S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., c.9 s.1-2 1994
J.Fac. Eng. Arch. Selçuk Univ., v.9 n.1-2, 1994.

HADDE İLE ÜRETİLEN ETİAL-21 ALAŞIMINDA ÇÖZÜNDÜRME SICAKLIK VE SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Remzi ÇETİN
S.Ü., Müh.-Mim. Fak., Makina Müh. Böl., KONYA.

Şükrü SU, Durmuş ODABAŞ
E.Ü. Müh.-Mim.Fak. Makina Müh. Böl., KAYSERİ.

Özet : Bu çalışmada Seydişehir Aluminyum tesislerinde haddeleme ile levha halinde üretilen ETİAL-21 alaşımının çözündürme sıcaklık ve süresinin yaşlandırma işleminden sonraki özelliklere etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

Optimum çözeltiye alma sıcaklığı 500 ^{o}C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık civarında elde edilen maksimum çekme ve akma mukavemeti ile sertlik, % uzama ve büzülme değerleri sırasıyla 58 kg/mm^2, 57 kg/mm^2, 139 HB, % 6.5 ve % 12'dir.

Deneysel sonuçlara göre ETIAL-21 aluminyum alaşımı bir çok alanda çeliklerin yerinde emniyetle kullanılabileceği görülmüştür.

Investigation of the Effect of Salution Treatment Time and Temperature on the Mechanical Properties of the Alloy Etial-21 Produced By Rolling

Abstract : In this study, the effects of solution treatment time and temperature on the mechanical properties of the alloy ETIAL-21 produced in the form of plate by rolling at the Aluminium Plant in Seydişehir were investigated experimentally.

The optimum solution treatment temperature is 500 ^{o}C. At this temperature, the obtained maxsimum values of tensile strength, yield strengh, hardness, % elongation and % section decrease are 58 kg/mm^2, 57kg/mm^2 139 HB, 6.5 % ånd 12 % respectively.

As a result of this work, it was concluded that the ETIAL-21 alloy can be substituted for plain carbon steels in many applications.

GİRİŞ

Teknik özelliklerin getirdiği birçok üstünlükler nedeniyle aluminyum ve alaşımları ülkemizde ve dünyada giderek daha çok kullanılmaktadır [1]. Aluminyum çelikten sonra en fazla kullanılan metaldir. Aluminyum çelikten yaklaşık üç kat daha hafif olup, diğer metaller ile alaşımlandırıldığında yoğunluğunun çok az artmasına karşılık, mekanik özelliklerinde önemli oranda artışlar meydana gelmektedir [2]. Aluminyumun yoğunluğu saflık derecesi arttıkça azalır [1,3]. Düşük yoğunluğu nedeniyle birim kütleye düşen elektrik iletkenliği bakırdan daha yüksektir [1]. Aluminyumun ısı iletkenliği de yüksek olup, saflık derecesinin artmasıyla artar [4].

Aluminyumun yaygın kullanılma nedenlerinden biri de korozyon direncinin yüksek olmasıdır. Korozyona karşı mukavemetli olmasının nedeni, yüzeyinde ince ve sıkı yapılı bir oksit filminin oluşmasıdır [2]. Aluminyumunsertliği 19-20 BHN arasıda olup, bu değer alaşımlarda 120 BHN'e kadar çıkar. Çekme mukavemeti 9 kg/mm^2 olmasına rağmen, yaşlanabilir alaşımlarında bu değer 65 kg/mm'ye çıkar.

Aluminyum ve alaşımları dünyada yaygın olarak Amerikan Standart Birliği tarafından yapılan simgeler dizisine göre sınıflandırılır. Simgeleme 1XXX-9XXX arasında değişir. 2XXX simgesiyle gösterilen aluminyum alaşımının temel alaşım elemanı Cu'dır. 2XXX serisi aluminyum alaşımları vidalı makina

parçaları, vagon çerçevesi, uçak gövdesi, fittingler, motor silindirlerinde ve vagon tekerleklerinde, segman vs. gibi çeşitli makina elemanlarının imalinde kullanılır.

Aluminyum Cu, Mn, Si, Mg ve Zn elementleriyle katı çözelti meydana getirir. Bu elementlerin aluminyum içindeki çözünürlüğü, sıcaklık yükseldikçe artar. Çözünürlüğün sıcaklığa bağlı olarak değişmesi çökeltme sertleşmesine imkan verir [5,8]. Yaşlanma işleminin temeli budur. Aluminyum içinde % 20'ye kadar çözünen bakır mukavemeti artırdığı halde, bu sınırdan fazlası gevrekliğe sebep olur [2].

YAŞLANMA SERTLEŞMESİ

Yaşlanma sertleşmesini ilk defa 1906'da Almanya'da Alfred Wilm bulmuştur [2] % 2 Cu ihtiva eden aluminyum alaşımına çeliklere uygulanan sertleştirme ve başlangıçta yumuşak olan alaşımın oda sıcaklığında bekletilerek sertliğinin zamanla arttığı tesbit edilmiştir [9]. Bunun sebebi yaşlanma sertleşmesine bağlanmıştır. Bakırın aluminyum içindeki yüksek çözünme kabiliyeti sağumayı yavaşlatmakta ve ısıl işlem uygulaması ile aşırı doymuş bir katı çözelti elde edilmektedir. Ani soğutma neticesinde oda sıcaklığında aşırı doymuş aluminyum katı çözeltisi tek fazlı olup, zamanla bekletildiğinde nominal yapısı $CuAl_2$ (q) olan tetragonal kristal yapıya sahip bir ara faz meydana gelmektedir. Bu taneciklerin oluşması yaşlanma esnasında gerçekleşmektedir [6,9].

Kafes yapısının aynı veya katı çözeltiden biraz farklılık gösteren zenginleşmiş çok küçük bölgelere Guinier-Preston (GP) bölgesi adı verilir [9,10]. Aluminyum alaşımlarında GP-I ve GP-II olmak üzere iki çökelme bölgesi mevcuttur. GP-I bölgesi bir veya iki atom kalınlığında olup, 25 atom çapında ve aluminyum yapı içinde 100 tane paralel bakır düzleminden meydana gelir. GP-I bölgesi oda sıcaklığında teşekkül eder ve 210 °C'da kaybolur. GP-II bölgesi ise 10 atom kalınlığında ve 75 atom çapında olup, 130 °C'da teşekkül eder.

Tabii bir çökelme matrisle yapışık yarı cohernt ve coherent olmayan olmak üzere iki şekilde olur [2]. Yapının sertleşmesine oluşan fazların yapışıklığı (coherent) neden olmaktadır. Çökelen fazın kristal yapısı tetragonal olduğundan aluminyum birim hücresi ile uyuşmaz ve yapı içinde sıkışmaya neden olur. Yaşlanma olayının meydana getirdiği sertleşmenin asıl nedeni budur. Daha kararlı ve büyük çökeltiler oluştukça yapıdaki süreklilik ve yapışıklık kaybolur. Ara yüzeylere giren dislokasyonlar, yapışık yapıyı bozar ve böylece yarı coherent ve coherent olmayan çökeltiler meydana gelir. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça yumuşama artar.

Aluminyum alaşımlarında yaşlanma, $CuAl_2$, Mg_2Si, Al_2CuMg gibi bileşiklerinin kademeli çökelmesi ile meydana gelir. Yaşlanma işlemi sonucunda sertlik ve mukavemet zamanla artar. Coherent çökelmiş parçacıklar kısmi olarak dislokasyonların hareketine mani olarak çevrelerinde distorsiyona uğramış gergin alanlar oluştururlar. Esasen yaşlanma sertleşmesi coherent çökelmiş yapı meydana getirmek için uygulanan bir ısıl işlem türüdür. Bir aluminyum alaşımına yaşlanma sertleşmesi ısıl işlemi; çözündürme, su verme ve ylaşlandırma olarak bilinen üç kademede uygulanır [2].

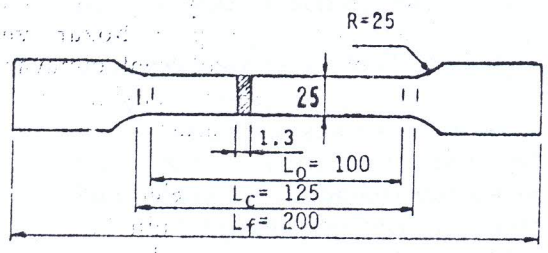
Bu çalışmada 2XXX serisinde ETİAL-21 alaşımından levha şeklinde hazırlanan numuneler üzerinde uygulanan yaşlanma deneyleri sonunda mikro yapı ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişmeler araştırılmıştır.

MALZEME VE DENEY METODU

Deneylerde kullanılan 2XXX serisinden ETİAL-21 aluminyum alaşımının kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir [2]. Deney numunelerinin hazırlandığı levhalar üretici firmadan alınan bilgilere göre 480 °C'de 24 saat süreyle homojenize tavına tabi tutulan külçelerden haddelenerek 1.3 mm kalınlığında elde edilmiştir. Bu levhalar 30x30 mm ebadında kesilerek parçalara bölünmüş ve bu parçalardan da TSE-138 standardına uygun çekme numuneleri ve ayrıca sertlik ölçme ve mikro yapı inceleme numuneleri hazırlanmıştır. Çekme numunesinin boyutları Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ETİAL21 alaşımının kimyasal analizi.
Table 1. Chemical composition of the alloy ETIAL-21 .

Fe	si	Cu	Mg	Mg	Zn	Ti
0.26	0.86	4.18	0.67	0.72	0.02	0.019



Şekil 1.Çekme numunesinin boyutları.
Figure 1. Diemensions of sample of tensile test.

Levha şeklinde hazırlanan numunelere önce hava sirkülasyonlu bir fırında 400, 450, 475, 490, 505 ve 520 °C olmak üzere altı sıcaklıkta ve bunların birbirinde 15, 30, 45 ve 60 dakika bekletme süresi ile katı çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanarak, su ile soğutulmuştur. Daha sonra oda sıcaklığında olan numuneler, Seydişehir Aluminyum fabrikasındaki uygulamalar ve [2] 'de verilen değerlere uygun olarak, 185 °C'da 8 saat suni yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma ısıl işleminden sonra numunelerden bir kısmı sertlik ölçme ve çekme deneylerinde, diğerleri ise mikro yapı incelemeleri için kullanılmıştır. Sertlik ölçme işlemi Brinell yöntemiyle yapılmıştır. Çekme deneyleri ise oda sıcaklığında ve üniversal bir eğme-çekme makinasında gerçekleştirilmiştir. Bir kısım numuneler ise parlatıldıktan sonra % 5 HF, % 2.5 HNO ve % 1.5 HCl'den oluşan Keller [11] ile dağlanarak mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Sertlik, akma ve çekme mukavemeti, uzama ve büzülme deney neticeleri Tablo 2'de verilmiştir.

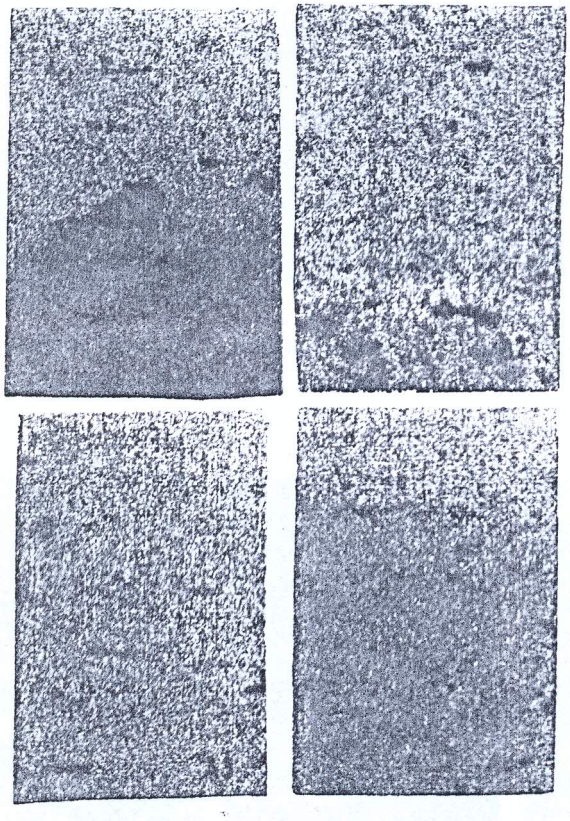
Tablo 2. ETİAL-21 alaşımına ait deneysel sonuçlar.
Table 2. Experimental results of the alloy ETİAL-21.

Sembol	KÇA Sıcaklık [°C]	KÇA Süre [d]	Sertlik H B30	Mukavemet Değerleri Akma [kg/mm²]	Mukavemet Değerleri Çekme kg/mm²	Şekil Değişimi Uzama [%]	Şekil Değişimi Büzülme [%]
A0			91	23	32	15.2	32
A1		15	79	27.7	39.2	12.2	27
A2		30	81	29.2	39.2	11.7	24
A3	400	45	82	29.2	38.4	10.8	22
A4		60	83	29.2	38.4	10.5	22
B1		15	106	40.0	46.1	8.6	22
B2		30	108	44.6	46.2	8.2	19
B3	450	45	110	44.6	46.9	8.2	22
B4		60	112	45.3	49.2	8.7	20
C1		15	119	49.2	50.7	6.5	15
C2		30	132	50.0	51.5	6.1	14
C3	475	45	120	50.0	50.7	6.1	15
C4		60	127	50.7	51.5	5.7	12.5
D1		15	130	53.8	56.9	4.7	13
D2		30	134	55.3	56.9	4.6	12
D3	490	45	136	55.3	56.9	5.2	16
D4		60	136	58.8	55.4	5.6	12
E1		15	137	54.0	56.0	4.7	12
E2		30	139	54.6	55.4	6.5	8
E3	505	45	130	56.9	57.7	6.1	10
E4		60	132	57.6	58.4	5.0	10
F1		15	146	59.2	60.0	5.6	11
F2		30	145	60.7	61.5	4.3	4
F3	520	45	140	57.7	57.8	1.0	1.5
F4		60	118	54.6	54.7	0.3	0.5

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mikro Yapının Sıcaklıkla Değişimi

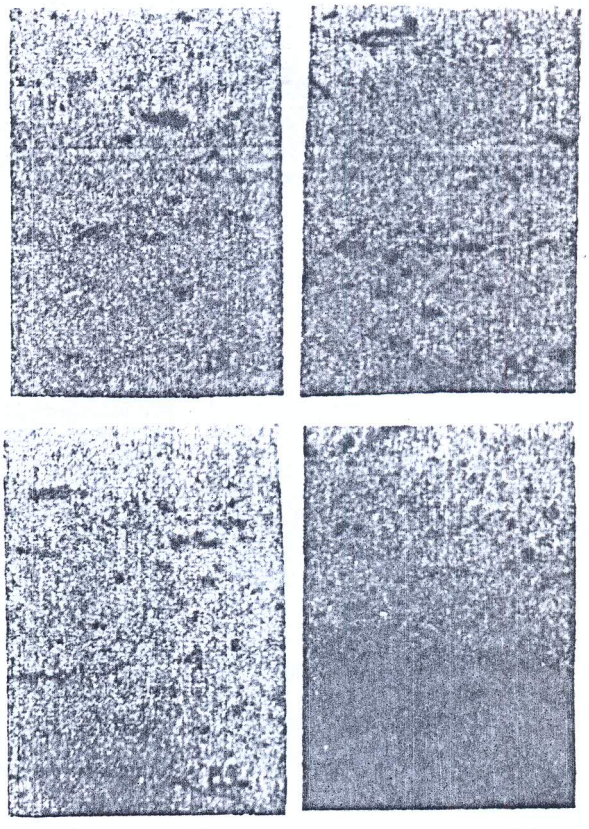
Çözündürme ve suni yaşlandırma ısıl işlemlerine tabi tutulan levhalardan hazırlanan numunelerin mikro yapıları optik mikroskopla incelendi. A grubu numuneler ait mikro yapılar aynı alaşım türüne sahip olması nedeniyle aynı fazlara sahip olduğu belirlendi (Şekil 2). Mikro yapıda tanecik halinde dağılmış fazlar Mg_2Si, çerçeveli açık renkli bölgeler $CuAl_2$, koyu kahverengi pürüzlü bölgeler de AlFeMnMg fazı olduğu tesbit edildi. Katı çözeltiye alma süresi arttıkça çerçeveli bölgeler ($CuAl_2$) az da olsa büyümekte, AlFeMnMg fazı değişmezken, partiküler olarak dağılan Mg_2Si fazında azalma olmuştur.



Şekil 2. 400 °C'de mikro yapının değişimi (x500).

Figure 2. Changing of microstructure at 400 °C.

B grubu numunelerdede yukarıda bahsedilen yapıların aynısı görüldü (Şekil 3). Fakat 450 °C'de 15 dakika katı çözeltiye alınan numunenin içyapısındaki $CuAl_2$ fazı Şekil 2'de verilen mikro yapılardan daha ince taneli bulundu. Katı çözeltiye alma süresi arttıkça $CuAl_2$ bölgeleri büyümeye devam etti. AlFeMnMg fazında küçük oranlarda çözünme başladı.



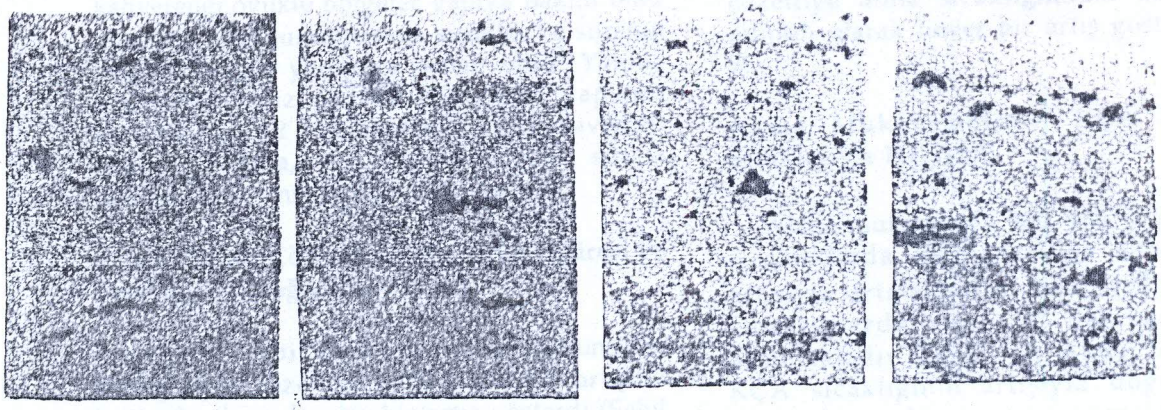
Şekil 3. 450 °C'de mikro yapının değişimi (x500).

Figure 3. Changing of microstructure at 450 °C.

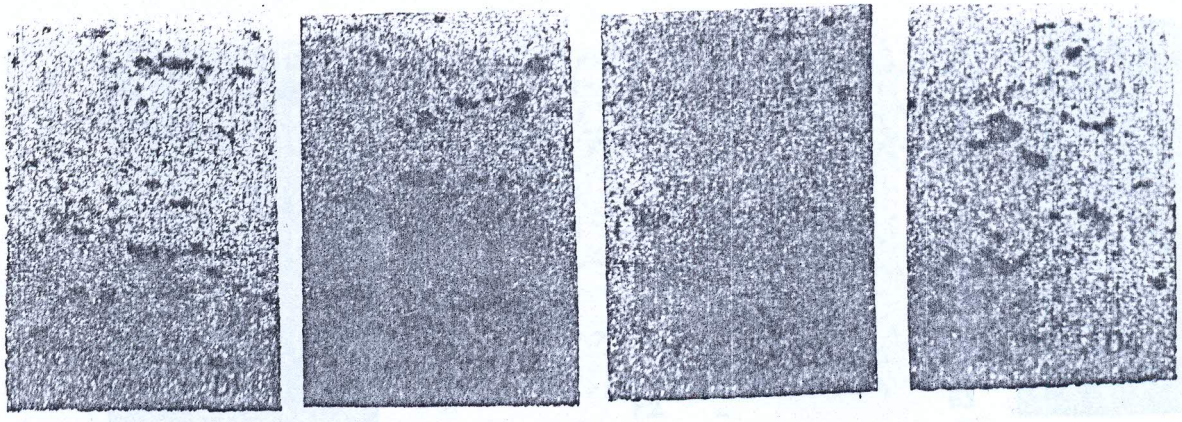
C grubu numunelerin mikro yapılarında aynı fazlar görülmekle beraber, 45 ve 60 dakika süreyle katı çözeltiye alınan numunelerin tetkikinden mikroyapıda rekristalizasyon meydana geldiği gözlendi (Şekil 4). 1 saat süreyle katı çözeltiye alınan numunelerde AlFeMnMg fazı yavaş yavaş azaldı.

D grubu numunelerde rekristalize yapı tüm bölgeye yayıldı (Şekil 5) ve Mg_2Si fazı yapıda büyük oranda çözünerek belirsiz hale geldi.

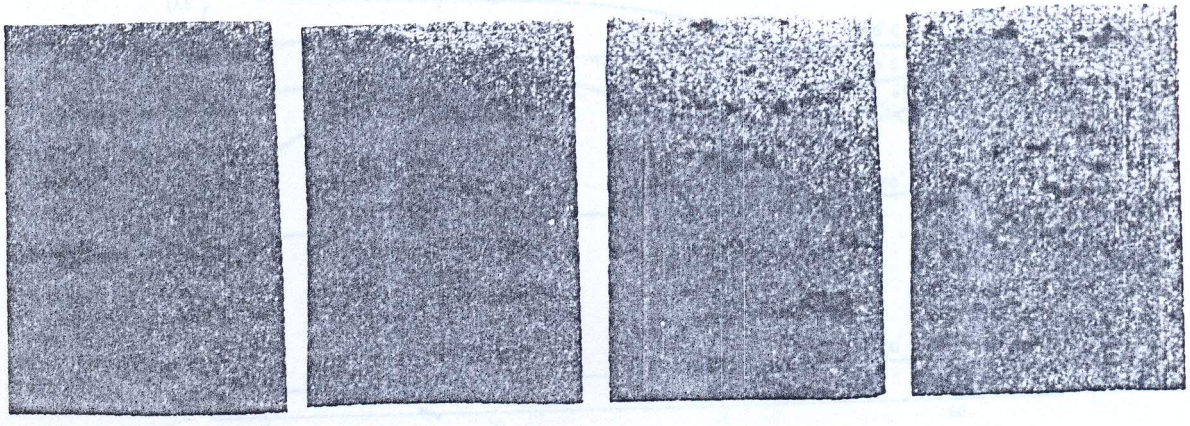
E grubunda 15 ve 30 dakika süreyle katı çözeltiye alınan numunelerde, tüm bölgeleri kapsayacak şekilde rekristalize oldu. 45 ve 60 dakikada ise fazlardaki çözünürlük maksimum değere ulaşdı (Şekil 6). 505 °C'de 15 dakika süreyle katı çözeltiye alınan numunenin çözünürlüğü, 490 °C'de 1 saat sürede ısıl işlem gören numuneden daha azdı.



Şekil 4. 475 °C' mikro yapının değişimi (x500).
Figure 4. Changing of microstructure at 475 °C.



Şekil 5. 490 °C'de mikro yapının değişimi (x500).
Figure 5. Changing of microstructure at 490 °C.



Şekil 6. 505 °C'de mikro yapının değişimi (x500).
Figure 6. Changing of microstructure at 505 °C.

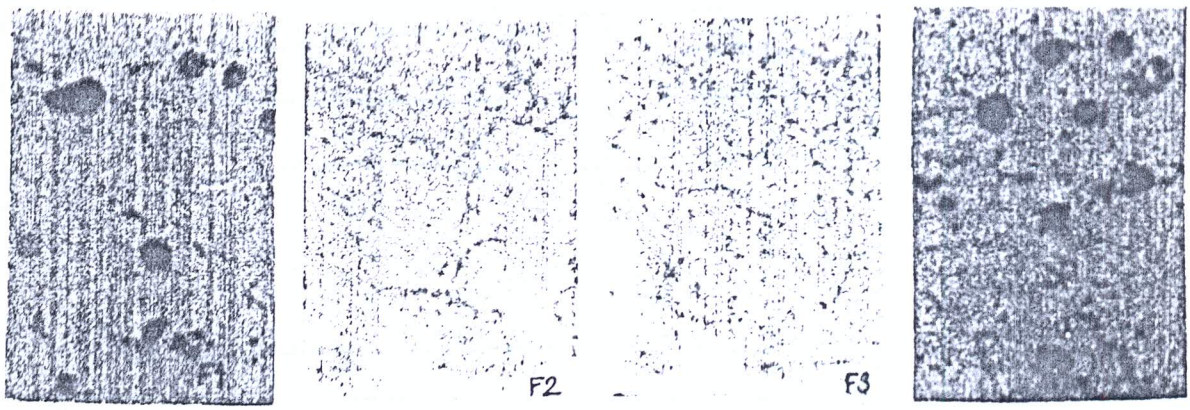
F grubu numunelede yapılar maksimum oranda çözülerek tamamen ortadan kalkarken, kahverengi oyuklu bölgeler yapıya hakim oldu (Şekil 7). Bu numunelerde sıcaklık ve sürenin yüksek olması yanmaya sebep oldu. Yanma malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısını bozarak, Tablo 2'de görüldüğü gibi, mukavemeti azaltır. Yanma, katı çözeltiye alma süresi arttıkça tane sınırlarında yoğunlaştı.

Sertliğin Katı Çözeltiye Alma (KÇA) Süresi ve Sıcaklığıyla Değişimi

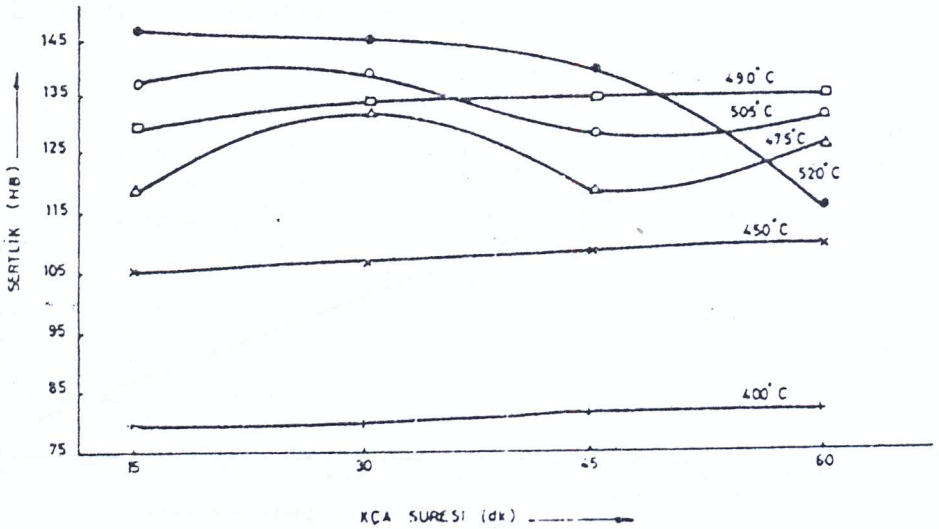
Deneye tabi tutulan levha numunelerin sertliği katı çözeltiye alma süresinin artışına bağlı olarak az da olsa bir artış gösterdi (Şekil 8). Bu artış 400, 450 ve 490 °C sıcaklık için sürekli oldu, fakat 475, 505 ve 520 °C sıcaklıklarda 30 dakikadan sonra azaldı. 520 °C'de ise süre arttıkça sertlik azaldı. Çünkü bu sıcaklıkda yanma meydana geldi. Sertlik katı çözeltiye alma sıcaklığındaki artışla doğru orantılı olarak lineer bir artış gösterdi (Şekil 9).

Akma Mukavemetinin KÇA Süresi ve Sıcaklığıyla Değişimi

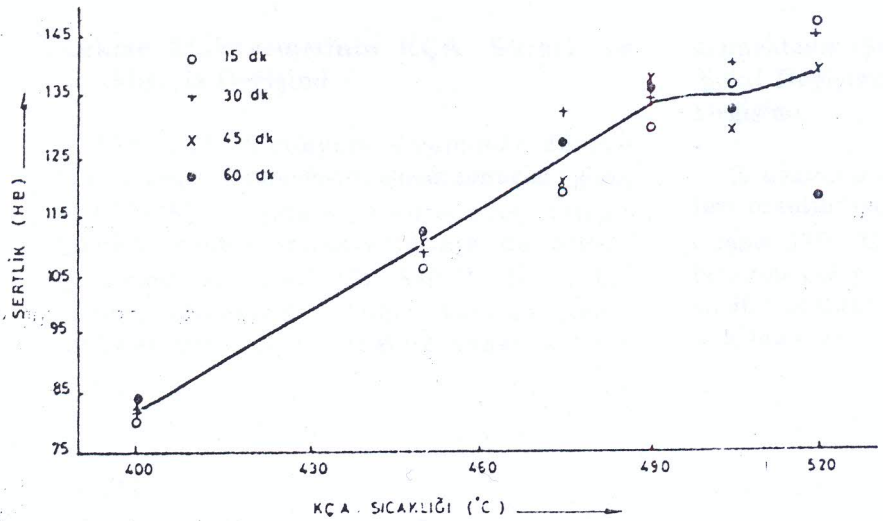
Akma mukavemeti 400, 450, 475 ve 505 °C sıcaklıklarda katı çözeltiye alma süresinin artışıyla artmaktadır, fakat 490 ve 520 °C sıcaklıklarda ise 30 dakikadan sonra azalmaktadır (Şekil 10). Akma mukavemeti KÇA sıcaklığının artışıyla doğru orantılı olarak lineer bir artış göstermektedir (Şekil 11).



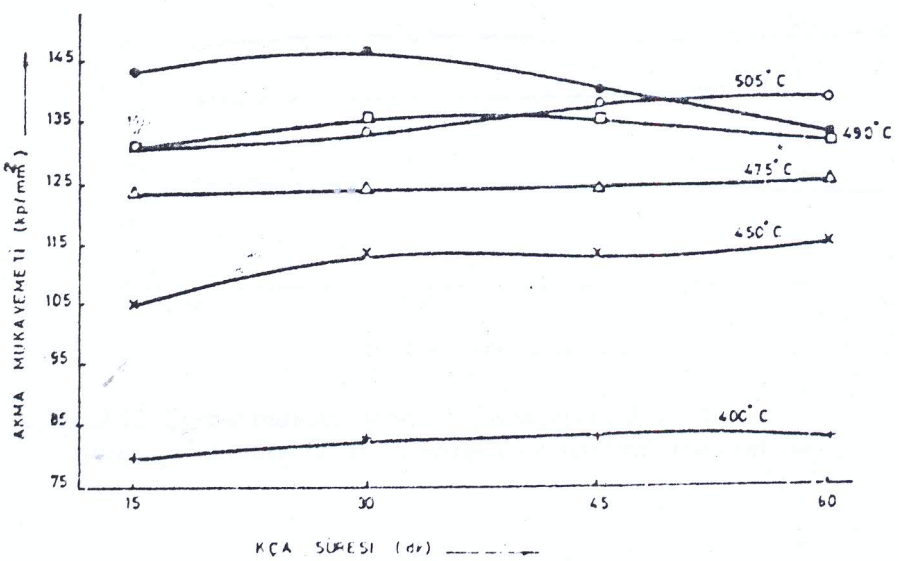
Şekil 7. 520 °C'de mikro yapının değişimi (x500).
Figure 7. Changing of microstructure at 520 °C.



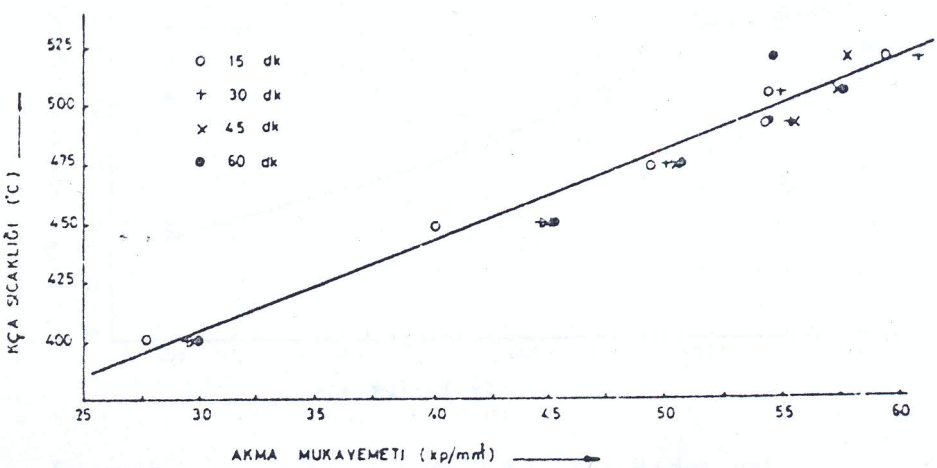
Şekil 8. Sertliğin KÇA süresi ile değişimi.
Figure 8. Variation of hardness with solution treatment time



Şekil 9. Sertliğin KÇA sıcaklığı ile değişimi.
Figure 9. Variation of hardness with solution treatment temperature.



Şekil 10. Akma mukavemetinin KÇA süresi ile değişimi.
Figure 10. Variation of yield stress with solution treatment time.



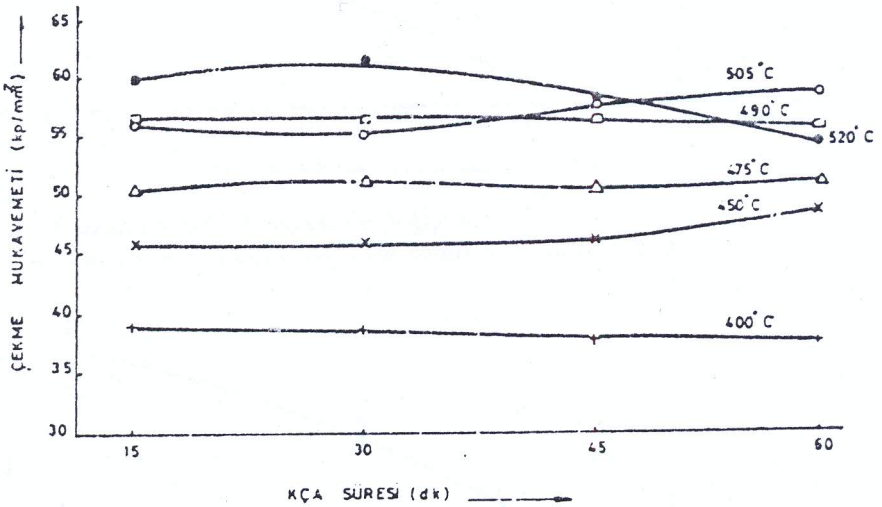
Şekil 11. Akma mukavemetinin KÇA sıcaklığı ile değişimi.
Figure 11. Variation of yield stress with solution steatment temperature.

Çekme Mukavemetinin KÇA Süresi ve Sıcaklığıyla Değişimi

ETİAL-21 aluminyum alaşımında deneye tabi tutulan numunelerden alınan sonuçlara göre, 400-500 °C arasında KÇA süresindeki artışla birlikte çekme mukavemetinin de arttığı görülmektedir (Şekil 12). 520 °C'de ise bir azalma olmaktadır. Diğer yandan çekme mukavemeti KÇA sıcaklığındaki artışla artmaktadır (Şekil 13).

Şekil Değişiminin KÇA Süresi ve Sıcaklıkla Değişimi

% uzama miktarı KÇA süresindeki artışla ters orantılı olarak düşmektedir (Şekil 14). Bu düşme 520 °C arasıda % uzama miktarı birbirine çok yakındır. % uzama miktarı KÇA sıcaklığındaki artışla ters orantılı olarak azalmaktadır (Şekil 15). Fakat 475-



Şekil 12. Çekme mukavemetinin KÇA süresi ile değişimi.
Figure 12. Variation of tensile stress with solution treatment time.

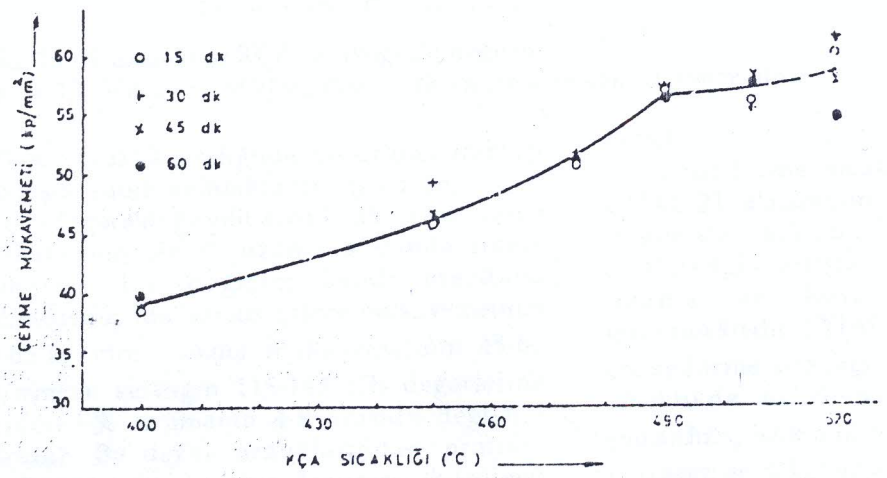
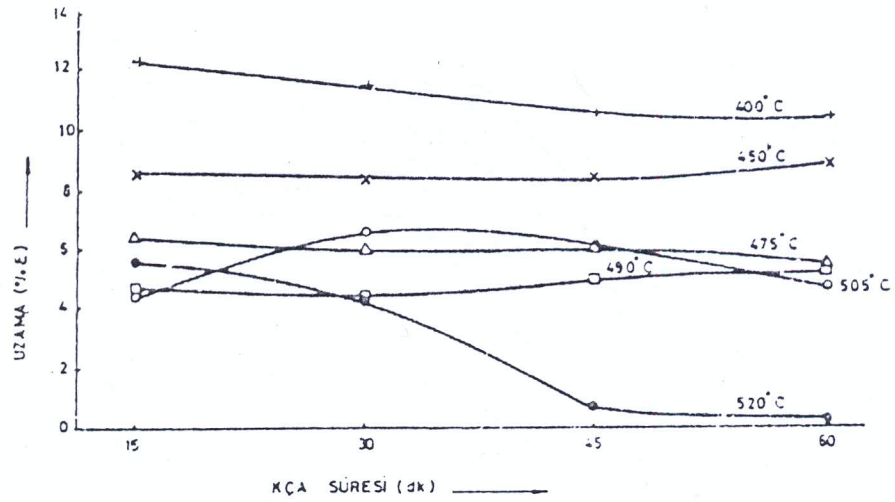
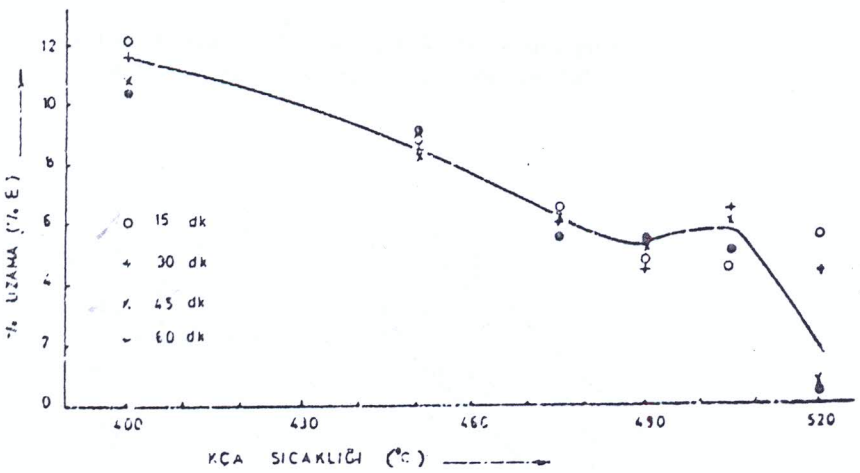


Figure 13. Çekme mukavemetinin KÇA sıcaklığı ile değişimi.
Figure 13. Variation of tensile stress with solution treatment temperature.



Şekil 14. % uzamanın KÇA süresi ile değişimi.
Figure 14. Variation of elongation with solution treatment time.

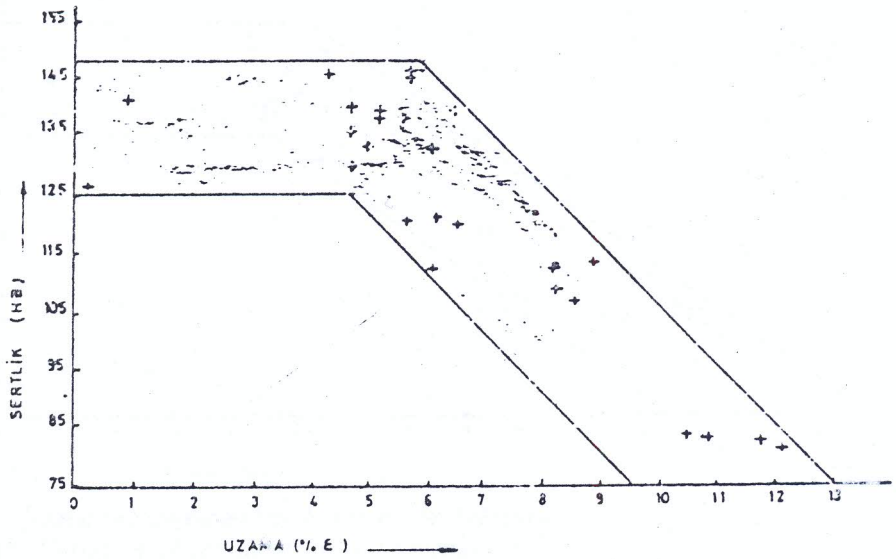


Şekil 15. % uzamanın KÇA sıcaklığı ile değişimi.
Figure 15. Variation of elongation with solution teratment temperature.

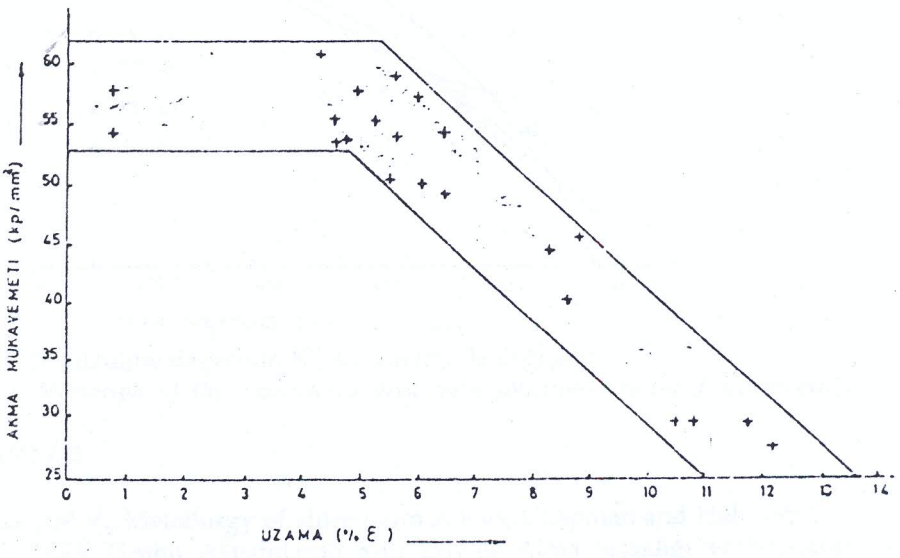
505 °C sıcaklık aralığında % uzama miktarı yaklaşık sabit kalmaktadır. Şekil 16, 17 ve 18'den de görüldüğü gibi sertlik, akma ve çekme mukavemeti ile % uzama arasında lineer olmayan bir değişim bandı meydana gelmektedir. Maksimum çekme mukavemetinin 50-65 kg/mm^2, akma mukavemetinin 45-60 kg/mm^2 ve sertliğin 115-147 HB değerlerine karşılık, % uzamanın 4-8 arasıda değiştiği görülür. Bu değer aralıklarından pratikte faydalanılabilir. % kesit daralması (büzülme) ise KÇA sıcaklığının artışıyla ters orantılı olarak azalmaktadır (Şekil 19).

SONUÇ

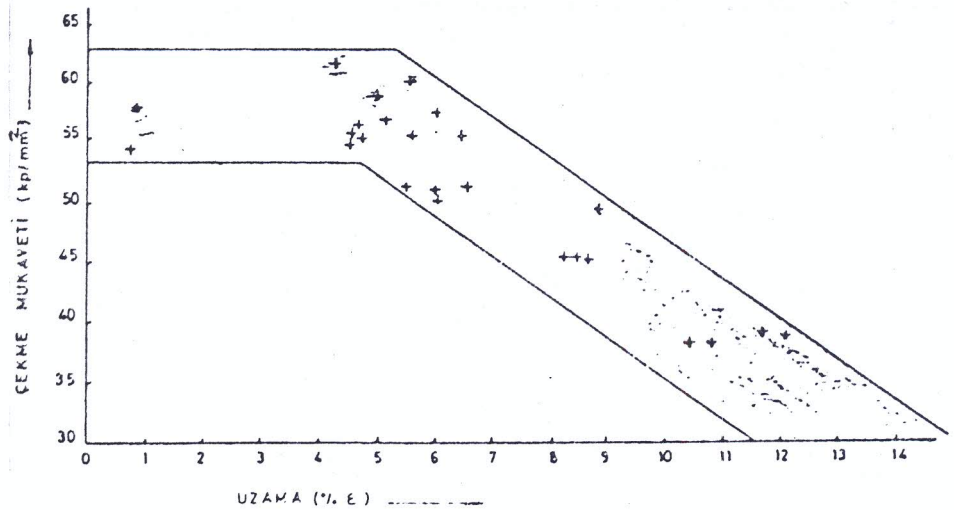
Çözündürme sıcaklığı arttıkça sözkonusu ETİAL-21 alaşımının sertlik ve mukavemet değeride artmaktadır. Buna karşılık sıcaklıkdaki artışla ters orantılı olarak % uzama ve kesit daralması azalma göstermektedir. ETİAL-21 alaşımının optimum çözündürme sıcaklığı 500 °C civarı olup, bu sıcaklıkda belirlenen maksimum değerler şunlardır: Çekme mukavemeti 58 kg/mm^2, akma mukavemeti 57 kg/mm^2, sertlik 139 HB, uzama % 6.5 ve kesit daralması ise % 12'dir. Bu sonuçlara göre ETİAL-21 alaşımı bazı uygulama- larda çelik yerine emniyetle kullanılabilir.



Şekil 16. Sertliğin % uzama miktarı ile değişimi.
Figure 16. Variation of hardness with elangation.



Şekil 17. Akma mukavemetinin % uzama ile değişimi.
Figure 17. Variation of yield stress with elongation



Şekil 18. Çekme mukavemetinin % uzama ile değişimi.
Figure 18. Variation of tensile stress with elongation.

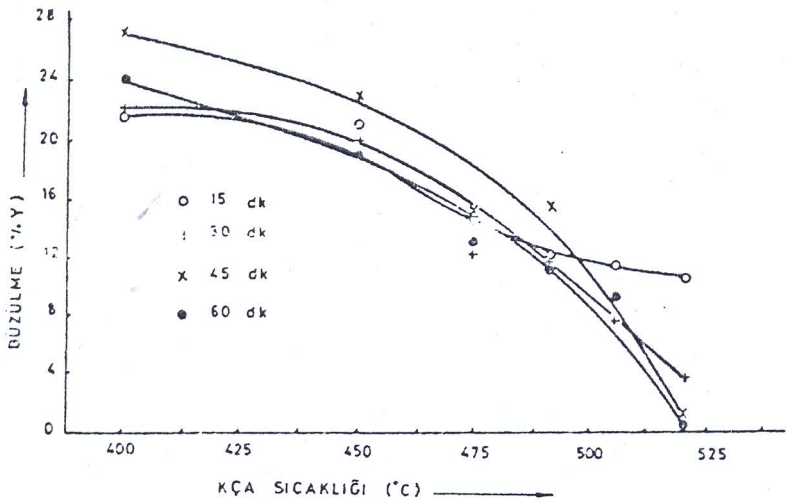


Figure 19. % büzülme değerinin KÇA sıcaklığı ile değişimi.
Figure 19. Variation of the constricted area with solution treatment temperature.

KAYNAKLAR

[1] Lancker, M.V., Metallurgy of aluminium Alloys, Chapman and Hall, 1967.
[2] Su, Ş., 2XXX Grubu Alaşımlarda Katı Eriyiğe Alma Sıcaklığı ve Süresinin Sonrası Özelliklere Etkileri, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 1988.
[3] Beljajew, A.I., Firsanowa, L.A., Rapoport, M.B. (Çeviri: M. Sezer), Aluminyum Metalurjisi, Makina Mühendisleri Odası Yayını, Yayın No: 99, 1974.
[4] Dix, E.H., Physical Metallurgy of Aluminium Alloys, Cleveland Ohio, 214, 1949.
[5] Erdoğan, T., Demirdaşı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi SEGEM, Yayın No: 101, Ankara, 1982.
[6] Kent, R.V.H., 2XXX Series (Aluminium-Copper, Heat Treatment), Aluminium, Vol. 2, Ohio, 300-302, 1976.
[7] Mondolfo, L.F., Aluminium Alloys Structure and Properties, Butter Worths, 256-302, 1968.
[8] Pollak, P., Aluminium Alloys and Characteristics, The Aluminium Association, Aluminium Joining Seminer, Metairi, Lousiana, USA, 1986.

[9] Robetr, M.B., Structure and Properties of Alloys, Third Ed., Mc.Graw Hill Co., N.Y., 152-170, 1965.
[10] Kelly, A. and Nicholson, R.B., Precipitation Hardening, Progress in Materials Science, V. 10, n.3, 1963.
[11] Ersümer, A., Aluminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi ve Mekanik İşlemleri, İzmir Matbaası, İstanbul, 1960.