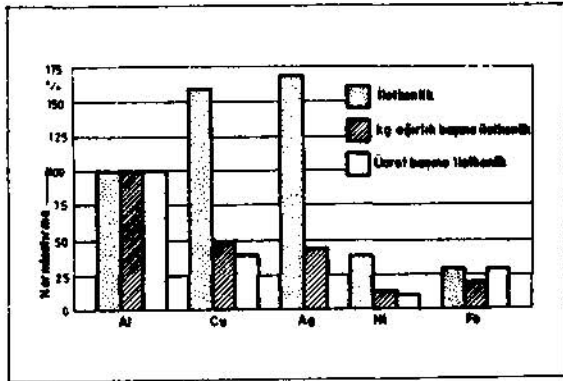


# İLETKEN MALZEME OLARAK ALÜMİNYUM

Çeviren: Orhan Zeki DEMİRAY / Eik. Yük. Müh.

Bakır gibi diğer iletken malzemelerin 10.000 yıldan daha fazla bir tarihi olmasına karşın alüminyum ancak yaklaşık 100 yıldan beri teknik olarak imal edilebilmektedir. Alüminyumun özgül elektriki iletkenliğinden sadece gümüş, bakır ve altıninki daha iyi olduğundan elektro teknik amaçlar için teknik bakımdan imal edilmesi kısa süre önce gerçekleştirilmiştir. Bugün için alüminyum geleneksel rakip malzemelere karşı pek çok elektroteknik kullanım alanına girmekte veya yükselen bir kullanım payı kazanmaktadır.

Bu gelişimin nedeni Çizim 1'den görülebilmektedir. Küçük iletken kesitlerinde bağlama tekniği için esas sorun; alüminyumun, çok iyi yalıtkan özelliğe sahip ve temaslarda sorun olan, tabii oksit tabakasıdır. Diğer taraftan bu ince, son derece yoğun oksit tabakası çok iyi aşınma dayanımını sağlamaktadır. Özel kullanımlarda küçük kesitli Al iletkenlerin bağlanma sorununun kaplama iletkenler (ekseriya bakır veya nikel kaplama tabakalı) kullanımı ile giderilme olanağı vardır; bununla birlikte bu iletken sistemi, bakır iletkenlere nazaran mevcut olan fiyat avantajının geniş ölçüde ortadan kalkması nedeniyle şimdiye kadar uygulanmamıştır.



ÇİZİM 1. Al, Cu, Ag, Ni, Fe'in iletkenlikleri

Pek çok kullanım alanında (havai hatlar, yeraltı kabloları, baralar), özel saf alüminyumdan (E-Al) veya E-AlMgSi ve E-AlMg (AA-5005) sîrisinden yüksek da-

\* Bu makale ETZ dergisinin 1980 yılı 6, sayısından çevrilmiştir.

yanımlı iletken alüminyum alaşımlarından imal edilen elverişli ve uluslararası normlara uygun malzemeler yeterli olmaktadır. Çok iyi biçimlendirilmiş, malzeme uygun bağlayıcılar bağlama tekniği prensipleri yönünden sorun da yaratmamaktadır. Diğer durumlarda (telekomünikasyon-iletişim-kabloları, iç tesisat oto elektrik tesisatı vs.) sorun, kullanma amacına uygun olarak özellikleri düzeltilmiş (süneklik, kontakt özelliği, dayanım vs.) özel alüminyum alaşımları ile çözümlenmektedir. Malzemenin optimal bir uyumunu gerektiren bu kullanım alanları alüminyum endüstrisinin gelişiminde önemli bir rol oynamış ve metalürjide bilhassa önemli araştırmalara neden olmuştur. Alüminyumun piyasa hakimiyetinin çok üstün olmamasına rağmen örneğin on yıl kadar önce havai hat tesisinde olduğu gibi, son yıllarda düşük bakır fiyatları nedeniyle engellendiği halde sürekli bir gelişim içinde olduğu gözlenmektedir.

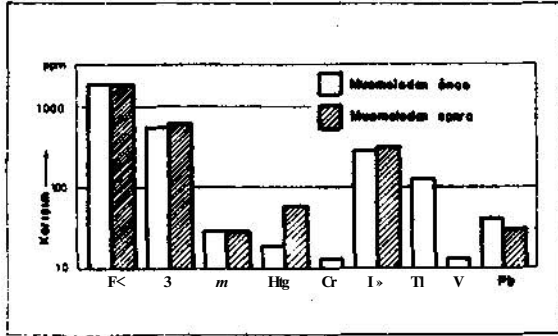
Alüminyumun kısa devre rotorlu endüksiyon motorlarında kullanımı, bu motor tiplerinin yaygınlaşmasına rağmen, pek az başarılı olmuştur. Bununla birlikte çok yüksek iletkenlik yönünden sorun olmaması kısmen de büyük bir yol alma momenti elde edilmesi için elektriki iletkenliğin düşük olması yüzünden mümkün olan ölçüde geriye dönmüştür. Bu kullanım alanında fiziksel özelliklerin uygun bir biçimde düzenlenebilmesi ve seçilen malzeme tipinin yeterli bir düzeyde döküme elverişli olması önemlidir, özel alaşımların çeşitleri kullanım yerine göre Al 99,7'lik saf alüminyumdan AISi (Cu, Fe, Mn, Cr, Ti)'ye kadar geniş bir sahayı kapsamaktadır.

## ELEKTROTEKNİK İÇİN SAF ALÜMİNYUM (E-Al)

E-Al, alüminyumdan üretilen dünya çapında en önemli iletken malzemedir ve yapısı ve yarı mamul olarak mekanik dayanım değerleri bakımından uluslararası normlaştırılmıştır. Malzeme terkinde asgari % 99,5 alüminyum olması gerekir ve örneğin bu husus DİN 1712'de normlaştırılmıştır. Alüminyum Birliği'nin (AA)'nın Avrupa'da da daima önemli olan standartlarına göre malzeme uluslararası kullanılan bu kaidelere göre AA-1350 (daha önce EC) sembolü ile gösterilmektedir ve DIN'de olduğu gibi iletkenliği aşırı düşüren Cr, V, Mn ve Ti elementleri bakımından özel sınırlandırmalar dikkate alınmaktadır.

Prensip olarak saf metaldeki her karışım ve katkı elektriği iletkenliği düşürmektedir. Her bir elementin beklenen iletkenlik düşümü üzerine etkisi birbirinden çok farklıdır. En büyük etkiye katkının kristal yapısının (çözülmüş ve ayrılmış karışık kristal) tipi de sahiptir. (2, 3 veya 4) no'lu kaynaklardan da görüleceği üzere, yukarıda sayılan metaller dışında alüminyum endüstrisinde de sık kullanılan alaşım metali Zr önemli rol oynamaktadır. Bu sınırlamalardan dolayı E-Al'ın imalinde sadece saf primer, alüminyumun söz konusu olduğu anlaşılmaktadır.

Normlaştırılmış yapı vaka E-Al'ın imali için kesin bir prensip teşkil ediyorsa da, iletken malzemenin istenen elektriği ve mekaniki özelliklerine erişmek, pek o kadar önemli olmamaktadır. Normlara uyulmasında da pek çok farklılık olmakta veya ayarlanabilmektedir. Pratikte, özel eritme işlemi ile (örneğin Bor'la), elektroliz yoluyla elde edilen metallerde ekseriya binde birkaç oranında mevcut olan Ti ve V elementleri müsaade edilen sınırların çok altına düşürülebilmektedir (Çizim 2). Demir ve Silisyum gibi imalata bağlı ana karışımlar iletken alüminyumun kalitesi üzerinde çok büyük rol oynamaktadır.



ÇİZİM 2. E-Al muameleden önce ve sonraki tipik karışımları. Grafize edilen terkipteki Properzl tellerin elektriği iletkenlikleri :

Bor'la muameleden önce dökülmüş : 34,91 S/mm<sup>2</sup>  
 Bor'la muameleden sonra dökülmüş: 35,97 S/mm<sup>2</sup>

Sert çekilme halinde şart koşulan % 61 IACS (35,39 S/mm<sup>2</sup>)'lik elektriği iletkenliği elde etmek için silisyum miktarında % 0,25 (DİN) veya % 0,1 (AA)'lik tolerans sınırının altına düşülmemesi gerekmektedir. Bu husus, teller için ana malzemeyi teşkil ettiğinden ekonomik imali gereken eritilerek haddeden geçirilmiş telden mamul iletken alüminyum için özellikle geçerlidir. Diğer taraftan elektroliz yoluyla elde edilen metalde ekseriya % 0,08'den fazla demir bulunmaktadır. Demir elektriği iletkenliği erime sınırına kadar (max. % 0,05) çok fazla etkilenmektedir, bu etki erime sını-

rının 1/10 oranında erimiş durumda aşılması halinde azalır; bu nedenle demir miktarının farklılığı elektriği iletkenlik üzerine pek az etki eder. Buna karşın ayrılmış demir bölümü de alüminyumun sertleşme özelliği üzerine belirgin bir etki yapmaktadır. Bu yüzden demir çok defa mekanik özelliklerin belirli bir kullanma amacına veya belirli bir üretim metoduna uygunluğunu sağlamak üzere katılır.

Erimiş demirin elektriği iletkenlik üzerine kuvvetli etkisi bu kalite özelliğinin imalat teknolojisine bağlılığının sebebi de olmaktadır. Döküm sırasında hızlı soğutma demirin Alüminyum-Karma kristali içinde doymaya erişmesine neden olur, böylece eriyikte ötektik (kolay eriyen) sıcaklıkta maksimum erimeye tekabül eden daha çok demir bulunur. Dengeli durumda tekrar imal edilen ve demir kısmı kışım ayrılmış durumda olan yumuşak tavlama ile elektriği iletkenlik belirgin şekilde düzeltilebilir. Yumuşak tavlama durumunda asgari norm iletkenlik değeri, özgül direnci artıran yanlış soğuk şekil vermeden dolayı, sert çekilmiş durumunkinden daha yüksektir, yani 36,0 S/mm<sup>2</sup> (% 62 IACS)'dir. Yumuşak tavlama durumunda demirin söz konusu etkisi ile bu değer, sert çekilmiş durumun norm değerinden çok daha kolay elde edilir, hatta yumuşak tavlama E-Al için 36,54 S/mm<sup>2</sup> (% 63 IACS) garanti edilebilir. Aşırı doyma, eşdeğer malzeme terkipte fakat farklı üretim teknolojisinde sert çekilmiş E-Al'ın iletkenlik değerlerinde 1 S/mm<sup>2</sup>'lik farkların hasıl olmasının da sebebidir. Mamulün mekanik özelliklerine ilişkin koşullar kullanım problemlerine bağlıdır. Büyük kesitli bilhassa massif (yekpare) sektör iletkeni! (se) kablolarda keza kablo kılıflarında mümkün mertebe düşük genişleme (uzama) sınırı ve yüksek kopma uzaması gereklidir, iletken telleri zati yüklere ve germe kuvvetlerine dayanmak üzere mümkün mertebe sert olmalıdır. Daha az mukavim durumlar tercih edilmedikçe, küçük kesitli kablolarda ve diğer tatbikatlarda gereklidir. Bütün tatbikat alanları için yarı mamul Alüminyumun kalitesine ilişkin DİN normları şunlardır :

DİN 40501 Bölüm 1 ila 4 : Saçlar ve Band'lar (lamlar) borular, profiller, çubuklar, teller (havai hat iletkenleri hariç).

DİN 48200 Bölüm 5 : iletken telleri, alüminyumdan mamul teller.

Mukavemet değerlerinin E-Al ile işaretlenen bölgelerini göstermek için yumuşak ve süper sert çekilmiş her iki ekstrem durum için tipik mekanik değerler aşağıda verilmiştir :

E-Al, yumuşak (0) :

$$R_{p0,2} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 70 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{M0} = \%50$$

$$A_{100} = \%25$$

E-Al süper sert (H 19) :

$$R_{p0,2} = 205 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{10} = \%7$$

$$A_{1,00} = \%1,5$$

Belirli kullanım sahaları için E-Al ile elde edilebilen mukavemet değerleri yeterli olmayabilir. Havai hat iletkenlerinde E-Al'in kullanılabilirliği, tel kütlesini şüphesiz olumsuz yönde etkileyen münzam çelik tellerin eklenmesi ile artırılabilir. Çok büyük ve komplike kesitli haralarda, E-Af soğuk şekil verme yöntemleri ile (çekme, haddeme) tamamen sertleştirilebildiği ve bu olanak belirli kesitlerde teknik yönden yüksek masraflarla ancak gerçekleştirilebildiği için, küçük mukavemet değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle bu tip baralar tamamen soğuk şekil verme derecesi az olan çubuk presleri ile imal edilirler.

#### AlMgSi İLETKEN ALAŞIMLARI

E-Al'e nazaran biraz daha kötü iletkenlik göze alırsa, mevcut mukavemet değerleri sertleştirilebilen AlMgSi iletken alaşımları ile daha büyük değerlere çıkarılabilir, teknolojik bakımdan da soğuk şekil verme olanaksızdır. AlMgSi iletken alaşımlarına ilişkin normlara E-Al'e ilişkin normlara nazaran oldukça fazla farklılık göstermektedir. Bu alaşım normunun münferit firma variantlarına girmeksizin, hem Avrupa'da hem de ABD'nde iletken telleri için (DİN 1725'e göre E-AlMgSi, AA'ya göre 6201) ve baralar için (DİN 1725'e göre E-AlMgSi, 0,5, AA'ya göre 6101) farklı kalitelere imal edildiği tesbit edilebilir. Bunlara ilişkin koşullar ABD'nde ve Avrupa'da farklı ise de ABD'nde büyük mukavemet değerleri yanında yüksek elektrik iletkenlik koşulu ağır basmaktadır. Avrupa'da baralar için daha yüksek bir karışım derecesine müsaade edilmektedir. İletken tellerinde ise aksine mukavemet koşulları ABD'nde daha yüksektir, bu nedenle 6201 normal E-AlMgSi'den daha fazla Mg ve Si ihtiva etmektedir. Çizelge 1 E-AlMgSi havai hat iletkeni ve baralara ilişkin koşullar bakımından önemli farklılıkları göstermektedir.

İzah edildiği gibi burada incelenen AlMgSi alaşımları için özellikleri ısı ile muamelede ve keza soğuk şekil vermede değişebilen, sertleşebilen malzemeler söz konusudur. Baralarda mukavemet değerleri sıcak sertleştirme ile (eriterek tavlama ve sıcak haddeme) elde

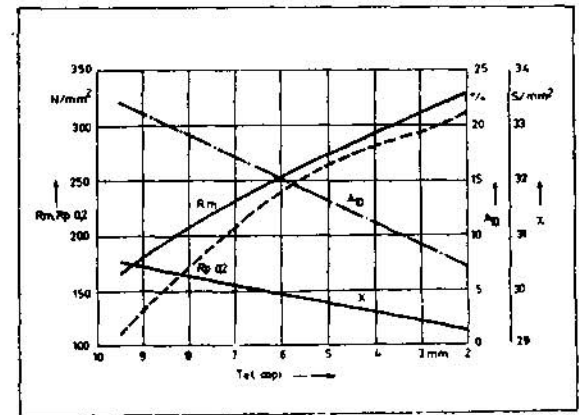
edilir, çok defa uygun bir şekilde soğutulmak suretiyle eriterek tavlama çubuk çekme yerine kullanılmaktadır.

Çizelge 1. AlMgSi İletken Alaşımlarının Mukayesesi

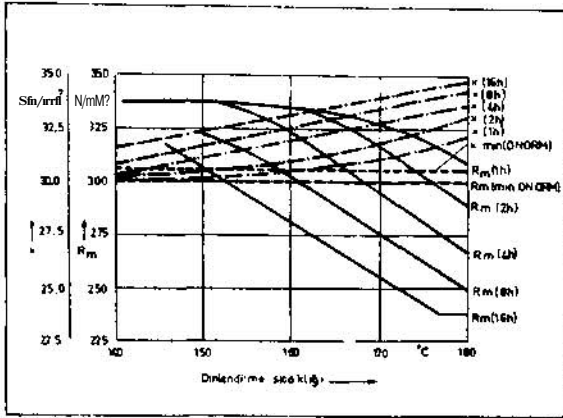
Teslin formu	Alaşım	Sembol	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	X (min.)
iletken teli	E-AlMgSi	Aldrey	300	-	4,0	30,5
"	6201	T 81	317	-	3,0	30,5
Bar	E-AlMgSi	F 17	170	120	-	32,0
"	"	F 22	215	160	-	30,0
"	6101	T 65	172	138	-	32,0
"	6101	T 6	200	172	-	31,9

iletken tellerinde sıcak haddeme ve soğuk şekil vermenin kombinasyonu tatbik edilir, ekseri hallerde eriterek tavlama bir mamul (örneğin 9,5 mm dökülerek haddelenmiş tel) kullanılır, nihai çapa göre çekilir ve ayrıca sıcak olarak haddelenir (Çizim 3 ve 4). Böylece, kullanılan malzeme terkininde sıcak sertleştirme ile elde edilemeyen, şart koşulan yüksek mukavemet değerleri sağlanır. E-AlMgSi veya 6201 iletken teli için mamul madde daha ziyade dökülerek haddelenmiş teldir. Almanya'da dökülerek haddelenmiş telin kullanımı DİN normunda tesbit edilen sarma numunesinin ağır koşulları nedeniyle zorlaştırılmıştır, kullanım için kesin karar verici olmayan bu muayene kriterlerinin biraz hafifletilmesi şimdiye kadar yapılmıştır. AlMgSi iletken alaşımları için en önemli DİN normları olarak şunlar sayılabilir:

DİN 40501, Bölüm 2 ve 3: Borular, profiller, çubuklar  
DİN 48200, Bölüm 6: İletkenler için teller, E-AlMgSi'den mamul teller.



ÇİZİM 3. Eritilerek tavlama ve 4 gün soğukta dinlendirilmiş E-AlMgSi Properzl tellerin sertleştirilmesi



ÇİZİM 4. 3 mm çapında çekilmiş E-AlMgSi pres tellerin sıcakta dinlendirilmesi.

Bu münasebetle, ABD'nde ki tatbikatta Avrupa'daki E-Al veya E-AlMgSi yerine ikame edilen, normlarda tesbit edilen diğer alternatifin yani sertleştirilemeyen AlMgSi iletken alaşımı 5005'in mevcut olduğunu da hatırlatmış olalım. Bu alaşım ABD'nde muhtemelen geleneksel yönden çokça kullanılmaktadır, bununla birlikte mekanik ve fiziki özelliklerinin optimizasyonu bakımından E-AlMgSi'den daha iyi değildir.

#### ALÜMİNYUMDAN MAMUL DÜŞÜK ALAŞIMLI YENİ İLETKEN MALZEMELER

Elektroteknikteki birkaç kullanım alanı için, bu alanda henüz alüminyumun kesin bir üstünlüğü olmadığından geleneksel Al iletken malzemeler tam bir güvenilirlik sağlayamamaktadır. Al iletken alaşımlarının gelişmesi, uzun süredir çok değişken bakır fiyatlarının artışı ile en sonunda alüminyumun bu kullanım alanına da girmesini beklenir hale getirmiştir. 1978 yılına kadar olan zamanı kapsayan süre için (1) no'lu kaynakta da topluca verilen malzeme gelişimi kabaca bir takdimi güç olmasına rağmen, çok pratik olarak müşahade edilebilmektedir. Telefon hatları ve iç tesisat için alüminyumdan yapılan malzemeler aynı malzeme kriterlerine sahip olduğu için aşağıda özellikle bu tatbikatlar dikkate alınacaktır. Bu tatbikat için mukavemeti 120 N/mm<sup>2</sup> ve elektriki iletkenliği mümkün olduğunca yüksek olan "orta sertlikteki" alüminyumun kullanılmasının avantajlı olacağı ortaya çıkmaktadır. Problem küçük kesitlerde sağlama tekniğinde ve kertik (çentik) hassasiyetinde kendini göstermektedir. Koursuz bir bağlantı için her şeyden önce düşük bir geçiş direnci ve sünmeye karşı mümkün olduğunca yüksek bir mukavemet esas alınır (1), durumun düzeltilmesi alaşımın geliştirilmesiyle ve keza bağlayıcının geliştirilmesi ile mümkündür.

Geçen on yıl içinde, iletkenlik değerleri pek az azalması yanında sünme ve yüzey özellikleri daha iyileşti-

rilen yüzlerce Al iletken alaşımları hazırlanmıştır. Bununla beraber aşağıdaki düşük alaşimli iletken malzemenin büyük önemi vardır (1).

AlFe (yaklaşık % 0,75 Fe)

Fe miktarının artışı E-Al tatbikatında daima mekanik özelliklerin düzeltilmesi sonucunu doğurmaktadır. Döküm esnasında yavaş soğutmalı eski imalat metodunda Fe miktarı, kalın iğne biçiminde Al<sub>3</sub>Fe'in teşekkül etmesinden dolayı, takriben % 0,4 ile sınırlanmıştır. Modern dökerek haddeleme metodlarının gelişmesi ile hızlı katılaşmadan dolayı Al<sub>3</sub>Fe teşekkülü, mümkün olduğunca dispersoid (dağınık) formda küçük tutulmakta ve Fe miktarı artmaktadır. ABD'nde 1969 yılında ALCOA-Alaşımı CK 74 (% 0,85 Fe) piyasaya sürülmüştür. En çok tanınanı ve teknikte çok kullanılanı Lizenz'deki Norsk-Hydro tarafından üretilen Sauthwire-alaşımı Triple-e (% 0,6 Fe)'dir. DOS 2 029 485'e göre Kaiser-Alüminyum ekstrem olarak hatta % 3 kadar bir demir miktarını ileri sürmektedir. Bizatihi döküm esnasında çok hızlı soğutma sonucu elde edilen bu alaşım % 1,5'lük nominal Fe miktarı ihtiva etmekte ve kalite değerleri de artmaktadır (6) :

$$R_m = 127 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{p0.2} = 88 \text{ N/mm}^2$$

$$A_r = \%20$$

$$x = \%60,1 \text{ IACS}$$

Dökülerek çekme tesislerinde üretilen yüksek Fe miktarlı iletken alüminyumu, aynı mukavemet değerli E-Al'e nazaran daha yüksek kopma uzaması ve oda sıcaklığında daha uygun sünme özelliği sembolize etmektedir. Buna karşın artan sıcaklıkta sünme özelliği mukayese edilemeyecek kadar kötüleşmektedir (7).

AlFeMg (takriben % 0,7 Fe, takriben % 0,1 Mg)

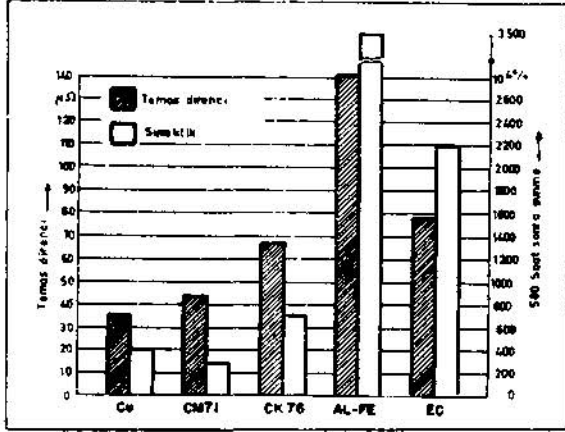
AlFe iletken alaşımlarına cüzi miktarda Mg eklenmesi ile sünme özelliği daha da düzeltilmektedir. Şüphesiz bu üstünlük elektriki iletkenliği azaltmaktadır. ALCOA bu alaşımı CK 76 (% 0,75 Fe, % 0,15 Mg) ile sembolize etmekte ve Bell baboratuvarlarında yapılan muayenelere uygun olarak (8) sünme stabilitesinin AlFe'ye nazaran asgari 1,5 kat daha iyi olduğunu belirtmektedir.

Bu alüminyum sınıfına Alunorf'un "Flexal" Alcan-Uk'un 1320 C ve Pechiney'in A4G/L alaşımları da dahildir.

AlCuMg (Takriben % 0,2 Cu, takriben % 0,5 Mg)

100°C'yi oldukça aşan sıcaklıklardaki kullanımlar için bu alaşım tipi en uygundur (7). Alcoa CM71 (% 0,4 Cu, % 0,14 Mg) alaşımı ile piyasaya izafi olarak yüksek alaşimli bir çeşit sürmüş ve temas direncine ilişkin deneylerde fevkalade sonuçlar elde etmiştir

(Çizim 5). Daha iyi birelektriki iletkenliği, burada tarif edilen kullanım amacı için Elektro-Koppar tarafından imal edilen özel olarak ayrıca % 0,1 Be katılan Ductalex (% 0,2 Cu, % 0,04 Mg) sağlamaktadır. Berilyum yüzeysel oksit tabakasını değiştirir ve bu alaşımın sünme dayanımına ilaveten temas özelliklerini de düzeltir. Bu alaşım havai hat tellerinde soğuk çekilmiş durumda başarı ile kullanılmaktadır, mukavemeti ve iletkenliği E-Al ile E-AlMgSi arasında olup bu geleneksel malzemelere ilave alternatif olmaktadır.



ÇİZİM 5. Alcoa malzemenin vidalı bağlantı halinde temas direnci ve süneliği (bağlayıcı galvanize) (9). Sonuçlar 125°C ve 125 yüklemeye göre.  
 CM 71 = AlCuMg (0,4 % Cu, 0,14 % Mg)  
 CK 76 = AlFeMg (0,75 % Fe, 0,15 % Mg)  
 AlFe = 0,85 % Fe (CK 74)  
 EC = E-Al

Çizelge 2. 0,5 mm<sup>2</sup> kesitli telefon tellerinin özellikleri, çekme tesisi ile nihai tavlama üretim.

Alaşım	Sembol/ imalatçı	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>p0,1</sub> N/mm <sup>2</sup>	A <sub>250</sub> %	iletkeni k % IACS
AlFe	Triple - e Southwire	121	91	13	59,5
	A4/L Pechinery	123	98	10	59,6
AlFeMg	CK 76 ALCOA	145	112	14	59,5
	1320C ALCAN-UK	135	102	12	57,8
	A4G/L Pechinery	128	105	8	59,0
	XT E · E Kaye	138	107	10,5	57,9
	Ductalex Elektrokoppar	119	91	19	60,3
AlFeCu	Stabiloy ALUSUISSE/OLIN	145	108	11	59,8 (imalatçı bilgileri)

Bu en önemli alaşım tiplerinden başka, burada ancak birkaç tanesine temas edilecek, uygun özellikli daha pek çok enteresan alaşım mevcuttur. Çeşitli testle-

re göre Southwire-alaşımı Super-T (% 1 Co) çok uygun görülmektedir (11), fakat aşırı maliyetinden dolayı şimdiye kadar pratik uygulamaya geçilememiştir. Mümkün olan element kombinasyonları AlFeCu (takriben % 0,6 Fe, takriben % 0,2 Cu) alaşım serisine, Stabiloy (Alusuisse/Olin) ve MS 122 (BICC) alaşımına keza AlFeSi (takriben % 0,6 Fe, takriben % 0,1 Si) serisinden örneğin piyasaya sürülen Almhoflex (12,13) (Alumetal) ve A4 S/L (Pechinery) alaşımına nazaran avantaj da sağlamaktadır. Bir kısmı gerçekten değişik tipte olan (egzotik) Al-iletken alaşımının pek çoğu değişik tipte Japonya'da geliştirilmiştir. Çizelge 2, telefon telleri imalatında erişilen kalite değerleri bakımından birkaç alaşımı bir arada göstermektedir. Açık ki, mukavemet değerleri nihai tavlamaya bağlı olarak değişeceğinden, bilgiler sadece genel olarak değerlendirilmelidir.

Mamulün özelliklerinden başka ilaveten alaşımının işlenebilmesi de gözden geçirilmelidir. Ekseri düşük alaşımli iletken alaşımın işlenmesinde hemen hemen E-Al'deki gibi, yani bakırın işlenmesinden biraz daha kötü, üretim gücüne erişebildiği kabul edilmektedir. (14) no'lu kaynaktan AlFe-alaşımı Triple-e'nin birkaç mahzuruna rağmen diğer alaşımlara karşı, işlenebilme özelliği çok iyi olduğundan zamanla üstünlük kazandığı belirtilmektedir. Telefon tellerinde üretim hızı tel izolasyonu için karıştırıcı (ekstruder) ve sürekli tavlama "line" metodundan dolayı mutaden 25 ila 30 m/s civarında kalmasına rağmen 60 m/s'ye kadar çekme hızlarına erişilebilmektedir. Çapları 0,06 mm'ye kadar olan teller iyi bir çekme ve laklanma elverişliliği ile imal edilmektedir. Burada söz konusu edilen geliştirilmiş iletken alaşımının önemli bir tatbik sahası telefon kabloları imalinde bakırın yerine kullanılmasıdır. Alüminyum geniş kapsamlı olarak şimdiye kadar İngiltere'de kullanılmıştır (15, 16). Teknik sorunlar bağlama tekniğinin, kablo tiplerinin keza malzeme kalitelerinin standardizasyonu ile çözülmüştür. Pek çok iletken alaşımına (AlFe, AlCuMg, AlFeMg) BPO'nun koşullarına uygun olduğu takdirde izin verilmektedir :

$$R_m = \text{en az } 110 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{p0,1} = \text{en az } 90 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{250} = \text{en az } \% 5$$

$$X = \text{en az } \% 60,66 \text{ IACS}$$

Avrupa'da imal edilen 4.000 t/a Triple-e'nin % 90'ı telefon kablolarında kullanılmaktadır (14). Düşük alaşımli Al-iletken alaşımının diğer üreticilerinin miktarı bizce bilinmemektedir. Fransa'da da bakır yerine alüminyum kullanılmasında büyük bir gelişme vardır (17).

ABD'nde 1978 yılında yalnız iç tesisat için takriben 40.000 ton ve laktı tel için takriben 20.000 ton Alüminyum kullanılmıştır (14). Bunlar arasında Triple-e'nin payı takriben % 10'dur. ABD'nde alüminyum iç tesisatlarında yıllar önce husule gelen arızalar uygun olmayan bağlama sistemli E-Al'in kombinasyonlarından kaynaklanmakta idi. İzole bir oksit tabakasının doğurduğu problemin kontakt malzemesi ile kaplamak suretiyle çözümlenmesine ilişkin pek çok deneyin yapılmış olduğu da gözden kaçmamaktadır (13 no.lu literatüre bakınız). Bu husus teknik yönden tam anlamıyla 1963 yılında Texas Instruments tarafından çözümlenmiş fakat üretimin pahalılaşmasından dolayı bugüne kadar uygulanmamıştır. Kaplama maddesi olarak bakır veya nikel keza kalay da kullanılmaktadır.

### ROTOR ALÜMİNYUM

Alüminyumun elektroteknikte en önemli kullanım sahası kısa devre rotorlu endüksiyon motorlarıdır. Bu tahrik tipi evler ve ağır endüstri tesisleri için çok önemlidir. Bu sahada, sadece bir iş safhasında Al-iletken çubuklar, bağlama bilezikleri ve soğutma vantilatörleri söz konusu olduğu ve çalışırken kompakt imal tipi avantaj sağladığı için (stabil, sessiz, oluklardan tam yararlanma, parçaların kaymaması ve gevşemesi ki bu husus daima vuruntuya neden olur, bakır rotora nazaran ağırlığın yarı yarıya azalması), daha önce bakır telli demir lamel konstrüksiyon kullanılırken, şimdi demir lamelli alüminyum kombine dökümü kullanılmaktadır. Kullanılan Al-iletken alaşımları buraya kadar izah edilen Al-iletken alaşımları ile aynı özelliklerde imal edilmemektedir. Burada aranan üstünlük yüksek bir mutlak değer bakımından elektriksel iletkenlik olmayıp bilakis iletkenliğin biraz azalması ve yeterli dökülebilme özelliğidir, özgül iletkenliğin\* mutlak değeri, hem mümkün olduğunca yüksek hem de çok düşük iletkenlikti alüminyumun kullanılmasından dolayı, motor koşullarına bağlıdır. Yüksek bir iletkenlik nominal yükte vaka verimi yükseltir, fakat iyi bir yol alma momenti ve küçük yol alma akımı ise sadece düşük iletkenlikle sağlanabilmektedir. Hemen hemen bütün alüminyum imalatçıların kendi bilgileri ile optimize ettikleri özel rotor alaşımları mevcuttur. (18) no.lu literatürde tavsiye edilen malzemeler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Rotor alaşımları

Kullanım Yeti *	İletkenlik % IACS	BİLEŞİM				
		Al	Cu	Fe	Si	FeSi
Küçük rotorlar (130 mm. den küçük)	59	99,70				1,5
	59	99,50				1,5
	57	99,50		-0,40		1,5
Büyük rotorlar	56	99,00		-0,80	-0,25	3
	54	99,00	-0,10	0,55-0,75	-0,15	
Yüksek yol alma momentli rotorlar	37				4,5-6,0	
	30		3,0-4,0	0,8-1,1	7,5-9,5	

Yüksek bir özgül direnç elde etmek için çok defa, Mn, Cr, Ti veya Zr gibi iletkenliği çok düşüren elementler alaşıma katılır. Çok düşük iletkenlik koşulu rotor imali dışında, başka kullanım alanlarında da örneğin ulaştırma sistemlerindeki lineer motorların reaksiyon barakalarında kullanılmaktadır (19).

Alüminyum elektrotekniğin ayrılmaz bir parçasıdır, bu kompleks sahada kullanım hakkında iyi bir toparlama yapmak hemen hemen imkansızdır. Muhtelif kullanımların iyi bir toparlanması 1979 yılında Mailand' da yapılan 5. INTEL raporunda (20) bulunmaktadır.

### KAYNAKLAR

- (1) E. Kutner : Leitverkstoffe aus Aluminium, Bericht zum Stand der Technik, Aluminium (demnachst).
- (2) F. Kutner und G. Lang: Aluminium Bd. 52 (1976), S.322.
- (3) G. Ivantscheff : Einfluß des Reinheitsgrades auf die elektrischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften von Leitwerkstoffen, DGM-Symposium Bad Nauheim 1977, Verunreinigungen in Metalleri, S. 173.
- (4) G. Wanser : Anforderungen an den Reinheitsgrad von Leitwerkstoffen in Kabeln, DGM-Symposium Bad Nauheim 1977, Verunreinigungen in Metalleri, S. 185.
- (5) H.C. Chia und E.A. Starke : The Metallurgy of Triple-e, Firmeninformation Southwire Carr. (1971).
- (6) S.G. Roberts und T.R. Pritschett : Aluminium Bd. 52 (1976), S. 129.
- (7) F. Kutner: Aluminium Bd. 55 (1979), S. 716 und S. 790.
- (8) G.J. Herbert, K.M. Olsen und T.D. Schlabach : Wire J. Bd.3(1970), S. 51.
- (9) P.T. Coffin: Firmeninformation der ALCOA, Pittsburgh, 19. Mai. 1970.
- (10) A. Aşkmán und W. Bronnvall: ASEA Z. Bd. 18 (1975) S. 59.
- (11) H.C. Chia und P.S. Keith : Wire Wire Prod. Oct. (1971), S. 101.
- (12) P. Fiorini : Alluminio Bd. 44(1975), S. 324.
- (13) P. Fiorini: Wire ind. Bd. 46 (1979), S. 265.
- (14) G. Zenner : Firmeninformation Norsk Hydro Langefeld, Dezember 1979.
- (15) D.R. BUSeI: Kabeldrahte aus Aluminiumlegierungen-eine bewahrte Substitution von Kupfer, Post Office Telecommunication Headquarters, London.
- (16) H.J.C. Spencer: International Wire and Cable Symposium 1977, S. 149.
- (17) M. Gerbier : Rev. de L'Aluminium (1975), S. 471 und S. 496.
- (18) Aluminum Electrical Conductor Handbook, The Aluminum Ass, New York.
- (19) P. Furrer : Aluminium Bd. 52 (1976), S. 246.
- (20) A. Perrone : Alluminio Bd. 48 (1979), S. 107.