

## **AA-6101 ALASIMININ YÜKSEK GERİLİM ÇIPLAK HAVAI HATLARINDA AAAC İLETKENİ OLARAK KULLANIMI**

### **A STUDY ON THE POSSIBLE USE AA-6101 ALLOYS AS A MATERIAL TO MANUFACTURE AAAC ALUMINUM CONDUCTOR FOR HIGH VOLTAGE BARE ELECTRIC TRANSMISSION LINES**

**Sedat KARABAY\*, Muharrem YILMAZ\*\*, Muzaffer ZEREN\*\***

\* Turkkablo A.O. Izmit-Kocaeli

\*\* Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü Izmit-Kocaeli

#### **ÖZET**

Dünyada alüminyumun enerji nakil alanında kullanımı 1930'lu yıllardan itibaren başlayarak günümüze kadar giderek artan bir eğilim içerisinde devam etmiş olup bu trendin gelecekte de en azından farklı yeni malzemeler üretilene kadar bir süre daha devam edeceği aşikardır. Son yıllarda elektrik enerjisi iletiminde alüminyum, kullanma tekniklerinin geliştirilmesi, hafiflik ve maliyet avantajları ile diğer metallere karşı büyük bir üstünlük sağlamış bulunmaktadır. Ülkemizde ise bu alanda alüminyumun kullanımına 1952 yılından itibaren başlanmıştır. Çıplak iletkenler ile yapılan yüksek ve alçak gerilim hatlarında elektrik iletimi tamamen alüminyum üzerinden nakledilmektedir. Türkiye'de hava hattı elektrik enerjisi naklinde çıplak iletken tipleri olarak ACSR ve AAC ki bunlar sırasıyla çelik özlü ve tam alüminyumdur, kullanılmaktadır. Türkiye'deki hatların tamamı bu iki cins iletken oluşmuş olup bu iletkenlerin alüminyumları %99.7 saflıkta EC sınıfı malzemelerdir.

Bu çalışmada AA-6101 alaşımlarının AAAC (All Aluminum Alloy Conductor) iletkeni imalatında ana metal olarak kullanılabilirliği, mekanik ve ısıl işlem özellikleri ve metallografik açıdan incelemeleri yapılmıştır.

#### **ABSTRACT**

In large scale utilization of the aluminum in the world for transmission of electrical energy starts in 1930's and still continues an increasing trend. In future, the trend will be same up to investigation of new materials. Completion the investigation stage of the aluminum behaviours and both lightness and low product costs are rendered aluminium as superiority in electrical energy transmission area when compared other materials. In our country, utilization of aluminium in electrical aims starts in 1952. All overhead lines in our country consist of ACSR and AAC types bare conductors. In this study, it has been pointed out that alloy AA-6101 is an alternative main material instead of heavy composite ACSR to save truss costs owing to weight of the composite conductor per km and line construction labour. Mechanical, heat treatment properties and metallographical analysis of AA 6101 have been also introduced.

## 1.GIRIS

Ülkemizde alüminyum, 1950'li yıllardan itibaren yaygın olarak barajlarda üretilen elektrik enerjisinin şehirlere taşınması ( çıplak ACRS iletkenler ile ) buralardanda daha küçük yerleşim birimlerine çıplak olarak örülmüş çelik özlü ve tam alüminyum iletkenler (AAC) ile nakledilmesi vasıtasıyla geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur.

### **Izolasyonlu iletkenler açısından alüminyum;**

Alüminyum şekillendirildikten sonra hem PE,PVC ve hemde XLPE ile sorunsuz olarak izole edilebildiğinden izolasyon malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak alçak orta ve yüksek gerilim enerji kablosu olarak yaygın kullanım sahası bulmuştur.

Yer altı ve yer üstü enerji kabloları kullanım alanında maalesef ülkemiz anlaşılamayan bir sebeple hala ağırlıklı olarak bakır iletkenli kabloları kullanmaktadır.Bir başka deyişle alüminyumun çıplak havai hatların yapımlarındaki kullanım oranları izoleli kablolar imalatlarında gerçekleşmemiştir. İzoleli alüminyum enerji kabloları, hafiflik , kolay montaj, birim metal ağırlığı, mükemmel elektrik iletkenliği,düşük metal fiyatları vb. diğer özellikleri nedeni ile etkileyici ekonomik ve teknik özelliklere sahiptir.

Izoleli alüminyum enerji kablolarının alüminyum dışı enerji kablolarının yerine kullanılması tüketici için önemli ekonomik sonuçlar doğuracak ve genelde alt yapı yatırımları devletimiz tarafından yapıldığı için bu durum ulusal ekonomimiz açısından önemli bir kaynak israfının durdurulmasını sağlayacaktır. Özel alt yapı müteşebbüsleri kısmen ekonomik davranıp alüminyum tercih etmektedirler.

Yakın bir geçmişe kadar enerji iletiminde bakır, yüksek elektrik iletkenliği ve mekanik özellikleri nedeni ile dünyada en çok kullanılan metal olmasına rağmen günümüzde artık bu metalin yerini alüminyum almış bulunmaktadır.

Elektrik enerjisi çıplak iletim hatlarında, içinde toplam %2'den daha az uygun alaşım elementi konulan saf alüminyum yine uygun ısıl işlemler sonucu 6101-T6 formuna getirildiğinde elektrik iletiminde iletken olarak kullanılabilir. Bu malzemenin iletkenlik değeri saf alüminyuma göre % 61.0 IACS (International Annealed Copper Standart) değerinden % 57.0 IACS değerine düşerken, buna karşın akma mukavemeti  $170 \text{ N/mm}^2$  artarak  $250 \text{ N/mm}^2$ 'ye çıkmaktadır. Enerji iletiminde değişik amaçlarla kullanılan alüminyum alaşımlarının önemli olanları Tablo 1'de verilmiştir [1].

## 2. ENERJİ İLETİMİNDE KULLANILAN GENEL ALÜMİNYUM İLETKENLER

### **AAC: Tam Alüminyum İletkenler (All Aluminium Conductors)**

Özellikle alçak gerilim dağıtım şebekelerinde kullanılır.

### **ACSR: Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (Aluminium Conductor Steel Reinforced)**

Bu iletkenler genellikle orta ve yüksek gerilim hatlarında kullanılır. Merkezinde çelik öz ile takviye edilmiş bu iletkenler  $10-500 \text{ mm}^2$  bakıra eşdeğerdedir.

### **AAAC: Tam Alüminyum Alasimli İletkenler (All Aluminium Alloy Conductors)**

İletkeni meydana getiren bütün alüminyum teller 6101 alasimından yapılmıştır. AAAC için tipik üretim kademeleri;

- 1- Ergiyik metal
- 2- Döküm/Hadde ile rod eldesi
- 3- Çözeltiye alma ısıl işlemi
- 4- Çekme
- 5- Düşük sıcaklık işlemi
- 6- Örgü/Büküm, seklindedir.

### **ACAR: Alüminyum Alasim Özlü İletkenler (Aluminium Conductor Alloy Reinforced)**

İletken özünde ve diğer tabakalarında mekanik dayanımı arttırmak üzere alüminyum alasimından imal edilen tellerle takviye edilmiştir [1].

### **3. 6XXX SERİSİ ALASIMLARIN ISIL İSLEMİ**

Isıl işlem yapılabilen alüminyum alasimleri en fazla 6XXX serisinde gözlenir ve genellikle ekstrüze edilmiş veya haddelenmiş halde kullanılırlar. Sogutma hizına olan düşük duyarlılığından dolayı ekstrüzyon sonrası sogutmayla mukavemetleri geliştirilebilir. Ürün özelliklerine etki eden faktörler; kimyasal bileşim, ingot döküm koşulları, homojenizasyon ısıl işlemi, billet yeniden ısıtma sıcaklığı, ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon oranı, pres sogutma koşulları ve çökelti sertleşmesi ısıl işlemleridir. 6XXX serisinde yer alan 6101 alasimlarda Mg ve Si, Mg<sub>2</sub>Si'yi oluşturlar (primer sertleşme fazı). Mg<sub>2</sub>Si'i oluşturmak için gerekli olandan fazla silisyum, bu alasimların sertleşmesine önemli ölçüde katkı sağlar [2,3,4,5,6]

6101 serisindeki ana alasim elementleri Mg ve Si, kısmen  $\alpha$ -Al matriksi içerisinde, kati ergiyikte çözünürken ve kısmen de intermetalik fazlar halinde bulunur. Katılma sırasında, katılma koşullarına ve kimyasal alasimlandırmaya bağlı olarak farklı intermetalik fazlar oluşabilir. Fe, tüm ticari alasimlarda impurite olarak bulunarak katılma esnasında bir dizi Al-Fe ve Al-Fe-Si intermetalik fazlarını oluşturur.  $\alpha$ -Al matriksinde çözünmeyen veya Al-Fe-Si intermetalik fazlarına girmeyen silisyum, katılmanın ileriki aşamalarında Mg ile birleşerek Mg<sub>2</sub>Si oluşturur. Intermetalik fazların tipi, boyutu, morfolojisi ve dağılımı malzeme özelliklerini belirler. Nihai ürünlerdeki intermetalik partiküllerin sayısını, yer ve dağılımını sadece döküm koşulları belirlemez; ingot homojenizasyonu ve termo-mekanik işlemler de belirleyicidir [4,5,6]

Billetler solvüs sıcaklığının altına yavaşça sogutulduğunda büyük oranda kaba Mg<sub>2</sub>Si oluşur. Daha hızlı sogutma hem partikül sayısını hem de boyutu azaltır. Yavaşça sogutulmuş billet (40 °C/h ile) çok iri Mg<sub>2</sub>Si oluşumuna neden olur. Sogutma hızı arttıkça partiküllerin boyutları ve sayıları azalır. 315 °C/h ile sogutulmuş billet az miktarda iri Mg<sub>2</sub>Si çökeltileri içerir. İri Mg<sub>2</sub>Si'nin fazla miktarda olması alasimin çözünürlük oranını azaltır ve dolayısıyla alasimin yaşlanma sertleşmesi imkanını kısıtlar. Bu durum suni yaşlanma sonrası çekme özelliklerini düşürür .

Alasim solvüs sıcaklığının altına sogutulduğunda Mg<sub>2</sub>Si çökmeye başlar. Çökeltilerin miktarı ve boyutları zaman-sıcaklık bağımlidir. Yavaş sogutma özellikle

yüksek sıcaklık bölgesinde soğutma, iri partikülleri oluşturur. Solvüs sıcaklığının üzerinden oda sıcaklığına ani soğutma ile Mg ve Si çözeltilde kalarak asiri doymuş bir kati ergiyik oluşturur. 204 °C'nin altında suni yaslanma ısıl işlemi ile partiküller matriksten dışarı çıkarak çökelti sertleşmesi etkisi oluştururlar. Deneysel çalışmalar; homojenize olmuş biletlerin daha iyi yüzey özellikleri ve daha yüksek akma özellikleri ile birlikte, homojenize olmamış biletlerden çok daha kolay ekstrüzyon olduğunu göstermektedir. Homojenize olmamış biletlerin ekstrüzyonunda, ekstrüzyon yönünde uzamış çok fazla miktarda Mg<sub>2</sub>Si bulunur. Tekrar ısıtma sırasında başlangıçta çökelen bazı Mg<sub>2</sub>Si'ler, ekstrüzyon esnasında veya tekrar ısıtmanın sonlarında tamamen çözünmez. Ekstrüzyon sonrası görülen yoğun bantlı yapı, Mg<sub>2</sub>Si konsantrasyonunun ekstrüzyon boyunca değiştiği anlamına gelir. Homojenize olmuş biletlerin ekstrüzyonunda, az miktarda Mg<sub>2</sub>Si çökeltileri ile çok daha uniform bir yapı vardır [7,8].

Metal malzemelerin dökümden sonraki primer yapısı, genel olarak dendritik haldedir ve büyük ölçüde bileşim farklılıkları nedeni ile yapıda homojensizlik vardır. Difüzyon olaylarının etkin olduğu homojenleştirme işlemiyle yapı homojen hale gelir. Bölgesel bileşim farklılıkların - özellikle impurite- dengeye getirilmesi ve dendritik yapının olumsuz etkilerinin giderilmesi arzulanır. İşlem süresini mümkün olduğunca kısaltmak amacıyla, malzeme katılma sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Çok yüksek sıcaklıklara çıkabilmesine karşılık, bu sıcaklıkta bekleme süresi diğer tavlama yöntemlerine oranla oldukça uzundur. Bir taraftan yapıdaki bileşim farklılıkları dengelenirken, bir taraftan da tane sınırlarındaki son katılan ergiyikteki impuritelere, bu sıcaklıkta çözünebilirler çözülerek tane içerisinde homojen olarak dağılır. Bu sıcaklıkta çözünmeyenler ise kısmen parçalanarak küresel forma dönüştürülür ve malzemedeki olumsuz etkileri büyük ölçüde azaltılır. Ancak, hem sıcaklığın hem de tavlama süresinin fazla olması nedeniyle, tavlama sırasında istenilmediği halde malzemedeki tane kabalaşması meydana gelebilir [3]

Alüminyum iletkenler için uluslararası standartlar üreticiye belirgin kimyasal bileşimler verir. Genelde %0.5 Mg, %0.5 Si içeren ve kalıntılarını siki bir şekilde kontrol edildiği alaşımlar kullanılmaktadır. Mg<sub>2</sub>Si intermetalik bileşiminin sertleşme üzerine etkisi ile istenilen mukavemet elde edilir. Bu durumu iletken üretimi açısından özetlemek gerekirse, geleneksel üretim metodu genellikle şu şekildedir: 540-550 °C'ye ısıtılmak suretiyle Mg<sub>2</sub>Si çözültüye alınır. Ani su verilir ve böylece çekme mukavemeti yükselir. Telin belirli çaplara çekilmesi ile çekme mukavemetini tekrar arttıran pekleme meydana gelir. En sonunda düşük sıcaklıkta uygulanan ısıl işlem ile mukavemet ile istenen direnç değerleri dengelenir.

Döküm biletinin homojenizasyon sıcaklığına normal hızlar ile (yaklaşık 90°C) ısıtılması malzemedeki sürekli yapısal değişimlere neden olur. Belirlenebilen Mg<sub>2</sub>Si çökmesi yaklaşık 135°C'de başlar ve 316°C'ye kadar devam eder. Mg<sub>2</sub>Si'nin kabalaşması 316 °C'nin üzerinde meydana gelir. 370 ve 560 °C'de ince plakalar halinde kalır. 560°C'de 6 saat homojenize edilmiş numunedeki taneler çevresindeki küçük Mg<sub>2</sub>Si plakaları görülebilir. 560 °C'de 6 saat, AA6101 biletleri için tipik bir homojenizasyon ısıl işlemi temsil eder. Sıcaklık ve homojenizasyon süresi arttıkça ?AlFeSi'nin küreselleşme eğilimi devam eder. Solvüs sıcaklığının üzerinde Mg<sub>2</sub>Si, ?AlFeSi ile dengededir. Bu sıcaklığın altında ?AlFeSi ve Mg<sub>2</sub>Si yararlı intermetalik fazlardır durumundadır. Ortalama denge 560 °C'de 6 saat homojenizasyon ile elde edilir (530 °C'deki homojenizasyon çok daha yavaştır) [6,8].

Mg<sub>2</sub>Si düşük akma özelliklerine ve T6'ya göre yaslandırıldıklarında kötü yüzey karakteristiklerine neden olmaktadır. Döküm biletteki iri Mg<sub>2</sub>Si'ler 510 °C' de ısıtmada daha düşük bir hızda çözünür. Heterojen yapıdaki bu düşük çözünme hızı, homojenize olmamış biletlerden yapılan ekstrüzyon ürünlerinin daha düşük akma mukavemetine sahip olmasını açıklar. Küçük partiküller halinde Mg<sub>2</sub>Si içeren biletler, iri Mg<sub>2</sub>Si içerenlere nazaran daha kolayca termo-mekanik işlem görürler. Yüksek akma mukavemetleri, homojenizasyon sıcaklığından hızlı soğutulup düşük sıcaklıkta ekstrüze edilen biletler ile elde edilir. Ekstrüzyon sonrası ani soğutma, AA6101 alüminin çözültüye alma ısıtma işlemi tamamlar. Büyük miktarda kati ergiyikte kalan Mg ve Si, alüminin yaşlanabilme özelliklerini geliştirir. Yapay yaşlanma sonrasında da yeterli mukavemet artışını elde etmek için 500 °C civarında olan sıcak ekstrüze edilmiş teller yaklaşık 60 °C/h ile soğutulmalıdır [6,8]

Sıcak ekstrüzyon, döküm bilet yapısını yeniden kristalize olmuş şekle dönüştürür. AA6101 alüminin kolaylıkla yeniden kristalize olmasından dolayı, ekstrüzyon ürünleri genellikle uniform ve ince tanelidir. Mg<sub>2</sub>Si oluşumu homojenizasyon sıcaklığından soğuma hızı ile belirlenirken, belirli ekstrüzyon koşulları altında, ekstrüze edilebilirlik üzerine ve bitmiş ürünlerin özelliklerine de önemli etkileri olabilir. Yavaş bir şekilde soğutulan biletlerin akma mukavemetlerini artırmak için yüksek sıcaklıklarda ekstrüze edilmeleri gerekir. Hızlı soğutulmuş biletler yüksek mukavemetli ekstrüzyon ürünleri verir.

Ekstrüzyon için, ekstrüze olacak parçanın şeklinin karmaşıklığına, ekstrüzyon oranına, kalıp cinsine, uygun ekstrüzyon basıncına, beklenen mekanik özelliklere ve istenen yüzey düzgünlüğüne bağlı olarak yeniden ısıtma sıcaklığı seçilir. Yüksek yeniden ısıtma ve ekstrüzyon sıcaklıkları ekstrüzyon için gerekli olan basıncı azaltır. Düşük bilet yeniden ısıtma sıcaklıklarının kullanımı, ekstrüzyonun başlangıcı için gerekli olan basıncı yükseltir. Ancak genellikle ekstrüzyon ürününün yüzey düzgünlüğünü artırır. Düşük tekrar ısıtma sıcaklıkları kullanıldığında ince Mg<sub>2</sub>Si çökeltileri içeren biletler tercih edilir. Bu tip biletler tekrar ısıtılıp ekstrüze edildiğinde, yaslandırılmış ekstrüzyon ürünlerinin çekme özellikleri yüksek olur ve ekstrüzyon ürünlerinin mikro yapılarında az miktarda Mg<sub>2</sub>Si görülür. Bu karakteristik özellik yeniden ısıtma sırasında ince Mg<sub>2</sub>Si'nin yeniden çözültüye geçtiğini göstermektedir.

Al-Mg-Si alümin için, Şekil 1'de gösterildiği gibi, bir ötektik 3'lü faz diyagramı incelendiğinde 7 farklı hal bulunabilir:

- i- Tamamıyla sıvı, (l)
- ii- Sıvı ile sadece primer faz (l+?)
- iii- Primer faz ile birlikte sıvı ve sadece bir ötektik faz, (l+? ? ? ?)
- iv- Primer faz ile birlikte sıvı ve iki ötektik faz, (l+? ? ? ? ? ?)
- v- 2 ötektikli kati ( ? ? ? ? ? ?)
- vi- tek ötektik fazlı kati ( ? ? ? ? ? ?)
- vii- ötektik faz içermeyen kati ( ? ? ? ? ? ?)

Al-Mg-Si faz diyagramının alüminyumca zengin kösesindeki farklı liküdüz değerleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Noktalı eğriler alüminyum kati ergiyiği, Mg<sub>2</sub>Si intermetalik ve silisyum faz alanları için liküdüz izotermine karşılık gelmektedir. 830 K'de (557.6 °C) 3'lü ötektik noktada birleşen monovariant çizgiler (siyah) ile ayrılmıştır. Bu

ötektik noktadan başlayarak Al/Mg<sub>2</sub>Si monovirant çizgisi boyunca ilerlenince sıcaklık boyun noktasına kadar artar. Daha sonra Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>'nin çökeldiği ikinci bir üçlü ötektik noktaya gelince düşer (sağ alt köşede büyütülerek gösterilen kısım) [7,8,9,10].

Faz diyagramının sol alt köşesinde sıvı fazdaki Al-%2Mg-%1Si alasisimi ile dengedeki katiyi bağlayan küçük bir bağ vardır (tie çizgisi). 3'lü ötektik noktada ?/Mg<sub>2</sub>Si/Si, dengedeki 4 fazın konsantrasyonunu 6 bağ çizgisi birleştirmektedir. Bu faz diyagramı göz önüne alındığında ötektik altı Al-Mg-Si alasisiminde monovirant çizgiye ulaşıncaya kadar ilk önce primer alüminyum katılaşır. Alasimin belirli nominal bir kompozisyonu için, geri difüzyon katılaşmaya ve ulaşılan monovirant çizgiye etki eder. Al-Mg<sub>2</sub>Si monovirant çizgisi üzerinde geri difüzyon, boyun noktasının katılaşmanın devam eden tarafını da kısmen belirler (nihai faz Si veya Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>) [9,10,11]

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyisel çalışmada aşağıdaki kimyasal bileşime sahip AA6101 alasisimleri kullanılmıştır.

	%Fe	%Mg	%Si	%Cu	%Mn	%Cr	%Zn
AA6101	0.5	0.35-0.8	0.3-0.7	0.1	0.03	0.03	0.1

Metalografik olarak incelenecek numuneler 2 grup altında toplanmıştır.

**1. Grup** numune: homojenize olmuş hızlı soğutulmuş??7 ? alüminyum biletten alınmıştır.

**2. Grup numune:** Homojenize olmamış, ekstrüzyon için 510 °C' de ısıtılıp ?10 mm filmasının olarak ekstrüze edilmiş AA6101 rod numunesi (ekstrüzyon yönüne paralel ve dik olmak üzere). Alınan tüm numuneler Weck ve Keller dağlayıcıları ile farklı sürelerde dağlanarak, ekstrüzyon yapısı, Mg<sub>2</sub>Si intermetaliginin dağılım ve boyutları gibi özellikleri yansıtan karakteristik yöreler incelenmiştir.

Şekil 2'deki bilet mikroyapisından Mg<sub>2</sub>Si'in, tane sınırları boyunca sıralandığı görülmektedir. Mg<sub>2</sub>Si'in bu durumu mekanik özellikleri düşürmekte ve ekstrüzyon sonrası ürün yüzey kalitesi bozmakta ve düşük uzama değerleri nedeni ile tel çekme işlemlerinde sıkça kopmalara sebep olmaktadır. Buna karşılık ısıtma işlemleri sonrası Mg<sub>2</sub>Si'in, rod mikroyapısı içinde ince partiküller şeklinde dağıldığı şekil 3'ten görülebilir. Numune alma çalışmaları ; dökümü yapıldıktan sonra homojenize olmamış ve kendi halinde soğumaya bırakılmış biletlerin 510 C 'de ekstrüde edilmesine müteakip elde edilen 9.5 mm çapındaki rodların T-6 ısıtma işlemi uygulandıktan sonra mekanik davranışlarının incelenmesi, ve dökümü yapıldıktan sonra homojenize olmuş ve su ile soğutulması yapılmış biletlerin 510 C 'de ekstrüde edilmesine müteakip elde edilen 9.5 mm çapındaki rodların T-6 ısıtma işlemi uygulandıktan sonra mekanik davranışlarının incelenmesi.

Ekstrüzyonu yapılan filmasınlar olup tabii tutulmuş olup alasisiminin çekme mukavemeti değerleri karşılaştırması şekil 4'te verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi homojenize olmuş (560 C, 6 saat) hızlı soğutulmuş biletlerden basılan filmasınlerden 175°C'de T-6 işlemi neticesinde alınan numunelerin çekme mukavemetleri homojenize olmamış ve yavaş soğutulmuş

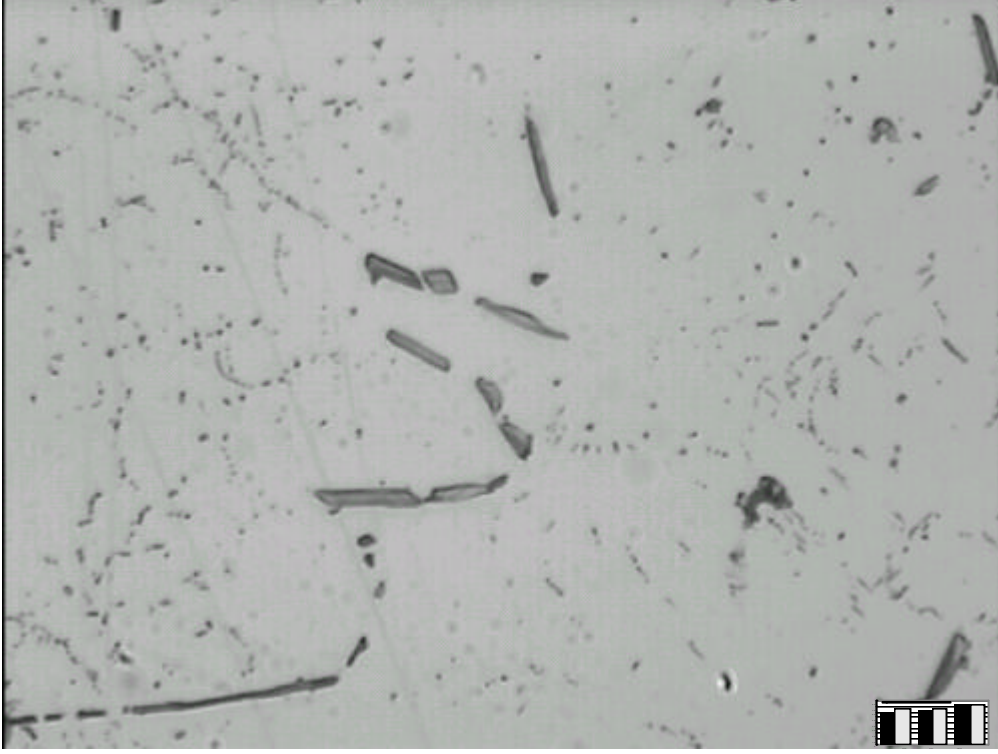
numunelere göre daha yüksektir. Aynı numunelerin %uzama degerleri karsilastirmasi sekil 5'te, sertlik degerleri karsilastirmasi ise sekil 6'da görülmektedir.

## 5.SONUÇ

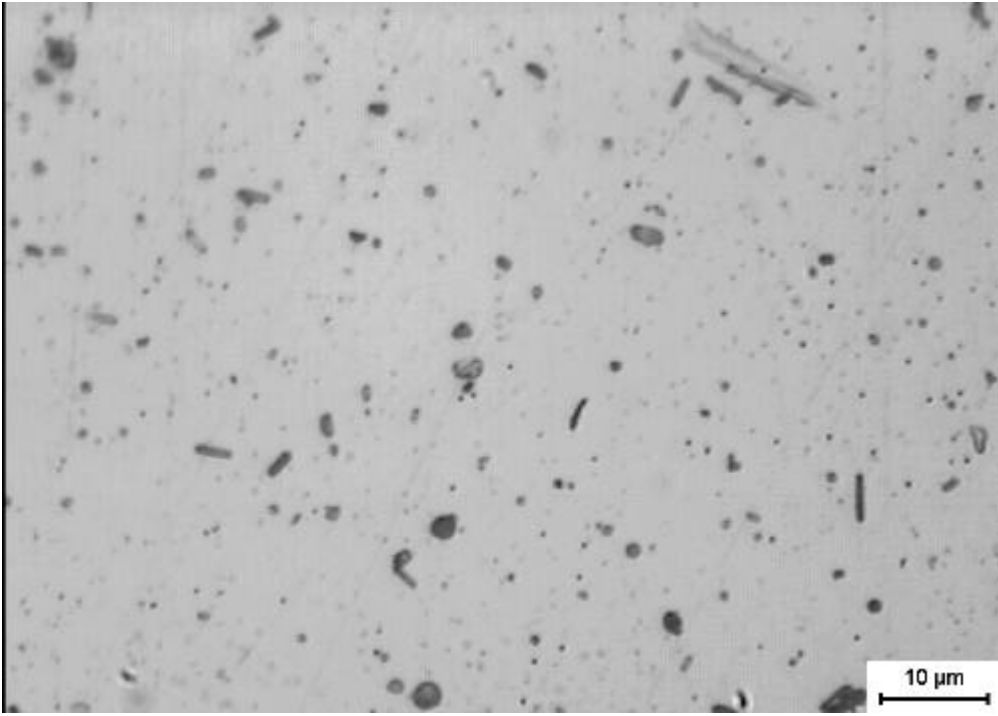
Enerji iletim hattında içinde toplam %2'den daha az uygun alasim elementi konulan saf alüminyum uygun isil islemler sonucu 6101-T6 formuna getirildiginde elektrik iletiminde iletken bara (haddelenerek filmasin üretimi yapılacak metal) olarak kullanılabilir. Bu malzemenin iletkenlik degeri saf alüminyuma göre bir miktar düşerken, akma mukavemetinde önemli artislar olmaktadır. Bu nedenle AA6101 alasimından yapılan iletkenler genellikle orta ve yüksek gerilim hatlarında merkezinde çelik öz ile takviye edilmeden kullanma imkani bulur. AAAC' de çelik bir öz bulunmadigindan dolayi, bimetalik korozyon olasiligi tamamen ortadan kalkar. Bimetalik korozyon hava iletim hatlarinin ömrünü sinirladigi için özellikle sahil alanlarinin elektrifikasyonunda önemlidir. Alasimli iletkenler yüksek sertlikleri nedeniyle asinmaya karsi, yüksek çekme mukavemetleri ile sehime karsi dirence sahiptirler.

## KAYNAKÇA

1. HUFNAGEL W., "Key to Aluminum Alloys Designation, Composition, Trade Names of Aluminum Materials", Aluminum-Zentrale, 1982.
2. KONONENKO. O. V., MATVEEV. V. N., "Em Activation Energy in Aluminum Conductors Tested by The Drift Velocity Method" Scripta mater. (2000) 621-626.
3. BAKER. S. P., JOO. Y. C., KNAUB. M. P., ARZT E., "Electromigration Damage in Mechanically Deformed Al Conductor Lines: Dislocations as Fast Diffusion Paths", Acta mater. 48 (2000) 2199-2208.
4. SPOLENAK. R., KRAFT. O., ARZT. E., "Effects of Alloying Elements on Electromigration Microelectronics Reliability 38 (1998) 1015-1020.
5. GUPTA. A. K., LLOYD. D. J., COUNT. S. A., "Precipitation Hardening Proseses in an Al-0.4%Mg-1.3%Si-0.25%Fe Aluminum Alloy", Materials Science and Engineering A301 (2001) 140-146.
6. DORE. X., COMBEAU., H., RAPPAZ. M., "Modelling of Microsegregation in Ternary Alloys: Application to the Solidification of Al-Mg-Si", Acta mater.48 (2000) 3951-3962.
7. MURAYAMA M., HONO K. "Pre-precipitate Clusters and Precipitation processes in Al-Mg-Si alloys" Acta mater. 47, 1537-1548, 1999.
8. MURAYAMA M., HONO K., "Atom probe studies on the early stages of precipitation in Al-Mg-Si alloys", Preprint accepted for publication in the Proceedings of the 44th International Field Emission Society", Mater. Sci. Eng. A., in press.2001
9. HSU. C., O'REILLY. K. A. Q., CANTOR. B., HAMERTON. R., "Non-Equilibrium Reactions in 6XXX Series Alloys Materials Science and Engineering A304-306 (2001) 119-124.
10. MYHR. O. R., GRONG. Q., ANDERSEN. S. J., "Modelling of the Age Hardening Behaviour of Al-Mg-Si Alloys Acta Mater. 49 (2001) 65-75.
11. FRANZ. E. C., "Chemistry and Ageing Behaviour of 6063 Alloy Extrusions", Light Metal Age, February (1985), 5-28.
12. FRANZ. E. C., " Natural and Artificial Ageing of the 6XXX Series Extrusions Alloys", light Metal Age, December (1985), 12-15.

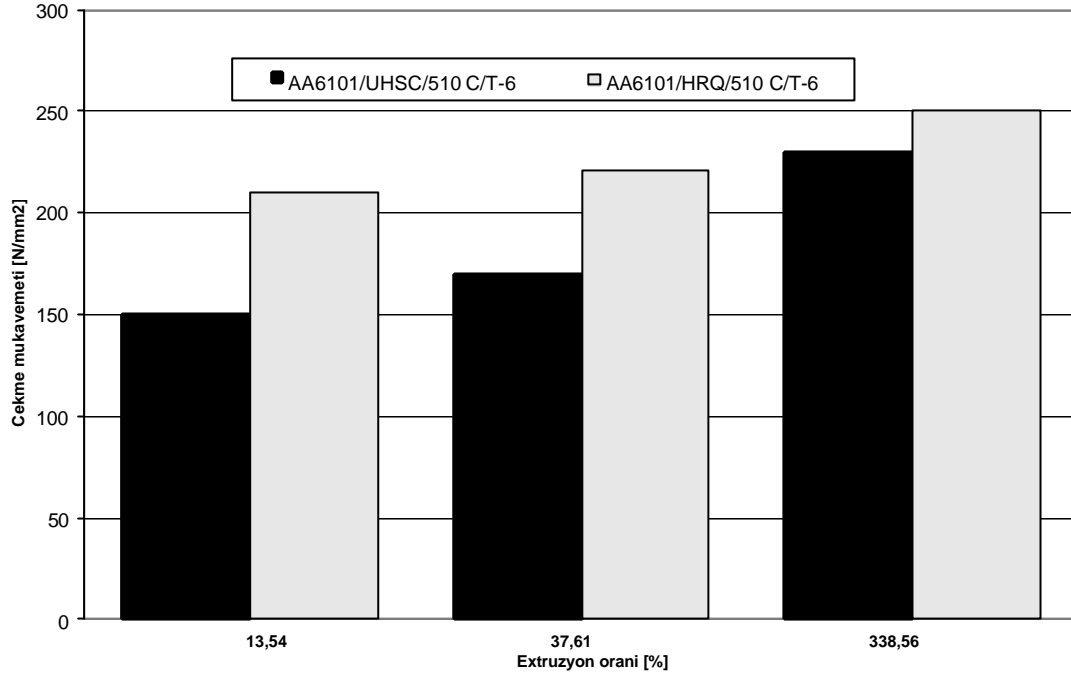


Sekil 2. Billet mikroyapisi (X500, Keller ile daglanmis. Mg<sub>2</sub>Si çökeltilerinin, tane sınırları boyunca sıralandığı görülmektedir).

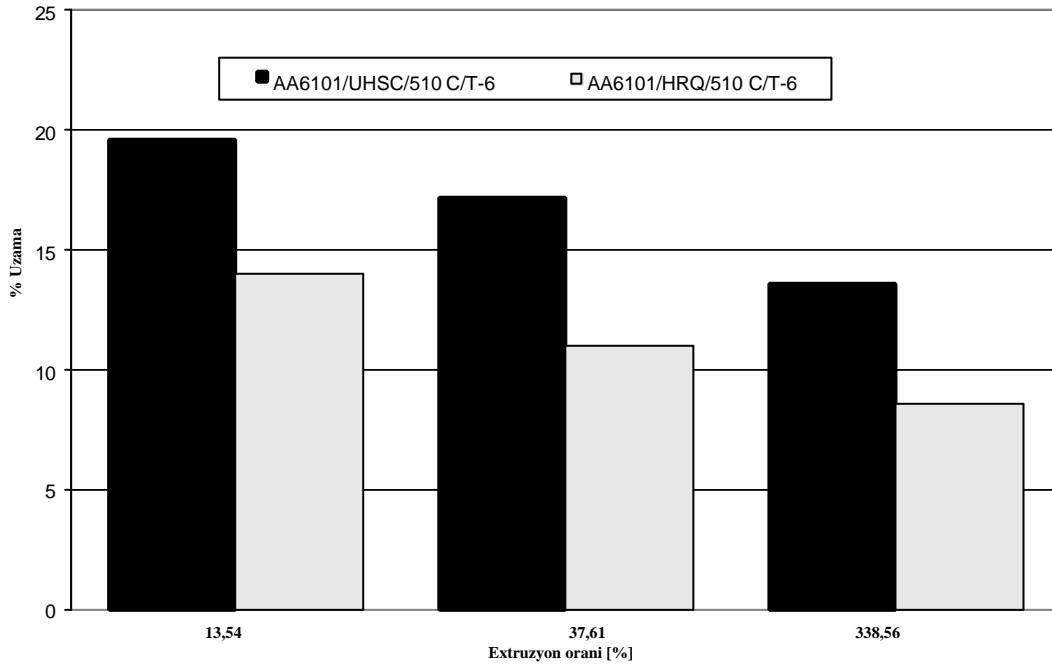


Sekil 3. Rod mikroyapisi (X500, Keller ile daglanmis. Yeniden ısıtma ve ekstrüzyon işleminin etkisiyle Mg<sub>2</sub>Si'in, mikroyapıda ince partiküller şeklinde dağıldığı görülmektedir).

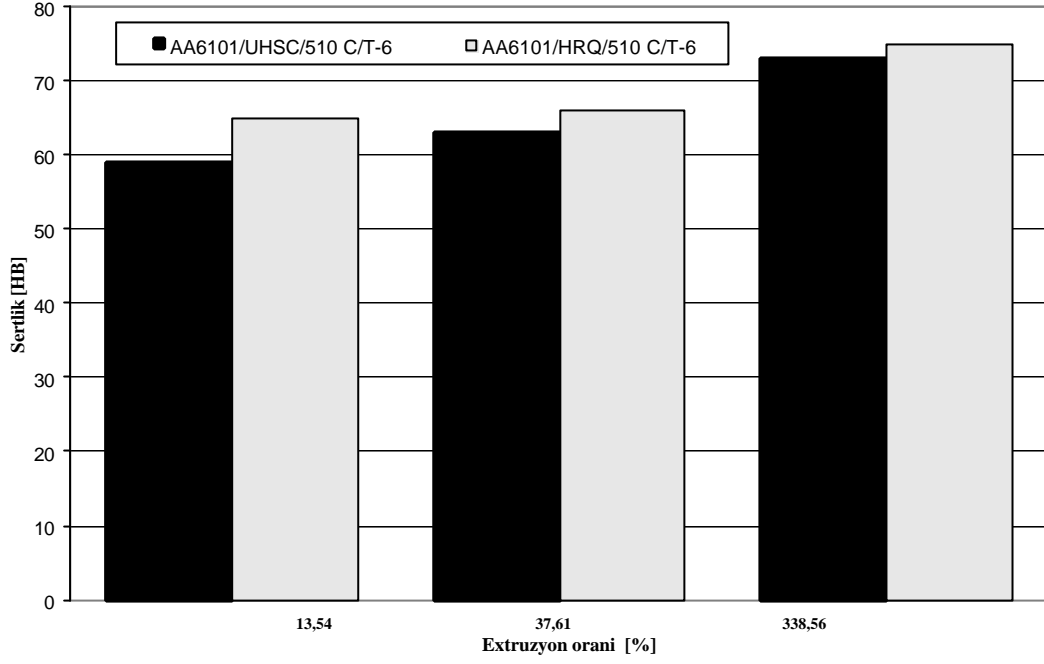




Sekil 4. 510°C’de T-6 ısıl işleme tabi tutulmuş homojenize olmamış yavaş soğutulmuş AA-6101 alüminiyumu ile 510°C’de T-6 ısıl işleme tabi tutulmuş homojenize hızlı soğutulmuş AA-6101 alüminiyumunun çekme mukavemetinin değişik ekstrüzyon oranlarında karşılaştırılması.



Sekil 5. 510°C’de T-6 ısıl işleme tabi tutulmuş homojenize olmamış yavaş soğutulmuş AA-6101 alüminiyumu ile 510°C’de T-6 ısıl işleme tabi tutulmuş homojenize hızlı soğutulmuş AA-6101 alüminiyumunun %uzama değerlerinin değişik ekstrüzyon oranlarında karşılaştırılması.



Sekil 6. 510°C’de T-6 isil isleme tabi tutulmuş homojenize olmamış yavaş soğutulmuş AA-6101 alaşımı ile 510°C’de T-6 isil isleme tabi tutulmuş homojenize hızlı soğutulmuş AA-6101 alaşımının sertlik değerlerinin değişik ekstrüzyon oranlarında karşılaştırması.