

# DURALÜMİNYUM TİPİNDE STANDARTLAR DIŞI BİR MALZEMENİN LABORATUVAR VE ENDÜSTRİYEL ÇAPTA METALURJİK ETÜDÜ

Fuat Yavuz BOR

*Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara*

ÖZET. — Uçak hurdalarındaki çeşitli standartlara dahil muhtelif aksamın hiç bir ayırımı tabi tutulmadan ergitilmesi sonucu teşekkül eden ve «hurdadan kurtarılmış malzeme» adı altında depolanan bir malzemedan istifade imkânları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Genel Direktörlüğü Teknoloji Laboratuvarları Şubesinde etüt edilmiştir.

Kimyasal analiz, bu malzemenin hiç bir bilinen standarta uymadığını, dolayısıyla standartlar dışı bir bileşimde olduğunu göstermiştir.

Metalurjik etütler laboratuvar çapında yapılarak, bu malzemenin «duralümyum» tipi «sertleşebilir» bir alümyum alaşımı olduğunu göstermiş, küçük boyutlardaki temsili numuneler üzerinde malzemenin sertleşme ve yumuşama şartları tespit edilmiştir.

Lâboratuvar etütlerinden kazanılan bilgilere dayanılarak endüstriyel boyutlardaki malzemedan sıcakta ekstrüzyon yoluyla profil imali imkânları endüstriyel çapta başarıyla denenmiş ve bu malzemedan profil imali imkân ve şartlarıyla profiller üzerinde malzemenin bazı mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

## GİRİŞ

Metal alümyumun hafif olması ve yanısıra saf alümyuma belli ve ölçülü miktarlarda bazı metallerin katılması suretiyle elde edilen alaşımların ısısal ve mekanik işlemler sonucu kazandıkları özellikler alümyum ve alaşımlarının uçaklarda kullanılmasının ana sebebidir. Günümüz uçaklarının gövde, kanat, pervane, yakıt depoları, iniş takımları vb. ana parçaları genellikle alümyum alaşımlarından imal edilmektedir. Çeşitli aksamın göreceği görevlere göre, sahip olmaları gereken fiziksel ve kimyasal özellikler uçaklarda çok çeşitli ve farklı alaşımların kullanılmasını gerektirir.

«Hurdadan kurtarılmış malzeme» adı altmda laboratuvarımıza intikal ettirilen malzeme, çeşitli hurda aksamın hiç bir ayırımı tabi tutulmadan, düşey bir fırın içerisinde bir mazot brülörünün direkt aleviyle temas sonucu ergitilmesinden teşekkül etmiştir. Dolayısıyla malzeme mütecanis değildir ve farklı zamanlarda muhtemelen farklı parçaların karıştırılması sonucu partiden partiye değişiklik gösterebilecek bir görünüştedir.

## ETÜT EDİLEN MALZEMENİN ANA HATLARI İLE TANINMASI

Hurdadan kurtarılmış malzemenin bir partiye mensup çeşitli kalıpları klorlu bir tuz eriyiği altmda tekrar ergitilmiş ve N<sub>2</sub> gazı ile yıkandıktan sonra silindirik kalıplara dökülmüştür. Lâboratuvar etütleri için 35 mm Ø X 35 mm ve 70 mm

Ø X 70 mm boyutları seçilmiş ve dökülmüş silindirler tornada bu ebatlara indirilmiştir. Endüstriyel çaptaki etütler için hazırlanan takozlar 175 mm Ø X 300 mm boyutlarda seçilmiştir.

Bu takozlardan talaş çıkarmak suretiyle numune alınmış, spektrografik etüt ve kimyasal analizler bu numuneler, röntgenografik ve mikroskopik incelemeler bütün takoz yüzeyi üzerinde yapılmıştır.

Yapılan spektrografik analiz neticesinde, alaşımın ana metal alüminyumun yanısıra

Cu, Mg, Si, Fe, Zn, Ni, Mn, ve Pb

metallerini büyük ve ölçülebilir miktarlarda ihtiva ettiği tespit edilmiştir. Bunlardan başka, cüzî miktarda varlığı gereken

Cr, Cd, Sn, Ti

elemanları da orijinal spektrumlarında görülmüştür.

Kantitatif kimyasal analiz sonuçlarına göre etütlerde kullanılan alaşımın ağırlık yüzdesi cinsinden bileşimi şöyledir: 4.86 Cu, 1.23 Si, 0.83 Mg, 0.71 Fe, 0.69 Zn, 0.43 Ni, 0.30 Mn, 0.03 Pb, bakiye Al.

Takoz yüzeyinde yapılan mikroskopik etütler, malzemede kristal sınırlarında çok miktarda ötektikler bulunduğunu göstermiştir. Levha I, şek. 1, herhangi bir ısısal işleme tabi tutulmamış malzemenin döküm sonrası orijinal yapısını göstermektedir.

X ışını difraksiyon neticeleri malzemenin bir alüminyum alaşımı olduğunu tekrarlamış, 2.05 Å dalga boyunda bir faz verdiği görülmüşse de, herhangi bir faz tayini mümkün olmamıştır.

1000 kg altında 10 mm çapındaki bilya ile her takoz için en az üç defa tekrarlanan ölçmeler sonucu, 76.3 ve 87.2 limitleri arasında döküm sonrası orijinal takozların ortalama Brinell sertliği 82.4 kg/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

#### MALZEMENİN MENŞEİNİN TAHMİNİ

Uçakların çeşitli kısımları US standartlarında «wrought aluminium alloys» olarak isimlendirilen mekanik yollarla işlenmeye müsait alüminyum alaşımları grupuna dahil malzemelerden imal edilmektedir.

Metals\* Handbook'a (1) göre, bilhassa gövde saçları ve levhaları ile çeşitli profiller ve çubuklar için genellikle 24 S, strüktürel parçalar için 75 S ve 79 S, pistonlar için 19 S ve 32 S, armatörler için 14 S ve 17 S, yakıt tankı ve depolan için 52 S ve pervane aksamı için 25 S alaşımları kullanılmaktadır.

Yukarıda adı geçen çeşitli uçak aksamının bilinmeyen nispetlerde karıştırılarak ergitilmesi sonucu teşekkül eden etüt konusu malzemenin kimyasal analizi, 24 S alaşımının ana kaynak olması gerektiği fikrini uyandırmaktadır. Tablo I de önemli alaşımların sınır bileşimleri verilmiştir. Numunedeki 24 S alaşımına kıyasla yüksek olan çinko değeri, malzemeye 75 S ve/veya 79 S alaşımlarından mamul kısımların katılmış olması ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

Numunedeki yüksek nikel değeri, ana alaşım metali bakır olan ve % 1.7-2.3 Ni ihtiva eden 19 S alaşımı ile % 0.5-1.3 Ni ihtiva eden 32 S alaşımından gelme olarak kabullenilebilir. Diğer taraftan, 32 S alaşımı % 11.5-13.5 Si ihtiva etmekte,

**Tablo - 1**  
**Metals\* Handbook'a göre (1) uçaklarda kullanılan alaşımlardan**  
**bazılarının sınır konsantrasyonları**

<i>Element</i>	<i>Alaşım 24 S</i>	<i>Alaşım 75 S</i>	<i>Alaşım 79 S</i>
<b>Cu</b>	3.8 - 4.9	1.2 - 2.0	0.4 - 1.0
<b>Zn</b>	maks. 0.1	5.6 - 6.1	3.8 - 5.2
<b>Mg</b>	1.2 - 1.8	2.1 - 2.9	2.4 - 3.8
<b>Mn</b>	0.3 - 0.9	0.1 - 0.3	0.1 - 0.6
<b>Si</b>	0.5 - 1.2	maks. 0.5	maks. 0.5
<b>Fe</b>	maks. 0.5	maks. 0.7	maks. 0.5
<b>Pb</b>	maks. 0.03	—	—

buna mukabil, numunedeki ve 24 S alaşımındaki silisyum değerlerinin çok üzerinde bulunmaktadır. Ergitme esnasında brülörün direkt alevi ile temas sonucu ve oksitleyici ortamda silisyumun büyük bir kısmının yanarak, alaşımı terk etmiş olabileceği mümkün görülmektedir.

Standart alaşımlardan 24 S, 25 S, 52 S, 75 S ve 79 S % 2 nin üzerinde magnezyum ihtiva ederler. Numunedeki % 0.83 Mg değeri ergitme esnasında magnezyumun da silisyum gibi yanarak alaşımı terk etmiş olabileceği görüşünü desteklemektedir.

Sonuç olarak, eldeki numune muhtelif standartlara uygun çeşitli alaşımların bir karışımı olarak ortaya çıkmaktadır. Kimyasal analizi bakımından malzeme tamamen tesadüfi olarak yeni bir alaşım görüntüsü arz etmekte, standartlarla karşılaştırıldığında hiç bir standarta girmemekte, fakat genel görünüş bakımından «sertleşebilir» ve «mekanik yollarla şekillendirmeye müsait» bir alaşım olması gerektiği fikrini uyandırmaktadır.

### SERTLEŞTİRME HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Dayanıklılığı birçok maksatlar için yeterli olmayan saf alüminyuma belli miktarlarda bazı metaller ilâve edildiği takdirde, elde edilen alaşımın sertliği ve dayanıklılığı önemli miktarlarda artırılabilir. Bu tip «sertleşebilir» alaşımlar, kaide olarak ötektik altı alaşımlar olup, yumuşak bir ana yapı ve primer katılmış kristallerin sınırları üzerine yerleşmiş küçük sert kristalitler görünüşündedir. Ana yapı genellikle alüminyum (veya az miktarda çözülmüş metal ihtiva eden alüminyum alaşımı), sert kristalitler ise tamamen intermetalik bileşiklerden müteşekkildir. İntermetalik bileşikler alüminyumun ilâve metallerle teşkil ettiği «alüminitler» dir veya ilâve metallerin birbirleriyle birleşmesinden meydana gelen ve çok değişik komponentler ihtiva eden fazlardır. Alüminit teşekkül ettiren bazı önemli elementler ve bunların çeşitli temperatürde saf alüminyum içinde çözülebilen miktarları Tablo 2 de verilmiştir (2).

Sertleştirme bugün için izah edilebilen bir metalurjik olay olmasına rağmen, incelenen numunenin fazla sayıda metal ihtiva etmesi metalurjik işlemler sonucu malzemede vuku bulması beklenen sertleşmenin ve diğer özelliklerdeki değişmelerin bütün ayrıntıları ile açıklanmasını imkânsız bir duruma getirmektedir. Bu sebeple,

Tablo - 2

Alüminit teşekkül ettiren bazı önemli elementlerin ötektik sıcaklıkta ve oda sıcaklığında saf alüminyum içinde çözünebilen miktarları (2)

Element	Bileşik	Ötektik sıcaklık (°C)	Çözünme miktarı (Ağırlık %)	
			Ötektik temp. de	Oda sıcaklığında
Cu	CuAl <sub>3</sub>	548	5.65	0.3
Mg	MgAl <sub>3</sub>	448	14.90	2.9
Zn	Zn <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	380	70.00	2.7
Mn	MnAl <sub>3</sub>	—	1.80	0.0

sertleştirme ve yumuşatma işlemlerini basit modeller üzerinde genel olarak incelemekte fayda vardır.

Sertleştirme olayının en güzel izahı Al-Cu ikili denge diyagramı üzerinde yapılabilir. Levha I, şekil 2 de bu sistemin alüminyumca zengin tarafı gösterilmektedir (3). Bu şekle göre, bakırın ötektik sıcaklıktaki konsantrasyonu ağırlık yüzdesi olarak % 5.7 dir ve sıcaklık düşüldükçe a - karışım kristali içinde çözünebilen bakır miktarında azalma olmaktadır. Hansen ve Anderko'ya göre (4), bakırın sıcaklığa bağlı olarak çözünen miktarları şöyledir:

500 °C de % 4.1  
400 °C de % 1.5  
300 °C de % 0.5

Ötektik sıcaklığın altında bir sıcaklıkta tutulmuş bir Al-Cu alaşımı bu sıcaklıktan yavaş yavaş aşağı sıcaklıklara soğutulacak olursa — denge şartlarının gerçekleştiği gerekçesinde — CuAl<sub>3</sub> kristalleri teşekkül ederek a - karışım kristallerinin sınırları üzerine yerleşirler. Bu durum ancak denge diyagramının ideal şartlarının yerine getirilmesiyle ve çok düşük bir hızla soğutulduğunda gerçekleşebilir.

Ötektik sıcaklığın biraz altında bir sıcaklığa kadar ısıtılıp yeterli bir süre bu sıcaklıkta tutulan bir alaşımda, katkı maddelerinin alüminyum içerisinde (veya misalde a - karışım kristali içerisinde) homojen olarak dağılması temin edilebilir. Denge diyagramına uygun azami çözünümlenin sağlandığı bu işleme «çözünümlendirme ısıtması» denilir.

Çözünümlendirme ısıtmasını müteakip aniden bir soğutmada (meselâ soğuk su ile muamele sonucu), malzemenin sıcaklığı düşmesine karşılık, alaşım içerisinde denge diyagramının şartları gerçekleşemezler. Bu muamele sonucu alaşım içerisinde bulunan bakır miktarı, denge diyagramına göre bulunması gerekenin çok üzerindedir, dolayısıyla de malzemede bir aşırı doymuşluk durumu mevcuttur.

Çözünümlendirme ısıtması ve anî soğutma sonucu elde edilmiş olan bu metastabil durumdaki alaşım, çok uzun süre oda sıcaklığında tutulacak olursa, alaşımdaki bakır atomları iki ilâ üç atom kalınlığında iki boyutlu yüzey kompleksleri teşekkül edecek şekilde bir araya gelebilirler. «Guinier-Preston zonları» denen bu yüzey kompleksleri alaşım içerisinde ana yapıya baskı yaptıklarından, malzemede bir sertleşme vuku bulur. Bu olaya «soğukta sertleştirme» adı verilir (5). Bu cins bir sertleştirme sonucu, malzemenin mikroskop altındaki incelenmesinde fazla bir değişiklik görülmez, yeni bir faz teşekkül etmiş değildir ve olay sadece «Debye-Scherrer» röntgen çizgilerindeki intensite artışları ile takip edilebilir.

Çözündürme ısıtması sonucu aniden soğutulan alaşım oda sıcaklığında değil de, daha yüksek bir sıcaklıkta uzunca bir süre tutulacak olursa, sıcaklığın yükselmesine paralel olarak üç olay takip edilebilir:

a. Karışım kristalinin yüzeylerinde bakır atomlarının konsantrasyonu sonucu malzemenin sertliğinde bir artış olur.

b. Mikroskop altında ince iğnecikler şeklinde görülebilen ve röntgen diyaframında faz olarak tayin edilebilen  $\Theta'$  - fazının çökmesi sonucu malzemenin sertliğinde bir artış olur.

Alaşımında oda sıcaklığından yüksek fakat çözündürme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta tutulması sonucu, a ve b olayları ile temin edilmiş olan sertleştirmeye «sıcakta sertleştirme» denilir (5).

c. Sıcaklık daha da yükseltildiğinde (ötektik sıcaklığın altında kalmak şartıyla), denge diyagramına uygun olarak  $\text{CuAl}_2$ -fazının çökmesi sonucu malzeme yumuşar ve a ve b olaylarının sonucu husule gelmiş olan sertlik kaybolur. Bu olaya sebep olan ısıtmaya «yumuşatma ısıtması» adı verilir.

#### LABORATUVAR ÇAPINDA YAPILAN SERTLEŞTİRME DENEYLERİ\*

35 mm 0 X 35 mm boyutlarındaki takozlarla yapılan sertleştirme deneylerinde, çözündürme ısıtması azamî sıcaklığı 900°C olan ve içerisinde 110 mm lik boyuna bir bölgede sıcaklığı  $\pm 7^\circ\text{C}$  civarında sabit kalan elektrikli bir fırında yapılmıştır. Çözündürme sıcaklığı olarak 450, 480 ve 510°C ler, süresi olarak da 30, 60 ve 90 dakikalar alınmıştır. Deney süresi soğuk fırına konmuş takozların fırın içinde deney sıcaklığına eriştiği andan itibaren hesaplanmıştır.

Soğukta sertleştirme deneylerinde sertleşme, oda sıcaklığında kendi haline bırakılmış takozların çözündürme ısıtmasını takiben soğuk su ile aniden soğutulmasından itibaren geçerli çeşitli zaman aralıklarında Brinell sertliklerin ölçülmesi yoluyla takip edilmiştir.

Sıcakta sertleştirme deneylerinde ise, anî soğutulan takozlar sıcaklığı  $\pm 1^\circ\text{C}$  civarında sabit tutulabilen bir etüv içerisinde 150 ve 200°C de yaşlandırılmış ve sertleşme Brinell sertliklerin ölçülmesiyle takip edilmiştir.

Tablo 3 te her iki sertleştirme deneylerinde takozların çeşitli zamanlarda eriştikleri sertlikler  $\text{kg/mm}^2$  olarak verilmiştir.

Oda sıcaklığında yapılan sertleştirme deneylerinde malzemede hissedilir bir sertlik artmasının görülmesine kadar geçen zaman olan «inkübasyon zamanı», çözündürme sıcaklığının bir fonksiyonudur, inkübasyon zamanı 450°C için 6 ilâ 24 saat iken, 480°C ve 510°C için 3 saatin altındadır. Sertleşme hızı her üç sıcaklıkta ilk 24 saat içinde yüksek iken, zaman uzadıkça sertleşme hızında azalma görülmektedir. Son sertliğe 8 ilâ 10 gün sonra takriben yaklaşılmakta, azamî sertliğe ise, birkaç ay veya daha uzun bir zamanda varılabileceği anlaşılmaktadır. Çözündürme ısıtmasında zaman olarak 450°C için 30 - 60 dakika arasında bir zamana ihtiyaç varken, diğer sıcaklıklarda 30 dakika yeterli olmaktadır.

\* Bu deneyler ODTÜ Metalürji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarından faydalanılmak suretiyle yapılmıştır.

Tablo - 3

35 mm 0 X 35 mm boyutlarındaki takozlar üzerinde çeşitli çözümlendirme temperaturü ve zamanlarının a) soğukta ve b) sıcakta yaşlandırmaya etkileri

## a) Soğukta sertleştirme (oda sıcaklığı)

Başlangıç sertliği (kg/mm <sup>2</sup> )	Çözümlendirme		Yaşlandırma süresi (saat)									
	Temperatürü (°C)	Süresi (dakika)	0	3	24	47	48	72	144	240	264	304
87.2	450	30	—	70.2	77.5	—	83.0	83.0	—	84.9	82.6	80.4
81.7		60	66.5	67.1	80.0	—	82.6	84.9	—	84.9	80.4	89.7
82.6		90	68.8	68.8	78.7	—	83.5	80.4	—	91.2	84.9	93.3
80.4	480	30	68.8	73.9	84.9	—	91.2	95.0	—	95.0	97.7	97.7
80.4		60	66.5	73.2	87.2	—	93.9	97.2	—	98.9	97.7	97.7
82.6		90	70.6	76.3	90.7	—	97.2	97.2	—	101	98.3	99.5
82.6	510	30	67.5	84.4	92.3	98.3	—	—	101	101	101	105
87.2		60	73.2	88.7	97.7	100	—	—	101	105	102	107
82.6		90	65.5	78.7	92.3	97.2	—	—	95.0	101	102	101

## b) Sıcakta sertleştirme (150°C)

			0	1	2	22	24	98	114	116	140	168
84.0	450	30	64.2	83.0	84.9	118	—	—	—	114	—	113
82.6		60	65.2	82.6	84.9	111	—	—	—	112	—	114
78.3		90	64.6	71.5	77.5	111	—	—	—	107	—	110
83.0	480	30	68.2	86.3	95.0	—	114	—	—	121	122	—
84.9		60	68.8	92.3	93.9	—	118	—	—	121	123	—
82.6		90	68.8	88.2	92.3	—	118	—	—	121	125	—
84.9	510	30	76.3	105	102	131	—	129	124	—	—	—
82.6		60	73.2	97.2	97.7	120	—	128	125	—	—	—
82.6		90	76.3	101	101	123	—	131	124	—	—	—

150°C de yapılan sertleştirme deneylerinde inkubasyon zamanı 1 saatin altındadır. Sertleşme hızı 24 saat süresince artmakta, son sertlik bu zaman sonunda elde edilerek daha uzun sürelerde sabit kalmaktadır. Bu deneylere göre tatbik edilen çözümlendirme ısıtması süresi her üç temperatürde de 30 dakika olarak yeterli bulunmuştur.

Gerek oda sıcaklığında, gerekse 150°C de yapılan yaşlandırma deneylerinde erişilen azamî sertliğin çözümlendirme temperatürünün bir fonksiyonu olduğu ve temperatür yükseldikçe ölçülen son sertliğin de yükseldiği tespit edilmiştir.

Küçük takozlarla yapılan sertleştirme deneyleri en uygun çözümlendirme temperatürünün 500°C civarında olduğunu göstermiştir. Bu temperatürde azamî sertliğe ulaşılmaktadır ve ayrıca da çalışılan fırındaki ötektik temperature kadar çıkması muhtemel temperatür salınımlarının dışında kalan bir temperatür olması bakımından da uygundur. Bu sebeplerle, 70 mm Ø X 70 mm boyutlarındaki büyük takozlarla yapılan sertleştirme deneylerinde çözümlendirme temperatürü olarak 500°C tatbik edilmiş, ısıtma süresinin etüdü için deneyler 30, 60 ve 90 dakika bu temperatürde tutulmak suretiyle yapılmıştır. Anî soğutmayı müteakip yaşlandırma 150°C olarak seçilen en uygun temperatürde yapılmış, yaşlandırma temperatürünün üst sınırını incelemek maksadıyla bu seri deneylerde 200°C de tatbik edilmiştir.

70 mm Ø X 70 mm boyutlarındaki takozlar üzerinde 500°C çözümlendirme ve 150 ile 200°C yaşlandırma sıcaklıkları sonucu ölçülen değerler Tablo 4 te verilmiştir. Deney sonuçları bu boyuttaki takozlar için çözümlendirme ısıtması süresinin en az 60 dakika olması gerektiğini, küçük boyutlardaki takozlar için yeterli bulunmuş olan 30 dakikalık zamanın bu boyutlara kifayet etmediğini göstermektedir. 150°C sıcaklıktaki yaşlandırmada malzemenin sertliği 24 saat sonunda azamî değere ulaşarak, bu değerde sabit kalmaktadır. Buna karşılık, 200°C sıcaklıktaki yaşlandırmada sertlik ilk 24 saat zarfında artmakta, fakat daha uzun süreli yaşlandırma sonucu malzeme tekrar yumuşamaya başlamaktadır. Yani bir «aşırı yaşlanma» olayı vuku bulmaktadır.

Tablo - 4

70 mm Ø x 70 mm boyutlarındaki takozlar üzerinde 500°C çözümlendirme sıcaklığında 150°C ve 200°C de yaşlandırma sonuçları

## a) 150°C sıcaklıkta yaşlandırma

Başlangıç sertliği (kg/mm <sup>2</sup> )	Çözümlendirme		Yaşlandırma süresi (saat)								
	Sıcaklık (°C)	Süresi (dakika)	0	1	2	3	4	5	6	7	24
75.5	500	60	—	65.5	72.4	72.4	78.3	80.4	84.9	84.9	110
72.4		60	—	65.5	72.4	74.3	80.4	84.9	82.6	84.9	110
72.4		60	—	61.1	82.6	80.4	84.9	89.7	87.2	84.9	114

## b) 200°C sıcaklıkta yaşlandırma

Başlangıç sertliği (kg/mm <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Süresi (dakika)	Yaşlandırma süresi (saat)									
			0	1	2	3	4	5	20	48	93	189
75.5	500	30	73.9	78.3	79.6	86.2	77.1	81.3	101	84.9	87.7	84.9
73.5		60	—	92.3	97.7	102	96.1	95.0	114	105	101	89.7
80.4		90	62.4	92.3	97.7	101	92.3	107	114	101	101	89.7

Sertleştirme deneyleri için kullanılan fırının müsait olmaması sebebiyle, çalışmaların bahsi geçen iki boyuta inhisar etmek mecburiyetinde kaldığı laboratuvar çapındaki deneyler, etüt edilen malzemenin «sertleşebilir» bir alüminyum alaşımı ve erişilen azamî sertliğin 130 kg/mm<sup>2</sup> civarında olduğunu göstermiştir. Bu değerler 24 S alaşımı için literatürde verilen sertlik değerlerine eşittir.

Her iki boyuttaki takozlar için 500°C çözümlendirme sıcaklığı olarak yeterli ve aynı zamanda ötektik ergimelere mahal bırakmayan bir yükseklikte olması bakımından en uygun sıcaklık olarak tespit edilmiştir. Çözümlendirme ısıtmasının süresi tabiatıyla takoz boyutlarına göre değişmekte, küçük takozlar için 30, büyük takozlar için 60 dakika süreleri yeterli olmaktadır.

Sıcakta sertleştirme, 3 saatlik bir inkubasyon süresinden sonra, azamî sertliğe erişilebilmesi için çok uzun bir zamana ihtiyaç göstermektedir. Bu deneylerde takip edilen 504 saat zarfında azamî sertliğe erişmek mümkün olmamıştır. Sonuçlardan alaşımdaki katkı maddelerinin henüz çökemedikleri anlaşılmakta, X ışını difraksiyon diyagramı, piklerin normal sayıda, intensitelerin ise, çok cüzi artmış olduğunu göstermektedir. Döküm sonrası takozlardakinin dışında yeni bir faz görülmemektedir.

Sıcakta sertleştirme deneyleri, sonuçları en uygun yaşlandırma sıcaklığının 150°C civarında seçilmesi gerektiğini belirtmekte, 200°C veya yukarıdaki

temperatürlerde malzemenin aşırı yaşlanma sonucu tekrar yumuşayacağına işaret etmektedir. 150°C yaşlandırma temperatüründe 24 saatlik veya üzerinde bir muamele, malzemenin azamî sertliğine ulaşabilmesi için şarttır.

Levha II, şek. 3, sıcakta sertleştirilmiş bir numunenin mikroskopik yapısını göstermektedir. Bu şekilden alaşımdaki katkı maddelerinin iğneler şeklinde teşekkül ettikleri görülmektedir. Bu numunenin X ışını difraksiyon diyagramı, piklerin normalin çok yukarısına çıkacak şekilde büyüdüklerini ve ayrıca iki pikin de yeni bir faza tekabül edecek şekilde görüldüklerini tespitle, sertleşme olayının Cu-Al sistemi üzerinde açıklanan teoriye uydukları kanaatini uyandırmaktadır.

#### LABORATUVAR ÇAPINDA YAPILAN YUMUŞATMA DENEYLERİ

Döküm yoluyla elde edilen takozların ortalama sertliği 82.4 kg/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Bu sertlik malzemenin mekanik yollarla şekillendirilebilmesine müsait değildir, herhangi bir mekanik zorlamaya uğrayan takozlar çatlayıp kırılmaktadır. Bu sebepten malzemenin bir yumuşatma işlemine tabi tutularak, devamlı yumuşak kalacak bir duruma getirilmesi gerekmektedir.

Yumuşatma işlemi Levha I, şek. 2 de gösterilen Al-Cu diyagramına göre izah edilecek olursa, yapılan işlem malzemenin sıcakta sertleştirme temperatürünün üstünde fakat çözümlendirme ısıtması temperatürünün mutlaka altında uygun bir temperatürde yeteri müddet tutulmasından sonra, denge diyagramındaki çeşitli temperatürlerdeki azamî çözünürlük sınırlarını takip edebilecek yavaşlıkta bir hızla oda sıcaklığına (veya kritik temperatürün altına) kadar soğutulmasından ibarettir. Bu ameliye sonucu malzeme stabil bir duruma geçmiş olur, sertlik kaybolur, dolayısıyla malzeme mekanik yollarla işlenebilir. Mekanik işleme sonrası, arzu edildiğinde, malzeme tekrar sertleştirilebilir.

Yapılan deneylerde yumuşatma ısıtmasına en uygun temperatürü tayin için 350, 400 ve 450°C olmak üzere, üç ayrı temperatürde çalışılmış ve ısıtma süresi 30, 60 ve 90 dakika olarak seçilmiştir. Bu ısıtmayı müteakip malzeme fırın içerisinde 30°C/saat bir hızla soğutulmuştur. Sertleştirme deneylerinin yapıldığı fırın bu çalışmalar için de kullanılmış, otomatik ayarlayıcı her on dakikada 5°C indirilerek, saatte 30°C soğutma hızının tatbiki mümkün olmuştur. Bu kontrollü soğutma ön denemelerde tespit edilen kritik temperatür olan 250°C değerine kadar sürdürülmüş, numuneler oda sıcaklığına devreden çıkarılmış fırın içinde indirilmiştir.

Her iki boyuttaki takozlarla yapılan yumuşatma deneylerinin sonuçları Tablo 5 te verilmiştir. Küçük takozlar için en uygun yumuşatma ısıtması temperatürü 400°C olarak bulunmuş, 350°C bazı hallerde yeterli olduğu halde 450°C yumuşatma işlemi için yüksek görülmektedir. Erişilen en yumuşak durum 53.0 kg/mm<sup>2</sup> ile 400°C de 30 dakikalık bir yumuşatma ısıtması sonucu elde edilmiştir.

Bu sonuçların ışığı altında, büyük takozlarla yapılan çalışmalar sadece 400°C de yürütülmüş, erişilen en yumuşak durum 52.3 kg/mm<sup>2</sup> değeri ile 90 dakikalık bir yumuşatma ısıtması sonucu elde edilmiştir. Buna rağmen, bu boyutlar için dahi 30 dakikalık bir yumuşatma ısıtması süresinin kifayetli olduğu kabul edilmektedir. Zira, 30 dakikalık ısıtma süresinde ölçülen değer 54.8 kg/mm<sup>2</sup> ise de, en yumuşak ölçülen değer ile bu değer kullanılan sertlik ölçme cihazının hassasiyet sınırları içerisine düşmektedir.

**Tablo - 5**

Yumuşatma deneylerinin sonuçları

a) 35 mm 0 X 35 mm boyutlarındaki takozlarla yapılan deneyler  
Soğutma hızı — 30°C saat

Başlangıç sertliği kg/mm <sup>2</sup>	Yumuşatma ısıtması		Kontrollü soğutma sonucu ölçülen sertlikler	
	Temperatürü (°C)	Süresi dakika	kg/mm <sup>2</sup>	Ortalama
125	350	30	55.0	55.6 kg/mm <sup>2</sup>
123		60	56.5	
122		90	55.2	
124	400	30	53.0	54.4 kg/mm <sup>2</sup>
125		60	54.5	
124		90	54.8	
110	450	30	58.6	58.8 kg/mm <sup>2</sup>
114		60	58.8	
113		90	59.1	

b) 70 mm 0 X 70 mm boyutlarındaki takozlarla yapılan deneyler  
Soğutma hızı = 30°C/saat

114	400	30	54.8	53.8 kg/mm <sup>2</sup>
110		60	54.3	
110		90	52.3	

Bahsi geçen lâboratuvar çapındaki etütler sonunda malzeme hakkında edinilen bilgi, incelenen alaşımın uygun ısıl işlemlerle yumuşatılabilir, mekanik işleme kabiliyeti kazanabilecek ve mekanik işlemler sonunda uygun metalurjik yollarla tekrar sertleşebilen bir alüminyum alaşımı olduğu ve 24 S alaşımına benzer özelliklere sahip olduğudur.

Deneylere göre en uygun yumuşatma sıcaklığı 400°C civarında olup, kullanılan boyutlarda 30 dakikalık bir ısıtma ve dakikada 30°C yi geçmeyecek kontrollü bir soğutma sonucu ortalama 54 kg/mm<sup>2</sup> değerine kadar yumuşatılabilir.

Levha II, şek. 4 te yumuşatılmış bir numunenin mikroskopik yapısı gösterilmektedir. Alaşımında aşırı çözünürlük durumunda bulunan katkı maddeleri yumuşatma ısıtması sonucu açığa çıkarak karışım kristalini terk etmiş ve çökelmiştir. Teorik olarak, bu malzemede X ışını difraksiyonunda en azından bir yeni fazın tespit ve tayin edilmesi gerekirken, laboratuvarımızdaki düşük güçlü aletle yeni pikler görülmesine rağmen, katı tayin yapılamamıştır. Keza, çeşitli çözeltilerle yapılan dağlamalar her ne kadar AlCuFeMn, AlCuMg, FeAl<sub>3</sub> (?) ve AlMn veya benzeri fazlara ait renklemeler vermişse de, katı bir faz tayini bu metodlarla da mümkün olmamıştır.

#### ENDÜSTRİYEL ÇAPTA YAPILAN PROFİL İMAL DENEMELERİ

Metalurjik lâboratuvar deneyleri, incelenen malzemenin duralüminyum tipi yumuşatmaya ve sertleştirmeye müsait bir alaşım olduğunu ve ısıl işlemlerin şartlarını ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlara dayanarak, 175 mm Ø X 300 mm boyutlarındaki endüstriyel takozlarla MKEK Kırıkkale Pirinç Fabrikalarında maksimal güç

2 000 ton olan yatay pistonlu bir ekstrüzyon cihazında bu malzemeden profil imali imkânları denenmiştir.

400°C de 120 dakika süreyle yumuşatma ısıtmasına tabi tutulan takozlarla soğukta profil çekme denemeleri menfi sonuçlanmıştır. 450°C de 60-120 dakika yumuşatma ısıtmasına tabi tutulan takozlar da soğukta şekillendirilememiştir. İncelenen numunenin diğer özellikleri 24 S alaşımına çok yakın olmasına rağmen, soğukta işlenme kabiliyetinin düşük olması dikkate şayandır.

Etütlerde kullanılan ekstrüzyon cihazı kalıp bölgesi ısıtılabilir bir yapıdadır. Ne var ki, elektrikli ısıtma ile bu bölge azamî 290°C ye çıkartabilmektedir. Dolayısıyla, bundan sonra verilen sıcaklıklardan bu bölgeye ait olanları katî rakamlar değildir. Kalıp bölgesi sıcaklığı ile takozların işleme sıcaklığını yaklaştırmak gayesiyle sıcakta şekillendirme çalışmalarında aşağıdaki prosedür takip edilmiş ve ancak bundan sonradır ki, müspet sonuçlar alınabilmektedir.

400°C sıcaklığına ısıtılmış ve sıcaklığı  $\pm 10^\circ\text{C}$  sınırları içinde sabit tutulabilen bir elektrik fırınında takozlar 90, 120 ve 180 dakika süreyle yumuşatma ısıtmasına tabi tutulmuştur. Akabinde fırının sıcaklığı 480°C ye yükseltilmiş ve takozlar bu sıcaklıkta 20, 40, 60 ve 80 dakika daha bekletilmiştir. Bu sıcaklıkta takozlar süratle prese verilmiş ve böylece aşırı bir sıcaklık kaybına mâni olmuştur. Presleme hızı, etütler sonucu 1 m/dakika olarak tespit edilmiştir. Hız yükseltildiğinde (meselâ 2 m/dakika), presten çıkan profillerin çatlamaya başladığı ve daha yüksek presleme hızı tatbikinde profillerin parçalanıp döküldükleri görülmüştür. Yukarıda bahsedilen sıcaklıklar ve 1 m/dakika civarındaki bir presleme hızı şartlarında, endüstriyel anlamda profil imali hatasız olarak gerçekleştirilebilmiştir.

Levha III, şek. 5 döküm sonrası sertliğini havi takozların 400°C de 120 dakika yumuşatılması ve 480°C ye çıkarılmalarını müteakip, preste 1500 ton civarında toplam bir basınç altında profilin kalıptan çıkış hızının takriben 1 m/dakika civarında sabit tutulması sonucu hatasız imal edilmiş üç profili göstermektedir. Büyük ve orta boy profiller hatasız olarak toplam takozun işlenebileceği endüstriyel miktara eşit boyda imal edilebilmiştir. Küçük profil ise, bütün çabalara rağmen, ancak % 10-15 civarında bir randımanla elde edilebilmiştir. Küçük profil imali esnasında takozun presleme süresince mühim miktarda ısı kaybettiği kabul edilebilir ve randıman düşüklüğü presleme sıcaklığının istenen değerin altına düşmüş olması ile izah edilebilir.

İmal edilen profillerin etütleri MKEK Kırıkkale Pirinç Fabrikaları laboratuvarlarında yapılmış ve aşağıdaki değerler ölçülmüştür:

Sertlik . . . . .	62.5-65.5 kg/mm <sup>2</sup>
Kopma dayanımı . . . . .	25.0-24.4 kg/mm <sup>2</sup>
Uzama . . . . .	% 11.3-11.0

Akabinde aynı laboratuvarda profiller bir sertleştirme işlemine tabi tutulmuşlar ve 150°C de 24 saat yaşlandırılmış sert malzemede aşağıdaki değerler ölçülmüştür:

Sertlik . . . . .	113-109 kg/mm <sup>2</sup>
Kopma dayanımı . . . . .	37.4-36.2 kg/mm <sup>2</sup>
Uzama . . . . .	% 5-7

Sertleştirilmiş profiller 400°C de yumuşatma işlemine tabi tutulmuşlar ve saatta 30°C bir hızla oda sıcaklığına indirilip yumuşamış profiller üzerinde aşağıdaki değerler tespit edilmiştir:

Sertlik . . . . .	49.7-41.7 kg/mm <sup>2</sup>
Kopma dayanımı . . . . .	17.5-17.7 kg/mm <sup>2</sup>
Uzama . . . . .	%14 - 16

Levha IV, şek. 6 endüstriyel çapta imal edilmiş bir profilin presten çıktuktan sonra ve herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmamış haldeki mikroskopik yapısını göstermektedir. Levha I, şek. 1 ile mukayese edildiği takdirde, malzemenin orijinal kristal yapısının tamamen bozulmuş olduğu ve kalıp şekline uyarak aktığı açık bir şekilde görülmektedir.

Levha IV, şek. 7 ısıl işlem sonucu yumuşatılmış profillerden birinin mikroskopik yapısını göstermektedir. Mekanik işlem sonucu kristal yapısının kırılmasından dolayı husule gelmiş parçacıklar etrafında tamamiyle yeni bir kristalizasyon vuku bulmuştur. Bu da malzemenin mekanik işlemi takip eden ısıl işlem sonucu bir «rekristalizasyon» olayına sahne olmuş olması ihtimaline işaret etmektedir. Arzu edilen kristal yapısı ince olanıdır, bunu temin etmek, mekanik işlemde tatbik olunan redüksiyon oranını yüksek tutmakla mümkündür.

## SONUÇ

Etüt konusu olan malzeme sertleştirilip yumuşatılabilen ve mekanik yollarla şekillendirmeye müsait bir alüminyum alaşımıdır. Ana metal alüminyumun yanında ihtiva ettiği diğer metaller konsantrasyonları sırasıyla Cu, Si, Mg, Fe, Zn, Ni, Mn ve Pb olup, ayrıca cüzî miktarda Cr, Cd, Sn ve Ti metalleri de mevcuttur.

Uçaklarda kullanılan standart alaşımlar muvacehesinde yapılan bir inceleme, bu malzemenin, çeşitli parçaların hiç bir ayırma tabi tutulmadan bir arada eritilmiş olması sonucu teşekkül ettiğini göstermektedir; tahminler bu karışımın ana alaşımının 24 S alaşımı olması gerektiği merkezindedir.

Bu malzemedan alman temsilî numuneler üzerinde çeşitli metalurjik etütler ODTÜ Metalürji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarından faydalanmak suretiyle yapılmıştır. Bu etütlerin sonuçlarına göre malzeme, 500°C de bir çözümlendirme ısıtması ve anî soğutma sonucu soğukta ve sıcakta sertleşebilmektedir. En uygun yaşlandırma temperaturü 150 °C civarında olmakta ve erişilen ortalama sertlik 120-125 kg/mm<sup>2</sup> değerlerine varmaktadır. Sertleşmiş malzeme 400°C de yumuşatma ısıtmasını takiben saatte 30°C değerinin altında bir hızla soğutulduğunda, devamlı yumuşak durum elde edilebilmektedir. Yumuşamış malzemenin sertliği ortalama 54 kg/mm<sup>2</sup> değeri civarındadır.

Uygun metalurjik işlemler sonucu yumuşatılmış malzemedan endüstriyel çapta profil imali denemeleri MKEK Kırıkkale Pirinç Fabrikalarında yapılmıştır. 400°C civarında yumuşatma ısıtmasını takiben 480°C sıcaklığına çıkarılan takozlar kalıp bölgesi 290°C ye kadar ısıtılabilen bir preste 1 m/dakika profil imal hızı ile mekanik yollarla işlenebilmiştir. Hatasız profil imali için gerekli şartlar tespit edilmiş ve üç ayrı tip profil imal denemeleri başarı ile sonuçlanmıştır. Profiller üzerinde ayrıca tekrar yumuşatma ve sertleştirme denemeleri yapılarak, bazı fiziksel ve mekanik özellikler tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜRLER

Bu etüt Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Genel Direktörlüğünün müsaadeleriyle yayınlanmaktadır. Genel Direktörlüğe bu müsaadeleri dolayısıyla teşekkür ederim.

Çalışmaların yapılmasında yardımı ve emeği geçmiş olan Y. Müh. Gökhan Uğurtaş'a, devamlı destekleri dolayısıyla M.T.A. Enstitüsü Teknoloji Şubesi Müdürü Y. Müh. Nahid Kırışlı'ya, başta Y. Müh. Nazmi Şenakay ve Dr. Gültekin Elgin olmak üzere» Enstitü dahilinde teşriki mesai ettiğim bütün uzman arkadaşlarıma, laboratuvarlarından istifade edilmesine müsaadeleri ve yardımları dolayısıyla Dr. Müh. Mustafa Doruk ve ODTÜ Metalürji Mühendisliği Bölüm Başkanlığına, endüstriyel çaptaki profil imal etütleri ve profiller üzerindeki çalışmaları dolayısıyla MKEK Kırıkkale Pirinç Fabrikaları Müdürlüğü ve başta Müh. Fevzi Koçhisarlı olmak üzere, emeği geçen bütün teknik elemanlarına teşekkür borcum vardır.

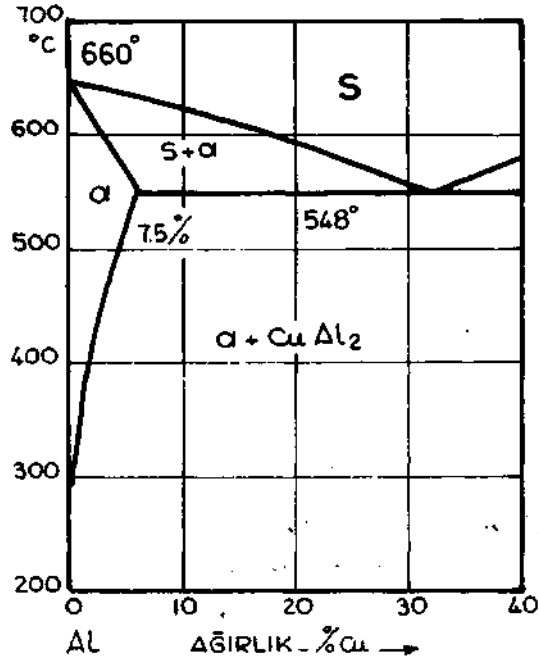
*Neşre verildiği tarih 5 ağustos, 1970*

## B İ B L İ Y O G R A F Y A

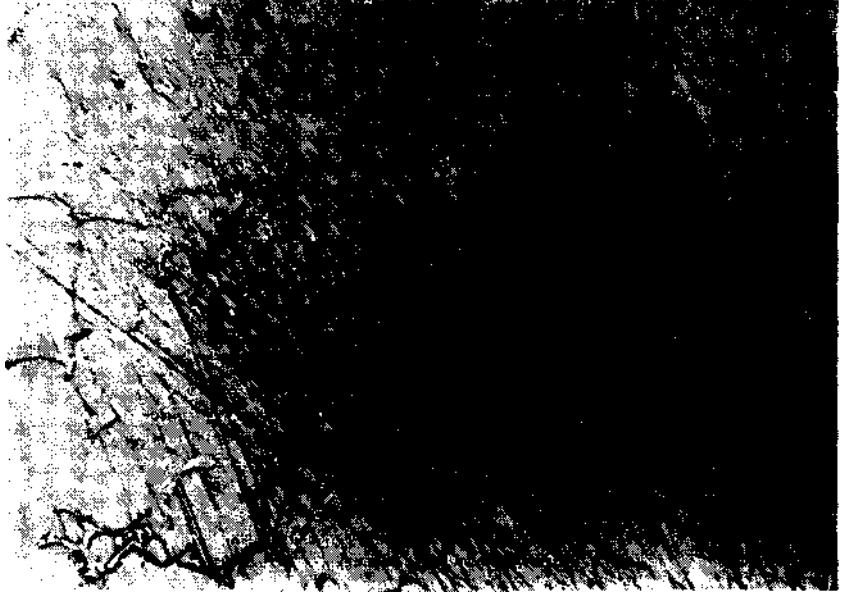
- 1 — METALS' HANDBOOK : *The American Society for Metals*, Cleveland, Ohio, 1948 edition, reprint 1952.
- 2 — WINNACKER-WEINGAERTNER (1953) : *Chemische Technologie*. Bd. V, *Cari Hanser Verlag*, München, s. 247.
- 3 — MASING, G\* (1950) : *Lehrbuch der allgemeinen Metallkunde*. *Springer Verlag*, Berlin-Göttingen-Heidelberg, s. 492 - 510.
- 4 — HANSEN, M. & K. ANDERKO (1958) : *Constitution of binary alloys*. *McGram Hill*, New York-Toronto-London, 2. ed. s\* 1305.
- 5 — WASSERMAN\* G. : *Clausthal Teknik Üniversitesi Fiziksel Metalürji Enstitüsü Ders Notları*.



Şek. 1 - Herhangi bir işleme tabi tutulmamış malzemenin döküm sonrası orijinal kristal yapısı (165 X büyültme).

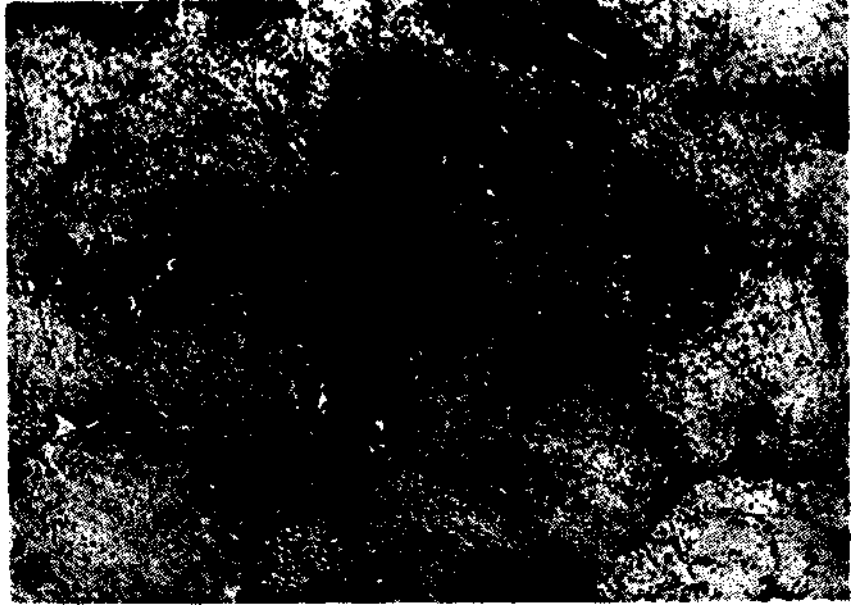


Şek. 2 - Alüminyum-bakır ikili denge diyagramının alüminyum tarafı.



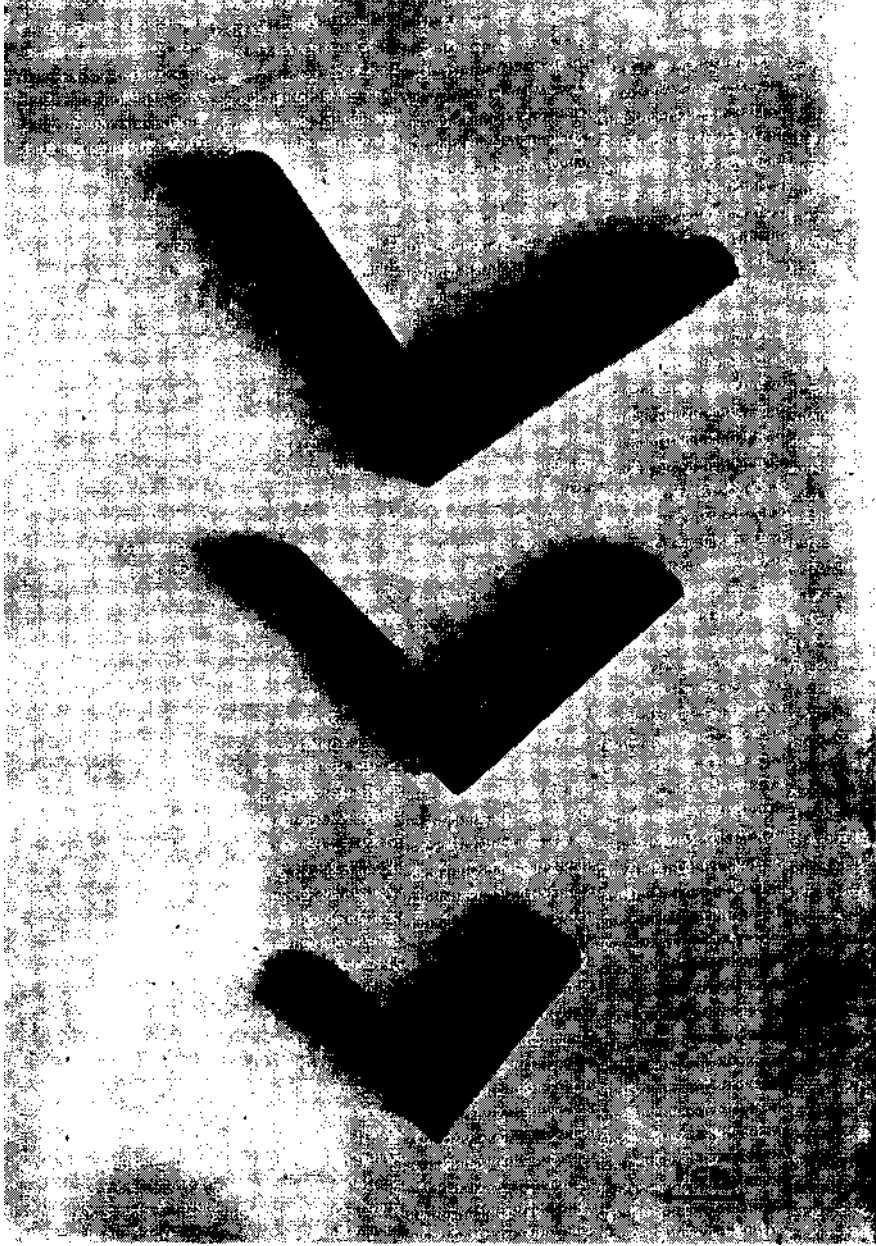
**Şek. 3 - Sıcakta sertleştirilmiş bir numunenin kristal yapısı**  
(165 X büyültme).

Çözümleme temp. = 510 °C  
Yaşlandırma temp. = 150 °C



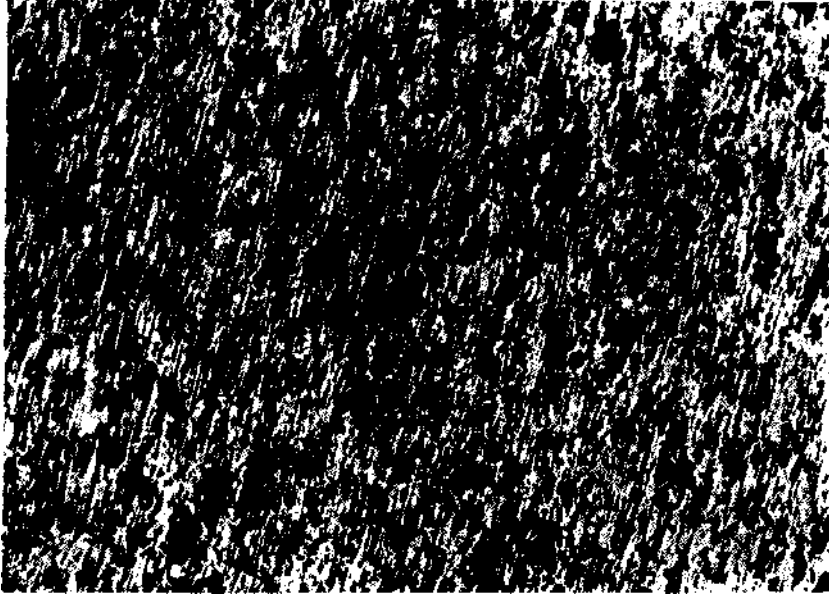
**Şek. 4 - Sıcakta sertleştirildikten sonra yumuşatılmış bir numunenin kristal yapısı** (165 X büyültme).

Yumuşatma ısıtması sıcaklığı = 400 °C  
Soğutma hızı = 30 °C/saat

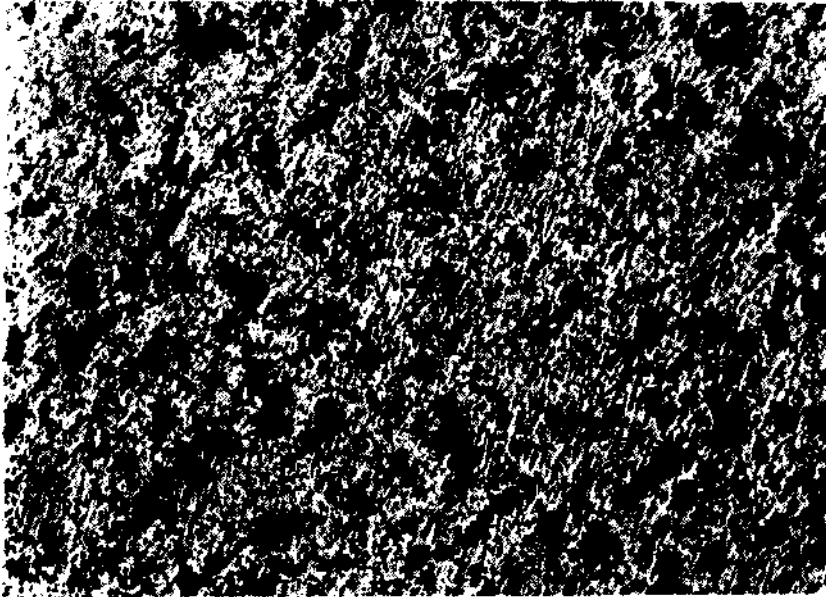


**Şek. 5 - Hurdadan kurtarılmış malzemeden uygun metalurjik işlemler sonucu endüstriyel çapta imal edilen profiller.**

Ekstrüzyon hızı =3 1 m/dakika.



**Şek. 6 - Endüstriyel çapta imal edilen profillerden bir numunenin ekstrüzyon sonrası orijinal kristal yapısı (165 x büyültme).**



**Şek. 7 - Endüstriyel çapta imal edilen profillerden bir numunenin yumuşatma ısıtması sonucu «rekristalizasyon» a uğramış kristal yapısı (165 x büyültme).**

Yumuşatma ısıtması sıcaklığı = 400 °C  
Soğutma hızı = 30 °C/saat