

AA 2014 VE AA 2024 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA SOĞUTMA KOŞULLARININ SERTLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hülya KAÇAR DURMUŞ*, Ahmet OKUR**, Cevdet MERİÇ*

*Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Muradiye-Manisa

**Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksek Okulu, Buca-İzmir

Geliş Tarihi : 28.05.2002

ÖZET

Bazı alüminyum alaşımlarına çökelme ısıl işlemi uygulanarak mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir. Tek fazlı bölgede uygun bir sıcaklıkta, çözeltiye alma ısıl işlemi ile elde edilen aşırı doymuş katı çözelti, doğal ve/veya yapay olarak yaşlandırılıp iç yapıda çökelti oluşturulmaktadır. Bu intermetalik çökelti ana yapı ile inkoherent olup malzemenin mekanik özelliklerini arttırmaktadır. Bu işlemin bir parçası olan katı çözeltiye alma işlemi sonrasındaki soğutma koşulları çökelme sonrası özellikleri etkilemektedir. Ancak uygulamada bu durum pek dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada "Aluminum Association" numaraları AA 2014 ve AA 2024 olan alüminyum alaşımları, 495 ± 3 °C'de 1 saat tutularak katı eriyiğe alınmıştır. Örneklere bu sıcaklıkta farklı soğutma koşullarında su verilmiştir. Daha sonra 150 °C ve 180 °C'de yapay yaşlandırma uygulanmıştır. Malzemelerin soğutma koşullarına ve yapay yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlik değişimleri ve iç yapıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : AA 2014, AA 2024, Soğutma koşulları

INVESTIGATION OF EFFECT OF COOLING CONDITIONS ON HARDNESS OF THE AA 2024 AND AA 2014 WROUGHT ALUMINIUM ALLOYS

ABSTRACT

Mechanical properties of some aluminum alloys can be changed with precipitation hardening. This intermetallic precipitates are incoherent with the main structure and increased mechanical properties. Cooling rates after solid solution process effects properties after precipitation. In applications, however this is not taken into consideration. In this study, AA 2014 and AA 2024 Aluminium Alloy specimens were hold for one hour at 495 ± 3 °C and formed a solid solution. Specimens were quenched at this temperature with different cooling rates. later artificial aging was applied at 150 °C and 180 °C. The hardness and microstructure variations of the specimens were investigated depending on the cooling rates and artificial aging temperatures.

Key Words : AA 2014, AA 2024, Cooling conditions

1. GİRİŞ

Mukavemet/ağırlık oranlarının yüksek olması nedeni ile alüminyum alaşımları otomotiv ve havacılık

endüstrisinde vazgeçilmez kullanım alanlarına sahiptir. Mekanik özelliklerinin daha da iyileştirilebilmesi ve uygun teknolojik özelliklere (sıcak ve soğuk işlenebilirlik gibi) sahip olmalarıyla alüminyum alaşımlarının kimya, ecza ve gıda

endüstrisinde olduğu kadar makine endüstrisinde ve perçin imali gibi çeşitli otomotiv yan sanayi dallarında kullanılmaları gün geçtikçe daha da artmaktadır (Meriç, 1989; Kenneth and Michael, 1999; Zeytin ve ark., 2001).

Özellikle bakır esaslı alüminyum alaşımları, kolay şekil verilebilme yanında yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılmaları yaygındır. Bu alaşımların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik işlemler arasında çökeltme (yaşlanma) sertleştirilmesi önemli bir yer tutar (Sanders et al., 1983; Demirci, 1988). Düşük yoğunlukları ve yüksek mukavemetleri ile dikkat çeken alüminyum alaşımları, birçok metalik malzemenin yerini alarak, kullanım alanlarını sürekli genişletmektedir (Zeytin ve ark., 2001).

Çökeltmeye karşı duyarlı olan alaşımlar, aşırı doymuş katı çözelti oluşturan alaşımlardır. Aşırı doymuş katı fazdan zaman ve sıcaklık etkisi ile yeni bir fazın çökmesi sonucunda malzemenin sertlik ve mukavemeti artar. Katı bir fazdan solvüs çizgisinin geçilmesi sırasında başka bir katı fazın ayrışması kolayca engellenebilir. Böylece kristal kafesi gerilerek malzemenin dayanımı artar. Bu olay özellikle bazı demir dışı alaşımlar için büyük önem taşıyan çökeltme sertleşmesinin temelini oluşturur (Budinski and Budinski, 1999).

Çökeltme sertleşmesi, ikinci fazın küçük tanecikler halinde ana faz içinde çökmesinin sağlandığı alaşım sistemlerinde mukavemet arttırmada kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir. Çözme tavından sonra uygulanan hızlı soğutma (su verme) işlemi de mekanik özelliklere etki eden bir aşamadır. Soğutma hızı; birim zamanda sıcaklık düşüş miktarı ($^{\circ}\text{C}/\text{birim zaman}$) dır (Topbaş, 1993). Soğuma söz konusu atom türlerinin ısı aktive yer değiştirmelerine fırsat vermeyecek kadar hızlı olmalıdır. Bu kritik soğuma hızı V_{kr} öncelikle malzemenin kimyasal bileşimine ve bir ölçüde de

tane büyüklüğüne bağlıdır. Soğuma sırasında kristal yapının dönüşmesi gerekir. Yani malzeme en az iki allotrop modifikasyonda bulunmalıdır. Eğer yüksek sıcaklıktaki kafes yapısı düşük sıcaklıktaki kararlı modifikasyondan daha fazla alaşım elementi çözebilirse, yeni kararsız fazın sertlik ve dayanımı çok artar (Karabulut ve Aran, 1984; Cavazos and Cola's, 2001).

Alüminyum alaşımlarında çökeltme hızının yüksek olduğu kritik sıcaklık aralığı $399-288^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Ancak çekirdeklenme için bir miktar zamana ihtiyaç olması nedeniyle en yüksek çökeltme hızının gözlemlendiği bu kritik sıcaklık aralığında dahi, yeteri kadar hızlı bir soğuma ile

çökeltme olayının önlenmesi mümkündür. Eğer bu sıcaklık aralığında yeteri kadar hızlı bir soğutma sağlanamazsa çökeltme başlar. Bundan dolayı soğutma sırasında çeşitli nedenlerle oluşacak kontrolsüz bir çökeltme daha sonraki yaşlandırma ile elde edilecek nihai mekanik özellikleri olumsuz yönde etkiler. Malzemenin fırından çıkarılıp soğutma ortamına daldırılıncaya kadar geçen sürede yavaş soğuma olacaktır. Soğutma sonrası katı çözeltinin aşırı doymuşluk derecesi soğutma koşuluna bağlı olarak değişecektir. İzin verilebilir bekleme süresi elemanın geometrik özellikleri ve ağırlığına bağlıdır (Karabulut ve Aran, 1984; Meriç ve Varol, 1993).

2. MATERYAL VE METOD

2. 1. Materyal

AA 2014 ve AA 2024 alüminyum alaşımları ETİALUMİNYUM (Seydişehir-Konya) işletmesinden temin edilmiş olup, Tablo 1'de deneylerde kullanılan alaşımların kimyasal bileşimi görülmektedir.

Tablo 1. AA 2014 ve AA 2024 Alüminyum İşlem Alaşımlarının Kimyasal Bileşimi (% ağırlık)

Malzeme \ Element	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Ti	Sb	Al
AA 2024	0.14	1.45	0.21	4.20	0.65	-	-	93.35
AA 2014	0.59	0.47	0.31	4.50	0.48	0.0115	0.0038	93.64

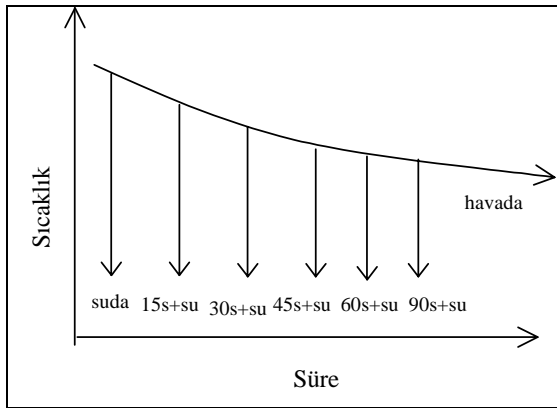
2. 2. Uygulanan Metot

AA 2014 ve AA 2024 alüminyum alaşımları uçak gövde ve kanatları, uzay araçları ve mermi kovanlarında kullanılır. Duralümin olarak da bilinen AA 2024, alüminyum alaşımları içinde en sert ve mekanik değerleri en yüksek olanlardan birisidir.

30 mm çapında ve 6 mm yüksekliğinde örnekler hazırlandı. Örneklerin tamamı 380°C de 1 saat fırında tutulmuş ve oda sıcaklığındaki sakin havada soğutulmuştur. Bu işlemle üretim sırasında ve daha sonra zamanla doğal olarak oluşan iç yapılarındaki değişimler giderilmiştir.

Çözme işlemini uygulanmanın nedeni, ikinci fazın ayrışmasını temin etmek ve alaşım elementlerinin malzeme içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamaktır. Çözme sıcaklığı, ötektik kalıntıların erimesini engellemek amacıyla ötektik sıcaklıktan biraz daha aşağıda olacak şekilde seçilir. Bu çalışmada Alüminyum-Bakır denge diyagramı esas alınarak, her iki malzeme için de çözme işlemi için 495 °C olarak belirlenmiştir. Bir diğer önemli etken ise çalışma süresinin seçilmesidir. Yetersiz çalışma süresi ısıl işlemin etkinliğini azaltır. Bu süre, diğer fazların ana faz içinde tamamen çözünmesine olanak verecek kadar olmalıdır. Bu süre genellikle 1/2 ile 2 saat arasında değişir. Ayrıca çözme sıcaklığında bekleme süresi malzemenin kalınlığı arttıkça artmaktadır. Bu çalışmada ise uygulama süresi 1 saat olarak seçilmiştir.

Çözme işlemi 495 ± 3 °C'daki fırında 1 saat bekletme ile gerçekleştirildi. Daha sonra örnekler; 15, 30, 45, 60, 90 saniye oda sıcaklığındaki havada tutulup, suda soğutuldu. Deneylerde kullanılan her iki malzemeden birer örnek hemen suda, birer örnek de ortam sıcaklığındaki sakin havada soğutuldu. Suda soğutma hızı 500 °C/saniye, havada soğutma hızı 2 °C/saniyeye karşılık gelmektedir. Soğutma hızları, örneklerin yüzeylerindeki sıcaklık değişimlerinin ölçüm zamanları arasındaki farka bölünmesi ile saptanmıştır. Deneylerde seçilen soğutma koşulları Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada malzemelere iki farklı yapay yaşlandırma sıcaklığı (150 °C ve 180 °C) uygulanmıştır. Her 30 dakikada bir sertlik değerleri ölçülmüştür.



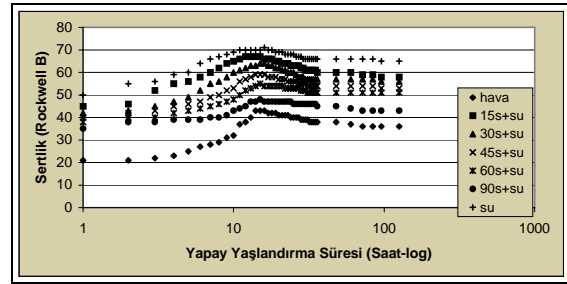
Şekil 1. Seçilen soğutma koşullarının şematik gösterilişi

Deneyler sırasında uygulanan bütün ısıtma işlemleri için Carbolite marka kül fırını kullanıldı. Örneklerin Rockwell B [Baticı uç olarak 1.588 mm (1/16 inç) bilye kullanıldı] sertlik değerlerini belirlemek için Metttext HT marka sertlik cihazı kullanıldı. İyapı

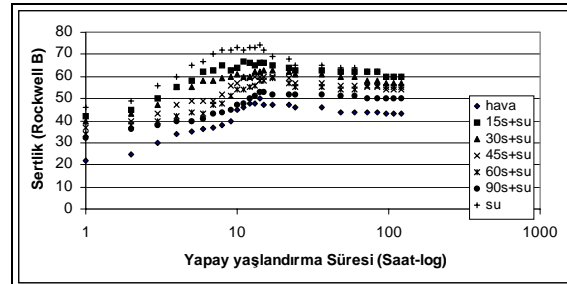
incelemesi için Hund marka mikroskopta fotoğrafları çekildi.

2. 2. 1. Sertlik

AA 2024 alüminyum alaşımının 150 °C ve 180 °C'de yapay yaşlandırılmasındaki sertlik değerlerinin değişimi Şekil 2 ve Şekil 3'de, AA 2014 alüminyum alaşımının ise Şekil 4 ve Şekil 5'de görülmektedir. Sertlik değişimini gösteren eğrilerin tamamı benzer özellikler göstermekte olup, çözme işleminden hemen sonra su verilen örneklerin sertlikleri en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 2. 150 °C'de yapay yaşlandırılmış AA 2014 alüminyum alaşımının sertlik değişimi



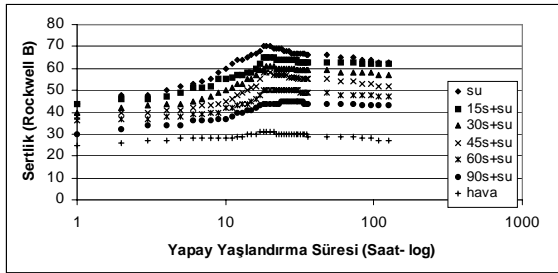
Şekil 3. 180 °C'de yapay yaşlandırılmış AA 2014 alüminyum alaşımının sertlik değişimi

AA 2014 alüminyum alaşımında 150 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada 18 saatte 70 HRB sertliğine, 180 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada ise 14 saatte 71 HRB sertliğine ulaşılmıştır. Soğutma koşullarından havada bekleme süresi arttıkça sertlik değerleri azalmıştır. En düşük sertlik değerleri havada bekletilen örnekte ölçülmüştür.

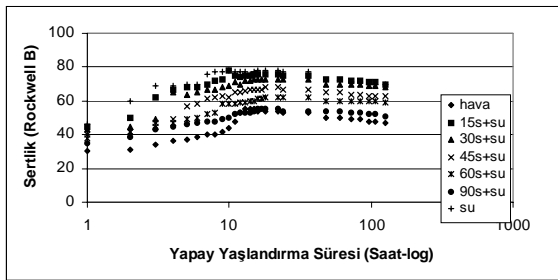
AA 2024 alüminyum alaşımında 150 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada 18 saatte 78 HRB sertliğine, 180 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada ise 14 saatte 74 HRB sertliğine ulaşılmıştır. Soğutma koşulları, tıpkı AA 2014 alüminyum alaşımında olduğu gibi etki etmiş olup havada bekleme süresi arttıkça sertlik değerlerinde bir azalma görülmüştür.

Malzemenin fırından çıkartılıp soğutma ortamına daldırılıncaya kadar geçen sürede kontrolsüz çökelmeye ve dolayısıyla mekanik özelliklerin olumsuz yönde etkilenmesine neden olur. Bu bekleme süresinin uzun olması malzemenin bir süre yavaş soğumaya maruz kalmasına neden olur (Karabulut ve Aran, 1984; Cavazos and Cola's, 2001).

AA 2014 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarına uygulanan 150 °C ve 180 °C'deki yapay yaşlandırma işlemleri sonuçlarında yaşlandırma süresinin artmasının beklenen faydayı vermeyeceği görülmüştür.



Şekil 4. 150 °C'de yapay yaşlandırılmış AA 2024 alüminyum alaşımının sertlik değişimi



Şekil 5. 180 °C'de yapay yaşlandırılmış AA 2024 alüminyum alaşımının sertlik değişimi

Düşük sıcaklıklarda yapılacak yaşlandırmada tek fazlı ayrışmış bölgeler oluşur. Yüksek sıcaklıklardaki yaşlanma ise başlangıçta oluşan kümeler, ana kafesten çoğunlukla bağdaşık olmayan faz sınırları ile ayrılmış çökeltilere dönüşür. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça mekanik özellikler ve sertlik değerleri azalır. Çökelti fazının sıcaklık arttıkça daha belirgin bir şekilde ortaya çıktığı ve boyut olarak daha da büyüdüğü gözlenmektedir. Yaşlanma süresinin çok uzaması beklenen faydayı sağlamaz, belirli bir süre sonunda çökelti boyutu çok büyür, çökelti sayısı azalır ve malzemenin sertliği düşer.

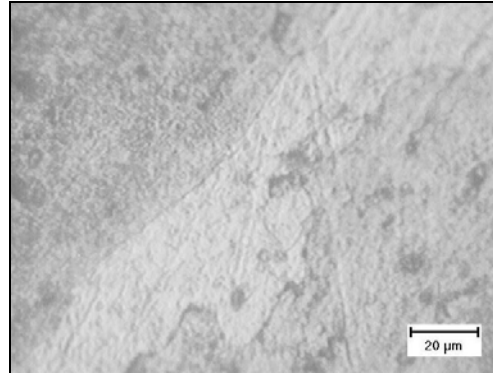
Sıcaklığın izotermal çökeltme üzerine etkisi aşırı doyma derecesine ve yayınma hızına bağlıdır. Bu faktörler sıcaklık değiştiğinde birbirine göre ters yönde değişir, yani sıcaklığın artması ile yapıda aşırı

doymuş elementlerin miktarı azalırken yayınma hızı da artar (Karabulut ve Aran, 1984). Soğutma hızı soğutma ortamının dışında, soğutulan parçanın biçim ve kesitine de bağlıdır. Daha büyük kesitli parçalarda aynı soğutma ortamının kullanılması halinde daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

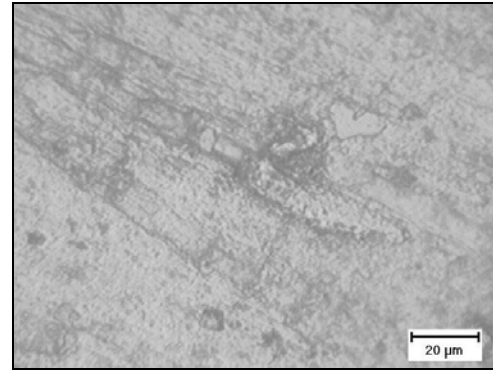
2. 2. 2. İçyapı İncelemesi

Örnekler içyapıları incelenmeden önce sırasıyla 800, 1000 numara su zımparası ile yüzeyleri parlatıldı. Daha sonra keçe üzerine sürülen alümina ile işlem tamamlandı. Tane sınırlarının daha iyi gözlenebilmesi için örnekler Keller ayracı içerisinde 1 dakika süreyle bekletildi. Bu süre sonunda örnekler saf suyla durulandı ve temiz bir bez yardımıyla iyice silinerek kurutuldu. Elde edilen görüntü bilgisayarda görüntülenip, kaydedildi.

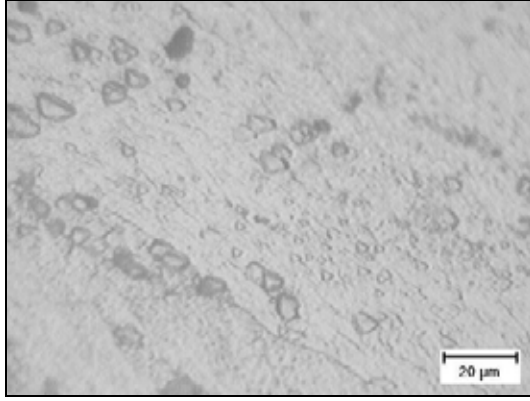
Uygulanan farklı soğutma koşulu ve yaşlandırma sıcaklığı sonrası örneklerin içyapılarındaki değişimi gözlemlendi ve içyapı fotoğrafları çekildi. Çekilen içyapı fotoğraflarından bazıları Şekil 6, 7, 8 ve 9'da görülmektedir.



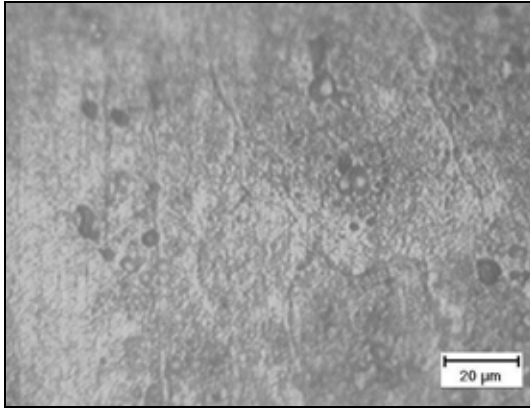
Şekil 6. Katı eriyiğe alındıktan sonra (45 sn havada + suda) soğutulup 180 °C'de 14 saat yapay yaşlandırılan AA 2014 alüminyum alaşımının içyapısı



Şekil 7. Katı eriyiğe alındıktan sonra suda soğutulup 150 °C'de 18 saat yapay yaşlandırılan AA 2014 alüminyum alaşımının içyapısı



Şekil 8. Katı eriyiğe alındıktan sonra (45 sn havada+suda) soğutulup 180 °C'de 14 saat yapay yaşlandırılan AA 2024 alüminyum alaşımının içyapısı



Şekil 9. Katı eriyiğe alındıktan sonra suda soğutulup 150 °C'de 18 saat yapay yaşlandırılan AA 2024 alüminyum alaşımının içyapısı

3. SONUÇLAR

AA 2014 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarından alınan örneklerin katı çözeltiye alınma işlemi 495 ± 3 °C'deki fırında 1 saat bekletme ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra örnekler; 15, 30, 45, 60, 90 saniye oda sıcaklığındaki havada tutulup, suda soğutulmuştur. Her iki malzemeden birer örnek hemen suda soğutulmuş, birer örnek de ortam sıcaklığındaki havada soğutulmuştur. 150 °C ve 180 °C'de yapay yaşlandırılan örneklerin sertlik değerleri ve iç yapıları incelendiğinde:

1) Her iki alaşımda da yapay yaşlandırma sıcaklığı ne olursa olsun, en yüksek sertlik değerleri çözme işleminden sonra bekletilmeden hemen verilen örneklerde görülmüştür. Yani; yüksek sertlik değerleri yüksek soğutma hızında elde edilmiştir.

- 2) Her iki alaşımda da yapay yaşlandırma sıcaklığı ne olursa olsun, çözme işleminden sonraki bekleme süresi arttıkça sertlik değerleri azalmıştır.
- 3) AA 2014 alüminyum alaşımında 150 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada 18 saatte 70 HRB sertliğine, 180 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada ise 14 saatte 71 HRB sertliğine ulaşılmıştır.
- 4) AA 2024 alüminyum alaşımında 150 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada 18 saatte 78 HRB sertliğine, 180 °C'de yapılan yapay yaşlandırmada ise 14 saatte 74 HRB sertliğine ulaşılmıştır.

4. KAYNAKLAR

- Kenneth, G. B., Michael G. B. 1999. Engineering Materials Properties and Selection, Sixth edition, Prentice-hall.
- Cavazos, J. L., Cola's, R. 2001. Precipitation in a Heat-Treatable Aluminum Alloy Cooled at Different Rates, Materials Characterization, V. 47., 175-179.
- Demirci, A. H. 1988. Seçilen Bir Al-Cu Alaşımında (% 4.5 Cu) Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellik Değişimlerine Etkisi, 3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, s. 633-639.
- Karabulut, A., Aran, A. 1984. AA 2024 Alüminyum Alaşımında Soğutma Hızı Duyarlılığı, II Ulusal Alüminyum Sanayii Kongresi, 10-12 Ekim, 1984, Seydişehir, s. 363-370.
- Meriç, C. 1989. Uçak Yapı Malzemeleri ve Al-Li Alaşımlarının Uçak Yapı Malzemesi Olarak Kullanabilirliği, 3. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 29-31 Mart 1989.
- Meriç, C., Varol, R. 1993. AlCu4Ti Alüminyum Döküm Alaşımında Çökme Isıl İşleminin Mekanik Özelliklerine Etkisi, AÜ., Isparta Müh. Fak. Dergisi, Sayı 7, s. 57-66.
- Sanders, R. E., Sanders, T. H., Stalley, I. T. 1983. Relationships Between Microstructure, Conductivity and Mechanical Properties of Alloy 2024-T4 (1), Aluminum, 59, Jarg, 13-17.
- Topbaş, M. A. 1993. Isıl İşlemler, Yıldız Tek. Üniv., İstanbul.
- Zeytin, H. K., Arısoy, O., Teymur B. 2001. Bazı Döküm Alüminyum Alaşımlarında Tane Yapısının Ortaya Çıkarılması, MAMTEK 2001, Manisa, s. 11-20.