun çekirdeklendiriciler ;

- TiB_2 ,
- Al_3Ti ,
- AlB_2 ,
- TiC 'dür.

Tüm alaşım elementleri arasında katı parçacıkların büyümesini en fazla etkileyen element Ti 'dur. Bünyelerinde bir miktar da Ti bulunduran master alaşımların kullanılması alüminyum dökümhanelerinde standart bir pratik haline gelmiştir.



- Ticari master alaşımların büyük bir çoğunluğu Al-Ti-B üçlü sisteminden üretilmektedir.
- Ancak bu master alaşımların kullanımı ile ilgili problemler mevcuttur. Al-Ti-B master alaşımı Al-Si alaşımlarına ilave edildiğinde, Si, Ti ile reaksiyona girerek, tane inceltme verimliliğini düşüren Ti-Si intermetalik bileşiklerin oluşumuna neden olur.
- Bu nedenle Ti içeren master alaşımların kullanımı belirli bir noktaya kadar mekanik özellikleri geliştirirken belirli bir miktardan sonra mekanik özelliklere zararlıdır.

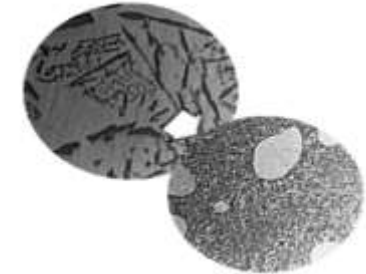


Başarılı bir modifikasyon işlemi;

Kırılgan yapılı Si plakalarının ince ipliksi yapıya dönüşmesini sağlayarak;

- Erken çatlama
- Hızlı çatlak ilerlemesi

Problemlerine engel olur; böylece mekanik özellikleri geliştirir.





- Modifikasyon işlemi yani ötektik silisin morfolojisini yassı plakalardan ince ipliksiye dönüştürmek için ötektik-altı Al-Si alaşımlarına;
 - Na
 - Srgibi modifiye ediciler ilave edilir.
- Na'a göre etkisi çok daha uzun ömürlü ve kontrolü daha kolay olduğu için çoğunlukla Sr tercih edilir. Al-Si döküm modifikasyon işlemi için Sr ilavesi tüm alüminyum dökümhanelerinde standart bir pratik haline gelmiştir.
- Ancak tane inceltme için kullanılan B ile ötektik Si'i modifiye etmek amacıyla kullanılacak Sr arasında karşılıklı bir zehirlenme etkisi söz konusudur.

- Al-Ti-B ve Al-Sr master alaşımlarının ilavesi mekanik özelliklerde kesintisiz bir iyileşme sağlamaz.
- Yüksek miktarda bu ilavelerin kullanımı maliyet artışlarına ve mekanik özelliklerin bozulmasına neden olur.
- Bu nedenle master alaşımların en verimli olduğu optimum ilave miktarları her bir alaşım için ayrı ayrı bilinmelidir.





- Bu çalışmada Dubal $AlSi10Mg0.3$ külçeleri , $AlTi5B1$ ve $AlSr15$ master alaşımları kullanılmıştır.
- Kullanılan külçe ve master alaşımlara ait kimyasal bileşim limitleri tablolarda verilmiştir.

$AlSi10Mg0.3$ külçe kimyasal bileşim limitleri (%ağ)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn	Al
0,50	9,00-10,00	0,10	0,40-0,60	0,30-0,45	0,10	0,10	0,15	0,05	0,05	bakiye

$Al-Ti5-B1$ master alaşım kimyasal bileşim limitleri (%ağ)

Fe	Si	V	Ti	B	Be	Sn	Al
0.3	0.2	0.15	4.5-5.5	0.9-1.1	0.0001	0.02	bakiye

$Al-Sr15$ master alaşım kimyasal bileşim limitleri (%ağ)

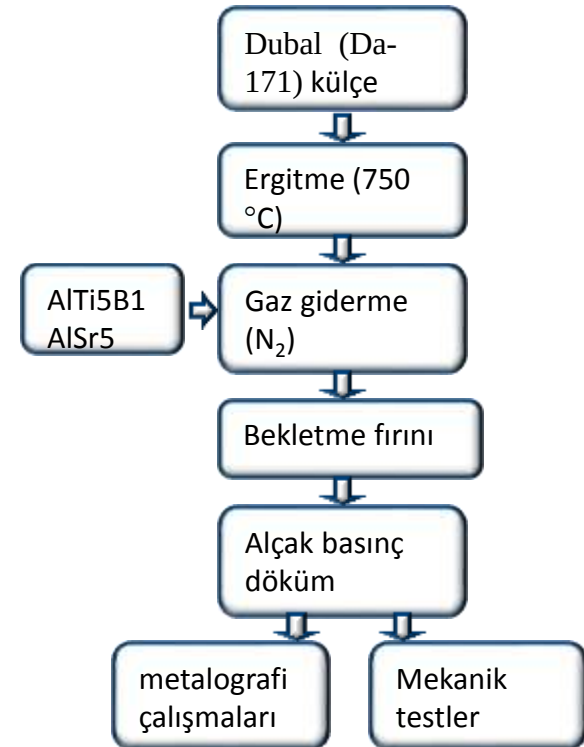
Fe	Si	Ba	Ca	Mg	Sn	F	Sr	Al
0,1-0,3	0,1-0,3	0,05	0,01-0,1	0,05	0,02	0,01	14-16	bakiye



DeneySEL çalışmalarına ait iş akış şeması şekilde verilmiştir.

➤ Master alaşımlarının etkisini gözlemlemek amacıyla alaşıma yapılan ilave miktarları sistematik olarak azaltılmıştır.

➤ Üretilen parçaların metalografi çalışmaları ve mekanik analizleri ile her bir seviyedeki ilavenin etkileri gözlemlenmiştir.





➤ 700 kg'lık potaya 750 C sıcaklıkta gaz giderme işlemi sırasında master alaşım ilaveleri yapılmış ve alaşım eriyiği 3 dk karıştırılmıştır. Uygulanan karıştırmanın etkisi ile ilavelerin daha homojen dağılımı sağlanmıştır.



➤ Bu işlemin ardından SpectroLab Optik emisyon spektroskopi cihazından kimyasal analizler alınarak ilave işleminin başarısı kontrol edilmiştir.

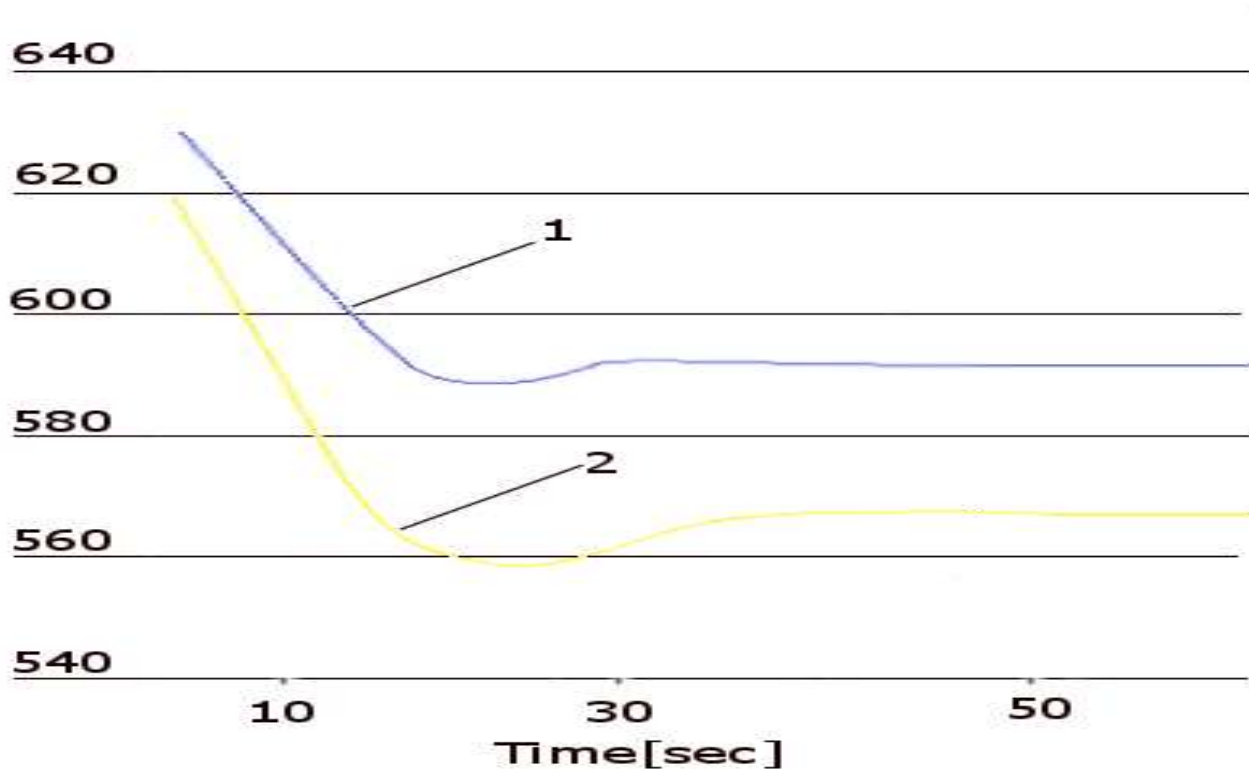


- Modifikasyon ve tane inceltme faktörlerinin belirlenmesi için MK TA 110 termal analiz cihazı kullanılmıştır.
- Termal analiz işlemi için potadan alınan sıvı alaşım hemen cihazın ölçüm potasına doldurulur ve cihaz potadaki alaşım eriyiğinin soğuma eğrisinden elde ettiği veriler ile tane inceltme ve modifikasyon derecelerini hesaplar.
- Termal analiz yönteminin bu kolay ve hızlı uygulanabilirliği, proaktif müdahale imkanı açısından önemlidir.

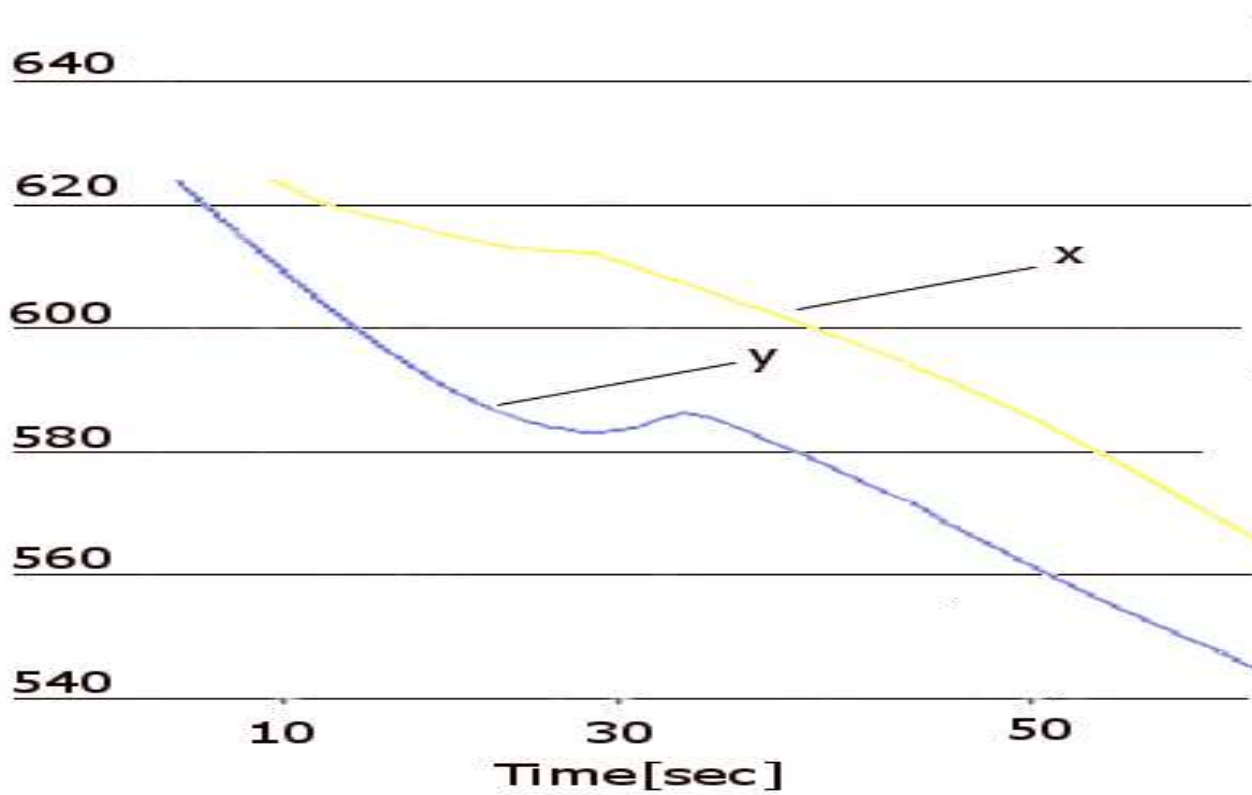




- Katılma işleminin başında soğuma eğrisinin şekli yapıdaki çekirdek sayısı ile ilgili fikir verir ;
- Çok sayıda çekirdek olduğunda eğri düşük aşırı soğuma gösterirken çekirdek sayısı az olduğunda yüksek aşırı soğuma beklenir.
- Ötektik silisyumun katılma sırasında ortaya çıkardığı ısı, kaydedilen soğuma eğrilerinde bir sıcaklık artışı ile kendini gösterir ve modifikasyon derecesinin sayısal eğri yorumlama yöntemleri ile hesaplanmasını sağlar.



Şekilde verilen örnek soğuma eğrisinde 1 numaralı eğride 2 numaralı eğriye göre modifikasyonun daha çok gerçekleştiği söylenebilir.



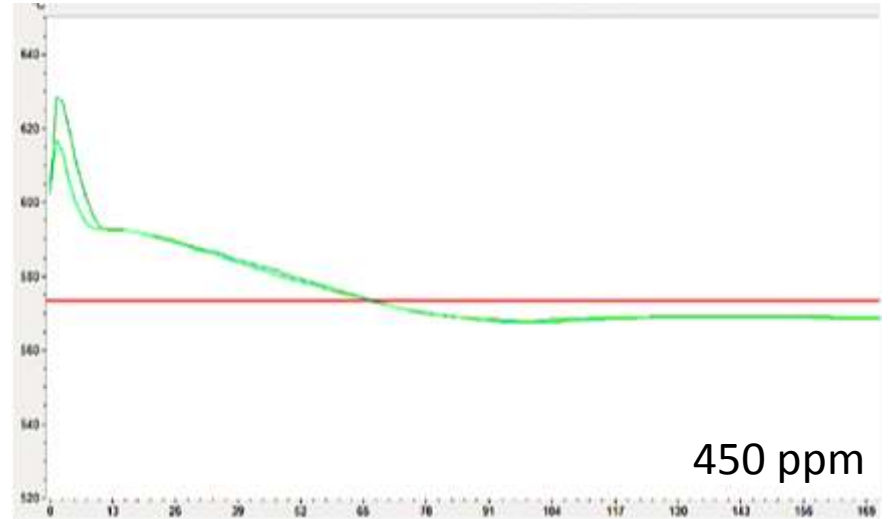
Şekilde verilen örnek soğuma eğrisinde x eğrisinde y eğrisine göre tane inceltme işlemi daha başarılıdır.



➤ Cihazdan 440 ve 460 ppm Sr seviyelerinde alınmış termal analiz eğrileri şekilde paylaşılmıştır.

➤ Bu eğrilerden görüleceği üzere değişen ilave miktarları soğuma eğrileri üzerinde değişikliklere neden olmaktadır.

➤ Eğriler üzerindeki değişimler termal analiz cihazının dahili yazılımına göre işlenerek tane incelik faktörü ve modifikasyon derecelerini vermektedir.



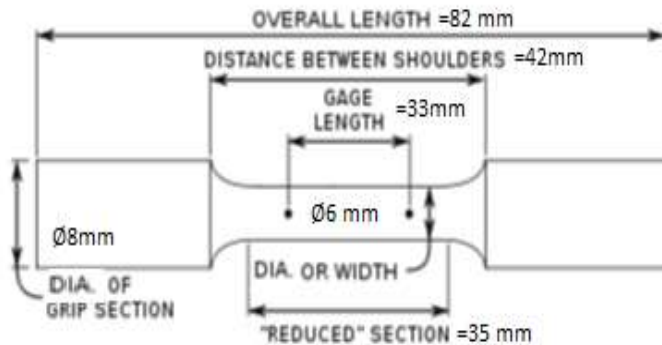


- Tane incelik faktörü ve modifikasyon dereceleri ölçümü sonrasında sıvı alüminyum tezgaha alınmış ve dökümler gerçekleştirilmiştir.
- Dökümler Gima alçak basınçlı döküm makinelerinde 0.6 bar basınç ile 705 °C sıcaklıkta yapılmış ve kalıp tam dolduktan 5 dakika sonra döküm parça kalıptan çıkarılmıştır.





➤ Üretilen motor braket parçasına ait görsel şekilde verilmiştir. Parçanın işlenmemiş ağırlığı 4.5 kg dır.



➤ Şekilde verilen ölçülere göre mekanik testler için çekme çubukları braket parçasının 1, 2 ve 3 numaralı bölgelerinden hazırlanmıştır.



- AUTOGRAPH AG-X çekme cihazıyla yapılan testlerde çekme hızı 1mm/ dakika olarak belirlenmiştir.
- Her bir ilave miktarında elde edilen döküm parçaları için çekme ve akma mukavemetleri ile uzama değerleri elde edilmiştir.





➤ Makroyapı analizleri için dağlama işlemi %50 HCl, %50 HNO₃ karışımı içerisinde 4 dakika süre ile yapılmıştır.



➤ Dağlama işlemi sonrasında farklı ilave miktarlarıyla yapılmış olan dökümlerin makroyapıları karşılaştırılmıştır.

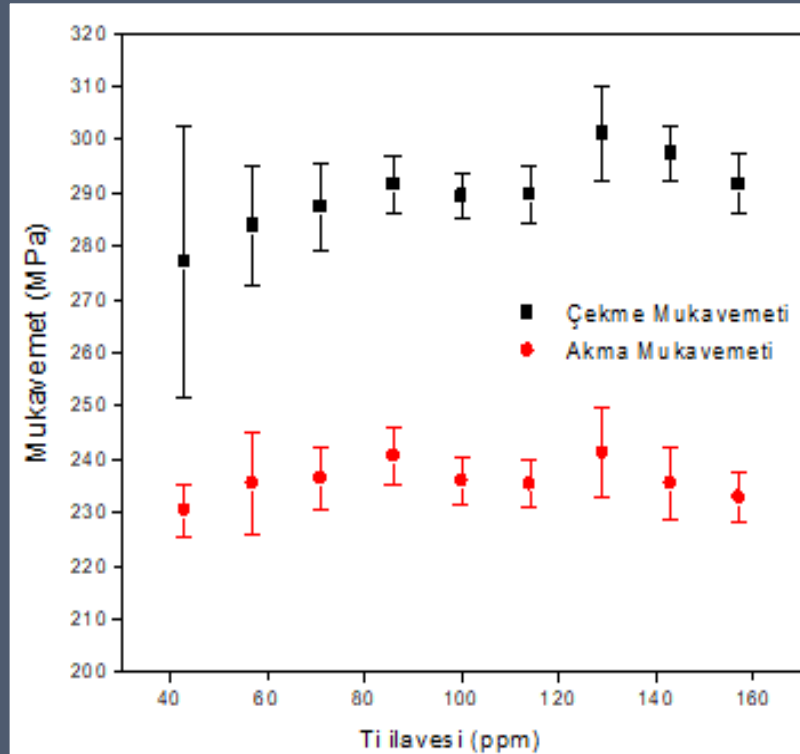




- Denemelere 700 kg Al için 2200 gr AlTi5B1 alaşım ilavesi ile başlanmış ve ilave miktarı sistematik olarak 200'er gr azaltılarak 600gr AlTi5B1 seviyesine kadar düşürülmüştür.
- Her bir ilave miktarı için bu analizler yapılmış, sonuçların doğrulanabilirliği için farklı döküm parçaları ile en az 3 'er kez tekrar edilmiştir.
- Sr ilavesi pek çok parametreden etkilendiği için belirli sayılarda master alaşım ilavesi yerine istenilen değerlere ulaşılacak şekilde ilaveler yapılmıştır.
- Ağırlıkça 0.035 ve 0.055 Sr aralığında modifikasyonun optimum olduğu ilave oranı belirlenip bu bölgede denemeler yoğunlaştırılmıştır.

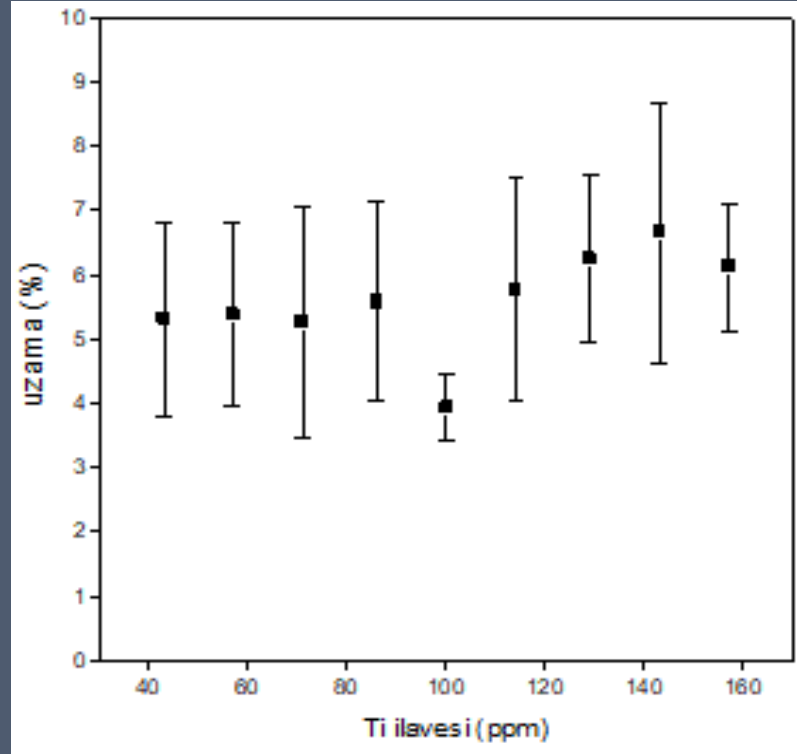


- Al-Ti-B master alaşımı ile farklı oranlarda Ti ilave edilmiş döküm parçaların çekme ve akma mukavemeti değerleri şekilde verilmiştir.
- 140 ppm seviyesine kadar mekanik özelliklerde bir artış trendi gözlenmekte iken yüksek Ti ilave edildiğinde hem akma hem de çekme mukavemet değerlerinde düşme olmaktadır.
- Ti ilavesi arttıkça değerlerdeki düşmenin sebebi TiB_2 çözünmez bileşik partiküllerinin sayısının artmasıdır.
- Buradan da görüleceği gibi sürekli artan Ti ilavesi sürekli bir fayda sağlamaz.



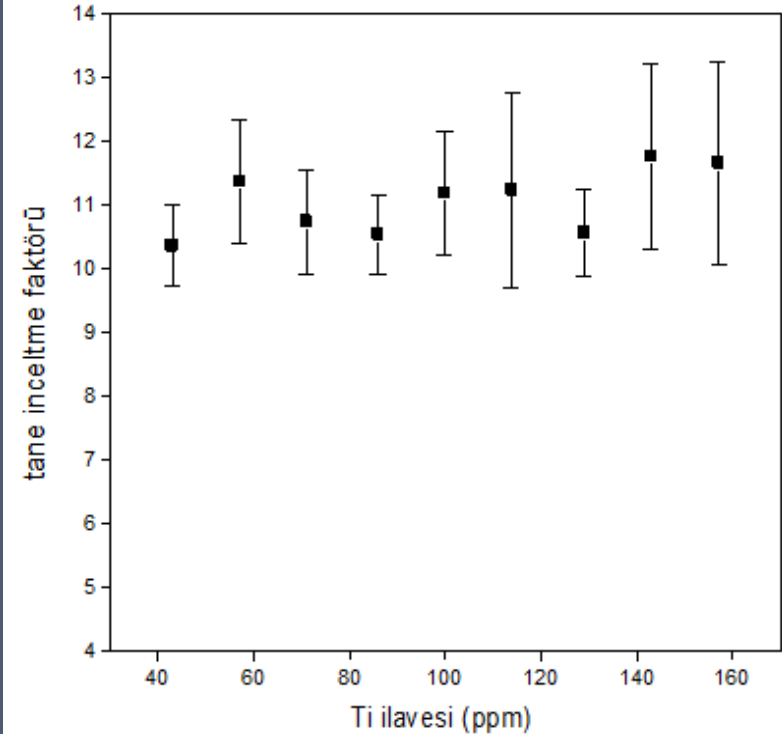


- Ti ilave miktarına bağlı olarak yüzde uzama değerlerinin değişimi de akma ve çekme mukavemetine benzer bir trend göstermektedir.
- 140 ppm Ti seviyesinde en yüksek uzama değerlerine ulaşılmaktadır.



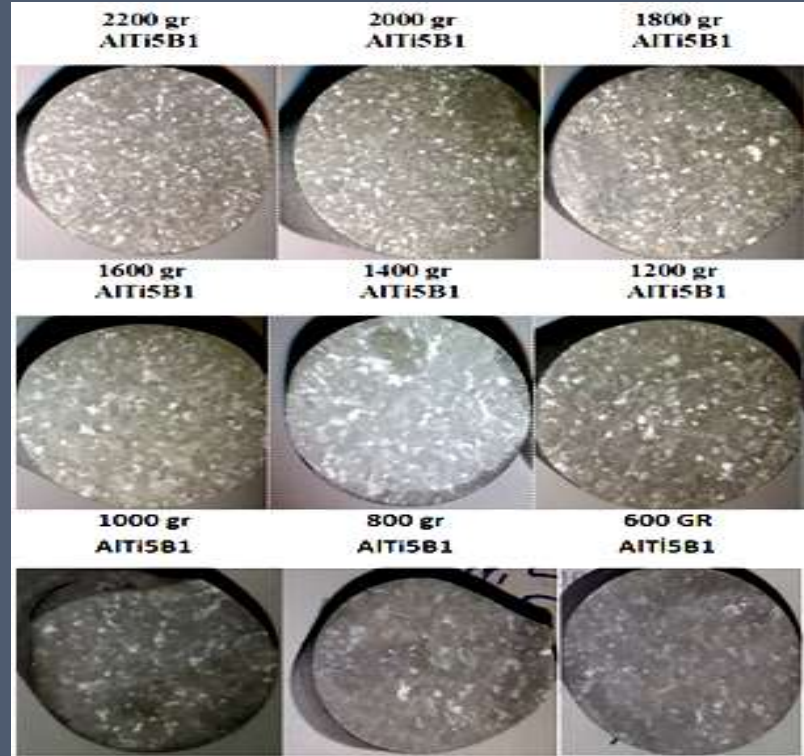


- Şekilde Mk-TA 110 termal analiz cihazından alınan verilere göre tane inceltme faktörü artan Ti ilave miktarı ile birlikte genel olarak artmıştır.
- Çekirdeklendirici sayısı arttıkça, daha yaygın bir heterojen çekirdeklenme yaşanacağından bu beklenen bir sonuçtur.



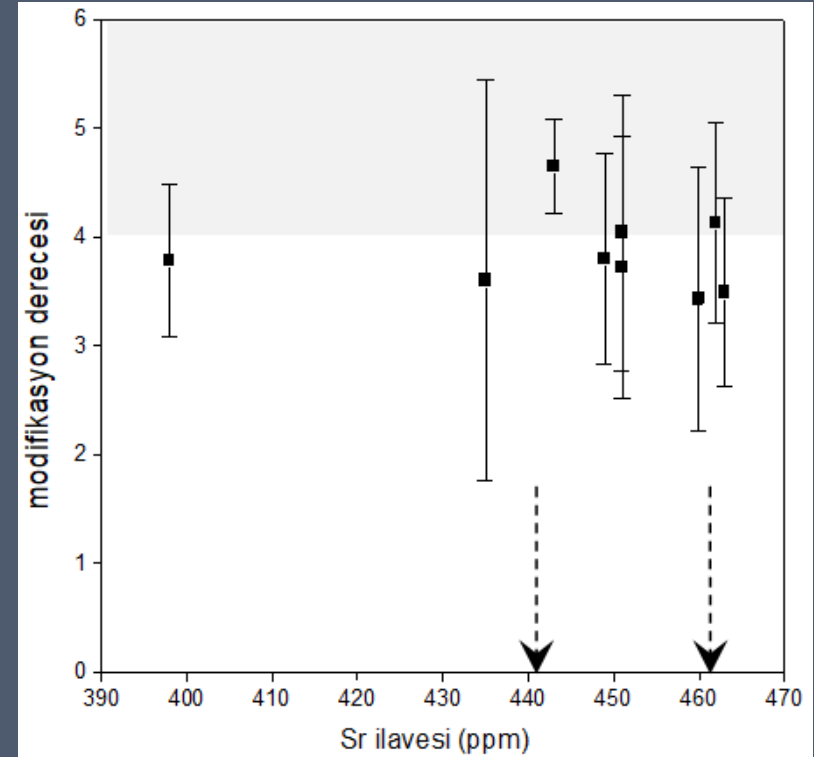


- Farklı AlTi5B1 ilave miktarlarında üretilmiş parçalardan alınan numunelerin kesit tane yapıları şekildeki gibidir.
- Tane çapı küçüldükçe malzemenin mukavemeti artar.
- Şekil incelendiğinde 600 g ilave seviyesinden 2000 g ilave seviyesine kadar tane inceliğinin arttığı, ilave miktarının daha fazla arttırılması ile düşüşe geçtiği görülmektedir.





- Sr ilave miktarlarına bağlı modifikasyon değerleri şekilde verilmiştir.
- Ötektik silis fazının modifikasyonu için modifikasyon derecesi olarak en az 4 hedeflenmiştir.
- Güvenli bir yaklaşımla en az 4 modifikasyon derecesinin istikrarlı şekilde elde edileceği Sr ilave miktarı 440 – 460 ppm aralığındadır.



- Termal analiz yöntemi pratik kullanımı ve tutarlı veriler sunabilmesi ile tane inceltici ve modifiye edicilerin bir arada ilavesinin verimliliğini değerlendirmekte kullanılabilecek etkili bir yöntemdir.
- 40 ppm seviyesinden 140 ppm seviyesine kadar Ti ilavelerinde mekanik özelliklerde bir artış trendi gözlenmektedir. Akma, çekme ve uzama değerlerinin tümünde bu Ti ilave seviyesinde en yüksek değerlere ulaşılmış ve daha yüksek ilave oranlarında düşme yaşanmıştır.
- En az 4 modifikasyon derecesinin istikrarlı şekilde elde edileceği Sr ilave miktarı 440 – 460 ppm aralığındadır.

1. W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P.D. Smet, A. Haszler, A. Vieregge ,Recent development in aluminium alloys for the automotive industry Mater. Sci. Eng. A, 280 (2000), pp. 37–49
2. J.G. Kaufman, E.L. Rooy: Aluminum Alloy Castings; Properties, Processes, and Applications; ASM International, 2004.
3. J.R. Davis: ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys; ASM International, the Materials Information Society: Materials Park, OH, USA, 1994; pp. 1–30.
4. J.E. Hatch, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, Metals Park, Ohio: ASM 1984.
5. A. Cibula: J. Inst. Met., 1949, 76, 321–360.
6. B. S. Murty, S. A. Kori and M. Chakraborty: Int. Mater. Rev., 2002, 47, 3–29.
7. D. G. McCartney: Int. Mater. Rev., 1989, 34, 247–260.
8. W. Kurz and D. J. Fisher: ‘Fundamentals of solidification’; 1989, Zurich, Trans-Tech Publications.
9. D. Qiu, J.A. Taylor, M.X. Zhang, et al. A mechanism for the poisoning effect of silicon on the grain refinement of Al–Si alloys Acta Mater., 55 (4) (2007), pp. 1447–1456
10. P.S. Mohanty, J.E. Gruzleski Grain refinement mechanisms of hypoeutectic Al-Si alloys Acta Mater., 44 (9) (1996), pp. 3749–3760
11. M. Warmuzek, Aluminum-Silicon Casting Alloys Atlas of Microfractographs, 2004 ASM International.
12. S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P.D. Smet, A. Haszler, A. Vieregge ,Recent development in aluminium alloys for the automotive industry Mater. Sci. Eng. A, 280 (2000), pp. 37–49
13. G.K. Sigworth: The modification of Al-Si casting alloys: Important practical and theoretical aspects. International Journal of Metalcasting, 2008, 2, 19-40.
14. A.K. Dahle, K. Nogita, S.D. McDonald, C. Dinnis, L. Lu: Eutectic modification and microstructure development in Al-Si Alloys, Materials Science and Engineering A, 2005, 413-414, 243-248.

15. A. Kósa, Z. Gácsi, J. Dúl: Effects Of Strontium On The Microstructure Of Al-Si Casting Alloys, Materials Science and Engineering, 2012, 37, 43–50.
16. J.E. Gruzleski: The art and science of modification: 25 years of progress, Transactions of the American Foundryman's Society, 1992, 100, 673-683.
17. J.E. Gruzleski, B.E. Closset: The Treatment of Liquid Aluminium – Silicon Alloys. Des Plaines : American Foundrymen's Society, Inc., 1999, 256.
18. M. Timpel, N. Wanderka, R. Schlesiger, J. Banhart, The Role of Strontium in Modifying Al-Si alloys, Acta Materialia, 60, 9 (2012) 3920-3928.
19. S. Hegde, K. Narayan Prabhu: Modification of eutectic silicon in Al–Si alloys, J Mater Sci., 2008, 43,3009–3027.
20. S. Z. Lu and A. Hellawell, Modification of Aluminum Silicon Alloys: Microstructure, Thermal Analysis, and Mechanisms, JOM, 1995, 47, 38-40.
21. COMALCO. Modification of foundry Al-Si alloys. Technical report No. 4, Comalco Aluminum Limited. Brisbane, Australia, 1997.
22. J. Campbell, Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design, 2: 244, (2011)
23. M. B. Djurdjevic, J. H. Sokolowski and H. Jiang, "On-Line Prediction of thenAluminum-Silicon Eutectic Modification Level Using Thermal Analysis",nMaterials Characterization, 2000, v. 45, 31-38.
24. M.B. Djurdjević, Z.Odanović, J.Pavlović-Krstić:Melt Quality Control At Aluminum Casting Plants , Association of Metallurgical Engineers of Serbia,2010
25. W. D. Callister, D. G. Rethwisch, "Materials Science and Engineering", 8th ed., Wiley-Blackwell, 2014, pp 212-213.
26. G. K. Sigworth: "Determining Grain Size and Eutectic Modification in Aluminum Alloy Castings," Modern Casting, Vol. 77, pp. 23-25, 1987.

Dinlediğiniz İçin Teşekkür Ederim.