

## Düşük Magnezyumlu 5xxx Serisi Alaşımlarda Manganın Termomekanik Proseslere Ve Nihai Ürüne Etkisi

Mustafa Akçil<sup>1\*</sup> ve Eren Toraman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm / Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

\*(makcil@subu.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

(Geliş Tarihi: 13 Haziran 2024, Kabul Tarihi: 25 Haziran 2024)

(3rd International Conference on Frontiers in Academic Research ICFAR 2024, June 15-16, 2024)

**ATIF/REFERENCE:** Akçil, M. & Toraman, E. (2024). Düşük Magnezyumlu 5xxx Serisi Alaşımlarda Manganın Termomekanik Proseslere Ve Nihai Ürüne Etkisi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(5), 11-17.

**Özet** – Temel alaşım elementi magnezyum olan 5XXX serisi alaşımlar mükemmel korozyon dayanımı, tokluk, kaynaklanabilirlik ve orta seviye mukavemet değerlerine sahiptir. Bu özelliklerinden yola çıkılarak bina ve yapısal uygulamalarda, otomotiv uygulamalarında, kriyojenik ve deniz atmosferine maruz kalan uygulamalarda da kullanım alanı bulabilmektedir. Genellikle çekme mukavemetleri 125-350 MPa arasındadır. 5XXX serisi alaşımlar deformasyon ile sertleştirilebilirler ve genel olarak kaynaklanabilirlik özellikleri iyidir. 5052, 5086 ve 5083 alaşımları daha yüksek magnezyum içeriğinden dolayı yüksek mukavemet gerektiren yapısal uygulamalarda özellikle tercih edilen alaşımlardır. İkiz merdaneli döküm ile üretilen alüminyum rulolar, haddeleme ve ısı işlem süreçlerinden geçirilerek yarı mamul hale getirilir. Bu yarı mamüller, ilgili kullanım alanlarına göre farklı proseslerden geçirilerek nihai ürün elde edilir. İkiz merdaneli döküm ile üretilen Alüminyum alaşımların şekillendirilebilirlik özellikleri esaslı gerçekleştirilmiş olan bu çalışma da, alaşım elementlerinin etkileri ve termo-mekanik prosesler incelenmiştir. Döküm ile birlikte oluşan mikro ve makro yapısal özellikleri ve daha sonra uygulanan tav ve haddeleme işlemleri, levhaların şekillendirilebilirliğine direk olarak etki etmektedir. Bu çalışmada, ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilmiş 5XXX serisi Alüminyum levha numuneleri içerisinde farklı Mn oranlarına sahip 2 adet malzeme seçilmiştir. EN standartı referans alınarak alt ve üst limitlerde farklı Mangan oranlarının nihai malzemenin temel olarak şekillendirilebilirlik ve mukavemet özelliklerine etkisi alternatif proses çalışmaları ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Alüminyum, Magnezyum, Alaşım, Döküm, Mekanik

### I. GİRİŞ

Alüminyum gerek işlenebilirliği gerek ise korozyon dayanımı sayesinde endüstride sıkça kullanılan ve gün geçtikçe daha da çok kullanılmaya devam eden bir metaldir. Tüketim konusunda demir – çelik sektörü ile karşılaştırılabilecek duruma gelmiştir. Hafif metal sınıfında olan alüminyum, yumuşak ve demirden 3 kat daha hafif olmasıyla beraber mukavemeti ağırlığına oranla daha yüksek, elektrik ve ısı iletkenliği oldukça yüksektir. Kolay işlenebilir, korozyona dayanıklıdır, soğuk ve sıcak şekillendirilebilir ve bununla beraber talaşlı ve talaşsız imalatla da üretilebilir. Çalışmada kullanılan alüminyum levhaların üretildiği ikiz merdaneli döküm yöntemi teknolojisi direkt olarak sıvı metalin yaklaşık olarak düzgün ve iyi profilli 2 – 10 mm kalınlığında alüminyum levha üretilmesini sağlar. Bu yöntemde kullanılan alaşımlar dar katılaşma

aralığına sahip olmalıdırlar. İnce döküm yöntemi çok yeni bir teknoloji olduğundan üretimde sürekli sorunlar oluşabilmektedir. İkiz merdaneli döküm yöntemiyle üretilen başarılı bir proses ürünüde amaç; düşük maliyet, üstün mekanik ve fiziksel özelliklerdir [1].

Alüminyum alaşımları, Döküm ve Dövme alaşımları olmak üzere 2 ana grupta sınıflandırılabilir. Alüminyum alaşımları içerdikleri element ve mikro yapıda sahip oldukları faz bileşenlerine bağlı olarak, uygulanan ısı işlemlerle farklı özellikler verebilmektedir. Özellikle döküm alüminyum alaşımlarında çözeltiye alma işlemi ve sonrasında su verme ve yaşlandırma prosesleri ile malzemeye sertlik kazandırılabilir. Dövme alaşımları ise, çeşitli tav prosesleri ile birlikte yürütülen mekanik deformasyon yöntemleri ile sertleştirilir. Isıl işlem ile sertleşmeyen alüminyum döküm alaşımları sahip oldukları, mekanik özellikleri ilk döküm halinde ve sahip oldukları alaşım elementlerinin dizaynına göre kazanabilmektedirler [2].

Temel alaşım elementi magnezyum olan 5XXX serisi alaşımlar mükemmel korozyon dayanımı, tokluk, kaynaklanabilirlik ve orta seviye mukavemet değerlerine sahiptir. Bu özelliklerinden yola çıkılarak bina ve yapısal uygulamalarda, otomotiv uygulamalarında, kriyojenik ve deniz atmosferine maruz kalan uygulamalarda da kullanım alanı bulabilmektedir. Bu seride öne çıkan alaşımlar 5005,5052,5083,5754, 5182 gibi alaşımlardır. Genellikle çekme mukavemetleri 125-350 MPa arasındadır. 5XXX serisi alaşımlar deformasyon ile sertleştirilebilirler ve genel olarak kaynaklanabilirlik özellikleri iyidir. Başlıca kullanım alanları arasında yapı ve bina uygulamaları, otoyol yapıları, köprüler, depolama tankları, basınç kapları, kriyojenik tanklar gibi uygulamalar bulunmaktadır.5052, 5086 ve 5083 alaşımları daha yüksek magnezyum içeriğinden dolayı yüksek mukavemet gerektiren yapısal uygulamalarda özellikle tercih edilen alaşımlardır. 5182 alaşımı özellikle içecek kutularında, 5754 alaşımı ise otomotiv gövde panellerinde yüksek kullanım alanlarına sahiptirler. [3-5].

Mangan elementi temel olarak alüminyum alaşımlarında mukavemet artırıcı etkisi ve yeniden kristallenmeyi geciktirici etkilerinden dolayı kullanılmaktadır. Alaşımdaki mukavemet artırıcı katkı ya katı çözelti sertleştirilmesi ile ya da yapıda oluşturduğu ince disperse olmuş çökelti yardımıyla gerçekleşmektedir. Mangan elementinin alaşımın korozyon özelliklerini etkileyici bir yönü bulunmamaktadır. Bununla birlikte alüminyum içerisinde sınırlı çözünürlüğü vardır ancak hızlı soğuma koşullarına sahip döküm yöntemleriyle üretilen ürünlerde mangan elementi çözelti içerisinde kalıp mukavemet katkısı sağlamaktadır. Bu nedenle, büyük ingotlarda dahi eklenen manganezin çoğu önemli bir oranda çözeltide kalır. Ek olarak, mangan malzemenin mukavemetini arttırmak ve tane yapısını kontrol etmek amaçlı kullanılmaktadır. Mangan elementinin en önemli etkilerinden biri rekristalizasyon sıcaklığını artırması ve uygulanan ısı işlem sonrasında tane yapısı değişmeyecek hadde tekstürünün korunması sağlanır. Mikroyapıda oluşturduğu çökelti formuyla rekristalizasyon sonucu oluşan yeni tane oluşumunun büyümesini engelleyici rolü bulunmaktadır. Mikroyapıda form almış olan demir esaslı intermetaliklerin stokiometrisini değiştirerek malzemenin sahip olduğu gevrekliği azaltıcı etkide bulunmaktadır [3,5,6]. Alüminyum alaşımlarındaki %0.5'in üzerindeki Mn eklentisi malzemenin sünekliğinde olumsuz bir etkiye sebebiyet vermezken akma ve çekme mukavemetini arttırmaktadır. Mn eklemek malzemenin mukavemetini arttırdığı gibi düşük çevrimli yorulma dayanımını da artırır. Bununla birlikte, malzemenin korozyon dayanımının geliştirilmesinde de etkisi bulunmaktadır [4,6,7].

Magnezyum (Mg) 5XXX serisi alaşımların temel alaşım elementidir. Magnezyumun alüminyum içerisindeki maksimum katı çözünürlüğü %17.4 fakat magnezyum içeriği mevcut işlem alaşımlarında %5.5'i aşmamaktadır. Alüminyum ısı işlem alaşımlarında %7-10 oranında Mg bulunurken, döküm alaşımlarında %4-10 oranındamagnezyumbulunmaktadır. Magnezyum tercihli olarak tane sınırlarında çok yüksek anodik bir faz olan Mg<sub>5</sub>Al<sub>3</sub> ya da Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub> olarak çökeler. Bu durum da taneler arası çatlağa ve stres korozyonuna hassasiyete sebebiyet verir. %5'e kadar Mg içeren ve uygun bir şekilde üretilen işlem alaşımları normal kullanım koşullarında stabildir. Magnezyum eklentisi gözle görülür bir biçimde alüminyumun mukavemetini arttırırken sünekliğinde bir düşüşe sebebiyet vermez. Korozyon

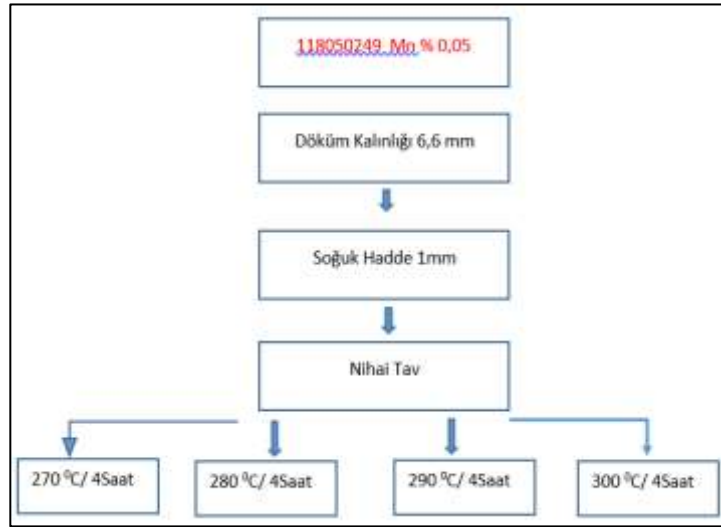
dayanımı ve kaynaklanabilirliği iyi olarak nitelendirilir. Silisyum ile birlikte sertleştirici bir faz olan Mg<sub>2</sub>Si fazını oluştururlar ve malzemeye mukavemet kazandırır [8,9].

Alüminyum levha ve folyo yassı mamül üretiminde, ikiz merdane sürekli döküm yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. İkiz merdaneli döküm yönteminin iyi yüzey kalitesi, ilave sıcak hadde prosesine gerek olmayışı ve nihai ürüne yakın malzeme üretilmesi gibi avantajlarının yanı sıra birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Özetle, enerji ve üretim maliyetleri azalır. Düşük verimlilik ve katılma aralıkları kaynaklı sınırlı alaşım kapasitesi temelinde bu yöntemin dezavantajları arasında bulunmaktadır. İkiz merdaneli döküm yönteminde deformasyon ve katılma bir arada meydana gelmektedir. Bu döküm yöntemi, ergimiş metalin iki adet ters yönlü dönen ve soğutulmuş merdane arasına beslenmesini içerir ve katılma aşaması ergimiş metalin bu merdane yüzeylerine temas etmesiyle başlar. Metal merdanelerin arasından ilerledikçe kalınlık artışı azalır [10,11].

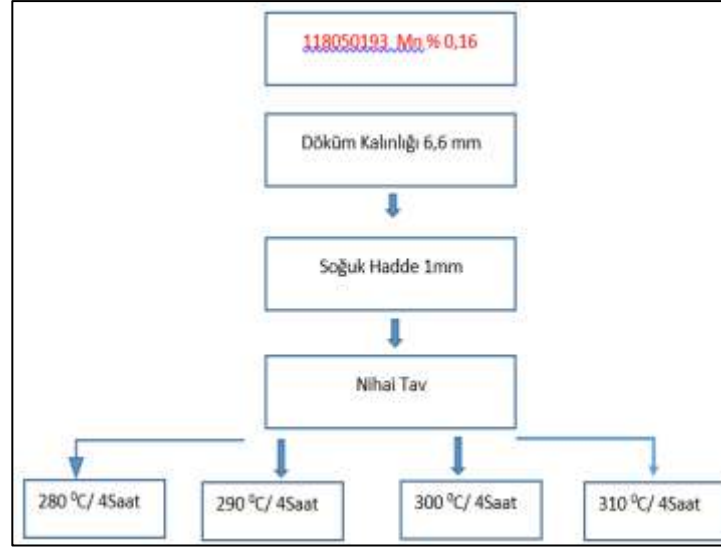
## II. MATERYAL VE YÖNTEM

5005 alaşım H24 kondisyon ürünün üretimi için laboratuvar tipi tav fırını ve laboratuvar tipi hadde kullanılarak farklı proses çalışmaları yürütülmüştür. Her bir proses Mn oranı düşük(%0.05) ve yüksek (Mn %0.16) olan levhalar ile tamamlanmıştır. Nihai malzemelere 90° yönünde çekme testi uygulanmıştır. Ek olarak; mikro yapı analizleri ve makro yapı analizleri, intermetalik incelemeleri ve elektrik iletkenliği ölçümleri ile sonuçlar desteklenmiştir.

Şekil 1’de hali hazırda işletmede 1 mm ve üzeri kalınlıklar için kullanılan son tavlı proses çalışılmıştır. Yine bu çalışma ile de düşük Mn içeren levha ile yüksek Mn içeren levhanın son tavlı prosesdeki durumu incelenmiştir. Şekil 2’de düşük manganlı deney numunelerinin proses şeması gösterilmiştir.



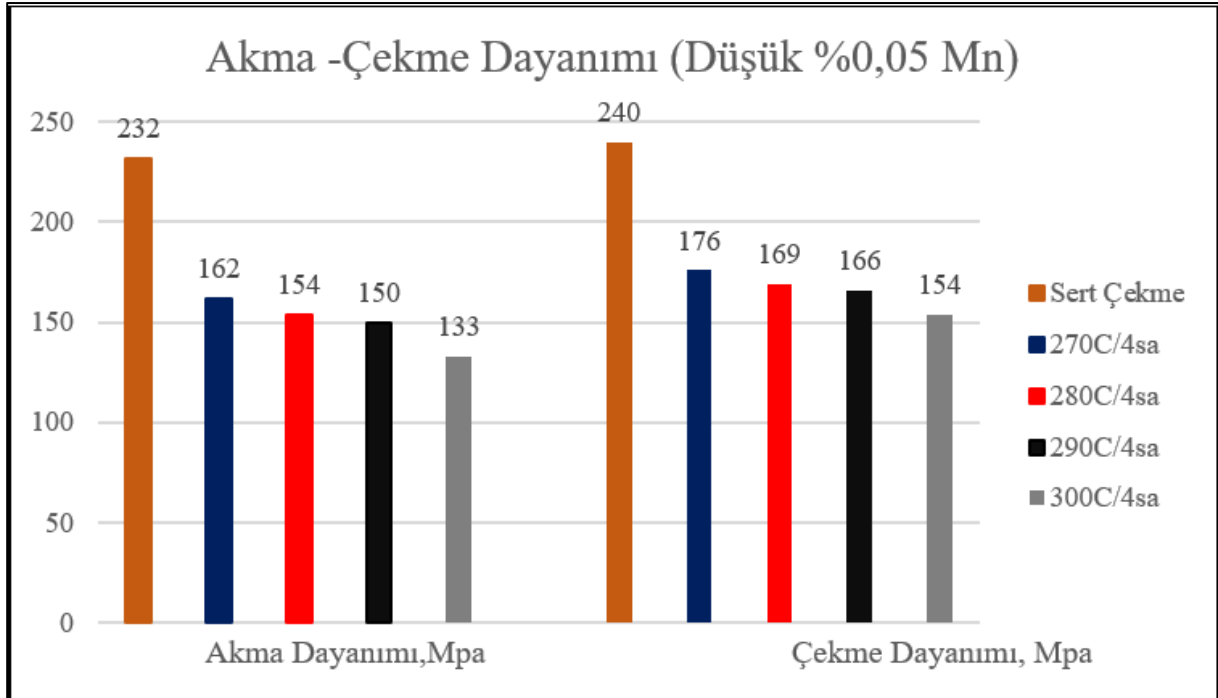
Şekil 1. Düşük manganlı deney numunesinin proses şeması.



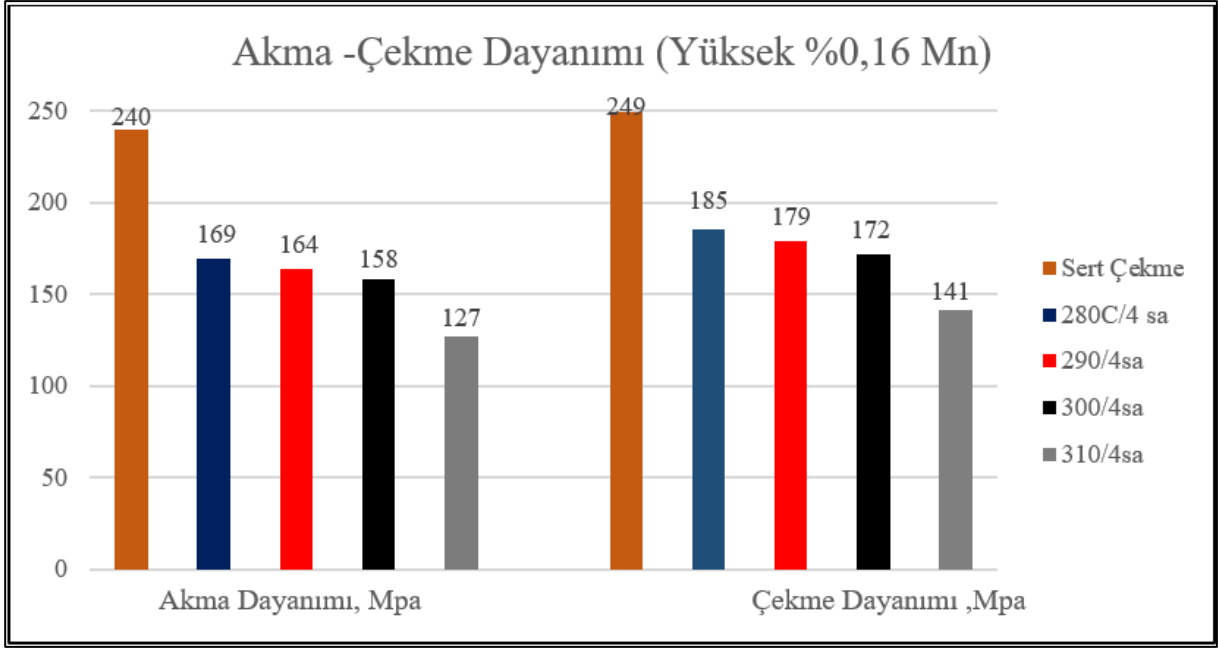
Şekil 2. Yüksek manganlı deney numunesinin proses şeması

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

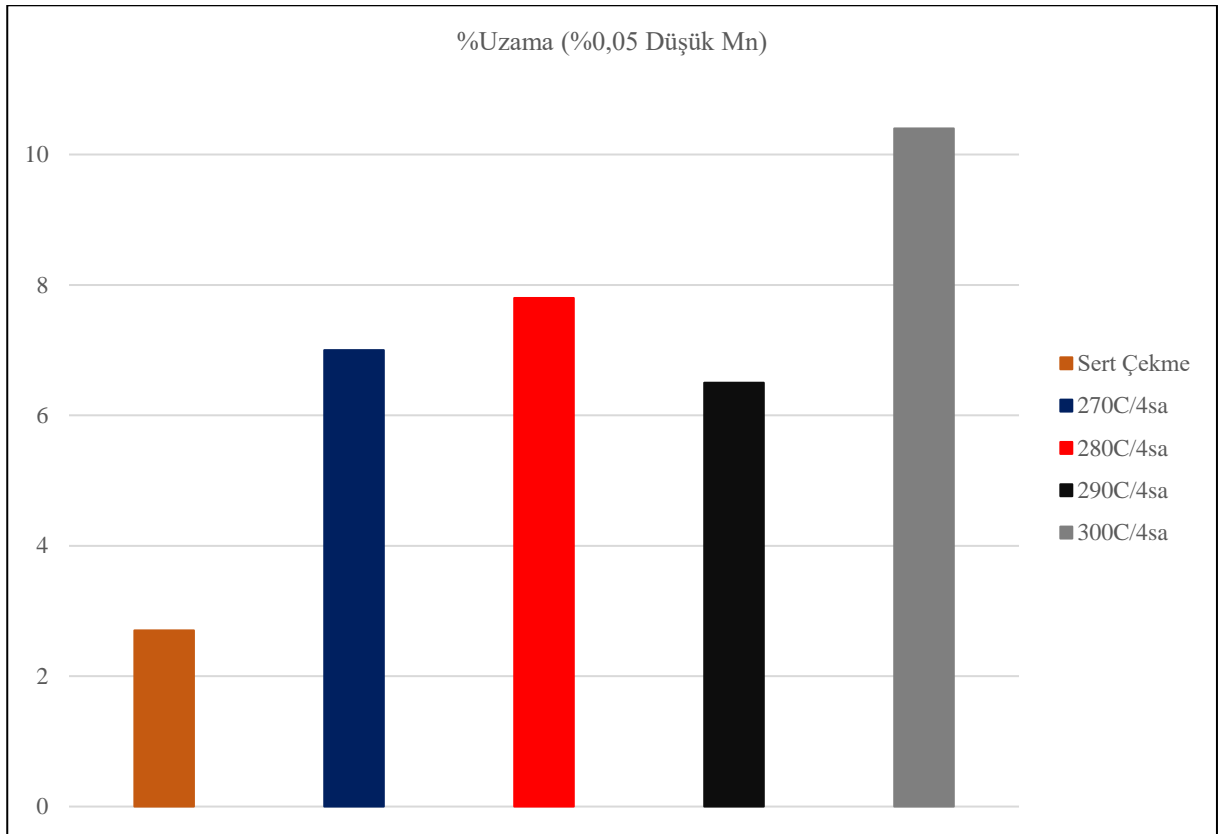
DeneySEL çalışmada düşük ve yüksek manganlı numuneler koşulları açısından düşük manganlı : 270 °C, 280 °C. 290 °C ve 300 °C’de tavlanmıştır. Yüksek manganlı ise : 280 °C, 290 °C, 300 °C ve 310 °C’de tavlanmıştır. Bu çalışmada bütün sıcaklık verileri denenmiş olup en uygun koşulu olan 280 °C için veriler makalede incelenmiştir. Şekil 3 ve 4’de %0.05 ve %0.16 Mn 1mm kalınlığındaki malzemenin çekme testi sonucunda elde edilen akma ve çekme dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil 5 ve 6’da ise %0.05 ve %0.16 Mn 1mm kalınlığındaki malzemenin % uzama değerleri verilmiştir.



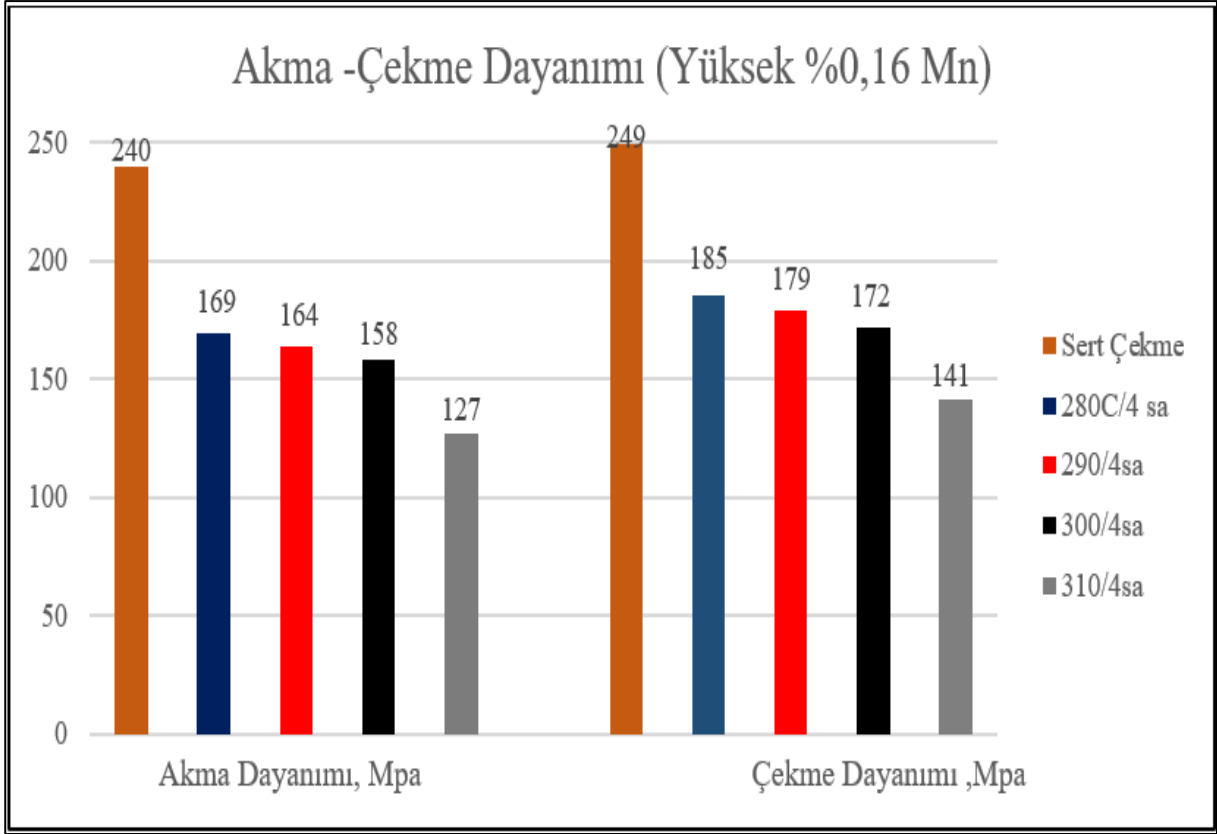
Şekil 3. % 0,05 Mn 1mm kalınlığındaki malzemenin çekme testi sonucunda elde edilen akma ve çekme dayanımı değerleri



Şekil 4. % 0.16 Mn 1mm kalınlığındaki malzemenin çekme testi sonucunda elde edilen akma ve çekme dayanımı değerleri.



Şekil 5. % 0.05 Mn 1mm kalınlığındaki malzemenin % uzama değerleri.



Şekil 6. % 0.16 Mn 1mm kalınlığındaki malzemenin % uzama değerleri.

#### IV. SONUÇLAR

Laboratuvarda çalışılan proseslerin sonuçları çekme testi, makro-mikro yapı, intermetalik yapıları ve elektriksel iletkenlik ölçümü sonuçları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Düşük ve yüksek Mn içeren levha numunelerinin nihai tav sonrası çekme dayanımları arasında Mn içeriğine bağlı 10-15 MPa fark bulunmaktadır. Ek olarak; yüksek Mn içeren levha numunelerinde son tav derecesi 280oC'ye kadar O kondisyon geçişi olmadan artırılırken; düşük Mn içeren levha numunelerinde ise son tav derecesi 260oC'ye kadar gözlemlenmiştir.

Mn içeriğinin yeniden kristallenme sıcaklığını geciktirici etkisi burada da görülmektedir. Nihai numunelerde yeniden kristallenme bu sıcaklıklarda görülmesi de Mn içeren levhaların çekme dayanımları yüksek sıcaklıklara kadar büyük bir değişim göstermeden kalmaktadır. Düşük ve yüksek Mn içerikli levhaların %uzama değerleri kıyaslandığında tavsız durumdaki uzama değerleri arasında pek fark bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra, düşük Mn içeriğine sahip alaşımın uzama% değerleri artan son tav sıcaklığı ile birlikte artış göstermiştir.

Mn oranının etkisini nihai tavlı malzemelerde gözlemleyebilmek adına 1 mm kalınlıklarda farklı sıcaklıklarda son tav prosesi uygulanmıştır. Yüksek ve düşük Mn içeren levhaların nihai tav sonrası çekme mukavemetleri arasında ortalama 10-15 MPa fark bulunmaktadır. Yüksek Mn oranı malzemenin çekme mukavemetinde artışa sebep olmuştur.

Yüksek Mn içeren levhalar işletme içerisinde 285oC/6sa son tavlı olarak üretildiğinden nihai tav denemelerine 280oC'den itibaren başlanmıştır. Malzemelerin O kondisyona geçişini gözlemleyebilmek adına 300oC'ye kadar farklı sıcaklıklarda tav denemesi yapılmıştır. Ancak, levhalar 300oC'de O kondisyon

olmamıştır. Akma-çekme dayanımları arasındaki fark, uzama% değerleri arasında gözlemlenmemiştir. Nihai malzemelerin uzamaları arasında büyük fark yoktur.

Artan % Mn, nihai malzemelerin akma-çekme mukavemetlerinde 15-20 MPa artışa sebep olmuştur. Bu durum, nihai tavlı yürüyen bobinlerde %Mn oranına bağlı olarak tav sıcaklığının esnekliğine yol açmaktadır. Alaşıma katıla mn elementi özellikle katıçözelti sertleştirme mekanizması yoluyla malzemeye mukavemet kazandırmaktadır. Bununla birlikte mn eleentinin tav prosesinde yeniden kristallenmeyi geciktirici etkisi bulunmaktadır. Mikroyapıda oluan mn çözkeltileri tane sınırı hareketini sınırlandırıp yeni tane oluşumu ve büyümesini sınırlandırmaktadır. Bu çalışmada da 300 oC derece gibi yüksek sıcaklıklarda düşük ve yüksek manganlı malzemelerin özelliklerini değerlendirdiğimizde bu durma paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Düşük manganlı alaşımdan bobin üretimi işletme koşullarında karşılaşılan kondisyon sapması problemini ortadan kaldırmıştır. Yüksek mangandan dolayı mekanik özellikler standardın öngördüğü değerlerin üst sınırlarında elde edilmekteydi. Hatta işletme koşullarında uygulanan tav işleminde bobinde ısınma rejimine bağlı olarak bölgesel farklılıklar sebebi ile standart dışına çıkan mekanik özellikler ile de karşılaşılmaktaydı. Bu nedenlerden dolayı mangan içeriği düşürülerek mekanik özellikler istenen sınırlara çekilirken işletme koşullarında uygulanan düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerdeki sapmalarında önüne geçilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Alper, G. (2003). Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının (AA) Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Davis. (1996). Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Special Handbook, ASM International, 3-59. S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," IEEE Electron Device Lett., vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [3] **Toten et al.** (2003). Handbook of Aluminum Alloys, Physical Metallurgy and Processes Marcel Dekker Inc.R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, "High-speed digital-to-RF converter," U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [4] **Eed, H.J.** (1984). Aluminum-Properties and Physical Metallurgy, Metals Park, OH, Americana Society of Metals (ASM), doi: 10.1361/appm1984p001.
- [5] **ASM handbook: Properties And Selection: Nonferrous Alloys And Special Purpose Materials (Vol. 2).** (1995). Ohio: ASM International.FLEXChip Signal Processor (MC68175/D), Motorola, 1996.
- [6] **Kaufman, J. G.** (2000). Introduction to aluminum alloys and tempers. Materials Park, OH: ASM International.A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP," M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.
- [7] **Impact of Aluminum Alloys and Microstructures on Engineering Properties - Review.** (2016). Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE),13 (3), 16-22. Retrieved from [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
- [8] **Rana, R., Purrohit, R., & Das, S.** (2012). Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites. International Journal of Scientific and Research Publications,2 (6). Retrieved from <http://www.ijsrp.org/>
- [9] **Sun, N., Patterson, B. R., Suni, J. P., Simielli, E. A., Weiland, H., & Allard, L. F.** (2006). Microstructural evolution in twin roll cast AA3105 during homogenization. Materials Science and Engineering: A,416 (1-2), 232-239. doi:10.1016/j.msea.2005.10.018
- [10] **The Rolling of Aluminium: the Process and the Product Date of Issue.** (1994). EAA - European Aluminium Association.
- [11] **Ünal.** (2004). Continuous Casting of Aluminum, Patent No: US 6,672,368 B2