

A356 Döküm Alaşımında Elektromanyetik Karıştırmanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect of Electromagnetic Stirring on the Microstructural and Mechanical Properties of A356 Casting Alloy

Murat ÇOLAK* ve Ramazan KAYIKCI

Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 54187, Sakarya

Geliş Tarihi/Received : 31.07.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 27.08.2009

ÖZET

Alüminyum döküm alaşımları, yüksek mukavemet, yüksek korozyon dayanımı, yüksek termal iletkenlik ve düşük yoğunluk gibi üstün özelliklerinden dolayı başta otomotiv olmak üzere birçok endüstriyel alanlarda yaygınca kullanılmaktadır. Ancak gelişen teknolojiyle birlikte alüminyum dökümlerinin kalitesinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyum dökümlerinin kalitesinin artırılmasına yönelik yeni proses arayışları, son yıllarda yarı katı şekillendirme tekniği gibi üstün mukavemet özellikleri ve düşük maliyet ile ön plana çıkan yeni proseslerin araştırılmasına yol açmıştır. Yarı katı şekillendirme prosesi, çoğunlukla yüksek miktarda Al-Si ötektik fazı içerdikleri için çok iyi akışkanlık ve dökülebilirliğe sahip olan A356 gibi döküm alaşımlarına uygulanır. Bu proseste primer alfa fazının morfolojisi ve tiksotropik özellikteki malzeme üretimi önemli rol oynamaktadır. Tiksotropik özelliğe sahip malzeme üretmek yani katılaşma sırasında dentritik yapının bozulmasını sağlamak için birçok yöntem vardır ve bu yöntemler arasında en etkili elektromanyetik karıştırma tekniğidir. Yapılan bu çalışmada hazırlanan deneysel amaçlı elektromanyetik karıştırma düzeneğiyle A356 döküm alaşımına katılaşma esnasında uygulanan farklı şiddetlerdeki karıştırmanın mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Uygulanan elektromanyetik karıştırma ile dentrit kollarının kırılması ve bu prosesin malzeme özelliklerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : A356 alüminyum alaşımları, Elektromanyetik karıştırma, Yarı-Katı şekillendirme.

ABSTRACT

Aluminium casting alloys, having high strength, high corrosion resistance, high thermal conductivity and low density, are widely used in automotive and many other industrial areas. However, to meet new demands from the industry for superior properties the conventional cast aluminium alloys still need further improvements. In recent years, the desire of new processes to improve the properties of aluminium casting alloys resulted in new researches into high performance and low cost processes such as semi solid forming. Semi-solid forming processes are widely used for Al-Si casting alloys having large eutectic proportions, high fluidity and good castability such as the A356 alloy. In this process the morphology of the primary alpha phase and the formation of thixotropic material structure play an important role. There are several techniques for producing thixotropic materials through degenerating the dendrites and the most effective of them is electromagnetic stirring. In this study, the effect of electromagnetic stirring on the microstructural and mechanical properties during solidification of A356 alloy which has been produced with electromagnetic stirring has been investigated.

Keywords : A356 Aluminium alloys, Electromagnetic stirring, Semi-solid forming.

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : mcolak@sakarya.edu.tr (M. Çolak)

1. GİRİŞ

Alüminyum endüstrisindeki hızlı büyüme bu metalin eşsiz özellik kombinasyonlarından kaynaklanmaktadır ve bu özellikler alüminyum çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır. Alüminyumun en belirgin özelliği yoğunlukça hafif olması ve alaşımlarının yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasıdır. A356 alaşımı ise genel olarak yüksek uzama değerleri, iyi işlenebilirlik, yüksek gerilme değerlerine sahip, sünek bir malzemedir. Yüksek gerilme değerlerine ihtiyaç duyulan yapısal parçalarda, uçak sanayisinde ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Sigworth ve Kuhn, 2007).

Otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufunun ve çevreye olumsuz etkilerinin azaltılmasının geliştirilmesi için alüminyum gibi hafif alaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır ve otomotiv sanayinde birçok parçanın üretiminde malzeme seçeneği olarak alüminyuma duyulan ilgi ile birlikte kalite beklentileri de artmakta, maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. Otomotiv üretiminde daha hafif parça ve daha yüksek performans talepleri doğrultusunda alüminyum alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Biolol v.d., 2006; Chiarmetta, 1996). Son yıllarda gelişmekte olan yarı katı şekillendirme prosesleri üstün kalite, düşük maliyet vaat eden, kısa ve nitelikli üretim prosesleri seçeneklerinden biri olarak otomotiv sanayicilerinin taleplerini karşılayabilecek yeni tekniklerin başında gelmektedir. Yarı katı metal şekillendirme yöntemi ilk olarak 1970'li yıllarda Flemings ve arkadaşları tarafından keşfedilen ve üzerinde çalışmaya başlanılan bir tekniktir (Spencer v.d., 1972). Geleneksel plastik şekil verme ve döküm teknolojilerinin avantajlarını bir arada sunan bu yöntem alüminyum alaşımlı parçaların üstün özelliklerde, daha kısa proseslerle, son şekle üretilebileceği en uygun yöntemdir (Biolol v.d., 2006). Yarı katı şekillendirme yöntemi, basınçlı döküm yöntemi ile kıyaslandığında yarı katı prosesleri ile daha düşük işlem sıcaklıkları, daha kısa katılma süreleri ve daha kısa üretim döngüleri sağlanmaktadır (Biolol, 2006). Yarı katı şekillendirme prosesinin düşük sıcaklık altında şekillendirmeye bağlı olarak % 35'e varan enerji tasarrufu, gözeneklilik ve çekinti hatalarının minimize edilerek kalitesinin geliştirilmesi gibi avantajlara sahiptir (Flemings, 1990).

Yarı katı şekillendirme çoğunlukla, yüksek miktarda Al-Si ötektik fazı içerdikleri için çok iyi

akışkanlık ve dökülebilirliğe sahip olan A356 gibi döküm alaşımlarına uygulanır (Biolol, 2006). Yarı katı işlemde primer fazın morfolojisi yarı katı prosesin kalite kontrolünde çok önemli rol oynamaktadır (Bae v.d., 2007; Kang v.d., 2007) ve bu proses için tiksotropik özellikteki malzeme üretimi önem kazanmaktadır.

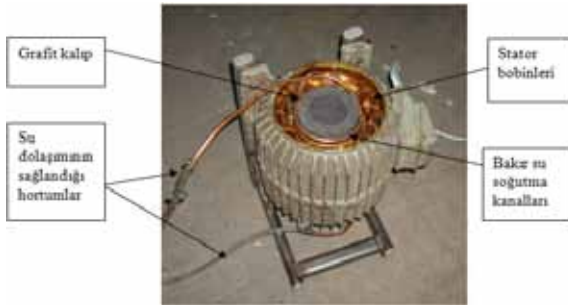
Alaşımların ilk katılma esnasında oluşan dendritik örgünün kırılmasının döküm mikroyapısına ve özelliklerine olumlu etkileri vardır (Kirkwood, 1994). Yarı katı şekillendirme prosesi ile şekillendirilecek parçanın mikroyapısı, tekrar ısıtıldığında sıvı matris içinde dağılmış küresel primer katı fazdan oluşacak şekilde hazırlanmalı, düşük ergime noktalı fazın eriyerek tane sınırlarına dağılması sağlanmalıdır (Biolol v.d., 2006).

Son yıllarda Al-Si alaşımlarında tiksotropik yapı elde edilmesinde ilk üretim yöntemi olarak birçok teknik kullanılmaktadır. Sıvı malzemenin katılma esnasında dendrit kolları kırılmış malzeme üretmek için uygulanan başlıca yöntemler mekanik karıştırma (Brabazon v.d., 2002), magnetohidrodinamik karıştırma (Kenney v.d., 1998) ve termomekanik proses, soğutma plakasında döküm pratikleridir (Haga ve Kapranos, 2002). Bu teknikleri incelediğimizde bütün yöntemlerde de dendritik yapının bozunduğu ve buna bağlı olarak malzeme özelliklerinin olumlu yönde geliştiği bilinmektedir, fakat bu yöntemlerin arasında elektromanyetik karıştırma tiksotropik yapı elde edilmesi için en etkili yöntem olarak göze çarpmaktadır. Diğer taraftan bu alaşımların mekanik özellikleri ötektik Si parçacıklarının morfolojisine bağlıdır (Hafız ve Kabayashi, 1994; Jung v.d., 2001; Tahamtan v.d., 2009).

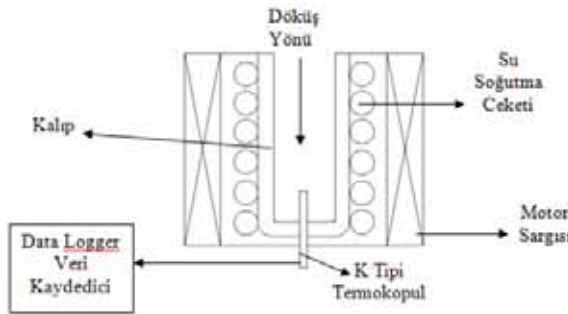
Bu çalışmada A356 döküm alaşımı kullanılarak elektromanyetik karıştırma ile tiksotropik malzeme üretimi amaçlanmıştır. Çalışmada A356 geniş bir Al-Si ötektiği ve katılma aralığına ve yüksek akışkanlığa sahip olması nedeni ile kullanılmıştır. A356 alaşımı elektrik direnç ocağında ergitildikten sonra, eriyik haldeki alaşım elektromanyetik alan içinde katılaştırılarak dendrit kolları kırılmaya ve böylece tiksotropik yapı elde edilmeye çalışılmıştır. Alaşımın katılma esnasında uygulanan elektromanyetik karıştırma şiddeti değiştirilerek dökümler yapılmış ve karıştırma şiddetinin dendrit kollarının kırılmasındaki etkileri incelenmiştir. Dendrit kollarının kırılmasıyla oluşan mikroyapı incelenmiş ve karıştırma altında katılmış malzemenin mekanik özellikleri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada sıvı metalin kalıpta katılaşması esnasında oluşan dentrit ve dendrit kollarının kırılarak düzgün şekilli yani küresele yakın taneler oluşturulabilmesi için elektromanyetik karıştırma uygulanmıştır. Elektromanyetik karıştırma uygulaması için 11 kw / 3 faz / Δ 380 V / 50 Hz / 1450 devir /dakika özelliklerinde bir alternatif akım elektrik motoru kullanılmıştır. Şekil 1'de elektromanyetik karıştırma için hazırlanan motor düzeneği ve Şekil 2'de kalıp düzeneğinin şematik resimleri görülmektedir.



Şekil 1. Elektromanyetik karıştırıcı olarak kullanılan motor düzeneği.



Şekil 2. Kalıp düzeneğinin ve döküş yönünün şematik görünümü.

Bu motorun dönen rotor kısmı çıkarılmış ve bu boşluğa sıvı metalin katılaşması esnasında elektromanyetik etkinin hissedileceği kalıp düzeneği yerleştirilmiştir. Rotor boşluğuna yerleşecek şekilde grafitten kalıp olarak yapılmış malzeme ve onu sıkıca saran içerisinden su geçirilen soğutma ceketini olarak bakır bobin kullanılmıştır. Kullanılan grafit kalıp, elektrik ark ocaklarından çıkan hurda grafit elektrotlarının rotor boşluğunda su soğutma ceketinin içerisine yerleşecek ölçülere göre işlenmesiyle elde edilmiştir. Rotor boşluğunda kalıp etrafını sıkıca saran su soğutma ceketini; homojen bir şekilde katılaşmanın sağlanması, katılaşma hızının kontrol edilmesi ve motorun bobinlerinin çok fazla ısınmasını önlemek amacıyla konulmuştur.

Bu çalışmada geniş bir katılaşma aralığına ve yüksek akışkanlığa sahip A356 döküm alaşımı kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan A356 alaşımının spektrometre ile yapılan kimyasal analizi görülmektedir.

Tablo 1. A356 alaşımının kimyasal analizi (% ağı.).

Al	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Ti
91.990	7.13	0.389	0.023	0.145	0.002	0.114

A356 alaşımı silisyum karbür esaslı bir pota içinde elektrik direnç fırınında ergitilmiştir. Sıvı metalin sıcaklığı 750 °C'ye geldiğinde sıvı metal içerisindeki gazı temizlemek amacıyla alaşım sıvı azotla yıkanmıştır. Sıvı azotla gazı alınan alaşımın sıcaklığı 720 °C'ye geldiğinde hazırlanan eriyiğe ağırlıkça % 0,02 Ti sağlayacak şekilde Al-5Ti-1B tane inceltici ve silis fazını modifiye etmek için ağırlıkça % 0,02 Sr sağlayacak şekilde Al-10Sr mastır alaşımını ilave edilmiştir. Döküme hazır hale gelen sıvı metal sıcaklığı 700 °C'ye geldikten sonra su ceketini içine yerleştirilen grafit kalıba dökülmüş ve elektromanyetik karıştırma altında katılaştırılmaya bırakılmıştır. Elektromanyetik karıştırma kalıp içerisindeki sıvı metalin sıcaklığının 615 °C'ye gelmesiyle başlamaktadır. Grafit kalıp içerisine sıvı metal dökülmeden önce kalıbın nemini almak ve sıvı metalin dengesiz bir şekilde katılaşmasını önlemek için yaklaşık 200 °C civarına ısıtılmıştır. Şekil 3'de döküm sonrası elektromanyetik karıştırma düzeneğinde kalıp içerisinde katılaşmış bir numune görülmektedir. Elektromanyetik karıştırma altında katılaştırılan döküm numunesinin kalıptan çıkmış fotoğrafı ise Şekil 4'de görülmektedir.

Elektromanyetik karıştırma şiddeti inverter tip bir dijital hız kontrol sürücüsü yardımıyla motorun frekansı ayarlanmak suretiyle 600 devir/dakika ile 3000 devir/dakika arasında çeşitli değerlerde uygulanmıştır. Motorun dönme devrinin artmasıyla orantılı olarak oluşan elektromanyetik karıştırma şiddeti de artmaktadır. Bu yüzden karıştırma şiddeti motorun dönme devrinin değiştirilmesiyle kontrol edilmektedir. Belirtilen değerler sıvı metalin kalıp içerisinde dönme hızını göstermemektedir. Döküme hazırlanan sıvı metal motor içindeki grafit kalıba dökülmüş ve katılaşma esnasında 600, 1200, 1800, 2400 ve 3000 devir/dakika gibi farklı karıştırma şiddetlerine maruz bırakılmıştır. Etkilerin karşılaştırılması için hiç karıştırma yapılmadan ayrıca grafit kalıba boşta döküm yapılmıştır.



Şekil 7. Çekme testi sonrası kopan numune.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

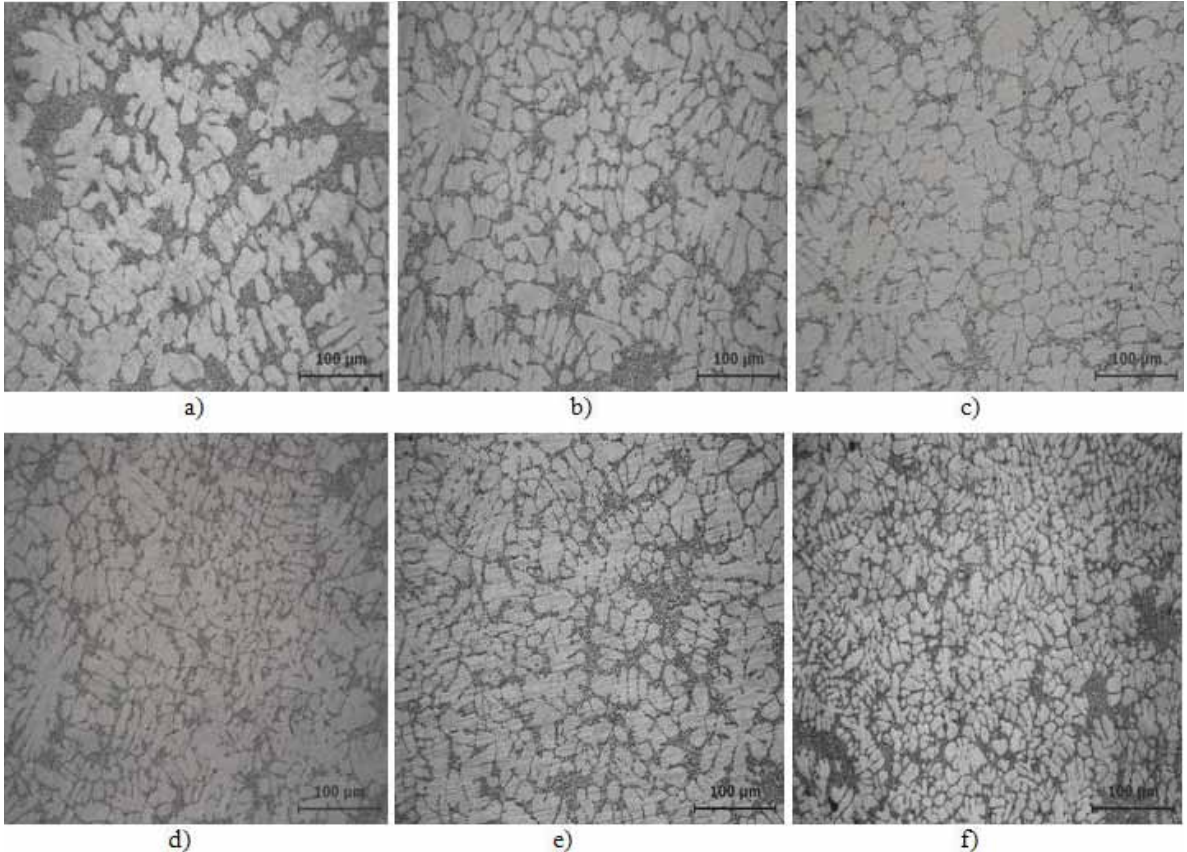
3. 1. Elektromanyetik Karıştırmanın Mikroyapı Üzerine Etkisi

A356 alaşımının elektromanyetik karıştırma olmadan grafit kalıp içerisine yapılan normal döküm mikroyapısı Şekil 8a'da verilmiştir. Farklı karıştırma şiddetleri altında katılaştırılmış A356

alaşımlarından alınan mikroyapı görüntüleri ise Şekil 8b, c, d, e ve f'de gösterilmiştir.

Mikroyapı resimlerinden de görüldüğü gibi elektromanyetik karıştırma A356 alaşımında dentritik yapının büyük ölçüde dejenere olmasını, dentrit kollarının kırılmasını ve nispeten daha eş eksenli morfolojilerdeki yani küresele yakın α -Al tanecikleri şeklinde katılaşmasını sağlamıştır. İnverter yardımıyla karıştırma şiddeti arttırıldıkça α -Al tanelerinin giderek eş eksenli morfoloji kazandıkları ve şiddetin artmasıyla birlikte dentrit kollarının sadece kırılmakla kalmayıp, karıştırmanın etkisiyle bunları iyice dağıttığı görülmüştür. Daha düşük karıştırma şiddetlerinde ise dentrit kolları yine kırılmış fakat kırılan dentrit kollarının birbirinden uzaklaşmadıkları görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda, çekilen mikroyapı fotoğraflarından da görüleceği gibi elektromanyetik karıştırma etkisiyle katılaştırılan döküm parçada taneler daha küçüktür ve katılaşma esnasında oluşan dentrit kolları kırılmıştır. Elektromanyetik karıştırma şiddetinin artmasıyla oluşan dentrit kollarının daha fazla kırıldığı ve bununla da kalmayıp kırılan dentrit kollarını dağıttığı görülmüştür. Ayrıca kırılmış küçük dentrit kollarının sıvı metalin çekirdeklenmesi için yeni birer merkez oluşturduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. A 356 döküm alaşımının farklı karıştırma şiddetlerinde döküm yapısı, a) Karıştırmasız, b) 600 dev/dk, c) 1200 dev/dk, d) 1800 dev/dk, e) 2400 dev/dk, f) 3000 dev/dk.

Böylece malzememizde sayı olarak daha fazla oluşan taneler dentiritik bir yapıdan daha homojen eşeksenli yapıya dönüşmektedir. Daha küçük taneli yapıda daha fazla tane sınırı, yani dislokasyon hareketlerine daha fazla engel anlamına geleceğinden malzememizin mukavemetinde artış beklenir. Bu konuyla ilgili yapılan diğer çalışmalara bakıldığında da buna paralel sonuçlar görmek mümkündür. Bu çalışmada kullanılan benzer bir düzenele, giriş akımının ayarlanmasıyla karıştırma şiddetinin değiştirildiği C.G. Kang ve arkadaşlarının çalışmasında ve varyak yardımıyla sistemin geriliminin ayarlanmasıyla karıştırma şiddetini değişmesini sağlayan Y.Birol ve arkadaşlarının çalışmasında da elektromanyetik karıştırma şiddeti Al alaşımlarının katılaşmasında oluşan dentiritik yapının bozulmasına neden olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca elektromanyetik karıştırma ile katılaştırılmış parçada katılaşma esnasında oluşan dentrit kollarının kırılıp daha fazla büyümesine engel olduğundan dentritler arası gözenek oluşumu normal döküme oranla nispeten daha az rastlanmıştır. Karıştırılmadan dolayı döküm parçada kenar ile merkez arasındaki sıcaklık gradyanı daha az olacağından oluşan taneler uzun çubuksu şekilde değil daha eş eksenli şekilde meydana gelecektir.

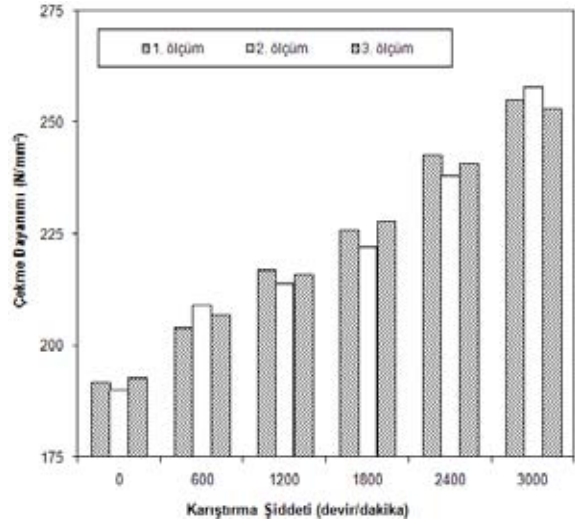
3. 2. Elektromanyetik Karıştırmanın Çekme Dayanımına Etkisi

Farklı elektromanyetik karıştırma şiddetlerinde yapılan dökümlerden elde edilen numunelerden çekme test çubuğu hazırlanmış ve bunlara uygulanan çekme testi sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi karıştırma şiddetinin artmasıyla çekme dayanımı değerlerinde doğru orantılı olarak artma gözlenmiştir. Karıştırma olmaksızın yapılan döküm numunelerinde ortalama 192 MPa gibi çekme dayanımı ölçülürken bu değer 3000 devir/dakika karıştırma şiddetinde 258 MPa değerlerine kadar çıkmaktadır.

Elektromanyetik karıştırma etkisinin katılaşma esnasında uygulanmasıyla malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelediğimizde ise ısıtma işlemi uygulanmış döküm numunesinin çekme dayanımında karıştırma şiddetinin artmasıyla beraber artış gözlenmiştir.

S.Tahamtan ve arkadaşlarının tiksotropik

özelliğindeki A 356 alaşımının mekanik özellikleri üzerine yaptığı çalışmaya baktığımızda malzemenin çekme dayanımı değerlerinin 230 MPa civarında olduğu görülmektedir. Yine buna benzer çalışmaları incelediğimizde sonuçların bu değerler aralığında olduğunu görmek mümkündür.



Şekil 9. Karıştırma şiddetinin çekme dayanımına etkisi.

4. SONUÇLAR

A356 alaşımının katılaşması esnasında uygulanan elektromanyetik karıştırmanın etkisinin araştırıldığı, farklı karıştırma şiddetlerinde ve karıştırma olmaksızın normal olarak grafit kalıpta katılaşdırılan döküm parçayla karşılaştırma yapılan bu çalışmada, elektromanyetik karıştırmanın malzemenin özelliklerine olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

Karıştırma olmadan katılaşdırılan numunenin çekme dayanımı değeri 192 MPa iken karıştırma şiddetinin artmasıyla bu değer maksimum 3000 dev/dk karıştırmada 258 MPa değerlerine ulaşmıştır.

KAYNAKLAR

- Bae, J.W., Kim, T.W., Kang, C.G. 2007. "Experimental investigation for rheology process of al-7 % si aluminum alloy with electromagnetic system", *J. Mater. Process. Technol.* (191), 165-169.
- Biol, Y. 2006. "AA6061 alaşımında tiksotropik yapı elde edilmesi", 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul. s. 1752-1759.
- Biol, Y., Çakır, O., Alageyik, F. 2006. "Elektromanyetik karıştırma ile tiksotropik alüminyum biyet üretimi", 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul. s. 1704-1712.
- Brabazon, D., Browne D.J., Carr, A.J. 2002. "Mechanical stir casting of aluminium alloys from the mushy state : Process, Microstructure and Mechanical properties", *Materials Science and Engineering A*, 326. Page: 370-381.
- Chiarmetta, G. 1996. "Thixoforming of automobile components", in: *Proceedings of the Fourth International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*. Page: 204-207.
- Flemings, M.C. 1990. "Behaviour of Metal alloys in semisolid state", in: *ASM International Edward Campbell Memorial Lecture*.
- Hafız, M.F., Kobayashi, T. 1994. "The contribution of microstructure to the fracture toughness of hypoeutectic Al-Si casting alloy", in: *Proceedings of the Forth international Conference on Aluminium Alloys*. Page: 107-114.
- Haga T., Kapranos, P. 2002. "Billetless simple thixoforming process", *Journal of Materials Processing Technology*. (130-131), 581-586.
- Jung, B.I., Jung, C.H., Han, T.K., Kim, Y.H. 2001. "Electromagnetic stirring and sr modification in A356 alloy", *J. Mater. Process. Technol.* (111), 69-73.
- Kang, C.G., Bae J.W., Kim, B.M. 2007. The grain size control of a356 aluminum alloy by horizontal electromagnetic stirring for rheology forging, *J. Mater. Process. Technol.* Vol. (187-188), 344-348.
- Kenney, M.P., Courtios, J.A., Evans, R.D., Farrior, G.M., Kyonka, C.P., Koch, A.A., Young, K.P. 1998. "Semi solid Metal casting and forging", *New and Emerging Processes, Metals Handbook, Ninth Edition*. (15), 327-338.
- Kirkwood, D.H. 1994. "Semisolid metal processing", *International Materials Reviews*. 39 (5), 173-189.
- Sigworth, G. K., Kuhn, T. A. 2007. "Refinement of aluminium casting alloys", *AFS Transactions*, Vol. (115), 1-12.
- Spencer, D.B., Mehrabian, R., Flemings, M.C. 1972 *Metall. Mater. Trans A* 3. pp. 1925-1932.
- Tahamtan, S., Fadavi Boostani A., Nazemi, H. 2009. "Mechanical properties and fracture behavior of thixoformed, rheocast and gravity-cast A356 alloy", *Journal of Alloys and Compounds* 468. Page: 107-114.