

ALÜMİNYUM ALAŞIMI HAFİF METAL LEVHALARIN  
PRİZMATİK DERİN ÇEKMEDE BİÇİMLENDİRİLEBİLİRLİK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Halil ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA – 2005

ALÜMİNYUM ALAŞIMI HAFİF METAL LEVHALARIN  
PRİZMATİK DERİN ÇEKMEDE BİÇİMLENDİRİLEBİLİRLİK  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Halil ÇETİN**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Mustafa BAYHAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA -2005**

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>i</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.Alüminyum</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.1. Alüminyumun Kısa Tarihi</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.2.Alüminyumun Elde Edilmesi</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.3.Alüminyum ve Genel Özellikleri</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.4.Alüminyum Alaşımaları</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.4.1.İsimplendirme Kriterleri ve Standartları</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1.4.2.Kondüsyon Tanımları</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1.5.Alüminyum İşlem Alaşımaları</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1.6. Alaşım Elementleri ve Etkisi</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1.6.1.Bakırın (Cu) Alüminyum Üzerine Etkisi</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1.6.2.Silisyumun (Si) Alüminyum Üzerine Etkisi</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1.6.3.Magnezyumun (Mg) Alüminyum Üzerine Etkisi</b> .....	<b>18</b>
<b>1.1.6.4.Manganın (Mn) Alüminyum Üzerine Etkisi</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.6.5.Çinkonun (Zn) Alüminyum Üzerine Etkisi</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.6.6.Demirin (Fe) Alüminyum Üzerine Etkisi</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.7. AA Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Yerleri</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1.7.1. 1XXX Serileri</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1.7.2. 2XXX Serileri</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1.7.3. 3XXX Serileri</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1.7.4. 4XXX Serileri</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1.7.5. 5XXX Serileri</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1.7.6. 6XXX Serileri</b> .....	<b>22</b>
<b>1.1.7.7. 7XXX Serileri</b> .....	<b>22</b>

1.1.7.8. 8XXX Serileri .....	22
1.1.8. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler .....	22
1.1.8.1. Tavlama .....	23
1.1.8.2. Toparlanma .....	25
1.1.8.3. Yeniden Kristalleşme Tavı .....	26
1.1.8.4. Gerilme Giderme Tavlaması .....	26
1.1.8.5. Çökelme Sertleşmesi .....	27
1.1.8.5.1. Çözündürme Isıl İşlemi .....	28
1.1.8.5.2. Hızlı Soğutma .....	28
1.1.8.5.3. Yaşlandırma Isıl İşlemi .....	28
1.1.8.6. Dengeleştirme .....	31
1.1.8.7. Homojenleştirme .....	31
1.1.9. Sürekli Levha Döküm Tekniği .....	32
1.2. Şekillendirilebilirlik .....	34
1.2.1. Genel Bilgi .....	34
1.2.2. Derin Çekme İşlemlerinin Temel İlkeleri .....	37
1.2.2.1. Karesel ve Prizmatik Derin Çekme .....	43
1.2.3. Derin Çekme Hataları .....	51
1.2.3.1. Kulaklanma .....	51
1.2.3.2. Looper Çizgileri .....	54
1.2.3.3. Lüder Çizgileri .....	55
1.2.3.4. Portakallanma .....	55
1.2.3.5. Çatlaklar .....	56
1.2.4. Şekillendirme Sınır Diyagramları .....	56
1.2.5. Levhaların Derin Çekme Kalitesini Etkileyen Malzeme Özellikleri ...	65
1.2.5.1. Deformasyon Sertleşmesi Üssü .....	66
1.2.5.2. Deformasyon Hızı Duyarlılığı Üssü.....	70
1.2.5.3. Dikey Anizotropi .....	72
1.2.5.4. Erichsen Derinliği .....	77
2. KAYNAK BİLGİSİ .....	79
3. MATERYAL VE METOT .....	81
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler .....	81

<b>3.2. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Sistemler .....</b>	<b>82</b>
<b>3.2.1. Isıl İşlem Fırınları .....</b>	<b>82</b>
<b>3.2.2. Çekme Cihazı .....</b>	<b>83</b>
<b>3.2.3. Erichsen Testi .....</b>	<b>84</b>
<b>3.2.4. Sertlik Ölçüm Cihazı .....</b>	<b>85</b>
<b>3.2.5. Stereo ve Optik Mikroskoplar .....</b>	<b>86</b>
<b>3.3. Deneylerin Yapılışı .....</b>	<b>87</b>
<b>3.3.1. Isıl İşlemler .....</b>	<b>87</b>
<b>3.3.2. Mekanik Özelliklerin Tespiti .....</b>	<b>89</b>
<b>3.3.3. Erichsen derinliğinin tespiti .....</b>	<b>90</b>
<b>3.3.4. Sertlik değerleri .....</b>	<b>90</b>
<b>3.3.5. Kulaklanma Tespiti .....</b>	<b>90</b>
<b>3.3.6. Metalografik incelemeler .....</b>	<b>91</b>
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1. Tav Parametrelerinin Akma ve Çekme Gerilmeleri Üzerine Etkisi .....</b>	<b>93</b>
<b>4.2. Tav Parametrelerinin % Uzamaya Etkileri .....</b>	<b>102</b>
<b>4.3. Tav Parametrelerinin Sertliğe Etkileri .....</b>	<b>105</b>
<b>4.4. Tav Parametrelerinin % Kulaklanmaya Etkileri .....</b>	<b>108</b>
<b>4.5. Tav Parametrelerinin Erichsen Derinliğine Etkileri .....</b>	<b>111</b>
<b>4.6. Tav Parametrelerinin Deformasyon Sertleşmesi Üssü Üzerine Etkileri.....</b>	<b>115</b>
<b>4.7. Tav Parametrelerinin Mikroyapı Üzerindeki Etkileri .....</b>	<b>116</b>
<b>4.8. Tav Parametrelerinin Prizmatik Derin Çekilebilme Özellikleri Üzerine Etkileri .....</b>	<b>127</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>130</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>132</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>140</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>141</b>

## ÖZET

Sanayide geniş bir kullanım alanı bulan AA 3003 ve AA 5754 alüminyum alaşımlarının prizmatik derin çekme ile şekillendirilmesinde , malzeme kökenli bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Bu tezde , karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik olarak , tav parametrelerinin değiştirilmesi ile uygun parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmalarda sürekli döküm yöntemiyle , 5 mm kalınlığında dökülerek 1,2 mm kalınlığa soğuk haddelenmiş AA 3003 ve AA 5754 alaşımları kullanılmıştır. Öncelikle , AA 5754 alaşımına homojenizasyon (520 °C/ 8 saat) işlemi uygulanmış ve ardından üç grup numune 310 °C / 4 saat ,330°C / 4 saat , 350 °C / 4 saat ,380 °C / 4 saat ve 410 °C / 4 saat tavlansmıştır.

Tavlama sonrası , malzemelerin mukavemetleri azalırken , erichsen derinliklerinin arttığı gözlenmiştir.

Döküm yapıları incelendiğinde , bütün alaşımlarda merkez hattı segregasyonuna rastlanmıştır.

Ayrıca, 5754 alüminyum alaşımının diğer alaşımlardan farklı olarak plastik deformasyon esnasında süreksiz akma gösterdiği belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** AA 3003 , AA 5754 , Erichsen , prizmatik derin çekme , tav parametreleri

## ABSTRACT

In forming , 3003 and 5754 aluminium alloys used in industry , with prismatic deep drawing methods some material problems are seen. In this thesis , in order to solve these problems , optimum annealing parameters were investigated.

In this study , 5754 and 3003 were produced by Twin – Roll casting methods. After casting operation , materials were cold rolled to 1,2 mm thicknes from 5 mm. Firstly , 5754 were homogenized(520 °C / 8 hours). Then the metarials were annealed at 310 °C / 4 hours , 330 °C / 4 hours , 350 °C / 4 hours , 380 °C / 4 hours , 410°C / 4 hours .

After annealing for all metarials , decrease in the tensile and yield strengths , increase erichsen depth are seen.

At the metallographic examinations , it was observed that two aluminium alloys have center –line segregation .

Different from 3003 alloys, 5754 alloys stres-strain curve has discontinious yielding.

**KEY WORDS** : AA 3003 , AA 5754 , Erichsen , prismatic deep drawing , annealing parameters.

## ÖNSÖZ

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan , emeklerinin ve sevgilerinin ödenmesi çok güç olan aileme en içten saygı ve sevgilerimi sunar , teşekkürü bir borç bilirim.

Bana bu tez çalışmasını öneren sayın hocam Prof. Dr. Mustafa BAYHAN' a , iki yılı aşkın bir süredir çalışmaların yürütülmesinde benden yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Kamil DELİKANLI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmamaların sırasında malzemelerin temini ve deneysel çalışmaların yürütülmesi aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen sayın Dr.

Murat DÜNDAR bey'e ve tüm Assan Alüminyum Kalite Kontrol Birimi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanması aşamasında ,Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri 1064 YL-05 nolu proje desteğinden yararlanılmıştır.

Isparta , 2005

Halil ÇETİN

### SİMGELER DİZİNİ

HT	Homojenizasyon Tavı (520 °C de 8 saat)
YKT	Yeniden Kristalleşme Tavı
TRC	Twin-Roll Casting
TS	Türk Standartları
DIN	Alman Standartları
AA	Amerikan Alüminyum Birliği
CSA	Kanada Standartları
ASTM	Amerikan Malzeme Muayenesi ve Malzeme Kurumu
ISO	Uluslararası Standartlar Birliği
GOST	Rus Standartları
SAE	Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
D <sub>0</sub>	İlkel pul ( Metalik Taslak ) Çapı
D <sub>z</sub>	Zimba Çapı
D.Ç.O	Derin Çekme Oranı
D.Ç.O.S.	Derin Çekme Oranı Sınırı



R.O.	Redüksiyon Oranı
s	Prizmatik Derin Çekmede Parça Kalınlığı
H	Prizmatik Derin Çekmede Kap Derinliği
r	Prizmatik Derin Çekmede Kap Köşe Kavisi
A	Prizmatik Derin Çekmede Parça Eni
B	Prizmatik Derin Çekmede Parça Boyu
Ş.L.D.	Şekillendirme Limit Diyagramı
$D_0$	Başlangıç daire çapı
$D_1$	Şekil Değiştirmiş Dairenin En Büyük Ekseni (Maksimum Eksen)
$D_2$	Şekil Değiştirmiş Dairenin En Küçük Ekseni (Minimum Eksen)
$\varepsilon_1$	En Büyük Birim Şekil Değiştirme
$\varepsilon_2$	En Küçük Birim Şekil Değiştirme
R	Dikey Anizotropi
$\omega_0$	Test Öncesi Genişlik
$\omega$	Test Sonrası Genişlik
$t_0$	Test Öncesi Kalınlık
t	Test Sonrası Kalınlık
$l_0$	Test Öncesi Uzunluk
l	Test Sonrası Uzunluk
$\bar{R}$	Ortalama Dikey Anizotropi
$R_0$	Hadde Yönünde Alınan Numuneden Ede Edilen Anizotropi
$R_{45}$	Hadde yönüne $45^\circ$ den Alınan Numuneden Elde Edilen Anizotropi
$R_{90}$	Hadde Yönüne Dik Doğrultuda Alınan Numuneden Elde Edilen Anizotropi
$\sigma_g$	Gerçek Gerilme
K	Malzeme Katsayısı
n	Deformasyon Sertleşmesi Üssü
$\varepsilon_g$	Gerçek Plastik Birim Şekil Değiştirme
$n_0$	Hadde Yönündeki “n” Değeri
$n_{45}$	Hadde Yönüne $45^\circ$ Doğrultudaki “n” Değeri

$n_{90}$	Hadde Yönüne Dik Doğrultudaki “n” Değeri
C	Malzeme Katsayısı
$\dot{\epsilon}$	Deformasyon Hızı
m	Deformasyon Hızı Duyarlılığı Üssü
$H_{1ort}$	Test kabında Çukur Bölgelerin Yükseklik Ortalaması
$H_{0ort}$	Test kabında Kulak Bölgelerinin Yükseklik Ortalaması
MHS	Merkez Hattı Segregasyonu
% Ag	En Yüksek Çekme Miktarındaki Uzama Değeri

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.2.1. Birincil Alüminyum Üretim Adımları.....	5
Şekil 1.1.2.2. Geri Kazanım ve Yeniden Değerlendirme Yöntemiyle Alüminyum Üretimi .....	6
Şekil 1.1.4.1.1. AA İsimlendirme Kriterleri.....	11
Şekil 1.1.5.1 Temel işlem aşımalarının kimyasal kompozisyonu , ısıl işlem ve mekanik mukavemet özellikleri arasındaki ilişki.....	14
Şekil 1.1.6.1. Alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımların şematik gösterimi .....	15
Şekil 1.1.6.1.1. Alüminyum - bakır denge diyagramı.....	16
Şekil 1.1.6.2.1 Alüminyum - silisyum denge diyagramı.....	17
Şekil 1.1.6.3.1 Alüminyum - magnezyum denge diyagramı.....	18
Şekil 1.1.6.4.1 Alüminyum - mangan denge diyagramı.....	19
Şekil 1.1.8.1.1 Deformasyona bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme.....	24
Şekil 1.1.8.2.1. Sıcaklığa bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme.....	25
Şekil 1.1.8.5.3.1 Bir alüminyum alaşımında tabii yaşlanma.....	29
Şekil 1.1.8.5.3.2 Bir alüminyum alaşımında suni yaşlanma.....	30
Şekil 1.1.9.1 Tipik bir sürekli döküm hattı akış şeması.....	32
Şekil 1.1.9.2 Twin Roll Caster detay görünümü.....	33
Şekil 1.2.2.1 Basit bir derin çekme işleminin şematik gösterimi.....	38
Şekil 1.2.2.2 Derin çekme işlemi esnasında farklı bölgelerde oluşan gerilme durumu.....	40
Şekil 1.2.2.3 Derin çekmede ıstampa kuvveti – strok ilişkisi.....	42
Şekil 1.2.2.1.1 Prizmatik derin çekilmiş parça.....	43
Şekil 1.2.2.1.2 Prizmatik çekilmiş kapların köşe analizi .....	44
Şekil 1.2.2.1.3 Prizmatik çekilen kap ağzı çevresindeki buruşma-akma oranı.....	44
Şekil 1.2.2.1.4 Prizmatik kaplar için çekim bölgeleri.....	45
Şekil 1.2.2.1.5 Prizmatik parça köşesi ve açınımı.....	47
Şekil 1.2.2.1.6 Biçimlendirme sırasında deformasyon bölgesinin yağlama ile değişimi.....	50
Şekil 1.2.3.1.1. Kulaklanmış bir kabın şematik gösterimi.....	51

Şekil 1.2.3.1.2 DR'ye bağlı olarak kulak oluşumu.....	53
Şekil 1.2.3.1.3. AA 1100ve AA 1050 alaşımları için % kulaklanma – tav sıcaklığı değişimi .....	54
Şekil 1.2.3.1.4. AA 1100 alaşımı için tav süresinin % kulaklanma – tav sıcaklığı üzerine etkisi .....	54
Şekil 1.2.3.1. Derin çekme hataları.....	57
Şekil 1.2.4.1 Farklı malzemeler için düzlemde germede sınır deformasyonları...58	
Şekil 1.2.4.2 AA 6111-T4 için Ş.L. Diyagramı.....	59
Şekil 1.2.4.3. Şekillendirme Limit Diyagramının şematik gösterimi .....	62
Şekil 1.2.4.4. Ağ dokusu örnekleri.....	63
Şekil 1.2.4.5. Şekillendirme sonrası oluşan eliptik yapılar .....	63
Şekil 1.2.4.6 AA 5017 için Ş.L.D.....	66
Şekil 1.2.5.1.1. 1100 alaşımı tane boyutunun malzeme katsayısı (K) ve deformasyon sertleşmesi üssü (n) ile değişimi .....	68
Şekil 1.2.5.1.2. % 1 Manganlı döküm alaşımında gerçek birim şekil değişiminin , gerçek gerilme ve deformasyon sertleşmesi hızına etkisi .....	69
Şekil 1.2.5.2.1 Deformasyon hızının 1100 alüminyum alaşımının mukavemetine etkisi .....	72
Şekil 1.2.5.3.1 Anizotropi katsayısı için deney numunesi .....	75
Şekil 1.2.5.3.2 Çeşitli malzemeler için ort. dikey anizotropi D.Ç.O ilişkisi.....	77
Şekil 1.2.5.4.1 Etial -6 için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi.....	78
Şekil 3.2.1.1. Nabertherm N 30 / 65 HA ısıtma fırını.....	83
Şekil 3.2.2.1 Zwick Z050 çekme cihazı.....	84
Şekil 3.2.2.2. TS 138 ve ASTM B 557' ye uygun olarak hazırlanmış çekme numunesi boyutları.....	84
Şekil 3.2.3.1. Erichsen test cihazı.....	85
Şekil 3.2.5.1. Olympus SZ-CTV marka stereo mikroskop.....	86
Şekil 3.2.5.2. Zeiss HAL-100 marka optik mikroskop.....	87
Şekil 3.3.2.1. Deneylerde kullanılan çekme numuneleri seçimi.....	89
Şekil 3.3.6.1. Mikro yapı incelemeleri için , numunelerin hazırlanmasında kullanılan sistemler (Struers Labopol-5, Metkon Gripo 200-IV, Struers Lectropol-5).....	92

Şekil 4.1.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi.....	94
Şekil 4.1.2. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi.....	95
Şekil 4.1.3. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi.....	95
Şekil 4.1.4. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi.....	96
Şekil 4.1.5. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi.....	96
Şekil 4.1.6. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi.....	97
Şekil 4.1.7. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi.....	97
Şekil 4.1.8. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi.....	98
Şekil 4.1.9. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi.....	98
Şekil 4.1.10. AA 3003- AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımlar için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi.....	99
Şekil 4.1.11. AA 3003- AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımlar için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi.....	100
Şekil 4.1.12. AA 3003- AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi.....	101
Şekil 4.2.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi.....	103
Şekil 4.2.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi.....	103
Şekil 4.2.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi.....	104
Şekil 4.2.4. AA 3003, AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi.....	104
Şekil 4.3.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi.....	105
Şekil 4.3.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi.....	106
Şekil 4.3.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi.....	106
Şekil 4.3.4.. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi.....	107
Şekil 4.4.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi.....	108
Şekil 4.4.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi.....	109
Şekil 4.4.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi.....	109
Şekil 4.4.4. AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi.....	110

Şekil 4.5.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi.....	112
Şekil 4.5.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi.....	112
Şekil 4.5.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi....	113
Şekil 4.5.4. AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi.....	114
Şekil 4.6.1. AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı deformasyon sertleşmesi üssü ilişkisi.....	115
Şekil 4.7.1. AA 3003 alaşımının döküm (üst) kalınlığındaki iç yapısı.....	118
Şekil 4.7.2. AA 3003 alaşımının döküm (merkez) kalınlığındaki iç yapısı.....	118
Şekil 4.7.3. AA 3003 alaşımının döküm (alt) kalınlığındaki iç yapısı.....	118
Şekil 4.7.4. AA 3003 alaşımının haddelenmiş - tavsız numunenin iç yapısı.....	119
Şekil 4.7.5. AA 3003 alaşımının 310 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	119
Şekil 4.7.6. AA 3003 alaşımının 330 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	119
Şekil 4.7.7. AA 3003 alaşımının 350 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	120
Şekil 4.7.8. AA 3003 alaşımının 380 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	120
Şekil 4.7.9. AA 3003 alaşımının 410 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	120
Şekil 4.7.10. AA 5754 alaşımının döküm (üst) kalınlığındaki iç yapısı.....	121
Şekil 4.7.11. AA 5754 alaşımının döküm (merkez) kalınlığındaki iç yapısı.....	121
Şekil 4.7.12. AA 5754 alaşımının döküm (alt) kalınlığındaki iç yapısı.....	121
Şekil 4.7.13. AA 5754 alaşımının haddelenmiş - tavsız numunenin iç yapısı.....	122
Şekil 4.7.14. AA 5754 alaşımının 310 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	122
Şekil 4.7.15. AA 5754 alaşımının 330 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	122
Şekil 4.7.16. AA 5754 alaşımının 350 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	123

Şekil 4.7.17. AA 5754 alaşımının 380 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	123
Şekil 4.7.18. AA 5754 alaşımının 410 °C' de 4 s.aat tavllanmış numunenin iç yapısı .....	123
Şekil 4.7.19. AA 5754 (HT) alaşımının döküm (üst) kalınlığındaki iç yapısı.....	124
Şekil 4.7.20. AA 5754 (HT) alaşımının döküm (merkez) kalınlığındaki iç yapısı.....	124
Şekil 4.7.21. AA 5754 (HT) alaşımının döküm (alt) kalınlığındaki iç yapısı.....	124
Şekil 4.7.22. AA 5754 (HT) alaşımının haddelenmiş - tavsız numunenin iç yapısı.....	125
Şekil 4.7.23. AA 5754 (HT) alaşımının 310 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	125
Şekil 4.7.24 AA 5754 (HT) alaşımının 330 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı.....	125
Şekil 4.7.25. AA 5754 (HT) alaşımının 350 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı .....	126
Şekil 4.7.26 AA 5754 (HT) alaşımının 380°C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı .....	126
Şekil 4.7.27. AA 5754 (HT) alaşımının 410 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı .....	126
Şekil 4.8.1. AA 3003 alaşımı için elde edilen prizmatik derin çekme işlemi sonuçları.....	128
Şekil 4.8.2. AA 5754 alaşımı için elde edilen prizmatik derin çekme işlemi sonuçları.....	129
Şekil 4.8.3. AA 5754 (HT) alaşımı için elde edilen prizmatik derin çekme işlemi sonuçları.....	129

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

Çizelge 1.1.4.1.1. Bir işlem ve bir döküm alaşımının çeşitli standartlardaki kısa gösterimi.....	10
Çizelge 1.1.9.1 Sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları....	34
Çizelge 1.2.2.1.1 Derin çekmede köşe kavislerine bağlı olarak çekme derinlikleri.....	48
Çizelge 1.2.2.1.2. Çeşitli malzemeler için ara ısıl işlem şartları.....	49
Çizelge 1.2.2.1.2 Derin çekme prosesi için ortalama çekme hızları.....	50
Çizelge 3.1.1. AA 3003 alüminyum alaşımının kimyasal analiz sonuçları.....	81
Çizelge 3.1.2. AA 5754 alüminyum alaşımının kimyasal analiz sonuçları.....	81



## 1. GİRİŞ

Günümüzde , kullanım amacına ve yerlerine göre hafif, fakat mekanik özellikleri yükselen alaşımlara ve metallere olan ihtiyaç artmaktadır. Alüminyum alaşımları günümüzde yaşamımıza girmiş ve yaşamımızın ayrılmaz bir malzemesi haline gelmiştir. Alüminyum ve alaşımları iyi ısı ve elektrik iletkenliği , hafifliği , korozyona karşı direnci nedeni ile başta otomotiv ve gemi sanayilerinde olmak üzere birçok alanda her geçen gün artan bir şekilde kullanım alanları bulmaktadır.

Alüminyum endüstrisi geçtiğimiz 100 yıl içerisinde sınırlı sayıda alaşım ve üründen geniş bir ürün yelpazesine sahip büyük hacimli üretim miktarlarına ulaşmıştır.

Pazar ; alaşım , proses ve düşük maliyet/işlevsellik özelliğine sahip ürünlerin seçilmesiyle gelişmektedir. Alüminyum alaşımları bu etmenlere bağlı olarak pazar payını artırmaktadır.

Alüminyum alaşımları imalat prosesinde genellikle levha olarak kullanıma sunulmaktadır.

İmalat yöntemi ve kullanılma yerleri dikkate alındığında metalik alaşımda aranan temel özellik yüksek şekillenebilme kabiliyeti , eloksola uygunluk ve mikro yapısının düzgünlüğüdür. Bu özellikler , üretimde verimliliğin artırılması , dekoratif görünümün temini ve malzeme tasarrufu amacıyla giderek incelenen kalınlıklarına rağmen yeterli mukavemette imalat yapabilmek bakımından önem kazanmaktadır. Alüminyumun alaşımlandırılması sonucu mekanik özellikleri kolayca değiştirilebilmektedir. Isıl işlemler vasıtası ile mukavemeti artırılabilir.

Alaşım elementlerinin oranı arttıkça uygulanacak tavlama sıcaklıkları artmaktadır. Mangan , magnezyum , demir , silisyum konsantrasyonları arttıkça deformasyonla mukavemet artarken , haddeleme kabiliyeti ve eloksola uygunluk kötüleşmektedir. Bu nedenle alaşım elementlerinin oranlarının optimum seviyede tutulması gerekmektedir.

Metalik saçların şekillendirme yöntemi olarak genellikle derin çekme yada germe işlemi tercih edilmektedir.

Derin çekme , metalik saçlara uygulanan bir şekillendirme yöntemidir. Derin çekme , yassı metalik bir saçta üç boyutlu metalik bir kap elde etme işlemidir. Derin çekme işlemi esnasında saç uygulanan kuvvet altında kalınlığından kaybetmeksizin kendi düzleminde akabilmeli ve arzu edilen üç boyutlu şekli almalıdır. Derin çekme işlemi esnasında bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemler kalıp ve geometrisinden kaynaklanabildiği gibi malzeme esaslı da olabilmektedir. Çekme işlemi sonrasında oluşan kulaklanma , yüzey pürüzlülüğü , çatlama v.b. oluşumlar bu problemlerin bazılarıdır. Bu çalışmada bu problemlere çözümler aranmıştır.

Deneyleerde , Assan Alüminyum Tesislerinde Sürekli Döküm (TRC) yöntemiyle üretilmiş 1,2 mm kalınlığa sahip AA 3003 ve AA 5754 alaşımı levhalar kullanılmıştır. AA (Aluminium Association ) normlarında 3XXX grubu olarak tanımlanan Al-Mn alaşımları , iyi kaynak edilebilme ve iyi bir korozyon direncine sahiptirler. Bu nedenle çatı kaplaması , taşıt ve inşaatlarda kaplama maddesi ve yiyecek endüstrisinde kap ve alet yapımında kullanılırlar. 5XXX serisi olarak bilinen Al-Mg alaşımları ise deniz suyuna karşı yüksek korozyon direnci gösterirler , ayrıca kolay kaynak edilebilir ve anodik olarak oksitlenebilirler. Bu nedenlerden dolayı tuz endüstrisinde , teknelerin iskeletlerinde ve yüzme havuzlarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler.

Bu çalışma ile alüminyum ve alaşımlarının prizmatik derin çekilmesinde karşılaşılan problemlerin çözümüne yönelik olarak tav sıcaklık ve sürelerinin değiştirilmesi vasıtası ile uygun tav parametrelerine ulaşılarak malzeme israfının önlenmesi ve alüminyum levha malzemelerin makine ve imalat sanayinde daha yaygın olarak kullanılması sağlanmaya çalışılmıştır.

## **1.1.Alüminyum**

### **1.1.1. Alüminyumun Kısa Tarihi**

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyum'dan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir.

Alüminyum, diğer çok kullanılan metaller olan demir, kurşun ve kalay gibi, doğada bileşikler halinde bulunur. Alüminyumu oksit halindeki bileşiğinden ilk ayıran ve elde eden kişi , 1807 yılında Sir Humprey Davy olmuştur. Daha sonra, Hans Christian Oersted, Frederick Wöhler ve Henri Sainte-Clairre Deville, alüminyum eldesinde yenilikler getirmişlerdir.

Alüminyumun endüstriyel çapta üretimi ise, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un birbirlerinden habersiz olarak yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. Bu, günümüzde halen kullanılan yöntem olduğundan, 1886 yılı alüminyum endüstrisinin başlangıç yılı olarak kabul edilir.

1886 yılında Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu en genç metal, çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur.

Türkiye'de birincil alüminyum üretimine 1974 yılında Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nde başlanmıştır.

Ülkemizde tüketim Dünya ülkelerine göre kişi başına düşük seviyelerde kalmıştır; kişi başına yıllık alüminyum tüketimi ABD'de 27 kg.,Avrupa'da 13 kg, Türkiye'de ise 3 kg.dır.

### **1.1.2.Alüminyumun Elde Edilmesi**

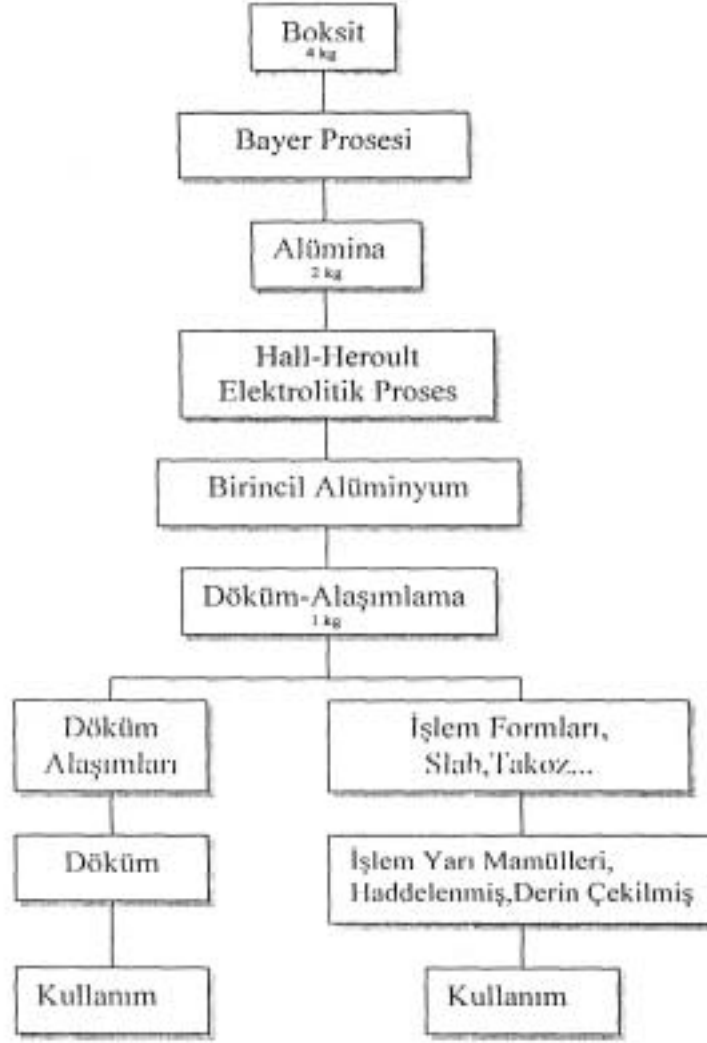
Alüminyum, bir yüzyıldan beri, tüm dünyada aynı yöntemle elde edilmektedir. Alüminyum eldesi, iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada, Bayer metodu ile boksit cevherinden alümina elde edilir. İkinci aşamada ise, elektroliz ile alümina' dan alüminyum elde edilir. Alümina tesisleri, genellikle boksit cevherlerinin yanına kurulur. Madenden çıkarılan boksit cevheri, südkostik eriyiği ile muamele edilerek alüminyum hidroksit eldesi gerçekleşir. Bu işlem sonucunda oluşan erimeyen

kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile "alümina" (alüminyum oksit) elde edilir.

Bundan sonraki aşama, "alümina"nın "alüminyum"a dönüştürülmesidir. Beyaz bir toz görünümündeki alümina, elektroliz işleminin yapılacağı hücre adı verilen özel bölümlere alınır.

Burada amaç, alüminyum oksijenden ayırmaktır. Elektroliz işlemi için 4-5 volt gerilimde doğru akım uygulanır. Dipte biriken alüminyumun alınması ile işlem tamamlanır.

Genel olarak, ağırlıkça 4 birim boksitten 2 birim alümina ve 2 birim alüminadan da 1 birim alüminyum elde edilir.



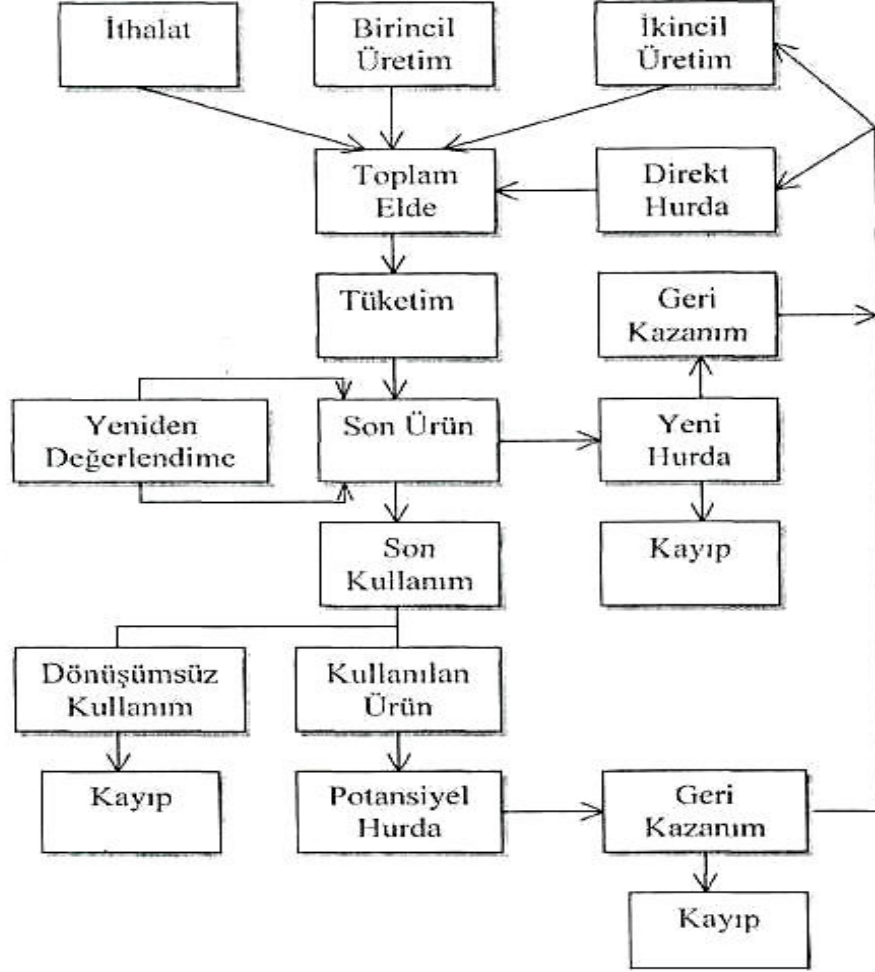
Şekil 1.1.2.1. Birincil Alüminyum Üretim Adımları(Mario vd., 1992)

İlk zamanlarda üretilen birincil alüminyumun her tonu için 42.000 kwh olan enerji sarfiyatı, günümüzde ortalama 16.500 kwh değerine düşmüştür. Bu değer, en yeni teknoloji ile çalışıldığında 13.000 kwh olmaktadır. (Mario vd., 1992)

Yukarıda söz edilen işlemler ile elde edilen alüminyum "birincil alüminyum" (primary aluminium) olarak tanımlanır. Alüminyum daha sonra yarı ürün ve ürüne dönüştürülmek üzere, gerekiyorsa alaşımlandırılarak külçe, T-ingot, yassı ürün ingotu veya ekstrüzyon halinde dökülür ve kullanıma sunulur.

Elektroliz ile elde edilen birincil metalden farklı olarak, ikincil metal (ikinci ergitme) alüminyum endüstrisinde "yeni hurda" olarak adlandırılan ve üretim

işlemleri sırasında oluşan çok çeşitli atıklardan yeniden ergitme yolu ile yada “eski hurda” olarak bilinen kullanım ömrünü yitirmiş alüminyum ürünlerinin yeniden değerlendirilmesi ile elde edilir.(Okumuş,2003)



Şekil 1.1.2.2. Geri Kazanım ve Yeniden Değerlendirme Yöntemiyle Alüminyum Üretimi (Mario vd., 1992)

Alüminyum kolayca geri kazanılabilmektedir. Bunun yanında üretim için gerekli olan enerji miktarı yaklaşık olarak birincil alüminyum üretimi prosesi için gerekli olan enerjinin % 5-7' si civarındadır.(Muter , 1984)

Burada anlaşılması gereken hususların başında , ikincil alüminyum üretim prosesinin kaliteyi değil sadece ve sadece malzemenin orijinini belirtmesidir.

### 1.1.3.Alüminyum ve Genel Özellikleri

Sembol : Al

Atom No : 13

Yoğunluk : 25 °C de 2,6978 g/cm<sup>3</sup>

Ergime sıcaklığı : 660 °C

Buharlaştırma sıcaklığı : 2450 °C

Dövme sıcaklığı : 300-500 °C

Yeniden kristalleştirme sıcaklığı : 250...300 °C

Elastiklik modülü : 61782 N / mm<sup>2</sup>

Çekme dayanımı : 101.99 N/ mm<sup>2</sup>

Akma dayanımı : 25,5 N / mm<sup>2</sup>

% uzama : 60

Sertlik : 17 (BHN)

Kristal çeriidi : Kübik yüzey merkezli (KYM)

Burada belirtilen özellikler %99,996 saflıktaki alüminyum için geçerlidir. Bu özellikler alaşım elementlerine bağı olarak değişiklik göstermektedir.

- i. Hafiflik
- ii. Yüksek mukavemet – kütle oranı
- iii. Gümüşi görünüm
- iv. Mükemmel işlenebilirlik
- v. Yüksek termal ve elektriksel iletkenlik
- vi. Yüksek derecede doğal korozyon direnci
- vii. Yüksek yansıtma özelliği
- viii. Ani yüklemelere karşı yüksek elastiklik
- ix. Düşük sıcaklıkta tokluk

Alüminyuma ait tüm bu özellikler hadde , ekstrüzyon ve döküm uygulamalarında seçilme sebebini oluşturur.

#### **1.1.4.Alüminyum Alaşımaları**

Alüminyumun , endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlaması bakır , çinko ve kurşuna oranla yeni sayılır. Endüstrideki hızlı gelişme, hafif fakat mekanik

özellikleri iyi malzemelere duyulan ihtiyacı körüklemiş ve alüminyum birinci sıraya yükseltmiştir. Alüminyumun alaşımlandırılma tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak kullanım alanlarının artışına neden olmuştur.

Saf haldeki alüminyum yumuşak ve elastiktir. Alüminyumdan daha yüksek mukavemet istendiğinde alaşımlandırılır. Yeterli olmadığı durumlarda istenen mukavemet değerleri ısıl işlemler vasıtası ile elde edilir. (Göngül vd.,1979) Birçok metalik element alüminyum ile alaşım yapabilmektedir. Ancak bunların bir kısmı ticari olarak kullanılmaktadır.

En genel alaşım elementleri , bakır , silisyum , çinko , mangan ve magnezyum' dur. İlave edilen diğer elementler (krom , zirkonyum , vanadyum v.b. ) ; ince tane yapısı , yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı , ana empürite elementlerine karşı blok etkisi sağlamak gibi yapısal özellikleri sağlamak amacıyla kullanılırlar (Totten vd., 2003)

Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi yararlı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Alüminyuma ilave edilen element cins ve miktarı alaşım tanımlamada kullanılan ilk kriterdir. Kimyasal kompozisyonu yanında diğer kriterlere göre de sınıflandırılabilir.

Alüminyum alaşımlarının yapı ve katı hal dönüşümlerinin anlaşılması sonucu , dökülebilir yüksek dayanımlı alaşımlar ve yüksek dayanımlı pres döküm alaşımları geliştirilmiştir.

#### **1.1.4.1.İsimlendirme Kriterleri ve Standartları**

Alüminyum döküm alaşımları ve işlem alaşımları olmak üzere iki grupta incelenebilir. Döküm alaşımları ile işlem alaşımları arasındaki en önemli fark ; döküm alaşımları , alüminyum döküm parçalarının üretiminde kullanılır. İşlem alaşımları ise haddelme , ekstrüzyon , döverek şekillendirme , derin çekme v.b. plastik işlemler için uygun alaşımlardır.

Bir diğer sınıflandırma yönteminde ise ;



- i. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları
- ii. Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları olarak ikiye ayrılabilir.

Alüminyum alaşımlarının isimlendirilmesinde ;

- i. Nümerik sınıflandırma
- ii. Alfanoümerik sınıflandırma standartları kullanılır.

Nümerik olarak adlandırmada esas ; alaşım kompozisyonlarının anlamlı olarak ifade edilmesine dayanır.

Alfanoümerik sistemde ise her alaşım kompozisyonu harf grupları ve rakamlardan oluşan bir kod notasyonu ile tanımlanır.

Çizelge 1.1.4.1.1. Bir işlem ve bir döküm alaşımının çeşitli standartlardaki kısa gösterimi (Yüksel , 1998)

TS	DIN	AA	CSA	ASTM	ISO	GOST	SAE
AlCuSiMg1	AlCuMg1	2017A	CM41	Cm41A	AlCu4MgSi	1100	SAE26
Al-Si12	G_AISi12	A413	S12N	A13	Al-Si12	AK12	GAISi13

TS : Türk Standartları

DIN : Alman Standartları

AA : Amerikan Alüminyum Birliği

CSA: Kanada Standartları

ASTM : Amerikan Malzeme Muayenesi ve Malzeme Kurumu

ISO : Uluslararası Standartlar Birliği

GOST : Rus Standartları

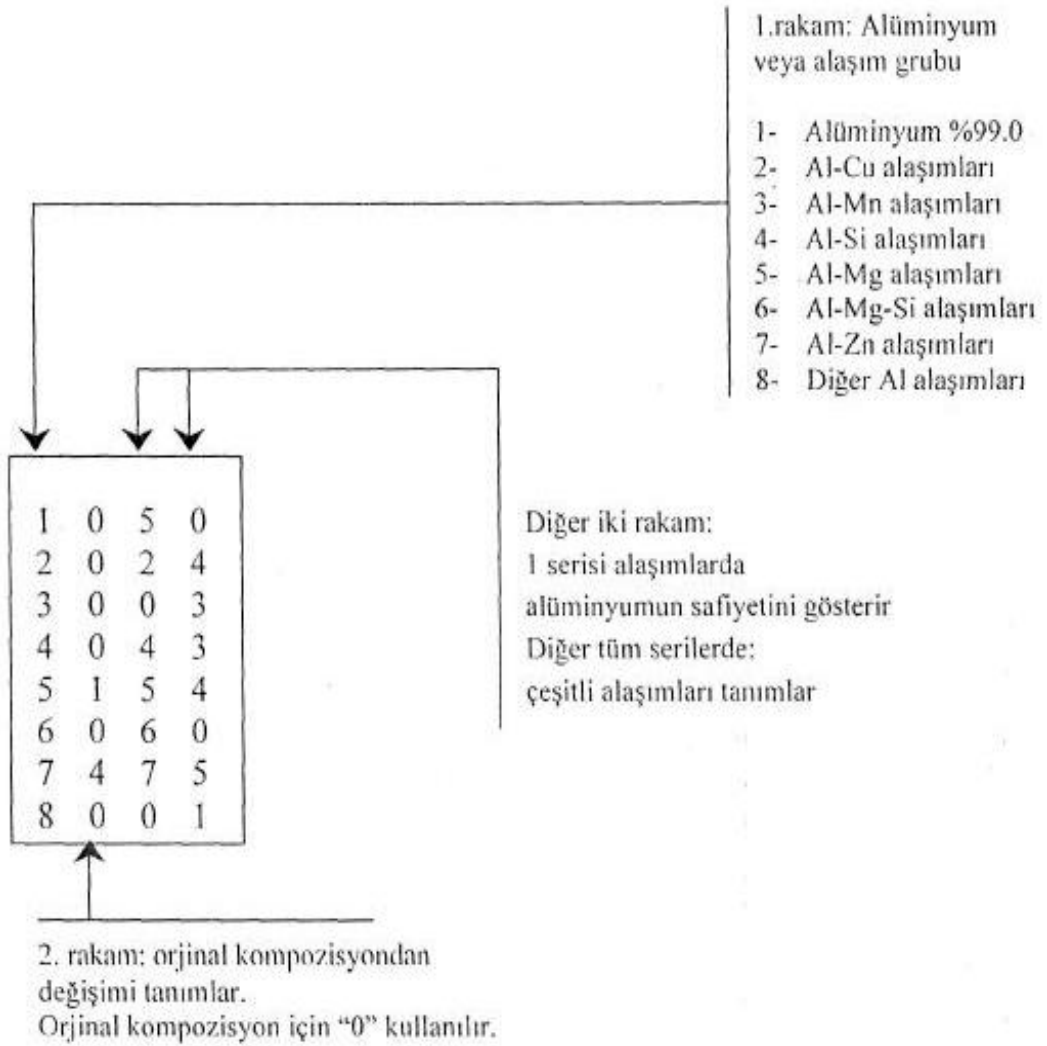
SAE : Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği

Günümüzde Amerikan Alüminyum Birliği'nin oluşturduğu notasyon sistemi en yaygın olarak kullanılan isimlendirme metodudur. Bu sistem nümerik sınıflandırma esasına dayanmaktadır. Şekil1.1.4.1.1'de AA isimlendirme kriterleri görülmektedir.

#### 1.1.4.2.Kondüsyon Tanımları

Herhangi bir alaşımla ilgili olarak fiziksel özelliklerin tanımlanabilmesi için temper kodlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu temper kodları hem döküm alaşımları hem de işlem alaşımları için kullanılmaktadır.

Temel temperler harf notasyonu ile belirtilir. Ayrıca harf tanımları ile beraber kullanılan rakam notasyonları ile ürün kalitesini etkileyen karmaşık temel operasyon akışı belirtilir.



Şekil 1.1.4.1.1. AA İsimlendirme Kriterleri (Mario vd. , 1992)

F : F kodu malzemenin üretildiği temperde olduğunu gösterir. Bu koda sahip malzemenin ; termal durumunun kontrol edilmediği , yalnızca şekillendirme ve

üretim işlemlerinin uygulandığını gösterir. Genellikle dövme alaşımlar için kullanılır.

Q : Bu temper gösterimi işlem alaşımlarının tamamıyla yeniden kristalleştirildiğini gösterir. Uygulanan operasyon sonucunda malzemenin % uzama özelliği dolayısı ile şekillendirilebilirlik özelliğinde artış sağlanmaktadır. Bu operasyon sayesinde özellikle derin çekme kabiliyetinde iyileşme sağlanır. Tavlama aynı zamanda ürüne boyutsal stabilite de sağlar. Bu işlem sınıfı işlem alaşımlarının yanı sıra dövme alaşımları için de kullanılır.

H : Bu kod sadece deformasyonla sertleştirilebilen işlem alaşımları için kullanılır. Bu işlem akabinde bir termal işlem kademesini de içermektedir. H kodunu daima iki veya daha fazla rakam takip eder.

H kondüsyonunun ilk rakamı ;

H1 : Yalnızca deformasyon sertleşmesi uygulanmış

H2 : Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış

H3 : Deformasyonla sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş alaşımları gösterir

H kondüsyonunun ikinci rakamı ;

Burada ikinci rakam ek sertlik skalasını verir. Örneğin ; H18 kodu, yüksek oranda deformasyona tabi tutulmuş malzeme için kullanılır ve tam sert olarak tanımlanır. H24 kodu ; deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmi tavlanaarak , yarı sert duruma getirilmiş malzemeler için kullanılır.

H kondüsyonunun üçüncü rakamı ;

Bazı durumlarda iki rakamlı temper notasyonlarından farklı temper değerlerini ifade etmek amacıyla üçlü rakam notasyonları kullanılır. . Örneğin : H121 kodu ; yalnızca deformasyon sertleşmesi uygulanmış çeyrek sertlikte fakat H12' nin simgelediği durumdan biraz farklı değerlere sahip olan malzemeyi simgeler.

W : W harfi ısıtma işlemi uygulanabilir alaşımların dengesiz bir temperleme ile ısıt

işleme tabi tutulduğu uygulamaları ifade etmek amacıyla kullanılır.

T : T kodu stabil temper durumlarını ifade etmek maksadı ile kullanılır. Bu temper grubu bir ısıtma işlemiyle kondüsyon kazandırılmış malzemeleri tanımlar.

T1 : Tabii yaşlandırma ile oldukça kararlı duruma getirilmiş

T2 : Tavlanmış (Sadece dökme ürünler için )

T3 : Katı çözeltiliye alınmış , soğuk işlenmiş ve tabii yaşlandırma ile oldukça kararlı bir duruma getirilmiş

T4 : Katı çözeltiliye alınmış ve tabii yaşlandırma ile oldukça kararlı bir duruma getirilmiş

T5 : Sadece yapay yaşlandırılmış

T6 : Katı çözeltiliye alınmış ve yapay yaşlandırılmış

T7 : Katı çözeltiliye alınmış ve aşırı yaşlandırılmış

T8 : Katı çözeltiliye alınmış , soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış

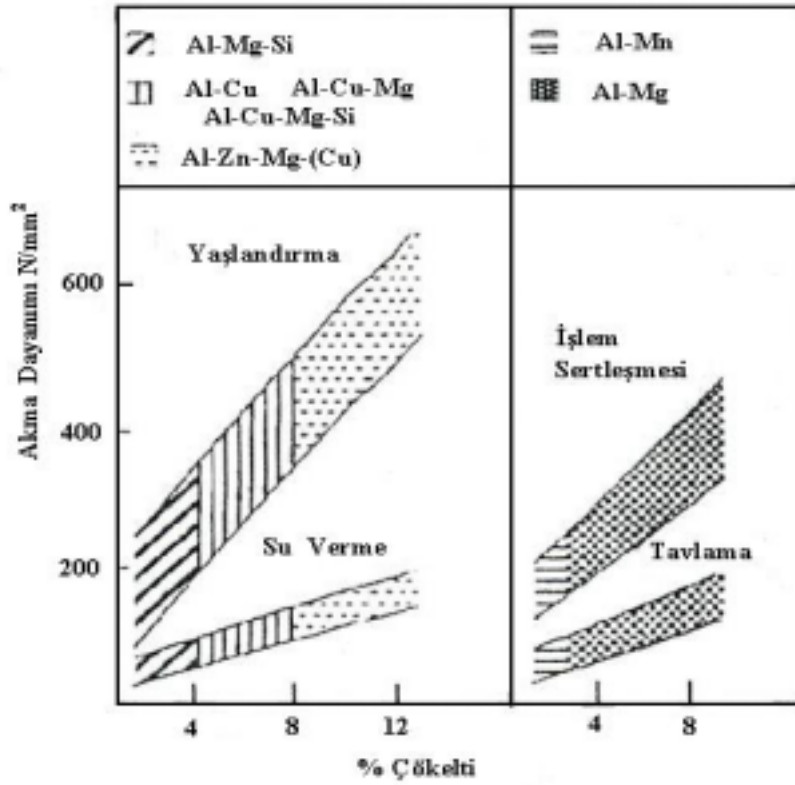
T9 : Katı çözeltiliye alınmış , yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş

T10 : Yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş

### **1.1.5.Alüminyum İşlem Alaşımları**

İşlem alaşımları ifadesi ,levha , tabaka , folyo , tüp , dövme , ekstrüzyon v.b. gibi şekil verilebilir alüminyum alaşımlarını ifade eder. Uygulanan deformasyon ve termal işlemler alaşım türüne göre karakteristik olarak dökme ingot yapısını , tam olarak kristalleşmiş bir yapıdan fiberleşmiş bir yapıya doğru götürür. Elde edilen yapı malzemenin , mukavemet , korozyon direnci ve diğer özelliklerini gösterir. (Hatch , 1984 )

Şekil 1.1.5.1.'den görüldüğü üzere alaşım elementlerinin yüzdesi arttıkça alaşımın sertleşme kapasitesi artmaktadır. Buradan ayrıca yaşlandırma sertleşmesinin işlem sertleşmesinden daha etkili olduğu görülmektedir.

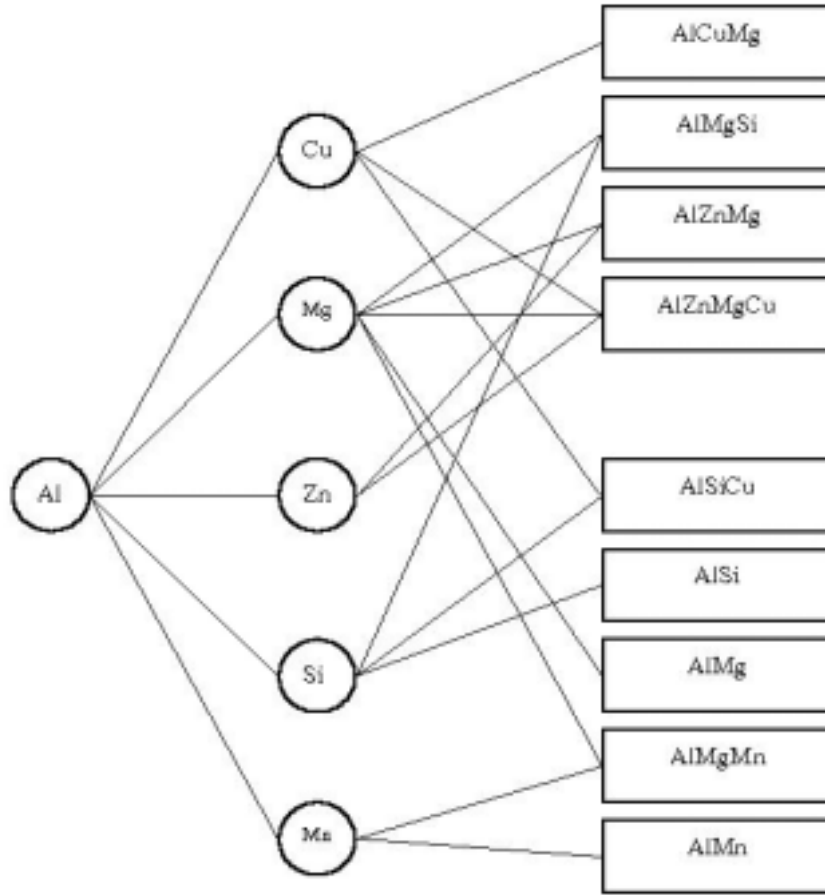


Şekil 1.1.5.1 Temel işlem alaşımlarının kimyasal kompozisyonu , ısıl işlem ve mekanik mukavemet özellikleri arasındaki ilişki (Mario vd. 1992)

### 1.1.6. Alaşım Elementleri ve Etkisi

Alüminyumun kötü olan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Alaşım elementlerinin ilk görevi yüksek uzama kabiliyeti ve korozyona dayanıklılık gibi faydalı özellikleri kötü yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler ; mangan , magnezyum , silisyum , bakır ve çinko olup düşük miktarlarda bile istenilen amaca ulaştırırlar. Kübik yüzey merkezli alüminyum kristal kafesi yapısına , ancak çok küçük oranlarda bu elementlerden alabilir ve karışım kristali teşkil edebilir. Yabancı atomlar kristal kafesi içerisinde kaymaya karşı direnci arttırırlar ; yani akma sınırını yükseltirler , şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez.( Anık vd., , 1998 )

Alüminyum birçok metal ile sıvı halde de kolayca karışabilir. Alüminyum içinde katı halde hiçbir element tam olarak çözünmez. Şekil 1.1.6.1' da alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımların görülmektedir.

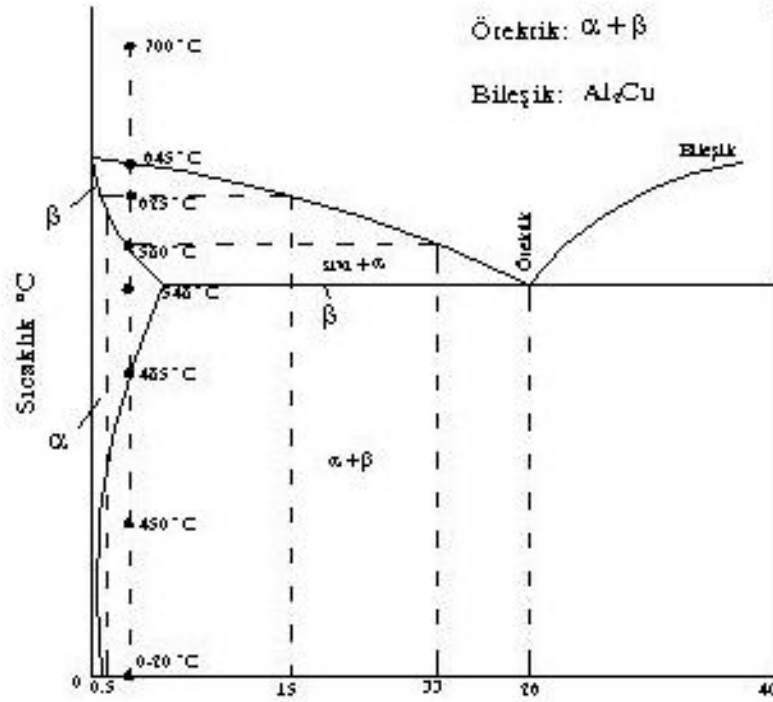


Şekil 1.1.6.1. Alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımların şematik gösterimi (Totten vd., 2003-Hatch vd. , 1984)

Alüminyumun alaşımlandırılması sırasında ilave edilen alaşım elementleri belirli sınırlar içinde kalmak zorundadır. Genellikle alaşım elementlerinin toplam yüzdesi %15' i aşmaz. İstenerek ilave edilen alaşım elementlerinin yanı sıra arzu edilmeyen elementler de yapı içerisinde bulunabilmektedir. Bu elementlerin belirli bir oranı aşmaması arzu edilir. Bu durum istenilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için gerek şarttır. Günümüzde alüminyum alaşımları arasında 2XXX , 3XXX , 4XXX ,5XXX , 7XXX serileri yaygın olarak kullanılmaktadır. (Tekin, 1984)

### 1.1.6.1.Bakırın (Cu) Alüminyum Üzerine Etkisi

Bakır , alüminyum alaşımlarında alaşım elementi olarak kullanılan en eski elementlerden birisidir. Alüminyuma sertlik kazandırmak amacı ile kullanılırlar. Alaşım yüzdesi % 3-12 arasındadır. İlave edilen miktarla orantılı olarak mukavemet artışı sağlar. Bakır elementi elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür. (Doğan , 1989)



Şekil 1.1.6.1.1. Alüminyum - bakır denge diyagramı(Ersümer , 1960)

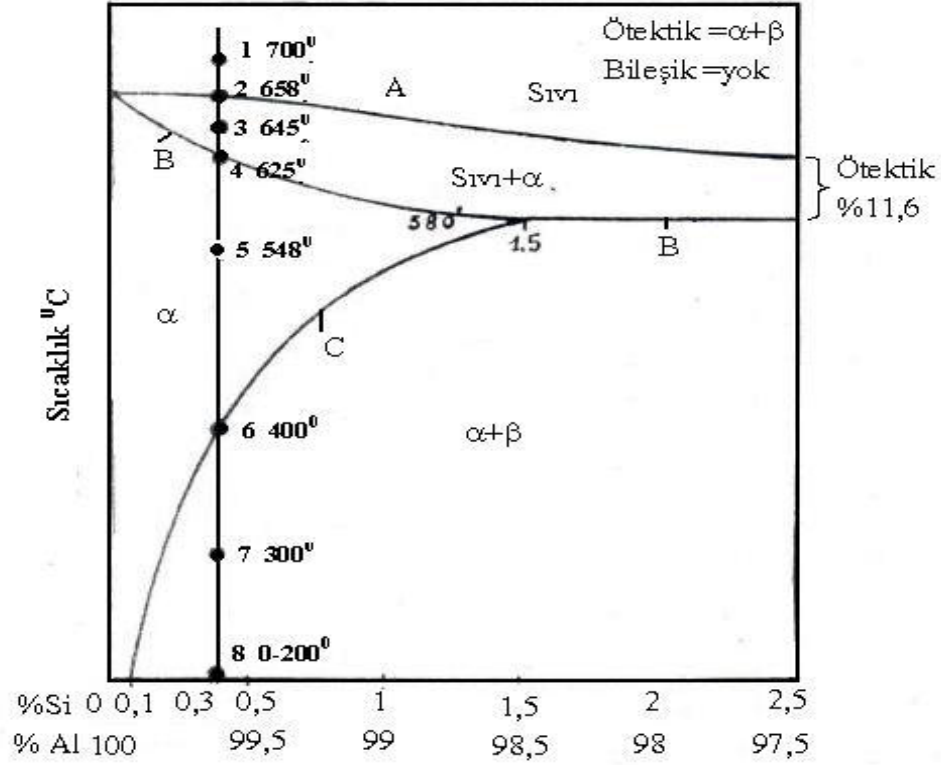
Alüminyum – Bakır alaşımları düşük miktarlarda Silisyum , Mangan , Demir , Magnezyum , Çinko , Krom gibi elementleri içerebilirler. Örnek olarak % 4,5 Bakır içeren alaşıma %1,5 Magnezyum ilave edilmesi halinde mukavemet çok yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Bakır elementinin alüminyum içerisinde değişik sıcaklıklarda değişik miktarlarda çözünmesi alüminyumun alaşımlarına ısıl işleme sertleştirilebilme özelliği kazandırır. (Ersümer , 1960)

### 1.1.6.2.Silisyumun (Si) Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyumun alaşımlandırılmasında bakır'dan sonra en önemli elementlerden birisi de silisyumdur. Alaşım içindeki silisyum , akışkanlığı artırmakta buna karşılık sıcak çatlama eğilimini azaltmaktadır. Silisyum en fazla % 13 oranında alaşıma

ilave edilebilir. % 3'ten fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi oldukça güçtür. Ayrıca silisyum alaşıma korozyon direnci kazandırmaktadır. Örneğin % 13 silisyum içeren alüminyum alaşımı deniz ve otomotiv endüstrilerinde korozyon direnci ve şok direnci arzulanan parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Doğan , 1989)

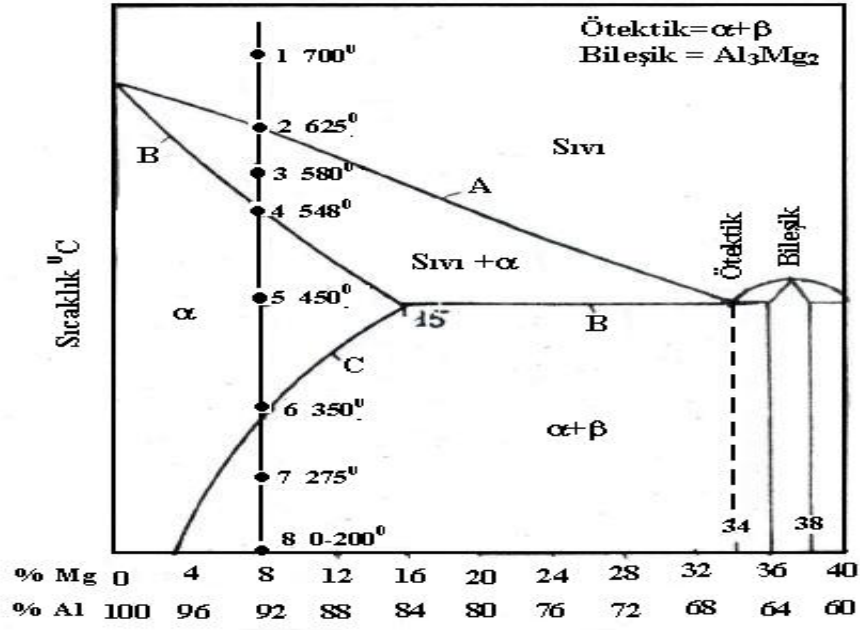


Şekil 1.1.6.2.1 Alüminyum - silisyum denge diyagramı (Ersümer ,1960)

### 1.1.6.3. Magnezyumun (Mg) Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyumun alaşımlandırılmasında kullanılan bir diğer element ise magnezyumdur. Magnezyum ilavesi alaşıma yüksek mukavemet , iyi haddelenebilme kabiliyeti ve işlenebilirlik özelliği kazandırır. Magnezyum katı çözümleri sertleşmesi yaratmaktadır. Bu da alaşımı yaşlanmaya müsait hale getirmektedir. Dövme alaşımlarda % 1-6 magnezyum ilavesi şekil verme kolaylığı için kullanılır. Magnezyum ihtiva eden alaşımların dökümü zordur. Yapısında % 3'ten fazla magnezyum içeren alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda ve korozif ortamlarda kullanılmaması gerekmektedir. (Doğan , 1989)

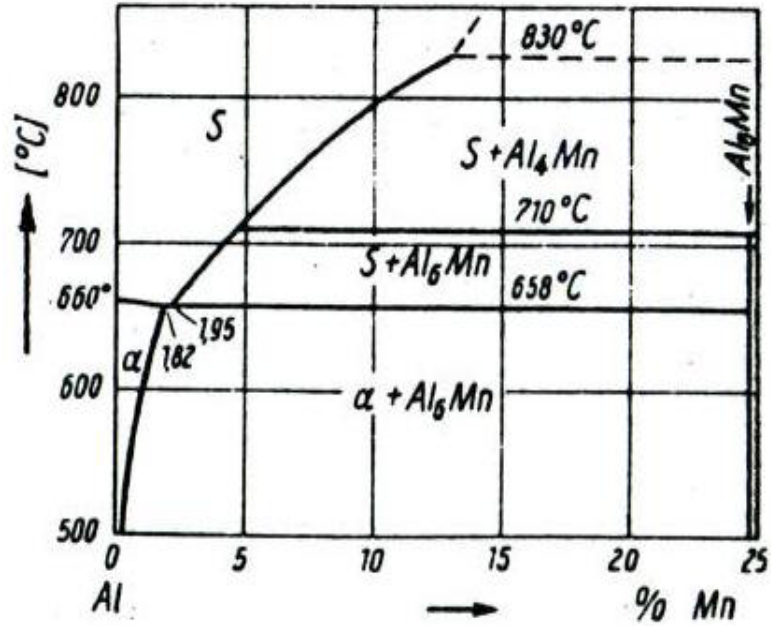




Şekil 1.1.6.3.1 Alüminyum - magnezyum denge diyagramı (Ersümer , 1960)

#### 1.1.6.4. Manganın (Mn) Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarında dökülebilirliği arttırmak amacıyla demir ile birlikte mangan alaşım elementi kullanılır. Mangan alaşımın süneklik ve tokluğunu arttırmaktadır. Şekil 1.1.6.4.1.'de Alüminyum -Mangan denge diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.1.6.4.1 Alüminyum – mangan denge diyagramı (Ünsal , 1991)

#### 1.1.6.5.Çinkonun (Zn) Alüminyum Üzerine Etkisi

Çinko , alaşımın mukavemetini yüksek değerlere ulaştırır. Çinko ilavesi alaşımın kopma mukavemetini ve haddelenebilme kabiliyetini artırır. Bunun yanında çinko ilavesi dökülebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek çinkolu alaşımlarda sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana gelir. Bu olumsuz etkilerin önlenmesi için optimum alaşımın seçilmesi gerekmektedir. Çinko alaşımlarda % 20 oranına kadar kullanılabilir.(VDM-Handbuch , 1993)

#### 1.1.6.6.Demirin (Fe) Alüminyum Üzerine Etkisi

Demir alüminyum içinde tabii olarak cevherde bulunur. Az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını artırmaktadır. Dökümlerin sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde rol oynamaktadır.(Yılmaz , 2002)

#### 1.1.7. AA Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Yerleri

##### 1.1.7.1. 1XXX Serileri

Saf yada çok az alaşım elemanı ihtiva eden malzemelerdir ( $Al \geq \% 99,00$ ). Bu alaşımlar fazla dayanım istenmeyen korniş , kapı , pencere profili , mutfak eşyaları v.b. yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlar yüksek korozyon direnci , yüksek ısı ve elektrik iletkenliği , düşük mekanik özellikleri ve yüksek işlenebilirlik ile karakterize edilir. Bu grupta deformasyon sertleşmesi ile az miktarda mukavemet yükselmesi elde edilebilir.(Oğuz,1990)

#### **1.1.7.2. 2XXX Serileri**

Bu seride Bakır ana alaşım elemanıdır. Seriyeye ısıtıl işlem gereklidir. Bu serinin korozyon direnci oldukça azdır. Bu alaşımların en iyi özelliklerini elde etmek için katı eriyik ısıtıl işlemi gereklidir. (Lanker , 1967)

Isıl işlemin ardından mekanik özellikleri , bazı durumlarda döküm çeliğini geçmektedir. Bakır oranı % 12'ye kadar , mekanik özellikler üzerinde olumlu etkileri görülmektedir. Bu serideki alaşımlar otomotiv , vagon ve uçak sanayilerinde yüksek dayanım ve hafifliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır.

#### **1.1.7.3. 3XXX Serileri**

Bu seride ana alaşım elemanı Mangandır. Manganın alaşım içindeki yüzdesi % 1,5 ile sınırlandırılmıştır. Yapıda ayrıca çok az miktarlarda demir ve silisyum elementleri bulunmaktadır. Korozyona karşı yüksek mukavemet gösterirler. Kolay işlenebilirler.

Bu serideki alaşımlar tanklar , toplama kapları , karavan yapımında tercih edilmektedir.

#### **1.1.7.4. 4XXX Serileri**

Bu seride ana alaşım elemanı Silisyumdur. Bu serideki çoğu alaşıma ısıtıl işlem uygulanamaz. % 13' ten fazla silisyum içeren alaşımlar işlenmesi çok zordur. (Karabulut vd.,1984). Düşük ergime sıcaklığı , esneklik ve dekoratif görünüm bu serinin önemli özellikleri arasında sayılabilir.

Bu serideki alaşımlar lehim teli , mimari uygulamalar ve radyatör dilimlerinin imalinde kullanılmaktadır. Ayrıca , yüksek silisyum ihtiva eden dökümler içten yanmalı motorlarda , vites kutularında , silindir ve karterlerde , ayrıca nikel gibi elementlerin ilavesiyle de piston imalinde kullanılırlar. (Çakmak , 1983)

#### **1.1.7.5. 5XXX Serileri**

Bu seride Magnezyum ana alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Yüksek çekme dayanımı, sertlik, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci ve iyi kaynak edilebilirliği önemli özellikleridir. % 10 oranında Magnezyum içeren alüminyum alaşımları , tavlama işleminden sonra bütün alüminyum döküm alaşımları içinde çekme mukavemeti , uzama ve darbeye karşı mukavemet bakımından en yüksek özelliğe sahiptir. (Çakmak, 1983) Ana alaşım elemanı olarak veya Manganla kullanıldığı zaman orta yükseklikteki mukavemet değerlerine sahip olan ve ısıtma işlemi uygulanamayan bir alaşım oluşmaktadır.(Göngül vd. , 1979)

Bu serideki alaşımlar sertlik ve dayanım istenilen özel konstrüksiyonlar için kullanılmaktadır.

#### **1.1.7.6. 6XXX Serileri**

Bu seriyi oluşturan ana alaşım elemanları Magnezyum ve Silisyumdur. Orta derecede mekanik özellikler , iyi şekillendirilebilme , ısıtma işlemine yatkınlık özellikleri gösterirler.

Bu seri alaşımları ilaç , kimya ve gıda sanayilerinde , ambalajlamada ve makine parçalarının imalinde yaygın olarak kullanılırlar.

#### **1.1.7.7. 7XXX Serileri**

Bu seride ana katkı elemanı Çinko'dur ve % 5 nispetinde kullanılır. Bu seride çinko dökülebilirliği düşürür. Ayrıca çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getirirler. Bu seride yüksek dayanım özellikleri görülmektedir.

Bu seri alaşımları vinç , kamyon kasası , vidalı makine parçalarının yapımında tercih edilmektedir. (Çakmak , 1983)

#### **1.1.7.8. 8XXX Serileri**

Alüminyuma diğer bazı alaşım elementleri ilavesi ile elde edilen bir seri olma özelliğine sahiptirler. Örneğin ; % 2 Lityum ihtiva eden alaşımda , hafiflik , yüksek çekme ve akma dayanım özellikleri görülmektedir.

#### **1.1.8. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler**

Isıl işlem , katı haldeki malzemeye bir veya birkaç yöntemle dayanarak sıcaklık değişimleri ile belli özellikleri kazandırmaktır. Burada bahsedilen yöntemler ; ısıtma , bekletme , soğutma gibi kombine çevrimleri kapsamaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi sırasında oluşan özellik değişimi ; çözünme , belirli bileşenlerin çökmesi , yolu ile oluşur.

Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemlerinde kullanılan sıcaklıklar 120 °C -550 °C arasında değişmektedir.

Alüminyum işlem alaşımları ısıl işlem açısından ikiye ayrılmaktadır.

- i. Termik işlemler ile mukavemeti artırılabilen alaşımlar: Bu alaşım grubuna örnek olarak Al-Mg-Si-Cu , Al-Cu-Mg-Mn ve Al-Zn-Mg işlem alaşımları verilebilir. Bu gruptaki alaşımlar su vermeye , yaşlandırmaya ve tavlama tabi tutulurlar.
- ii. Termik işlemler ile mukavemeti artırılmayan alaşımlar: Bu gruba örnek olarak Al-Mn , Al-Mg işlem alaşımları verilebilir.

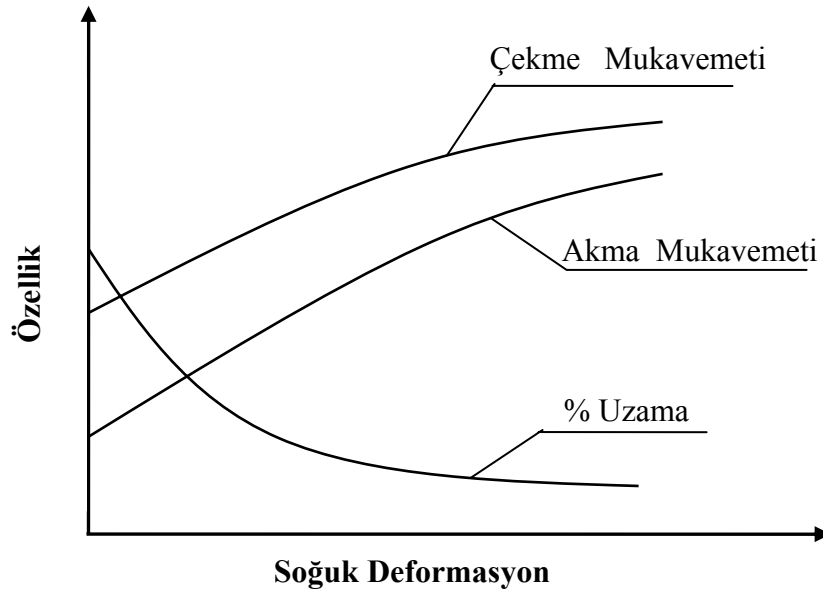
#### **1.1.8.1. Tavlama**

Herhangi bir metale uygulanan soğuk işlem sonucunda , düzenli bir atom yapısına sahip olan kristal tanelerini fazla sayıda daha küçük kristallere ve kristal parçalarına ayırır. Bu esnada kayma düzlemlerinin sayısı azalır ve metalin plastik deformasyona karşı direnci (=mukavemeti) artar. Kısacası metale deformasyon sertleşmesi verilmiş olur. Şekil 1.1.8.1.1'de soğuk deformasyon miktarının malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri görülmektedir.

Tavlama , burada açıklanan plastik deformasyon sonucunda oluşan etkilerin giderilmesi veya yaşlandırılmış malzemenin yumuşatılması için alüminyum ve alaşımlarına uygulanan bir ısı işlemidir.

Burada tavlamanın amacı , metale daha sonra uygulanacak olan soğuk işlemler için metali yeter derecede yumuşatmaktır. Böyle bir işlemi uygularken dikkat edilmesi gereken bir nokta da tanelerin aşırı büyümesinin önlenmesidir. Zira tane büyümesi mukavemeti olumsuz yönde etkilemekte ve metalin yeniden şekillendirilmesi esnasında portakal kabuğu gibi bir pürüzlenmeye sebebiyet vermektedir.

Isıl işleme tabi tutulabilen hemen hemen bütün alüminyum alaşımları 350 °C civarında tavlamak , ortaya çıkan deformasyon sertleşmesini ortadan kaldırmaktadır. (Doğan , 1989)



Şekil 1.1.8.1.1 Deformasyona bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme (Deliküçük , 1989)

Tavlama mekanizması yüksek ve düşük tavlama olarak ikiye ayrılabilir. Yüksek tavlama genellikle soğuk işlem görmüş ve yüksek mukavemetli alaşımlara uygulanan bir ısı işlemidir. Bu proseste tavlama sıcaklığının seçimine ve

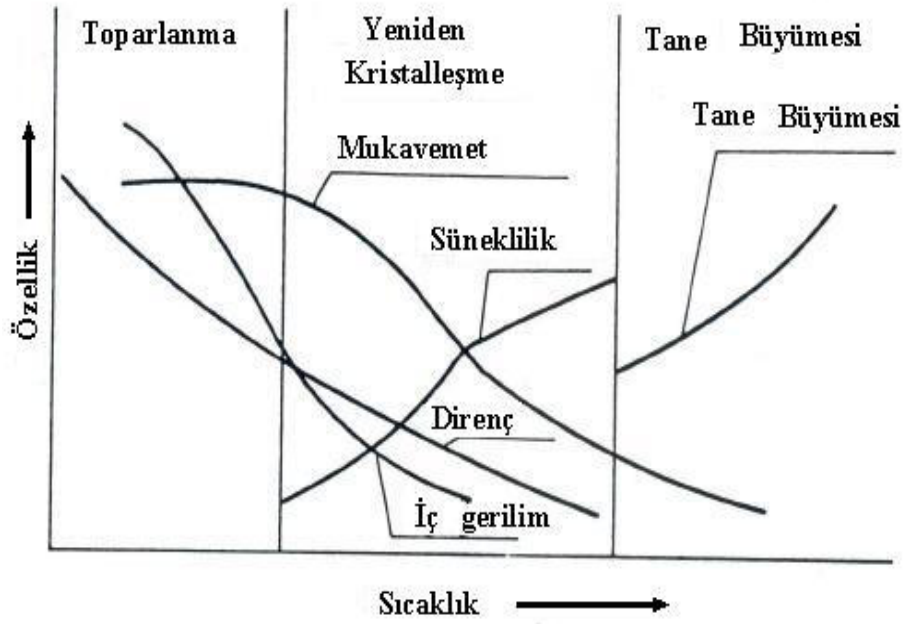
rekristalizasyondan kaçınmak maksadı ile bekletme süresine özen gösterilmelidir. Yüksek tavlama ısıtma hızı mümkün mertebe yüksek tutulmalıdır. Düşük tavlama özellikle ; ısıtma işlemleri ile mukavemeti artırılmayan alüminyum alaşımlarından soğuk işleme tabi tutulmuş alaşımlar için önerilmektedir. Tav sıcaklığı alaşım oranına bağlı olarak tespit edilmektedir. (Ersümer , 1960)

### **1.1.8.2. Toparlanma**

Toparlanma safhasında malzeme mikro yapısında gözlenebilir bir değişme olmaksızın fiziksel özellikleri geri kazanılır. Toparlanma işlemi ile geri kazanılan özellikler genellikle nokta hatalarına karşı hassas olan hatalardır (elektriksel iletkenlik gibi ). Buna karşılık önemli ölçüde dislokasyonların kontrol ettiği mekanik özellikler toparlanma esnasında aynı kalır.

Yapılan çalışmalar , tavlama esnasında malzemenin ısı şeklinde enerjiyi yaydığını göstermiştir. Her malzeme için farklı olmakla beraber belli sıcaklık aralığında açığa çıkan enerji maksimuma ulaşmaktadır. Bu enerjinin kaynağı soğuk işlem esnasında depolanan enerji olup , enerji çıkışının maksimuma çıktığı daha düşük olan birinci sıcaklık aralığında toparlanma olayı gerçekleşir. (Deliküçük ,1989)

Şekil 1.1.8.2.1’de.tav sıcaklığına bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme gösterilmiştir. .



Şekil 1.1.8.2.1. Sıcaklığa bağlı olarak malzeme özelliklerindeki değişme (Deliküçük, 1989)

### 1.1.8.3. Yeniden Kristalleşme Tavı

Tavlama esnasında açığa çıkan enerjinin maksimuma ulaştığı ikinci sıcaklık aralığında yeniden kristalleşme olayı meydana gelir. ( Şimşek , 1983-Deliküçük 1989)

Tavlamanın bu safhasında bozulmuş, deformasyon sertleşmesine uğramış tanelerin yerini , düzgün ve tekrar düzelmiş bir atom yapısına sahip taneler alır. İşlem , soğuk işleme tabi tutulmuş yapının tüm taneleri yeni ve düzgün taneler haline gelinceye kadar devam eder. Alüminyum alaşımlarında, yeniden kristalleşme sıcaklığı mertebesi genellikle malzeme bileşimine ve görmüş olduğu soğuk işlem miktarına bağlı olarak değişim gösterir. Pratikte alüminyum alaşımlarının çoğunda tavlama fırınının ilk sıcaklığı ne kadar yüksek olursa , oluşacak tane büyüklüklerinin o kadar küçük olacağı sonucuna varılmıştır. Yeniden kristalleşme tavi sonrasında malzemenin çekme mukavemeti ve sertliği düşerken , sünekliğinde artış göstermektedir. Yeniden kristalleşmeye etki eden başlıca faktörler aşağıda sayılmıştır. (Deliküçük , 1989 - Doğan , 1989)

#### i. Sıcaklık



- ii. Zaman
- iii. Soğuk deformasyon derecesi
- iv. Malzeme saflığı
- v. Başlangıçtaki tane boyutu

#### 1.1.8.4. Gerilme Giderme Tavlaması

Gerilme giderme tavlaması ile alüminyum ve alaşımlarında meydana gelen iç gerilmeler giderilir ve tane büyümesi önlenir. Bu esnada malzemenin çekme mukavemetinde azda olsa azalma oluşur , bunun yanında süneklik artar.

Tavlamanın asıl amacı gerilim etkisini gidermektir. Malzeme  $340\pm 8$  °C ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığında soğutulur. Tane büyümesi ve oksidasyonun önlenmesi maksadı ile sıcaklık 413 °C üzerine çıkarılmamalıdır. Tane büyümesinin önlenmesi için hızlı ısıtma yapılır. Soğuma esnasında kısmi ergimeden kaçınmak ve oluşabilecek distorsiyonları önlemek için havada veya fırında yavaş soğutma yapılmalıdır. (Doğan , 1989)

#### 1.1.8.5. Çökeltme Sertleşmesi

Alaşım elementlerinin katı haldeki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi , çökelti sertleşmesi açısından öneme sahiptir. Bu yöntemle mukavemetin artırılabilmesi için alaşım elementlerinin çözünürlüğü sıcaklık düştükçe azalmalıdır. Çözünürlükteki azalma oranı da önemli olup etkin mukavemet artışının sağlanabilmesi için yüksek sıcaklıkta tamamı veya büyük bölümü çözünür olan alaşım elementlerinin düşük sıcaklıktaki çözünürlüğü sıfır veya sıfıra yakın olmalıdır. (Şimşek , 1988)

Alüminyum alaşımlarının ısı işleme sırasında oluşan özellik değişimi çözünme ; belirli bileşenlerin çökeltmesi yolu ile olur. Çökeltme ile sertleşen alüminyum alaşımları üç ana faz ihtiva ederler. (Doğan , 1989)

- i. Çözündürme
- ii. Hızlı soğutma (=Su verme )
- iii. Yaşlandırma

Burada bahsedilen çözüldürme ve hızlı soğutma ( su verme ) işlemlerinin asıl amacı , oda sıcaklığında katı çökelti elde etmektir. Genellikle bu iki işlem bir arada “katı çözeltili alma” işlemi olarak adlandırılmaktadır.

#### **1.1.8.5.1. Çözüldürme Isıl İşlemi**

Bu işlemin amacı ; alüminyum ana yapı içindeki sertleştirici eriyenlerin ( $Mg_2Si$  –  $CuAl_2$  gibi) maksimum oranda çözeltiliye geçerek homojen katı çözeltilinin elde edilmesidir. Bu elementlerin çözünlülüğü özellikle ötektik sıcaklığın hemen altında maksimum dereceye ulaşmaktadır. Bu nedenle bu işlem ötektik sıcaklığın hemen altında gerçekleştirilmektedir. Ötektik sıcaklığın aşılması durumunda , tane sınırlarında erime oluşur. Alaşım kırılmalık kazanır ve mekanik özelliklerinde önemli bir düşüş görülür.

#### **1.1.8.5.2. Hızlı Soğutma**

Çökeltme sertleşmesi işleminin ikinci aşaması olan hızlı soğutma işleminin temel amacı ; çözüldürme işlemi ile meydana getirilen katı çözeltilinin yapısını bozmadan , malzemenin oda sıcaklığına soğutularak aşırı doymuş katı çözeltili elde etmektir.

Hızlı soğutma işlemi gerçekleştirilmez ise katı eriyikler tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökelti olarak malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler ve taneler arası korozyon mukavemeti azalır. (Doğan , 1989)

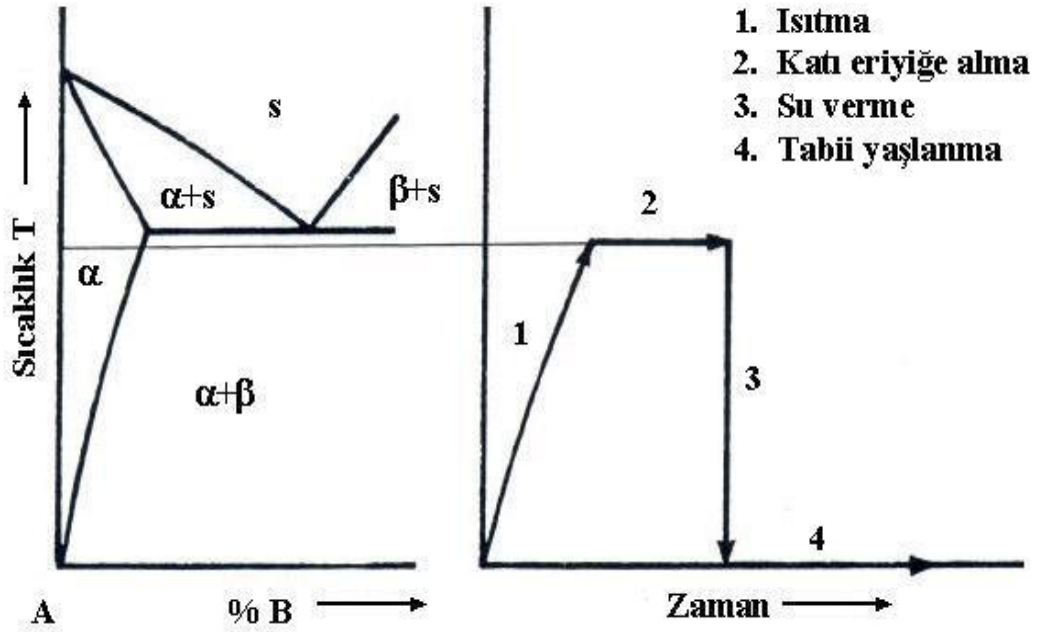
Ulaşılabilecek en yüksek dayanıma en hızlı soğutma işlemiyle ulaşılabilir. Bu işlem esnasında oluşabilecek distorsiyonların önlenmesi gerekmektedir.

#### **1.1.8.5.3. Yaşlandırma Isıl İşlemi**

Aşırı doymuş bir katı fazdan , zaman ve sıcaklık etkisiyle yeni bir fazın oluşmasına yaşlanma adı verilir. Çözüldürme ısıl işleminden sonra uygulanan su verme sonucu alüminyum alaşımları tam sertlik ve mukavemetlerine ulaşamazlar. Bu alaşımlarda maksimum sertlik ve mukavemet elde etmek için alaşımlar

yaşlandırılır. Oluşan sertleşme , ikinci faz çözeltilerinin kristal içi kaymalarını ve kayma düzlemlerini kilitlediği için oluşmaktadır. (Doğan , 1989)

Yaşlanma bazı alaşımlarda oda sıcaklığında 4-5 gün bekleme süresinde gerçekleşebilmektedir. Bu tür çökeltme işlemine tabii yaşlandırma adı verilir.



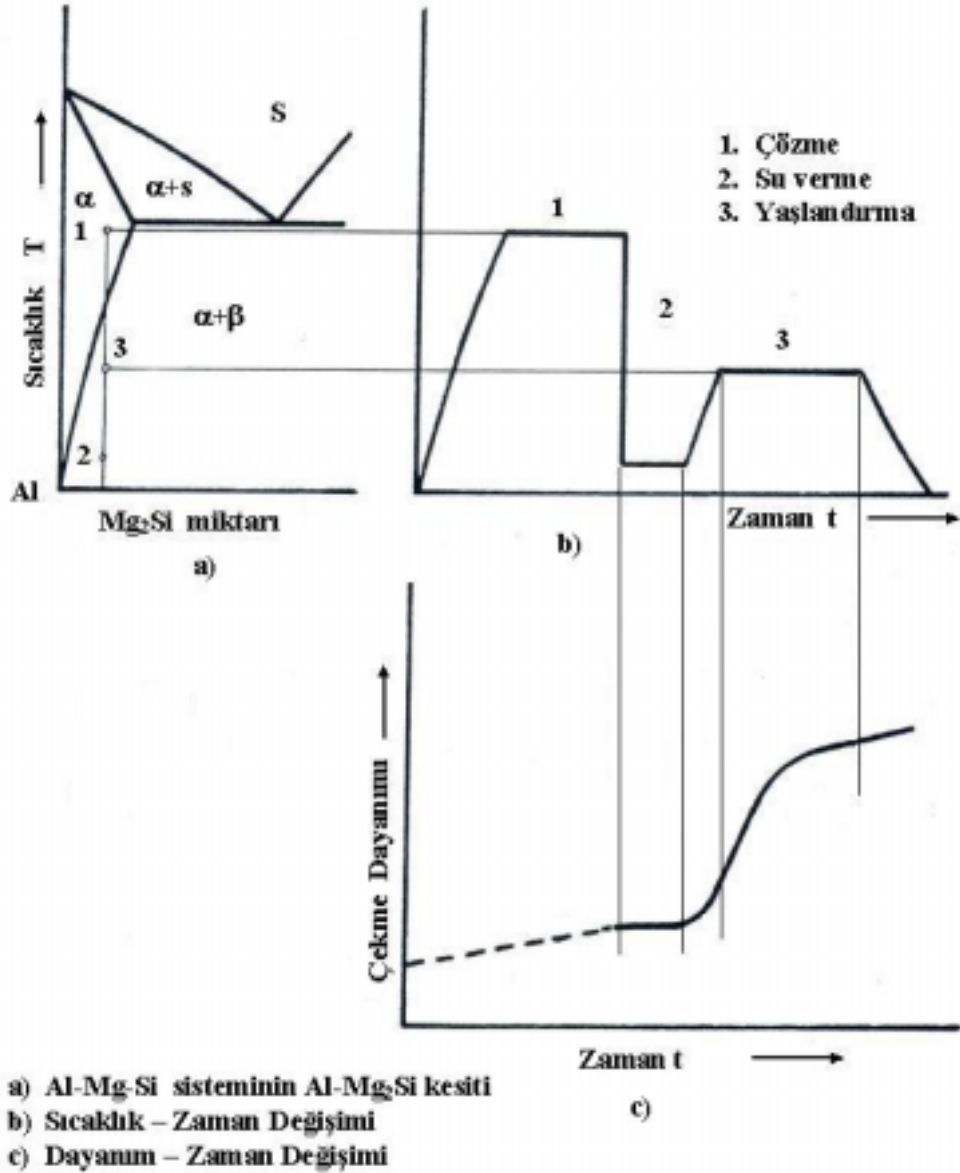
Şekil 1.1.8.5.3.1 Bir alüminyum alaşımında tabii yaşlanma(Doğan , 1989)

Diğer bir grup alaşımda ise oda sıcaklığı çökeltme için yetersiz olmaktadır. Burada sürenin uzatılması da etkili olmamaktadır. Bu tür alaşımlar için 150-200 °C sıcaklıkları arasında gerçekleştirilen çökeltme işlemine yapay (suni) yaşlandırma adı verilmektedir. (Şekil 1.1.8.5.3.2)

Genellikle çökeltme sertleşmesi aşağıda belirtilen alaşım gruplarında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. (Doğan , 1989 )

- i. AlCuMg alaşımı
- ii. AlZnMgCu alaşımı
- iii. AlZnMg alaşımı
- iv. AlMgSi alaşımı

Bu işlem esnasında oluşabilecek aşırı yaşlanma olayının önüne geçilmelidir. Aşırı yaşlanmada , çökelen parçacıklar birleşerek tane büyümesi meydana getirirler. Sonucunda ise oluşan dislokasyonlar mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 1.1.8.5.3.2 Bir alüminyum alaşımında suni yaşlanma(Doğan , 1989)

### 1.1.8.6. Dengeleştirme (Stabilizasyon )

Stabilizasyon işlemi , soğuk halde dövülmüş , ısıl işleme tabi tutulamayan Alüminyum – Magnezyum alaşımlarına yani 5XXX serisi alaşımlara uygulanır. Bu seri , ısıl işleme tabi tutulamayan alüminyum alaşımları içinde en yüksek

mukavemet ve sertliğe sahip olup , yüksek iç gerilmeler gösterirler. Bu iç gerilmeler dengesiz halde meydana gelir. Bu dengesiz hal , düşük sıcaklıkta kısa süreli bir ısıtma işlemiyle dengeli hale getirilmelidir. Bu işlemde kullanılan sıcaklık 180 °C civarındadır. (Doğan , 1989)

Bu ısıtma işlemi genellikle malzemenin ilk imalatçısı tarafından uygulanır.

#### **1.1.8.7. Homojenleştirme**

Elde edilen ingot , homojenleştirme denilen özel bir ön ısıtma tekniği ile homojen hale sokulabilir. Bu amaçla malzeme alüminyum alaşımlarında bulunan elementlerin ergime sıcaklıklarının hemen altında ısıtılır ve katı halde difüzyon oluşabilecek kadar uzun bir süre bekletilir. Seçilen sıcaklık değeri 480 – 540 °C arasındadır.

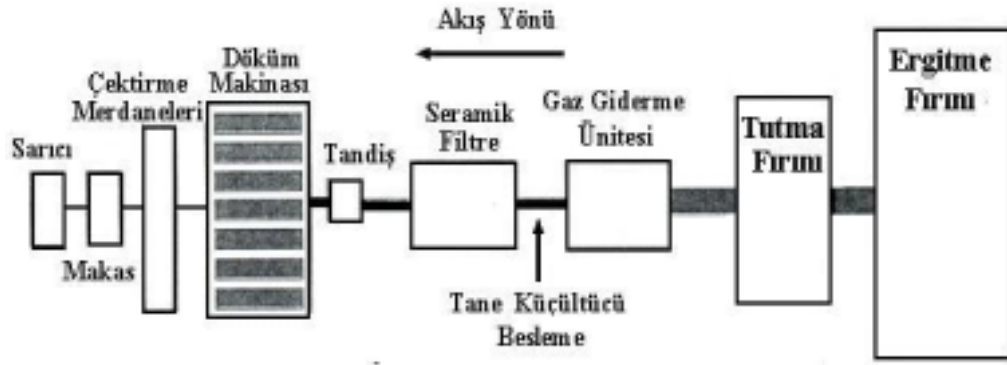
Katı halde difüzyon terimi ; her ikisi de katı halde bulunmak şartı ile , madenler arası bir bileşimin bir diğerine difüze olması veya karışması halinde kullanılır.

Katılma sırasında meydana gelen ilk kristaller saf alüminyum olmakta , daha sonra oluşan kristaller (dıştaki) ise artan alaşım yoğunlukları ihtiva etmektedirler. Buna göre tane içerisindeki kristaller ile dışındaki kristaller farklı bir yapıda meydana gelmektedirler.

Homojenleştirme tavlama ile alaşım yoğunluğu bakımından zengin olan dış kristaller iç yapıya difüze olarak arzu edilmeyen merkezi yapının önlenmesi sağlanır.

#### **1.1.9. Sürekli Levha Döküm Tekniği**

Günümüzde sürekli levha döküm tekniği , alüminyum rulo üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik 1846 yılında Sir Henry Bessemer tarafından tasarlanmış olsa da 1950'li yıllara kadar kullanım alanı bulamamıştır. (Okumuş , 2003-Alper 2003)



Şekil 1.1.9.1 Tipik bir sürekli döküm hattı akış şeması (Özden , 1994)

Şekil 1.1.9.1’te sürekli levha döküm tekniğinin akış şeması açıkça görülmektedir. Bu proseste alaşımlandırma , ergitme ve tutma fırınlarında sıvı metal içerisine alaşım elementleri ilave edilmesi sureti ile yapılmaktadır. Bu arada istenmeyen bileşikleri alabilmek için flaks kullanılır. Flakslar ; inorganik özellikte olup gaz giderme , temizleme , rafinasyon , oksidasyon ve deoksidasyon özelliklerine sahiptir. (Alper , 2003)

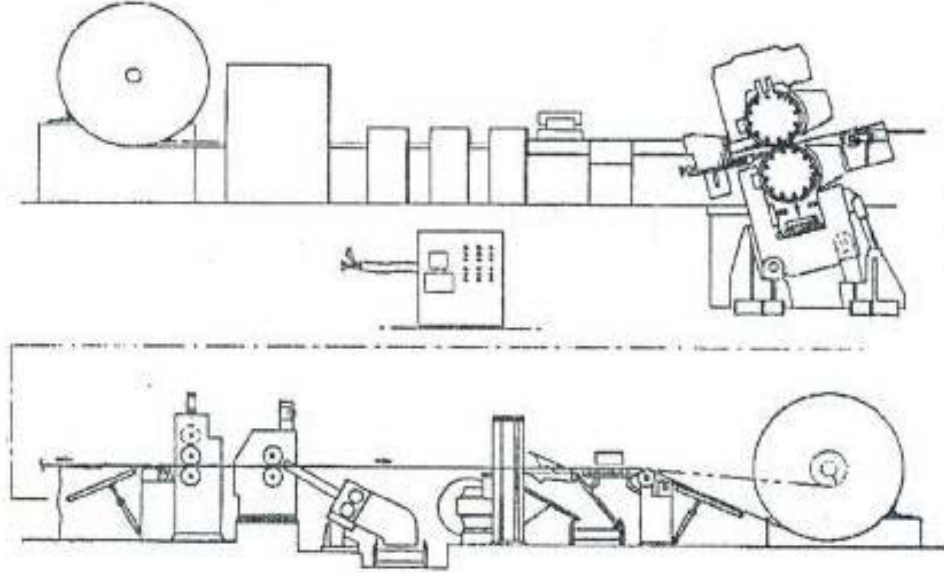
Ergimiş sıvı metalin ergitme fırınından , döküm makinesine iletilmesi esnasında refrakter yolluklar kullanılmaktadır.

Ergimiş sıvı metalde oluşan alkali safsızlıkları giderebilmek için gaz giderme işlemine tabi tutulur.

Bu proseste ergimiş sıvı metal , birbirine ters yönde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasındaki boşluğa beslenir. Bu sebeple bu yöntem “İkiz Merdane Döküm Yöntemi” (Twin-Roll Casting-TRC) olarak ta bilinmektedir. Bu yöntemde deformasyon ve katışlaşma aynı anda görülmektedir. (Romanowski vd. , 1992)

Bu yöntemin , diğer yöntemlere nazaran bazı avantajları söz konusudur. Söz konusu proses , katışlaşmayı ve sıcak haddelemeyi tek bir operasyonda birleştirdiği için sıcak haddeleme işlemine gerek duyulmamakta , sonuçta enerji ve üretim maliyeti azalmaktadır. Bu prosesin yatırım maliyeti geleneksel yarı-sürekli döküm yönteminin yatırım maliyetinden oldukça azdır. Burada metalujik

açından , prosesteki yüksek katılaşma hızı üretilen levhaların saf bir metalurjik mikro yapıya sahip olmasını sağlar. (Dieter, 1984)



Şekil 1.1.9.2 Twin Roll Caster detay görünümü (Romanowski vd. , 1992)

Çizelge 1.1.9.1’te sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları görülmektedir.(Özden , 1994)

Bu yöntemde bazı döküm hataları da görülmektedir. Bunlar; metalin merdanelere yapışması , ısı yolları , merkez hattı segregasyonu , tipte yerel donma , kenar donması , gaz boşluğu , eğrilik , E bandı , merdane çatlağı izleri , besleme yetersizliği olarak verilebilir. Fakat bütün bu hatalar kontrol altında tutulduklarında minimize edilebilmektedir. (Morris , 1988)

Çizelge 1.1.9.1 Sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları (Özden , 1994)

1050	1060	1100	1145	1188	1190	1193	1199
1200	1230	1235	1345				
3003	3004	3005	3006	3105			
5005	5010	5034	5050	5052	5056		

5083	5085	5086	5154	5182	5252	5254	5356
5454	5456	5457	5652	5657	5754		
6063							
7072							
8010	8011	8111	8014				

## 1.2. Şekillendirilebilirlik

### 1.2.1. Genel Bilgi

Günümüzde üretilen metallerin % 85'i bir veya daha fazla deformasyon işleminde biçimlendirildikten sonra kullanılmaktadır. Metal dışı malzemeler de çoğunlukla bu yolla şekillendirilmektedirler.

Deformasyon işlemlerinin sınıflandırılmasında çeşitli yaklaşımlar uygulanabilmektedir. Burada ortaya çıkan en önemli ayırım deformasyon bölgesinin yaygınlığına göre yapılan ayırımdır. Bu ayırım prensibine göre deformasyon işlemleri;

- i. Kütle deformasyon işlemleri ; Şekil değişimi parçanın kalınlık boyutlarındaki değişikliklerle elde edilir. Bu yöntemde örnek olarak ; dövme , haddeleme , v.b. verilebilir.
- ii. Levha biçimlendirme işlemleri ; Bu yöntemde ise kalınlıkta değişim oldukça sınırlıdır ve deformasyon parçayı kaplayacak şekilde oluşmaktadır. Örnek olarak ; derin çekme kesme , bükme verilebilir.

Sıcak ve soğuk şekillendirme bütün deformasyon işlemleri için kullanılabilir. (Ertürk, 1979)

Şekillendirilebilme , gevrekliği içermeyen mukavemet ile birlikte , yapısal eleman olarak kullanılan malzemelerin en önemli özelliğini oluşturur.

Şekillendirilebilme ; belirli bir deformasyon işleminde kırılma , büzülme gibi herhangi bir malzeme karakteristiği olmaksızın elde edilebilecek en fazla



deformasyon miktarı olarak tanımlanır. (Dieter , 1984). Ayrıca şekillendirilebilirlik ; bir malzemenin belirli bir yöntemle , belirli bir tasarıma uygun olarak şekil alma yeteneği olarak tanımlanır. Malzeme , yöntem ve tasarım şekillendirilebilirlik karakteristiklerini belirleyen temel araçlardır.(Alper , 2003)

Bir malzemenin şekillendirilebilirliği işlem değişkenlerinin (deformasyon, deformasyon hızı , sıcaklık , gerilme , akma dayanımı , pekleşme üsteli , elastiklik modülü , plastik anizotropi, saç kalınlığı v.b.) bir fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Şekillendirilebilirlik, tasarım değişkenlerinden de etkilenmektedir. Bu değişkenler işlem değişkenleri grubuna dahil edilebilirler.

$$\text{Şekillendirilebilirlik} = f_1(\text{malzeme}) \times f_2(\text{işlem}) \dots \dots \dots (1.2.1)$$

Sınır gerilim ve /veya deformasyon miktarlarını veren şekillendirilebilirlik fonksiyonu ( $f_1$ ), malzemenin şekillendirilebilmedeki rolünü ortaya çıkarır.  $f_2$  ise işlemin belirlediği ve işlem sırasında başlıca ikincil çekme gerilmelerinden oluşan gerilme durumunun bir fonksiyonudur. Yani işlem değişkenleri işlemde oluşan doğal dış zorlamayı tanımlarken , malzeme değişkenleri malzemenin yüklemeye gösterdiği direnci belirtir. İşlem değişkenlerinin sabit kaldığı durumlarda malzeme özelliklerinde oluşan değişiklik , malzeme üzerindeki şekil değiştirme durumunu etkileyecektir. Bu yüzden malzemenin zorlanma durumu , tamamıyla işlem değişkenleri tarafından kontrol edilmektedir. (Dieter , 1984)

Şekillenebilir saçlar , dayanıklı tüketim malları ve otomotiv endüstrisinin en önemli girdisini oluşturmaktadır. Ancak , şekillendirme sırasında kullanılan saçların önemli bir kısmı hurdaya ayrılmaktadır. Hurda bazı durumlarda % 50'yi bulmaktadır. (Alper ,2003)

Şekillendirme sırasında oluşan üretim hatalarının malzeme kalitesindeki bozukluktan kaynaklandığı düşünülebilir. Fakat şekillendirmedeki başarısızlık malzeme kökenli olabileceği gibi diğer etkenlerden de kaynaklanabilmektedir. Presleme işlem parametresinin uygun seçilmemesi , yağlama şartlarının uygun olmayışı , yanlış kalıp ve zımba kullanımı v.b. başarısızlığın nedeni olabilmektedir. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı üzere şekillendirme karmaşık prosesleri barındırmakta ve karşılaşılan hataların nedeni kolayca

tespit edilememektedir. Bu amaçla malzemelerin şekillendirme sınır değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sınırların bilinmesi , üretilecek parça için yol gösterici olmaktadır.

Şekillendirme işlemlerinde malzemenin maksimum faydalanabilmek ve şekillendirme kabiliyetini tespit etmek için çeşitli şekillendirme kabiliyeti deneylerinden ve şekillendirme sınır diyagramlarından faydalanılır. (Kayalı vd. ,1979)

### **1.2.2. Derin Çekme İşlemlerinin Temel İlkeleri**

Madeni düz pulların veya plakaların çekme kalıbı dediğimiz düzenlerle pres altında çöktürülerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemine presçilikte “çekme” adı verilmektedir. Derinliği fazla olan kaplar birkaç çekme işlemi ile elde edilirler. Birkaç işlemle yapılan çekme “derin çekme” olarak isimlendirilir. Bir başka deyişle derin çekme işlemi , yassı metalik saçıtan üç boyutlu bir kap elde etme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. (Güneş , 2002)

Derin çekme yöntemiyle silindirik , küresel , konik , prizmatik v.b. parçalar üretilebilmektedir.

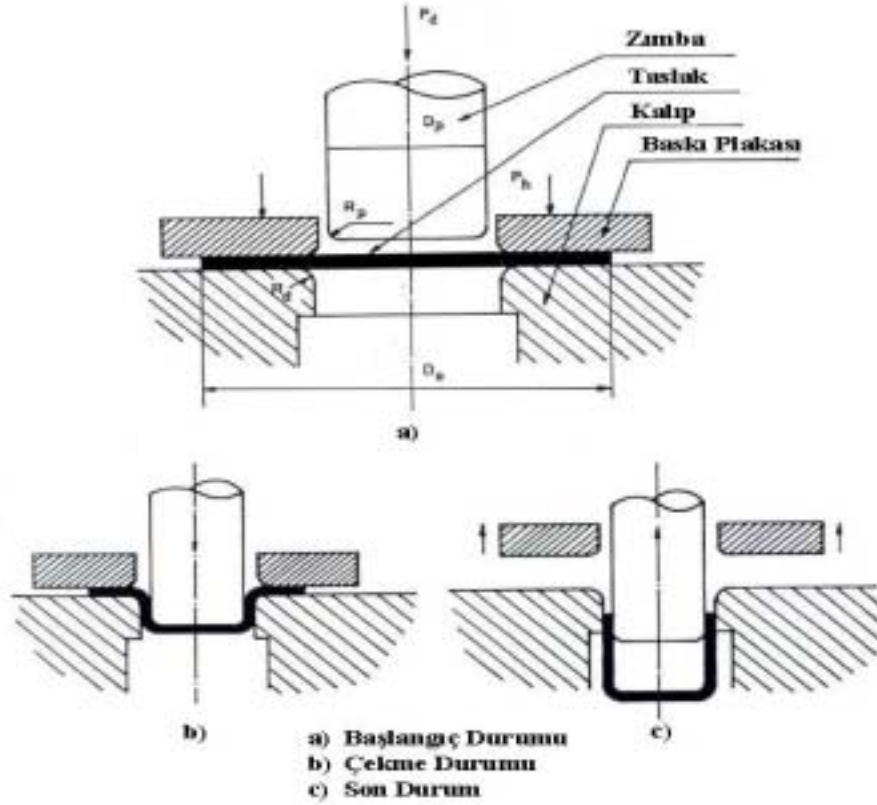
Derin çekme işlemi genellikle şekil1.2.2.1’te görülebileceği üzere ; baskı kuvvetini sağlayan bir zımba , baskı plakası ve bir kalıptan oluşmaktadır

Üretilecek olan parçanın şekline , ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak üç farklı çekme yöntemi uygulanabilmektedir.

- i. Baskı plakalı çekme
- ii. Baskı plakasız çekme
- iii. Çevirme çekme

Geniş yüzeyli ve ince plakaların derinliği fazla kaplar haline dönüştürülmesinde malzeme kırışmasına engel olmak amacıyla baskı plakalı çekme işlemi uygulanmaktadır. Fakat kalınlığı fazla olan parçaların çekilmeleri esnasında

kırışma olasılığı daha az olduğundan baskı plakasız çekme işlemi uygulanabilmektedir. (Güneş , 2002)



Şekil 1.2.2.1 Basit bir derin çekme işleminin şematik gösterimi

$D_0$ : İlk pul (Metalik Taslak) Çapı

$D_z$ : Zımba Çapı

Ayrıca metalin köşelere takılıp yırtılmasını önlemek amacıyla zımba ve kalıp köşeleri belirli eğrilik yarıçaplarına yuvarlatılır. (Deliküçük, 1989)

Baskı plakalı çekme işleminde pot (baskı plakası) basıncı şekillendirme sırasında germe ve derin çekme miktarlarını etkilemektedir. Baskı plakası basıncındaki artış derin çekmeye nazaran germe şekil değişimleri arttıracaktır. Baskı plakası basıncı çok büyükse belirli bölgelerde baskı plakası ile dişi arasındaki saç kalınlık miktarını azaltacağından yırtılma, çok küçükse saçtaki kırışma isteğini engelleyemeyeceğinden kırışma meydana gelecektir. Saç üzerinde gerilme istendiğinde pot basıncını gereğinden fazla arttırmak yerine

bu bölgelere süzdürme uygulanmalıdır. (Alıcı , 2001 )

Şayet baskı plakası kullanılmadan derin çekme işlemi uygulanacaksa , kırışmayı önlemek için derin çekme oranı 1,05 değerinden küçük olması tavsiye edilmektedir. (Davis vd.,1998)

$$D.Ç.O = \frac{D_0}{D_z} \dots\dots\dots(1.2.2)$$

D.Ç.O.: Derin Çekme Oranı

$D_0$  : Taslak Çapı

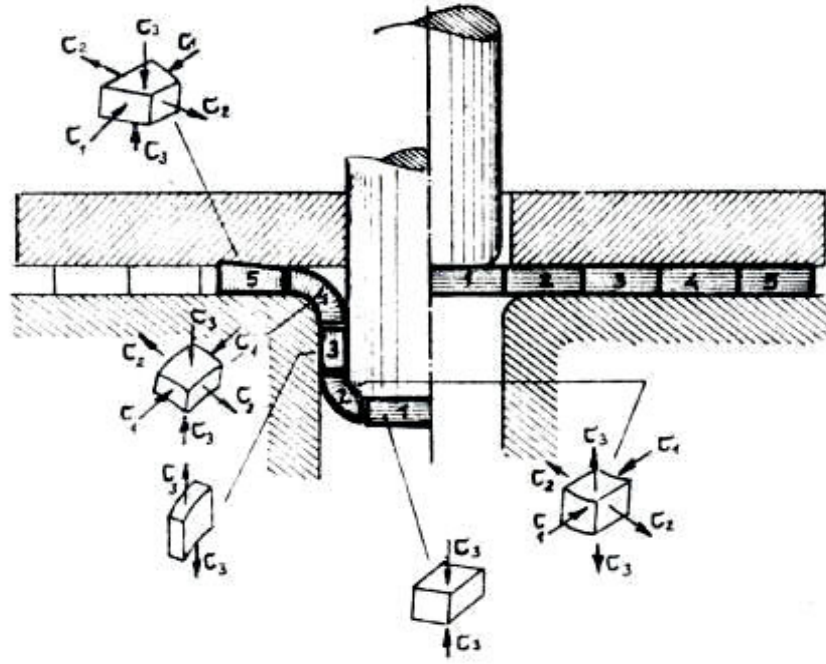
$D_z$  : Zımba Çapı

Üretilcek olan parçanın geometrik şekline bağlı olarak D.Ç.Oranı 1,6 ile 2,3 değerleri arasında olmaktadır. (Kayalı vd. ,1995)

Derin çekme yöntemiyle şekillendirme işleminde ana amaç , mümkün olduğu kadar derin kap elde edilmesidir. Her malzemenin bir derin çekilebilirlik sınırı mevcuttur. Ayrıca derinliği arttırmak amacıyla taslak çapı sınırsız olarak arttırılamamaktadır. Derin çekilebilirliğin yüksek olması ,  $\frac{D_0}{D_z}$  oranının normal değerinin aşılabilmesi için yaka kısmının mümkün olduğu kadar kolay şekil değiştirmesi , oluşturulan kap yan duvarlarının ise mümkün olduğu kadar fazla yükü taşıyabilir kılınması gerekmektedir. İşlemden kullanılacak maksimum taslak çapı denklem 1.2.3'te derin çekme oranı sınırı ile belirlenmektedir. (Kayalı vd. , 1995)

$$D.Ç.O.S. = \left( \frac{D_0}{D_z} \right)_{\max.} \dots\dots\dots(1.2.3)$$

İdeal şartlarda Derin Çekme Oranının(D.Ç.O.) maksimum teorik sınırı 2,7 olarak verilmektedir. (Yazıcı , 1987)



Şekil 1.2.2.2 Derin çekme işlemi esnasında farklı bölgelerde oluşan gerilme durumu (Güneş , 2002)

Şekil 1.2.2.2' den görülebileceği üzere derin çekme işlemi esnasında malzeme farklı bölgelerinde farklı gerilme ve plastik şekil değişiminin etkisi altında bulunmaktadır.

Zımbanın tabanına temas eden taslağın orta bölgesi zımbanın çevresi boyunca , zımbanın üstüne doğru bükülmektedir. Bükülmeden dolayı bu bölgede kalınlık bir miktar azalmaktadır. Zımbanın hareketinden dolayı , parçanın tabanında iki eksenli çekme gerilmesi oluşmaktadır. Taslağın dış çevresi kalıp girişinde radyal olarak kalıp içine çekilmektedir. Malzeme kalıp içine çekildikçe taslak çevresi  $\pi D_0$  değerinden  $\pi D_z$  değerine doğru azalmaktadır. Böylece malzeme , çevresel olarak basma , radyal olarak çekme gerilmelerinin etkisi altında kalmaktadır. Ayrıca , sıkıştırma kalıbı da taslak düzlemine dik yönde basınç uygulamaktadır. Malzeme kalıp içine çekildikçe çevresel büzülmeden dolayı kalınlığında artmalar olmaktadır. Malzeme , kalıp yarıçapı üzerinden geçerken bükme ve doğrultma işlerine maruz kalmaktadır. Bu arada radyal çekme kuvvetinin de etkisi ile kalınlığı azalmaktadır. Kalınlık azalması daha önceki

kalınlık artışını bir miktar dengelemektedir. Parçanın yan duvarında sadece çift eksenli çekme gerilmesi söz konusudur. Zımba ile kalıp arasındaki mesafe , malzemenin artmış olan kalınlığından az ise malzeme burada basınç altında ütüleme işlemine maruz kalmaktadır. Genelde , kalıp ile zımba arasındaki mesafe , sürtünme kuvvetlerini azaltmak ve zımbanın aşınmasını önlemek amacıyla malzeme kalınlığından belirli oranlarda büyük tutulmalıdır. Sadece malzeme kalınlığının homojen olması istenilen durumlarda söz konusu mesafe malzeme kalınlığından küçük tutulmalıdır. (Yeşilortalı , 2001 , Alper , 2003 )

Burada açıldığı üzere kalıp ile zımba arasındaki mesafe “ütülenme” miktarını verir. Bu açıklık , metal saçın kalınlığından % 20 ile % 40 kadar fazla olmalıdır. (Kayalı vd., 1995)

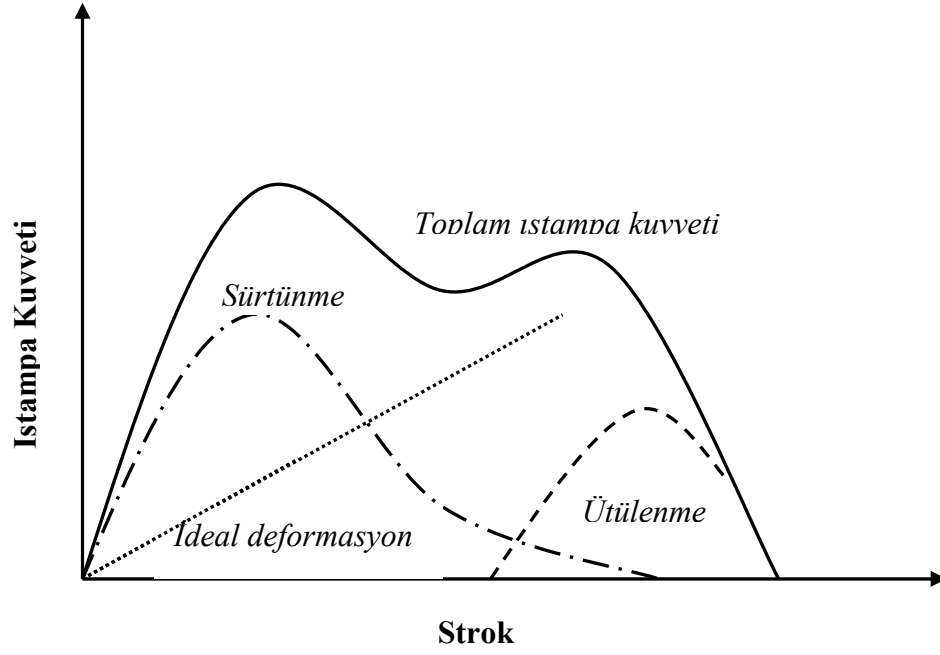
Derin çekme işlemi esnasında oluşan deformasyon miktarı , Redüksiyon Oranı (R.O.) olarak adlandırılır.

$$R.O. = 1 - \left( \frac{D_0}{D_z} \right) \dots\dots\dots(1.2.4)$$

Redüksiyon Oranı ; metalin kalınlığı , metalin cins ve kalitesini , deformasyon hızı , uygulanan kuvvet ve yağlama gibi derin çekme işlemi ile ilgili faktörlere bağlı olarak seçilir. Bu faktörler içinde en önemlileri malzemenin mekanik özellikleridir. Bu oran derin çekme işleminde % 50 civarındadır. En iyi şartlarda dahi bu oran % 60' ı geçmemelidir. (Kayalı vd. , 1995)

Malzeme çekilebilirliğinin belirlenmesi esnasında redüksiyon oranının yanında ortalama dikey anizotropi , deformasyon sertleşmesi üssü ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü'nünde etkili olduğu bilinmeli ve optimum şartlar temin edilmelidir.

Derin çekme işleminde gerekli olan kuvvet , ideal deformasyon için gerekli kuvvet , sürtünme kuvveti ve ütüleme için gerekli olan kuvvetlerin toplamıdır.

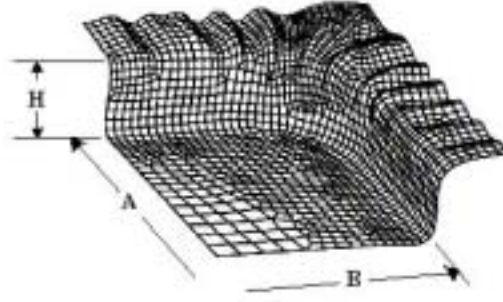


Şekil 1.2.2.3 Derin çekmede ıstampa kuvveti – strok ilişkisi (Dieter , 1984)

### 1.2.2.1. Karesel ve Prizmatik Derin Çekme

Karesel ve prizmatik kapların derin çekme yöntemiyle imatları çekme ve bükme olaylarının birlikte oluşturduğu karmaşık bir procestir. Parçanın köşe kavis bölgelerinde oluşan büyük gerilmeler nedeni ile imalat esnasında bazı problemlerle karşılaşmaktadır.

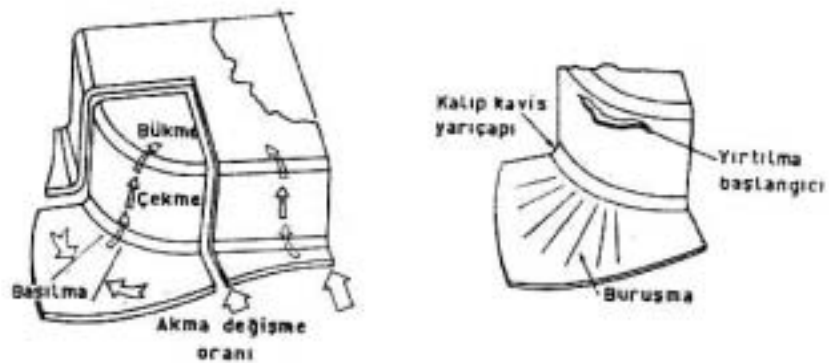
Prizmatik derin çekme öncesi taslak (ilkel plaka ) karesel olarak markalanır ve çekim işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 1.2.2.1.1 Prizmatik derin çekilmiş parça

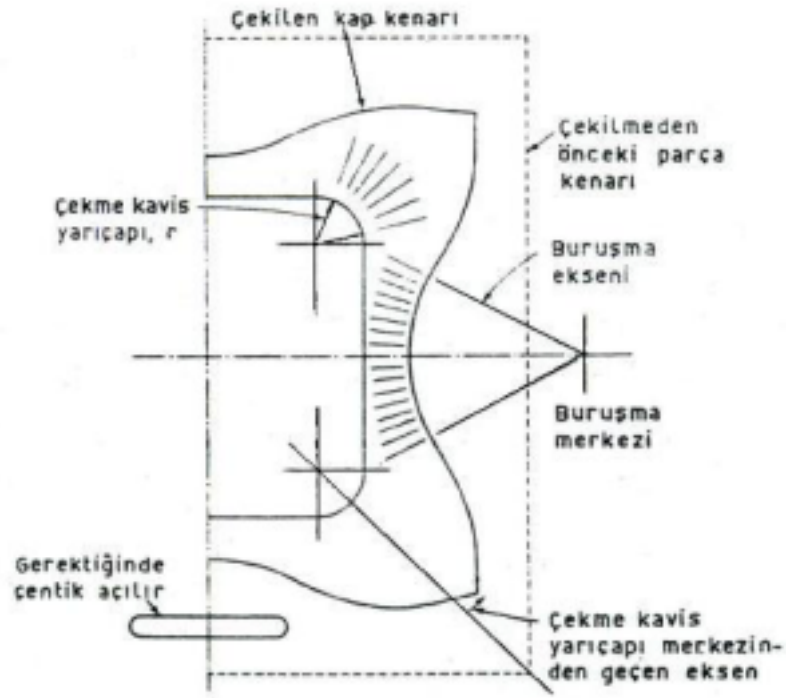
- s: Parça kalınlığı
- H: Kap derinliği
- r: Kap köşe kavis
- A: Parça eni
- B: Parça boyu

Çekme sonrası karesel çizgilerin aldığı biçim şekil 1.2.2.1.1 de görülmektedir. Malzemedeki deformasyon sonrası karesel çizgiler bozularak çekme yönünde uzama, sıkışma yönünde ise büzüşme gösterirler. Çekme esnasında en büyük şekil değişimi kap köşelerinde oluşmaktadır. Burada kabın yan duvarları enine sıkışırken, yükseklik yönünde uzama eğilimi gösterirler. (Erişkin, 1986)



Şekil 1.2.2.1.2 Prizmatik çekilmiş kapların köşe analizi (Erişkin, 1986)

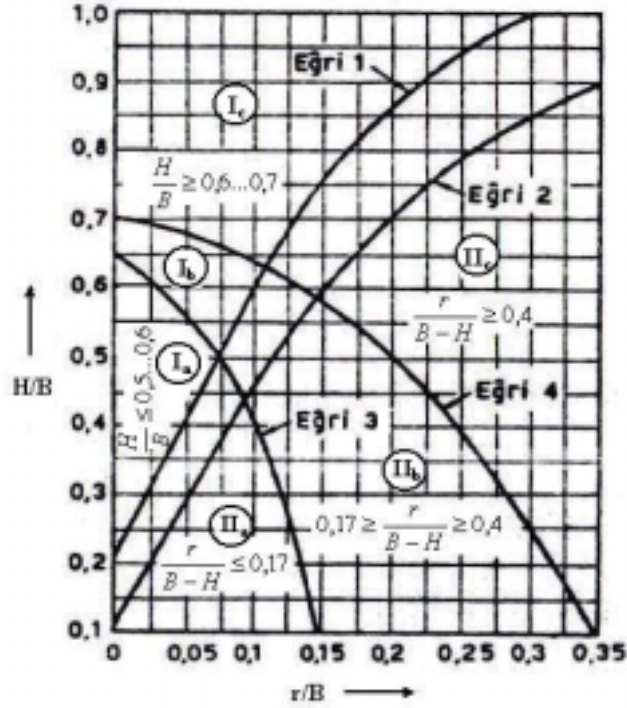




Şekil 1.2.2.1.3 Prizmatik çekilen kap ağızı çevresindeki buruşma-akma oranı (Erişkin , 1986)

Derin çekme yöntemi ile üretilen kaptaki deformasyonun en yoğun olduğu bölge , hem bükme hem de incelmeye olduğu tabana yakın bölgedir. Kare ve prizmatik biçimli kapların çekilmesinde , çekilecek parçanın köşe kavislerinde eğilme , çekilme ve basılma gerilmeleri meydana gelir. Derin çekme sırasında oluşan gerilmeler kap boyutları ile yakından ilgilidir. Derinliği az olan ( $H = 0,3 B$ ) sığ kapların prizmatik çekilmelerinde yan duvarların yalnızca bükme ile meydana geldiği kabul edilmektedir.  $H \geq 0,5 B$  olması durumunda daha karmaşık gerilmelerin meydana geleceği ve malzeme üzerindeki zorlamanın artacağı bilinmektedir. (Güneş , 2002)

Üretilecek olan parça ölçülerine bağlı olarak imalat tek veya birkaç aşamada (çekmede) yapılabilmektedir. İkel parça şeklinin ve ölçülerinin belirlenmesi , çekme prosesi üretilecek olan parça ölçülerine göre farklı metotlarla yapılabilmektedir.



Şekil 1.2.2.1.4 Prizmatik kaplar için çekim bölgeleri (Erişkin , 1986)

Şekil 1.2.2.1.4'teki diyagramdan da çekilecek kap ölçülerine bağımlı olarak çekme prosesi seçimi rahatlıkla yapılabilmektedir. Diyagramda görülen Ia , Ib ve Ic bölgelerinde prizmatik kap imalatı esnasında birden fazla çekme işlemine gerek duyulmaktadır. İki nolu eğrinin alt kısımlarındaki bölgeler içinse parçalar tek kademede çekilebilmektedir. Bir ve iki nolu eğriler arasındaki bölgeler için çekme işlemi tek operasyonda yapılabileceği gibi çekme işlemi esnasında oluşabilecek problemlerin önlenmesi maksadı ile çekme birkaç aşamada gerçekleştirilebilir.

İki nolu eğrinin altında kalan bölgeler için malzeme kalınlığının genişliğine oranı ( $s/B$ ) % 0,6' sından fazla olmamalıdır. (Erişkin , 1986)

Bir nolu eğrinin üstündeki alanlar için ; saç malzeme kalınlığının genişliğine oranı ( $s/B$ ) % 2 den küçük olmamalıdır. (Erişkin , 1986)

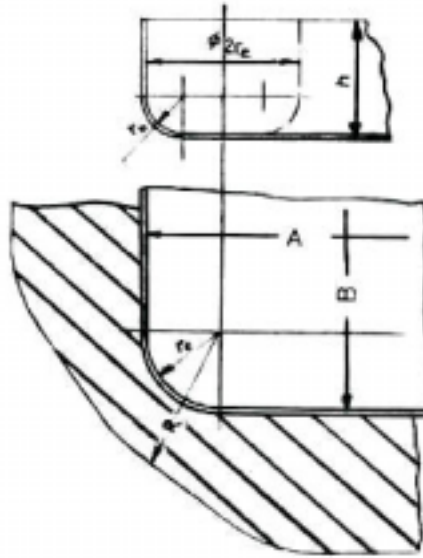
Diyagramda IIa bölgesinde ; küçük kavis oranlı derinliği az prizmatik kaplar tek kademede çekilebilmektedir. Çekme prosesinde malzemenin çok az bir kısmı yan yüzey yüksekliklerine etkisi olmaksızın kavis bölgelerinde yan

cidarlara doğru kayar. Bu proses için çekmenin sadece köşelerde olduğu ve yan yüzeylerin bükme ile meydana geldiği söylenebilir. (Güneş , 2002)

IIb bölgesinde büyük kavis oranlı sığ kapların imalatı söz konusudur. Bu proseste malzeme yan yüzeylere akarak yan yüzey yüksekliklerini artırmakta ve bu nedenle yan yüzey yüksekliklerinin ilkel plakada hesaplanması esnasında bir düzeltme katsayısının kullanılmasını mecbur kılmaktadır. (Güneş , 2002)

IIc bölgesinde büyük kavis oranlı parça çekimi söz konusudur. Bu proseste köşelerde sıkışan malzeme yan yüzeyleri üzerine akarak yükseklikleri üzerinde önemli artış sağlamaktadırlar. Bu bölge için üretilecek kabın karesel olması halinde ilkel plaka dairesel kesitli olabilmektedir. Çekilecek parçanın prizmatik olması durumunda ise ilkel plakanın oval olması tercih edilmektedir.

Bilindiği üzere karesel ve prizmatik kaplarda en büyük şekil değişimi köşe kavislerinin olduğu bölgede oluşmaktadır. Şekil 1.2.2.1.5 te prizmatik kap ve açınımı görülmektedir.



Şekil 1.2.2.1.5 Prizmatik parça köşesi ve açınımı (Güneş , 2002)

İşlemler esnasında çekilecek olan kabın köşe kavisleri birbirine eşit olarak kabul edilmiş ( $r_e = r_b$ ) ve denklemler bu kabule göre düzenlenmiştir.

Burada kabın “r” yarıçapı köşesinin “R” yarı çaplı plakadan meydana geldiği düşünüldüğünde köşe kısmındaki çekme oranı;

$$D.Ç.O. = r/R \dots\dots\dots(1.2.5)$$

Buradan ampirik olarak karesel ve prizmatik kaplar için Derin Çekme Oranı;

$$D.Ç.O = r/\sqrt{2hr} \dots\dots\dots(1.2.6)$$

$$D.Ç.O. = 071\sqrt{r/h} \dots\dots\dots(1.2.7)$$

Prizmatik derin çekmede denklem 1.2.7 den görülebileceği üzere Derin Çekme Oranı yükseklik – köşe kavis oranına bağlı olarak değişim göstermektedir. Aynı zamanda Derin Çekme Oranı yan yüzeylerdeki yer değişimi oranına (r/B) bağımlılık göstermektedir. Bu proseste ayrıca (s/B) kalınlık oranını da dikkate alınmalı ve proses bu veriler ışığında düzenlenmelidir. (Güneş ,2002 –Erişkin , 1986)

Prizmatik çekme prosesinde 0,30 0,32 değerinde çekme oranlarına müsaade edilmektedir. (Erişkin ,1986)

Yapılan çalışmalar sonucunda küçük kavisli karesel kapların bir çekme kademesinde genişliklerinin % 80’ i kadar bir yüksekliğe rahatça çekilebildikleri sonucuna ulaşılmıştır. Prizmatik kaplar için bu oran biraz fazla olabilir.

Prizmatik çekmede çekme derinliği parça (zımba) köşe kavisinin 4...6 katı kadardır. (Güneş ,2002)

Çizelge 1.2.2.1.1 Derin çekmede köşe kavislerine bağlı olarak çekme derinlikleri (Güneş , 2002)

<b>Köşe Kavis (mm)</b>	<b>Çekme Derinliği (mm)</b>
2,4 - 4,8	25
4,8 - 9,5	38
9,5 - 12,7	51

12,7 - 19	76
-----------	----

Tek kademede gerçekleştirilmesi mümkün olmayan çekme işlemlerinde operasyon birkaç kademeye ayrılmalıdır. Burada kademelerin iyi tespit edilmeleri çekme işleminde sağlanacak başarı için gerek şarttır.

Çok kademeli çekme prosesi esnasında malzemede plastik deformasyon sonucu oluşan mukavemet artışı ve sünekliğin azalması sonucu kademeler arası malzeme kaynaklı oluşabilecek çekme hatalarının önüne geçilebilmesi maksadı ile ara ısı işlemlerin uygulanması tavsiye edilmektedir. Çizelge 1.2.2.1.2. de farklı malzemeler için ara ısı işlem şartları verilmiştir.

Ayrıca çekme işleminde parça kritik bölgelerinde malzeme zayıflamasından dolayı oluşabilecek olan yırtılmaların önlenmesi amacıyla çekme hızının doğru olarak ayarlanması gerekmektedir. Burada belirtilen hız zımbanın malzemeye temas ettiği hızdır. Derin çekme işlemi esnasında uygulanan çekme hızı parça şekil ve boyutunun yanı sıra çekilecek olan malzemenin cinsine de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çizelge 1.2.2.1.3 te çeşitli malzemeler için çekme hızları görülmektedir.

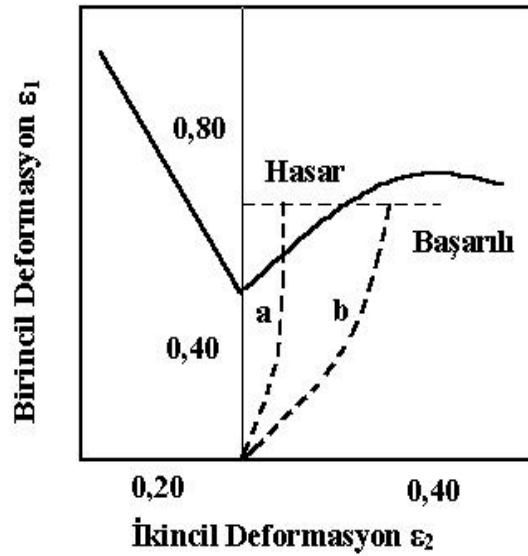
Çizelge 1.2.2.1.2. Çeşitli malzemeler için ara ısı işlem şartları (Güneş , 2002)

<b>Malzemenin Cinsi</b>	<b>Tavlama Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Tavlama süresi (dakika)</b>	<b>Soğutma Şekli</b>
Derin Çekme Sacı	760 -780	20 – 40	Kapalı Yerde Hava ile
30SiMnCr4	650 – 700	12 – 18	Havada
Paslanmaz Çelik	1050 – 1170	30	Hava Akımında veya Suda
Bakır	600 - 650	30	Havada
Al- AlMg- AlMn	300 - 500	30	250 °C den sonra Havada
AlCuMg	350 - 400	30	250 °C den sonra Havada

Çizelge 1.2.2.1.3 Derin çekme prosesi için ortalama çekme hızları (Güneş , 2002)

Malzeme	Çekme Hızları (mm/s)	
	Tek Etkili Presler	Çift Etkili Presler
Alüminyum	900	500
Alüminyum Alaşımları	----	150 – 200
Pirinç	1000	500
Bakır	750	430
Çelik	300	180 – 250
Paslanmaz Çelik	----	100 - 150

Çekme işleminde kalıp ile parça arasında oluşan sürtünmenin azaltılarak kalıp ömrünün artırılması maksadı ile yağlama işlemi uygulanabilmektedir. Yağlama işlemi çekme prosesi için gerek şart olmayıp bazı avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.



Şekil 1.2.2.1.6. Biçimlendirme sırasında deformasyon bölgesinin yağlama ile değişimi (Alıcı , 2001)

Ayrıca yağlama deformasyon oranının değişmesine etki eder. Şekil 1.2.2.1.6'dan görülebileceği üzere eğer bir malzeme "a" ile gösterilen deformasyon bölgesinde çalışıyor ise yağlama miktarını artırarak "b" bölgesine çekilebilir ve hasarın oluşması önlenir.

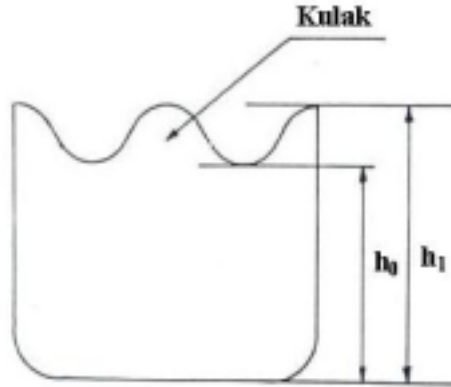
### 1.2.3. Derin Çekme Hataları

Bilindiği üzere derin çekme karmaşık bir şekillendirme metodudur. Kullanım sahası oldukça geniş olan derin çekme işleminde ;tezgah özellikleri , çalışma parametreleri , kalıp ve zımba konstrüksiyonu ile kullanılan levha özelliklerinin neden olduğu bir çok problemle karşılaşmaktadır. (Delikanlı , 1992)

Derin çekme işlemi esnasında karşılaşılan problemler akla ilk önce malzeme kalitesini getirse de işlem değişkenleri de en az malzeme kalitesi kadar , problemlerin ortaya çıkmasında etkili olmaktadır.

### 1.2.3.1. Kulaklanma

Derin çekme işlemlerinde sıkça karşılaşılan problemlerden birisi kulaklanmadır. Derin çekme ve sıvama gibi proseslerde , levhanın yönsel özelliğinden dolayı , dalgalı simetrik çıkıntılar meydana gelmesi olayına kulaklanma adı verilir. (Deliküçük , 1989)



Şekil 1.2.3.1.1. Kulaklanmış bir kabın şematik gösterimi

Derin çekme işlemlerinde iki , dört , altı , sekiz gibi değişik sayılarda kulak oluşursa da , en çok rastlanılan dörtlü kulak oluşumudur. (Dieter, 1984 )

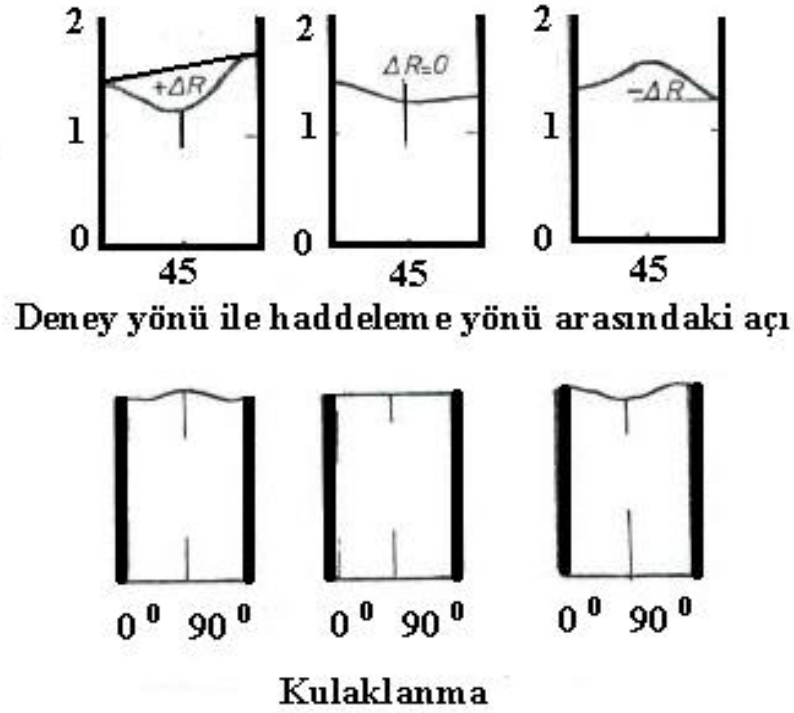
Kulakların hadde yönüne göre pozisyonu dikkate alındığında başlıca iki tip kulaklanmadan söz edilebilir.

- i.  $0^{\circ} / 90^{\circ}$  Kulaklanma
- ii.  $45^{\circ}$  Kulaklanma

Kulaklanma , derin çekme işlemlerinde deformasyon miktarının maksimum olduğu doğrultularda , çekilebilirlik oranlarının farklı yönlerde farklı değerlerde olmasından dolayı oluşmaktadır. (Kayalı vd., 1995) Buradan anlaşılacağı üzere kulaklanma malzemenin yapısında ortaya çıkan tekstür oluşumundan kaynaklanan anizotropik yapıdır. Tekstür oluşumu malzeme üretim safhalarının hepsinde ortaya çıkabilmekte ve üretim sürecinde safhalar arasında birbirlerini etkileyerek tekstür yapısının yoğunluğunu etkileyebilmektedirler. Bu amaçla üretim safhaları tekstür oluşumunu minimuma indirecek şekilde kontrol edilmelidir. Aksi halde malzemede oluşacak tekstürün yönü ve miktarı anizotropi derecesini ve buna bağlı olarak kulaklanma oranını etkilemektedir.

Derin çekme işlemlerinde oluşan kulaklanma oranı “Düzlemsel Anizotropi Katsayısı” (DR) ile tespit edilebilmektedir. Eğer malzemenin haddeleme yönündeki ve haddeleme yönüne dik doğrultulardaki çekilebilirlik oranı , haddeleme yönü ile  $45^0$  lik açı yapan doğrultudaki çekilebilirlik oranından büyük ise  $DR > 0$  olur ve bu durumda kulaklanma haddeleme yönüne göre  $0^0$  ve  $90^0$  lik doğrultularda oluşur. . Eğer  $DR = 0$  ise , bu durumda kulaklanmanın oluşmadığı görülür. Malzemede  $DR < 0$  ise , kulaklanma haddeleme yönüne göre  $45^0$  lik doğrultularda oluşur. (Şekil 1.2.3.1.2)

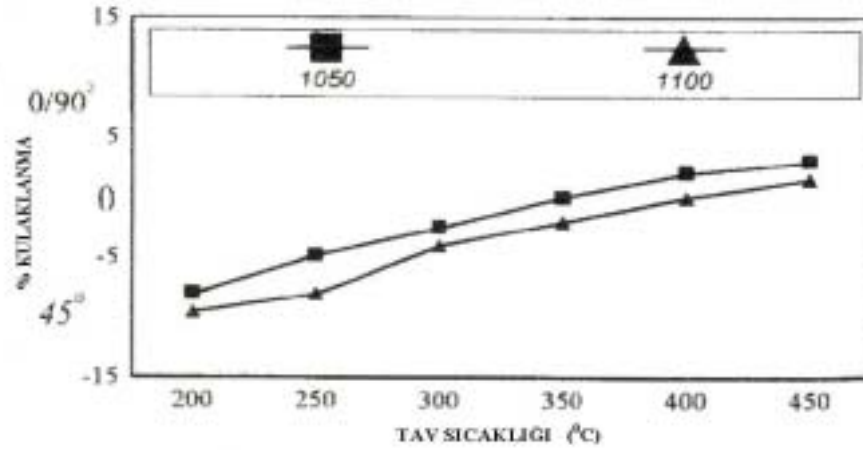




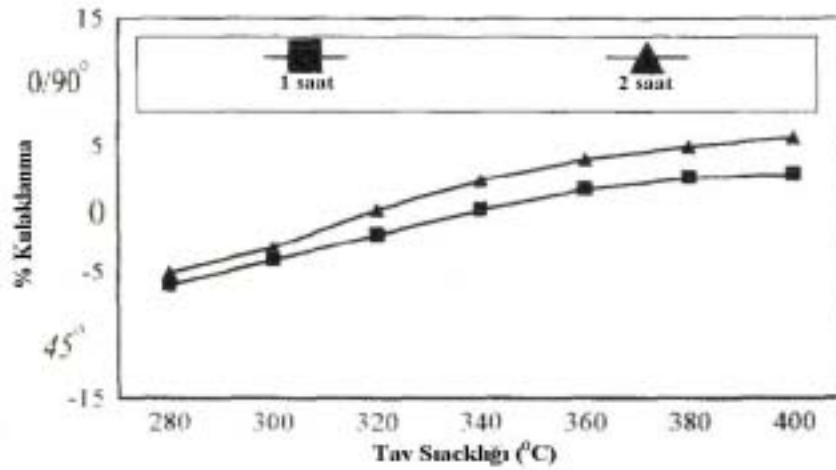
Şekil 1.2.3.1.2 DR'ye bağlı olarak kulak oluşumu

İşlem sonrası parçada oluşan kulaklanma, aşırı kenar kesimi gerektirir. Kulaklanmanın yüksek değerlerde olması halinde ise kulaklar arasında çukurlar oluşturarak parçanın hurdaya ayrılmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle kulak oluşumunun kontrol altında tutulması gerekmektedir.

AA 1050 ve AA 1100 alüminyum alaşımları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, tav sıcaklığının ve süresinin artmasıyla birlikte kulaklanma eğiliminin hadde yönünde ve hadde yönüne dik doğrultularda arttığı gözlenmiştir. Yaklaşık 350 °C de her iki alaşım için kulaklanma oluşumunun sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca tav süresinin artışı ile AA 1100 alüminyum alaşımında yüksek sıcaklıklarda oluşan % kulaklanmanın arttığı belirlenmiştir. (Jahazi vd., 1997) (Şekil 1.2.3.1.3-Şekil 1.2.3.1.4)



Şekil 1.2.3.1.3 . AA 1100ve AA 1050 alaşımları için % kulaklanma – tav sıcaklığı değişimi (Jahazi vd. , 1997)



Şekil 1.2.3.1.4 . AA 1100 alaşımı için tav süresinin % kulaklanma – tav sıcaklığı üzerine etkisi (Jahazi vd. , 1997)

### 1.2.3.2. Looper Çizgileri

Derin çekme işleminde karşılaşılan yüzey hatalarından bir diğeri ise looper çizgileridir. İsmi çekilen parçanın yüzeyinde oluşan halka biçimli izlerden almıştır.

Metal yapısındaki düzensizliklerin yol açtığı üniform olmayan deformasyonlar looper çizgilerine yol açmaktadır. Yaygın olan yapı düzensizliklerinden birisi

ghost (uzamış) tanelerdir. Sıcak hadde veya ara tav esnasında oluşan iri taneler , daha sonraki haddeleme işleminde fiber şeklinde uzamaktadır. Son tavlama bu fiberler , yaklaşık aynı oryantasyondaki küçük taneler kolonisi şeklinde yeniden kristalleşmekte yada hiç kristalize olmadan kalmaktadır. Looper çizgilerine yol açan diğer bir sebep ise dendritik segregasyon türü ingot segregasyonudur. (Deliküçük ,1989)

### **1.2.3.3. Lüder Çizgileri**

Genellikle alüminyum – magnezyum gibi katı eriyik alaşımlarının derin çekilmesinde rastlanılan lüder çizgileri tavllanmış levhalardaki akma uzaması mekanizması ile oluşan bir yüzey pürüzlenmesidir. Çekme esnasında bazı bölgelerde çok az deformasyon meydana gelirken , tatbik edilen yükü 45<sup>0</sup> açı yapan ve kesme gerilmelerinin maksimum değere ulaştığı doğrultularda bölgesel akma meydana gelerek yüzeyde çukurlaşmalar meydana gelir. Deformasyonun devam etmesi ile büyüyerek yaygınlaşan bu çukurlaşmalar , derin çekilen kabın yüzeyinde iskelete benzer bir dağılım pürüzlü bölgelerin oluşmasına yol açmaktadır. Eğer uygulanan gerilme basma gerilmesi ise pürüzlü alanlar çıkıntılar şeklinde ortaya çıkar. Lüder çizgileri genellikle istenmeyen bir yüzey hatasıdır. (Deliküçük , 1989)

### **1.2.3.4. Portakallanma (Orange –Peel )**

Derin çekilen kaplarda , fazla deformasyona maruz kalan bölgelerdeki yüzey pürüzlenmesi portakallanma (orange-peel) olarak adlandırılır. Bu oluşu ürünün kalitesini düşürür. Portakallanmanın asıl nedeni olarak taslağın iri taneli olması gösterilebilir. Yüzey tanelerinin deformasyonu içeridekiler kadar kısıtlı olmadığından , iri taneler birbirinden bağımsız deforme olarak yüzeyde portakal kabuğuna benzer kabartılara yol açarlar.

Portakallanmanın önlenmesi amacıyla taslak tane boyutunun en fazla 0,04 mm olması tavsiye edilir. (Dieter , 1984)

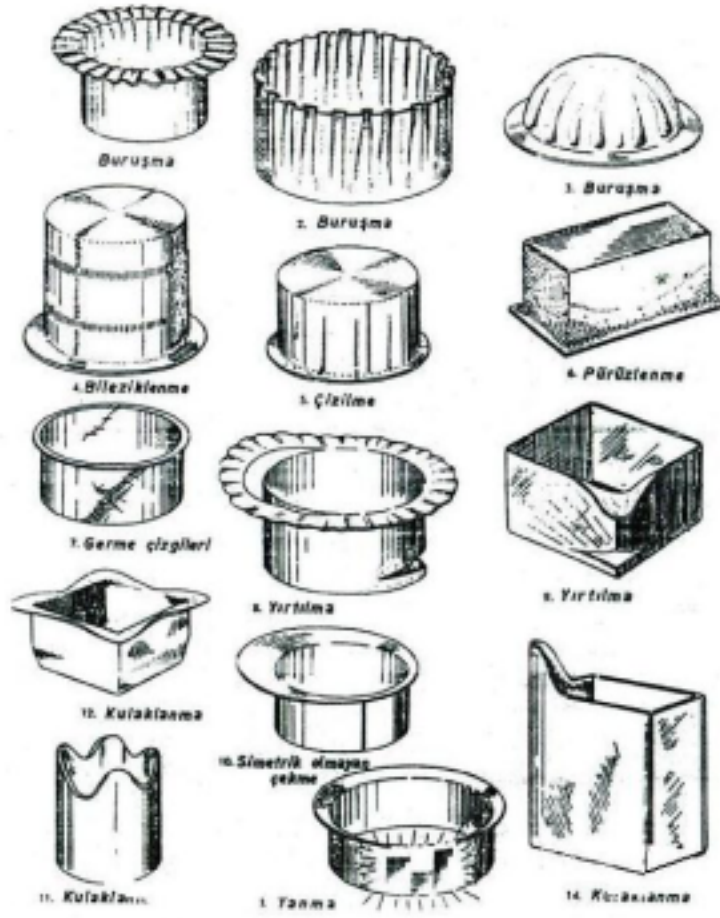
### **1.2.3.5. Çatlaklar**

Metalik saçların derin çekme işleminde çatlama olayı , genellikle zımba eğrilik çapının doğru seçilmemesinden kaynaklanmaktadır. Malzeme , özelliklerinin zayıf olması , zımba veya kalıp eğrilik yarıçapının küçük olması , sıkıştırma basıncının yüksek olması , derin çekme oranının büyük olması , yağlama şartlarının uygun olmaması , zımba ile kalıp arasındaki mesafenin küçük olması bu tür bir hataya neden olabilmektedir. Zımbanın uyguladığı kuvveti arttırıcı rol oynayan bu faktörler , malzemenin söz konusu kritik bölgede incelenerek kopmasına yol açmaktadır. Zımbanın uyguladığı kuvveti azaltacak önlemler ve daha kaliteli malzeme kullanımı bu hatayı önleyecektir. (Kayalı vd. 1995)

Şekil 1.2.3.1' te bazı derin çekme hataları gösterilmektedir.

#### **1.2.4. Şekillendirme Sınır Diyagramları**

Saç metal şekillendirme işlemleri çok karmaşık prosesleri içermektedir. Bu nedenle işlemler esnasında olumlu sonuçların elde edilebilmesi için malzemenin şekillendirilebilme limitlerinin bilinmesi gerekmektedir. Saç şekillendirme işlemlerinde çatlamayı kontrol etmek ve malzemedan maksimum şekilde faydalanabilmek maksadı ile şekillendirme sınır diyagramları geliştirilmiştir.



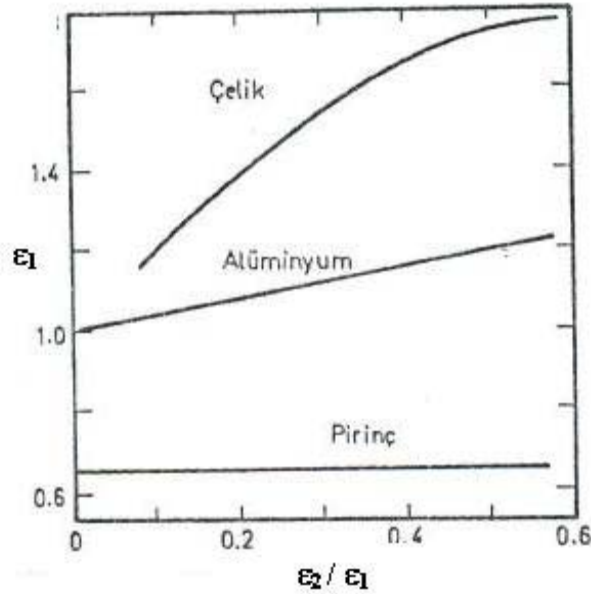
Şekil 1.2.3.1 Derin çekme hataları (Erişkin, 1986)

İlk olarak 1963 yılında Keeler ve Backofen tarafından ortaya atılan “Şekillendirme Sınır Diyagramları” günümüzde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Şekillendirme sınır diyagramları sadece üretim esnasında karşılaşılan sorunların çözümünde değil, ayrıca kalıp tasarımında ve malzemenin optimum yararlanma konusunda başvurulması gerekli olan bir kaynak niteliği taşımaktadırlar. (Ertürk, 1979)

1963 yılında Keeler ve Backofen’in çift eksenli gerilen levhalarda büzülme üzerine yaptıkları çalışma, bugün şekillendirme sınır çizgileri olarak bilinen yerel büzülme kriterinin gelişmesine yol açmıştır. Bu araştırmacıların önemli keşifleri yerel büzülmeden önce biriken en büyük deformasyonun ( $\epsilon_1$ ) çift eksenlilik derecesi arttıkça artmasıydı. Keeler ve Backofen yaptıkları çalışmalarda çelik, pirinç, bakır ve alüminyum malzemeleri rijit zımba altında

gererek deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Her ne kadar Keeler ve Backofen' in veri noktaları farklı malzemelerde çeşitli eğimlerin olduğunu gösterse de temelde iki tür büzülme sınırı olduğunu ancak 1970 yılında Azrin ve Backofen göstermişlerdir. Bu araştırmacılar çift eksenlilik arttıkça sınır deformasyonunun hızla arttığı çelik ve deformasyon durumuna fazla bağlı olamayan pirinç tipi davranışları belirlemişlerdir. Alüminyumun şekillendirme sınırı eğrisi daha sonra bulunmuş ve malzemenin çelik ve pirinç arasında bir davranış gösterdiği sonucuna varılmıştır. (Ertürk , 1979)

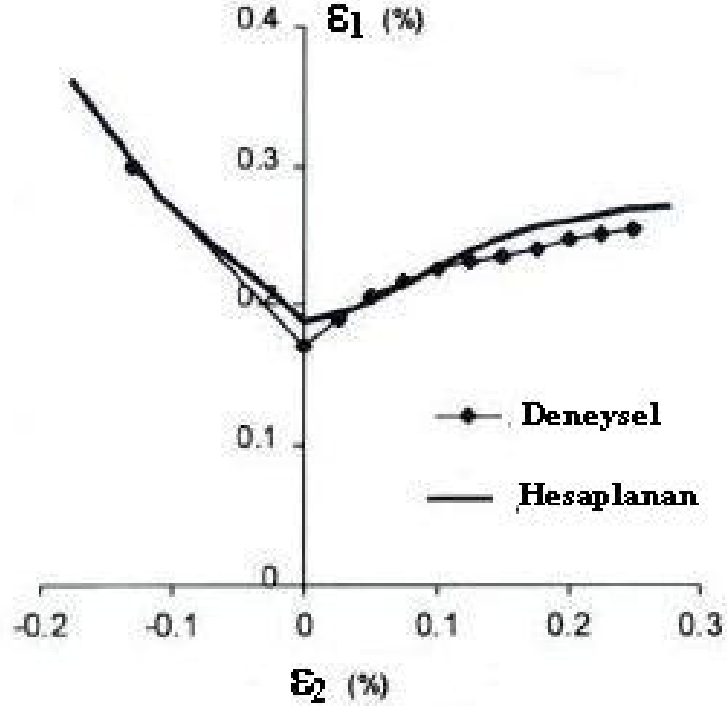
Azrin ve Backofen , deneyleri esnasında malzemeyi kendi düzleminde zımba olmadan germişler ve bu sayede sürtünmenin ve eğmenin olumsuz etkilerinden uzaklaşarak sonuçlara ulaşmışlardır. Bu çalışmalarını farklı malzemeler üzerinde gerçekleştirerek şekillendirme sınır deformasyonlarının ve genel niteliklerinin farklılıklar gösterdiği sonucuna varmışlardır. (Ertürk, 1979)



Şekil 1.2.4.1 Farklı malzemeler için düzlemde germede sınır deformasyonları (Metals Handbook , 1967)

Keeler ve Backofen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları üzerinde  $\epsilon_2/\epsilon_1 > 0$  bölgesinde çalışmışlardır. Daha sonra Keeler elde ettikleri verileri , levha malzeme şekillendirme uygulamalarında kullanmıştır. 1968 yılında Goodwin büyük asal şekil değişimlerinin pozitif , küçük asal düzlemsel şekil değişimlerinin de negatif olduğu şartlarda , Keeler'in çalışmasını geliştirerek

günümüzde de yaygın olarak “Keeler – Goodwin” diyagramını elde etmiştir. Şekil 1.2.4.2 de Keeler ve Goodwin diyagramına ait bir örnek görülmektedir. (Kaftanoğlu v.d. , 1980)



Şekil 1.2.4.2 AA 6111-T4 için Ş.L. Diyagramı (Chow vd. , 2001)

Daha sonraki yıllarda Mellor' un farklı test teknikleri kullanarak yaptığı çalışmalarda diyagramın sol kısmının ( $\beta = \varepsilon_2 / \varepsilon_1 < 0$ ) tüm test teknikleri ile hemen hemen aynı sonucu verdiği ortaya çıkmıştır. Çift eksenli germe koşullarında ( $0 < \beta = \varepsilon_2 / \varepsilon_1 < 1$ ) teorinin izin vermemesine rağmen yerel büzülme oluşmasına , tam anlamıyla olmasa bile en iyi açıklama Marciniak ve Kuczynski tarafından geliştirilmiştir. (Ertürk , 1979)

Şekillendirme sınır diyagramlarının en önemli görevi fabrikada bir teşhis , analiz ve problem çözme aracı olarak kullanılmasıdır. Şekillendirme sınır diyagramı , belirli bir deformasyon oranı ve maksimum deformasyon için ne kadar güvence payı olduğunu gösterir. Güvence payı pek fazla değil ise , bu durumu kabul edilebilir bir risk düzeyine indirmekle maliyet düşürülebilir. Burada ana amaç hatalı parça üretimini önlemektir. Yapılan bu analiz ve değerlendirmeler sonucu, sadece mevcut sistemlerin denetiminde değil ayrıca yeni sistemlerin tasarımında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekillendirme sınır diyagramının elde edilmesinde üç farklı deney uygulanmaktadır.

- i. Zımba ile Germe
- ii. Düzlemde Germe
- iii. Hidrolik Şişirme

Zımba ile germede levha iki kalıp arasında kenarlarından sıkıca tutturulur ve yarı küresel rijit bir zımba üzerinde gerilir. Belirgin , gözle görülebilir bir büzülme oluşunca , büzülme bölgesinde ve büzülmenin dışındaki bölgede deformasyonlar ölçülerek tespit edilir. (Yeşilortalı , 2001)

Düzlemde germe işleminde ise kenarlarından tutturulmuş levha , içi kasnak gibi oyulmuş bir zımba üzerinde zımba ile temas olmaksızın deforme edilir. Böylece , zımbada germedeki sürtünme ve eğme etkileri ortadan kalkar.

Zımbada germe ve hidrolik şişirme işlemleri sürtünme ve eğme etkilerini içeren birer prosestirler. Bu nedenle malzemedeki deformasyonun başlamasıyla deformasyon dağılımları oluşur , üniform bir dağılımdan söz edilemez. Burada şekillendirme sınır eğrilerinin düzeyi ve şekli deformasyon türünden , deformasyonun izlediği çizgiden ve malzeme kalınlığından etkilenmektedir. Düzlemde germe işleminde ise bu iki metodun aksine üniform bir deformasyon dağılımı elde edilebilmektedir. Ayrıca deformasyon en büyük hatada yoğunlaşmaktadır. Böylece zımbada germe daha yüksek şekillendirme sınır eğrileri vermektedir.

Gosh (1975), yaptığı çalışmalar ile ; hidrolik şişirme yöntemiyle elde edilen diyagramların , zımbada germe yöntemiyle elde edilen şekillendirme sınır diyagramlarıyla hemen hemen aynı olduğunu göstermiştir.

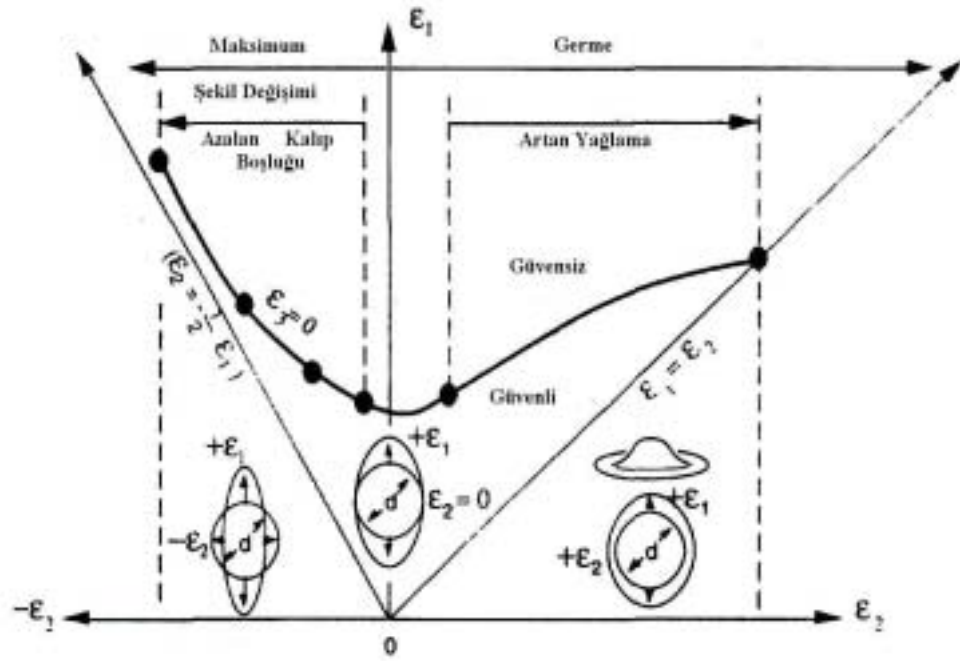
Levha şekillendirmede , şekillendirme sınır diyagramları faydalı deformasyonun sınırını belirler. Şekillendirme sınır eğrisinin yüksekliği ve genel şekli malzemenin şekillendirilebilirlik düzeyinin bir göstergesidir. (Kayalı vd. , -1995). Şekillendirme sınır diyagramında eğrinin ordinatı kestiği nokta düzlemsel şekil



değişim noktasını belirtir. Bu nokta malzemenin düzlemsel şekil değişimi sırasında maksimum % uzama değeridir. Bu değer malzeme kalınlığına ve malzemenin deformasyon setleşmesi üssünü (n) etkileyen faktörlere (kimyasal bileşim , numunenin hadde yönüne göre oryantasyonu , inklüzyonlar..v.b.) bağlıdır.

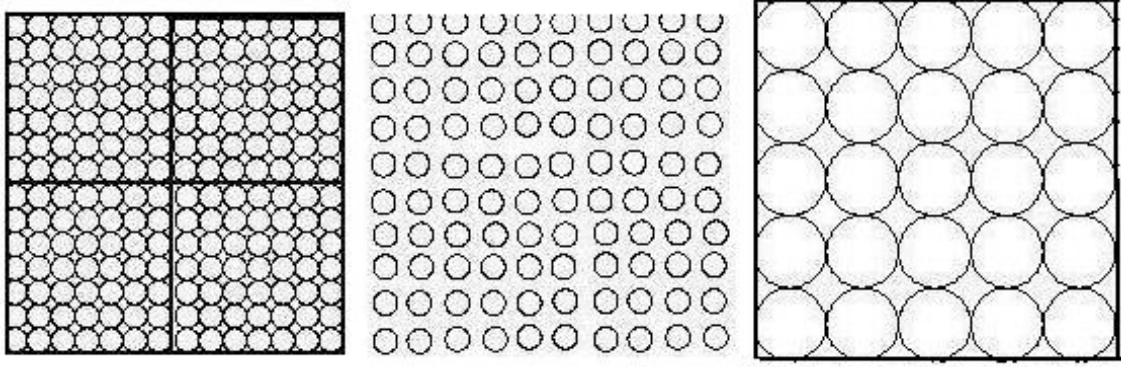
Şekil 1.2.4.3'te görülen şematik diyagramda, eğrinin alt bölgesinde şekillendirmenin mümkün , eğrinin üst bölgesinde ise şekillendirmenin mümkün olmadığı bilinmelidir.

Diyagramda eğri , sınır deformasyon miktarlarını yatay ve düşey eksenler yardımıyla vermektedir. Yatay eksen levha üzerinde levhanın belirli bir bölgesinde oluşan en küçük % deformasyonu , dikey eksen ise yine aynı bölgede birinciye dik doğrultuda oluşan en büyük % deformasyon değerini göstermektedir. Eğrinin sol tarafı derin çekme bölgesi , sağ tarafı ise germe bölgesini gösterir. Dikey eksen çevresi derin çekme ve germenin eşit ağırlıklı olduğu bölgedir. Bu orta bölgede şekillendirilebilirlik diğer bölgelere oranla daha düşüktür. (Alper , 2003)

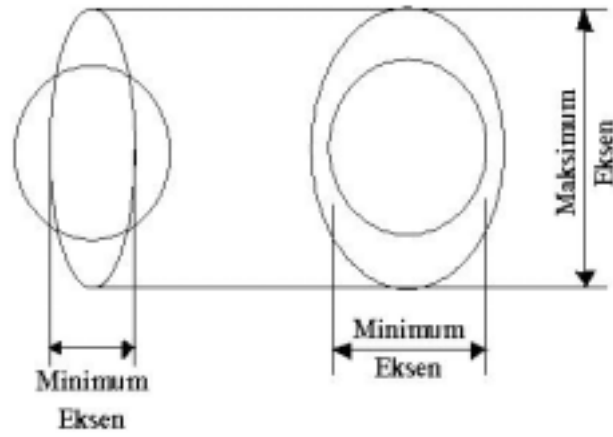


Şekil 1.2.4.3. Şekillendirme limit diyagramının şematik gösterimi (Savoie vd. , 1998)

Malzemenin üretim şartlarındaki davranışını inceleyebilmek için plastik şekil değiştirme analizlerine gerek duyulur. Bu amaçla metalik levha üzerine elektro kimyasal olarak , mürekkep kullanarak yada fotoğraf baskısı yöntemiyle dairelerden oluşan bir grid çizilir. Ağ yapısı oluşturma ile deformasyon analizi çok kullanılan bir metot olup metal şekillendirmede yaşanan sorunların çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Yassı metal şekillendirildiğinde , metal yüzeyi farklı gerilimlere maruz kalmaktadır. Ağ yapısı oluşturma metodu ile yüksek deformasyon bölgeleri kolayca tanımlanabilmektedir. Şekillendirme öncesi , ağ yapısı ile levha işaretlenir. Şekillendirme sonucu deformasyon dağılımı rahatça izlenerek deformasyon kritik bölgeleri şekillendirme sınır diyagramı ile bulunması sağlanır. Şekillendirme sınır diyagramının eldesinde yuvarlak ağ dokularının birçok çeşidi kullanılmaktadır. (Şekil 1.2.4.4.)



Şekil 1.2.4.4. Ağ dokusu örnekleri (Alper ,2003)



Şekil 1.2.4.5. Şekillendirme sonrası oluşan eliptik yapılar (Alper ,2003)

Deformasyon sonrasında yuvarlak ağ dokusu eliptik bir hal almaktadır. (Şekil 1.2.4.5) Deformasyonların yönü elipsin büyük ve küçük eksenini ile gösterilir. Deney sonrası değerlendirme için ; boyun verme bölgesindeki , çatlak bölgesindeki veya çatlakların bitişiğindeki komşu daireler seçilir. Ölçümler bu esaslara dayalı olarak yapılmaktadır. Ölçümler Myler cetveli yardımıyla veya günümüzde optik okuyucular vasıtasıyla yapılmaktadır.

$$\% \varepsilon_1 = \frac{(D_1 - D_0)}{D_0} \cdot 100 \dots \dots \dots (1.2.8)$$

$$\% \varepsilon_2 = \frac{(D_2 - D_0)}{D_0} \cdot 100 \dots \dots \dots (1.2.9)$$

$D_0$ : Başlangıç daire çapı

- D<sub>1</sub>: Şekil değiştirmiş dairenin en büyük eksenini (Maksimum Eksen)  
 D<sub>2</sub>: Şekil değiştirmiş dairenin en küçük eksenini (Minimum Eksen)  
 $\epsilon_1$ : En büyük birim şekil değiştirme  
 $\epsilon_2$ : En küçük birim şekil değiştirme

Gosh , Hecker ve Gegel'in yaptığı çalışmalar ile ; normal dislokasyon hareketleriyle deformasyona uğrayan tavllanmış metallerin şekillendirme sınır diyagramlarının V şeklinde olduğunu ortaya koymuşlardır. Fakat büyük oranda soğuk işlem görmüş 1100 alüminyum alaşımına ait diyagramda , düzlemsel birim şekil değişiminden iki eksenli çekmeye doğru ani bir artış görülmektedir. Bunun nedeni ise ; iki eksenli gerilme ile , soğuk işlenmiş alüminyum alaşımlarının çok fazla deformasyona uğramış alt yapısı (dislokasyon hücreleri +alt tane ) arasındaki etkileşimdir. (Çimenoglu vd. ,1984)

Hursman'ın alüminyum alaşımları üzerinde yaptığı çalışmalar sonucu deformasyon sertleşmesi üssü (n) değeri yüksek olan 2219-T31 alüminyum alaşımının 2024-T3 alaşımından daha yüksek üniform birim şekil değiştirme değerine sahip olduğunu tespit etmiştir. (Çimenoglu vd. ,1984)

Şekillendirme sınır diyagramındaki üniform birim şekil değiştirme sınırları , artan deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerleri artış göstermektedir. Alüminyum magnezyum alaşımının az şekil değiştirebilirliği , düşük "n" değerlerinden kaynaklanmaktadır. Tane boyutunun azalması şekillendirme sınır diyagramındaki üniform birim şekil değiştirme değerlerini azaltmakta , toplam birim şekil değiştirme değerlerini arttırmaktadır.

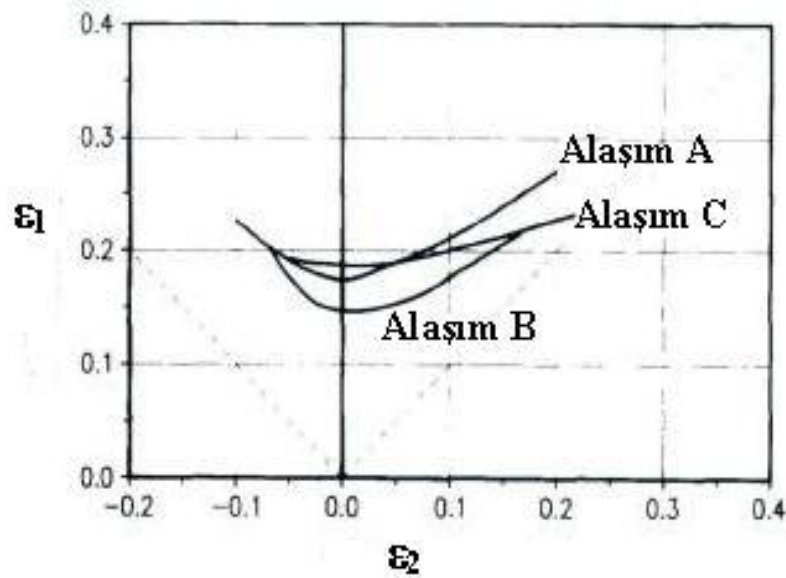
Soverby ve Sarren' in 3003-0 , 3003-H14 , 5182-0 ve 2036-T4 alaşımları üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda , bu alaşımların az karbonlu çeliklerden daha kötü şekillenebilme kabiliyeti gösterdikleri sonucuna varmışlardır. (Çimenoglu vd. ,1984)

Slomova (2002), 5182 ve 5754 alaşımları üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda bu iki alaşımın birbirlerine yakın özellikle gösterdiğini fakat 5182 alaşımının 5754'e göre daha iyi şekillenebilir olduğunu ortaya koymuştur.

5017 alüminyum alaşımı üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda alaşım içinde demir oranının artışının beklenildiğinin aksine şekillendirilebilirliği kötü etkilemediği sonucunu ortaya koymuştur.(Şekil 1.2.4.6 ) (Sillkens vd. ,1997)

### 1.2.5. Levhaların Derin Çekme Kalitesini Etkileyen Malzeme Özellikleri

Üretim açısından sacların en önemli malzeme özellikleri dayanımları ile şekillendirilebilme yetenekleri olmakla birlikte , bunlar içinde şekillendirilebilme yetenekleri daha baskın kabul edilmektedir. Bu özellikler malzemenin kimyasal bileşimi döküm tekniği ve soğuk – sıcak haddeleme ile uygulanan ısıl işlemlerden oluşan termo -mekanik geçmişi tarafından kontrol edilmektedir. Malzemenin bu özelliklerini belirlemek ve analiz edebilmek için aşağıdaki özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir.(Alıcı, 2001)



AA 5017	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Al
Alaşım A	0,32	0,45	0,23	0,68	1,91	0,04	96,37
Alaşım B	0,32	0,94	0,24	0,67	1,96	0,04	95,83
Alaşım C	0,31	1,40	0,24	0,70	2,00	0,04	95,31

Şekil 1.2.4.6 AA 5017 için Ş.L.D. (Sillkens vd. ,1997)

#### 1.2.5.1. Deformasyon Sertleşmesi Üssü (n)

Bir sacın , uygulanan gerilmedeki artış ile plastik şekil değişimi arasındaki sertleşme yeteneği soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen en önemli malzeme

özelliğidir. (Alıcı , 2001) Deformasyon sertleşmesi üssü “n” metalin gerilme gradyanı altında birim şekil değişimini dağıtabilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Yani malzemede deformasyon kabiliyetinin bir göstergesidir. Deformasyon sertleşmesi üssünün yüksek olması malzemenin sertleşme miktarının yüksek olacağını (sertliğinin değil , sertleşeceği aralığın uzun olduğunu) gösterir. (Gündü , 2000)

Yerel olarak plastik şekil değişimine uğrayan bir bölgede oluşacak pekleşmeden dolayı dayanım artacağından bu bölgedeki şekil değişimi durur ve parçanın diğer komşu bölgelerinde plastik şekil değişimi başlar. Bu şekilde pekleşmeden dolayı daha fazla üniform şekil değişimi elde edilerek , parça daha geç hasara uğrar. (Alıcı , 2001)

Deformasyon sertleşmesi üssü “n” gerçek gerilme - gerçek şekil değiştirme eğrisinin logaritmik olarak çizilmesiyle elde edilen eğrinin eğiminden hesaplanabilmektedir.

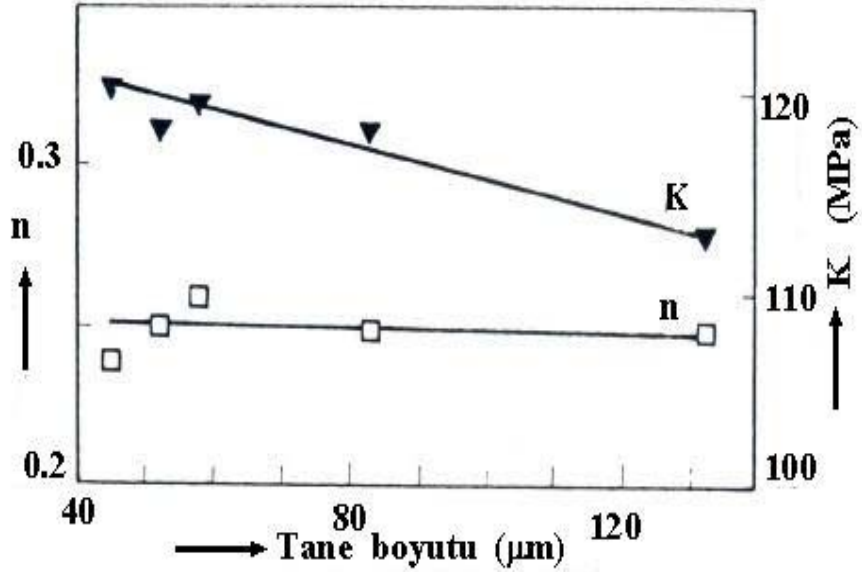
Çoğu metalik malzemelerde plastik şekil verme sırasında gerekli kuvvetlerin hesaplanması sırasında “Hollaman Denkleminde” faydalanılmaktadır.

$$\sigma_g = K \varepsilon_g^n \dots\dots\dots(1.2.10)$$

- $\sigma_g$ : Gerçek gerilme
- K: Malzeme katsayısı
- n: Deformasyon sertleşmesi üssü
- $\varepsilon_g$ : Gerçek plastik birim şekil değiştirme

Bir malzemenin akma dayanımı ile çekme dayanımı arasındaki fark arttıkça deformasyon sertleşmesi kabiliyeti artmakta , bu da iyi şekillendirilebilirliği sağlamaktadır. Deformasyon sertleşmesi kabiliyeti , deformasyon sertleşmesi üssü ile gösterilmekte ve malzemenin üniform % uzama miktarı deformasyon sertleşmesi üssü arttıkça artmaktadır. (Kayalı vd. ,1995)

Yüzey kalitesi açısından , şekillendirilen metalik saçlardan istenen özelliklerden birisi de , deformasyon sırasında yüzeyde pürüzleşmenin olmamasıdır. Deformasyon sertleşmesi üssü değerlerinin tane boyutundan bağımsız olduğu , homojen deformasyon miktarının ise tane boyutundan etkilenmediği ifade edilir. (Yazıcı vd., 1990)



Şekil 1.2.5.1.1 1100 alaşımı tane boyutunun malzeme katsayısı (K) ve deformasyon sertleşmesi üssü (n) ile değişimi (Yazıcı vd., 1990)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda 1100 grubu alüminyum alaşımları için ; artan tane boyutunun “K” değerini azalttığı , bunun yanında “n” değerinin ise etkilenmediği sonucuna ulaşılmış olup 1100 grubu için şekillendirilebilme yeteneğinin tane boyutundan bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır. . Bunun yanı sıra tokluk ve yüzey pürüzlülüğü açısından tane boyutu küçük tutulmalıdır. (Yazıcı v.d. 1990)

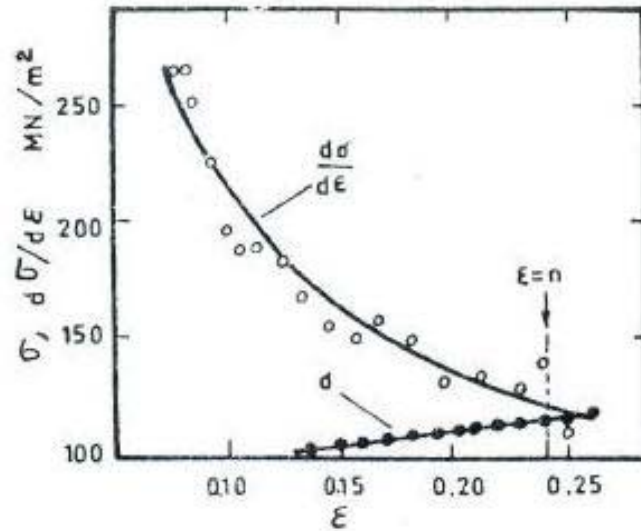
Kleemola ve Kumpulainen (1978) , n değerinin yöne bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Hadde yönünde , hadde yönüne dik doğrultuda ve hadde yönü ile  $45^{\circ}$  lik doğrultudaki n değerlerinin farklılık göstermesi nedeniyle n değerinin ortalaması aşağıdaki denklem 3.11 yardımıyla tespit edilebilmektedir.

$$n = \frac{n_0 + n_{90} + 2n_{45}}{4} \dots\dots\dots(1.2.11)$$

- $n_0$ : Hadde yönündeki “n” değeri  
 $n_{45}$ : Hadde yönüne  $45^\circ$  doğrultudaki “n” değeri  
 $n_{90}$ : Hadde yönüne dik doğrultudaki “n” değeri

Hero ve Naess (1979) , % 1 Manganlı Alüminyum – Magnezyum döküm alaşımında , gerilme ( $\sigma$ ) ve deformasyon sertleşmesi hızının ( $\partial\sigma/\partial\varepsilon$ ) , birim şekil değiştirme ( $\varepsilon$ ) ile değişimine ait diyagramlar yardımıyla deformasyon sertleşmesi üssünün bu iki parametreden ne şekilde etkilendiğini göstermişlerdir.

Hollaman denkleminin geçerli olduğu malzemelerde deformasyon sertleşmesi üssü “n” üniform birim şekil değiştirme ( $\varepsilon_u$ ) değerine eşittir. Maksimum yükte  $\partial\sigma/\partial\varepsilon = \sigma$  iken şekil 1.2.5.1.2. deki eğrilerin kesişme noktası  $\varepsilon_u$ ’yu vermektedir. Bu malzeme için  $n = 0,24$  olarak tespit edilmiş olup  $\varepsilon_u$ ’dan 0,02 daha küçüktür. Bu fark  $\partial\sigma/\partial\varepsilon$  değerinin hesabındaki küçük sapmalardan kaynaklanmaktadır. (Çimenoğlu vd., 1984 )



Şekil 1.2.5.1.2. % 1 Manganlı döküm alaşımında gerçek birim şekil değişiminin , gerçek gerilme ve deformasyon sertleşmesi hızına etkisi (Çimenoğlu vd. ,1984)



Etial -6 için yapılan çalışmalar sunucunda; tav işlemi uygulanmayan alaşım için  $n: 0,045$  değerini alırken ,  $300^0 C$ 'nin üstünde tav sıcaklıklarında tavlanan Etial-6 alaşımı için  $n :0,27$  mertebesinde sabit kaldığı gözlenmiştir. (Delikanlı ,1992)

Kayalı – Çimenoğlu (1984) , yaptıkları çalışmalar sonucunda , malzemelerin homojen deformasyona uğraması ve boyun vermeye karşı direnç göstermesi yüksek deformasyon sertleşmesi üssü (n) değeri ile sağlandığı dolayısı ile soğuk şekillenecek alüminyum alaşımları için n değerinin mümkün olduğu kadar yüksek olması gerektiği sonucunu elde etmişlerdir.

### 1.2.5.2. Deformasyon Hızı Duyarlılığı Üssü (m)

Metalik malzemeler için şekillendirilme işlemlerinin tasarımında , uygulanacak olan kuvvetin en büyük değerinin , gerekli şekil verme enerjisinin ve kalıp veya şekillendirme takımlarına etkileyen gerilmelerin yaklaşık olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler , çalışılan sıcaklık ve şekil verme hızı için , malzemenin akma gerilmesi ve takım- malzeme arasında oluşan sürtünme katsayısının yardımı ile hesaplanabilmektedir. Malzemenin akma gerilmesi , aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- i. Şekil verme işleminden bağımsız faktörler : Kimyasal bileşim , metalografik yapı , fazlar , tane büyüklüğü , segregasyonlar v.b.
- ii. Şekil verme işleminin belirlediği faktörler : Şekil verme sıcaklığı (T) , birim şekil değiştirme miktarı ( $\epsilon$ ) , şekil değiştirme hızı ( $\dot{\epsilon}$ )

Şekil verme işleminden bağımsız faktörlerin sabit kaldığı bir malzemede akma gerilmesi;

$$\sigma = f(T, \epsilon, \dot{\epsilon}) \quad \text{olarak ifade edilebilir.}$$

Yeniden kristalleşme sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda gerilme büyük ölçüde deformasyona bağlıdır. Deformasyon hızının gerilmeye etkisi oldukça azdır. Yüksek sıcaklıklarda ise deformasyonun etkisi önemini yitirmekte , fakat

gerilme değeri üzerinde etkin olmaktadır. Diğer değişkenlerin sabit kalması halinde gerilme ile deformasyon hızı arasındaki bağintı genel olarak ;

$$\sigma = C \dot{\varepsilon}^m \dots\dots\dots(1.2.12)$$

C: Malzeme katsayısı

$\dot{\varepsilon}$ :  $\partial\varepsilon/\partial t$  Deformasyon hızı

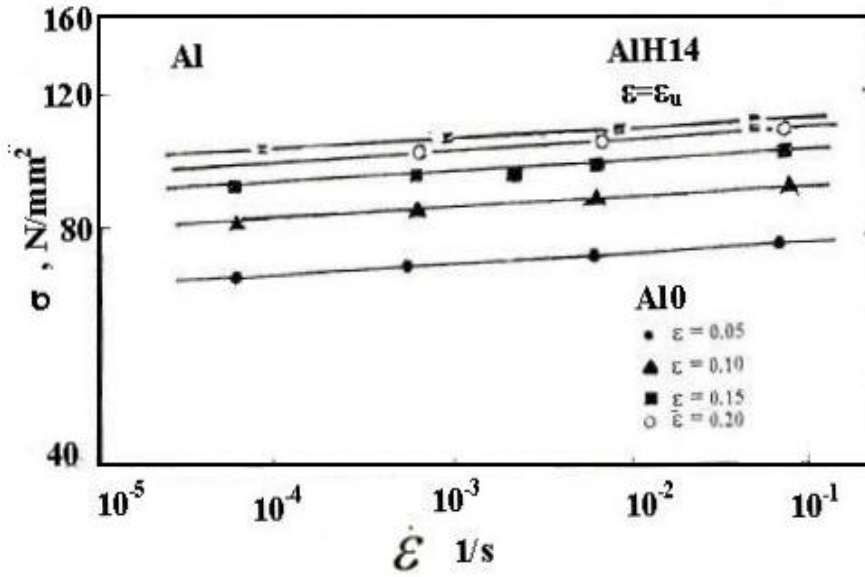
m: Deformasyon hızı duyarlılığı üssü

$$m = \frac{\partial \log \sigma}{\partial \log \dot{\varepsilon}} \dots\dots\dots(1.2.13)$$

olarak ifade edilebilir. En basit anlamıyla  $\log\sigma$ - $\log\dot{\varepsilon}$  eğrisinin eğimi olarak bulunabilir.

Deformasyon hızı duyarlılığı üssü (m) malzemelerin boyun verme sırasında lokal birim şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Yüksek m değerine sahip metallerde , birim şekil değiştirme daha homojen olarak dağılır. m değeri pozitif ise , deformasyon hızındaki artış , boyun alanındaki plastik gerilmeyi artırarak deformasyonun boyun etrafındaki alanlarda olmasına sebep olur , bu nedenle lokal incelme gecikir. (Çimenoğlu vd. , 1984)

Sowerby ve Sarren (1978) , çene hızlarını değiştirerek yaptıkları çekme deneyleri sonucunda 5182 alüminyum alaşımı için m : 0,01 ve 2036 alaşımı için m : 0,004 olarak belirlemişlerdir



Şekil 1.2.5.2.1 Deformasyon hızının 1100 alüminyum alaşımının mukavemetine etkisi (Kleemola vd. , 1978)

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ;1100-0 alaşımı için  $m : 0,015$  , 1100-H14 için  $m : 0,012$  olarak tespit edilmiştir. (Çimenoğlu vd. , 1984)

### 1.2.5.3. Dikey Anizotropi

Derin çekme esnasında levhanın incelmeye karşı gösterdiği direncin ifadesi “Dikey Anizotropi” , levha genişliğindeki birim plastik şekil değiştirmenin kalınlıktaki birim şekil değiştirmeye oranı olarak ifade edilebilir. (Deliküçük , 1989)

$$R = \frac{\varepsilon \omega}{\varepsilon t} = \frac{\ln\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)}{\ln\left(\frac{t_0}{t}\right)} \dots\dots\dots(1.2.14)$$

R: Dikey anizotropi

$\omega_0$  : Test öncesi genişlik

$\omega$  : Test sonrası genişlik

$t_0$ : Test öncesi kalınlık

t: Test sonrası kalınlık

Burada kalınlık ölçümlerinde oluşabilecek hataların önlenmesi amacıyla , deformasyon sırasında hacmin sabit kalacağı kabulü ile formülasyon aşağıdaki şekilde düzenlenebilmektedir.

$$R = \frac{\ln\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)}{\ln\left(\frac{l\omega}{l_0\omega_0}\right)} \dots\dots\dots(1.2.15)$$

$l_0$ : Test öncesi uzunluk

$l$ : Test sonrası uzunluk

Metalik malzemeden hazırlanan deney numunesine çekme deneyi uygulandığında plastik şekil değişimi çekme eksenine boyunca uzama , buna dik doğrultularda uzanan kalınlık ve genişlik doğrultusunda ise kılma şeklinde meydana gelir. Hacim sabitliği uzama birim şekil değişiminin toplamının kılma birim şekil değişimlerinin toplamına eşit olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu durum kalınlık ve genişlik yönlerindeki birim şekil değişimlerinin birbirine eşit olmasını gerektirmediği bilinmelidir. (Alıcı , 2001) Anizotropi özelliklerin yöne bağımlılığı olarak tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşımla anizotropiyi kristallografik anizotropi ve mekanik fiberleşme olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Kristallografik anizotropi , plastik deformasyon ve tavlama sonucu oluşabilir. Kristallografik anizotropiyi deformasyon textürü ve tavlama textürü olarak iki gruba ayırmak mümkündür. (Yeşilolatalı , 2001)

Çekilebilirliğin belirlenmesinde dikey anizotropiden yararlanılması oldukça yaygındır. Eğer elde edilen R değeri ;

$R < 1$  ise malzeme için derin çekilebilirlik az

$R = 1$  ise malzeme izotrop

$R > 1$  ise malzeme için derin çekilebilirlik iyi anlamına gelmektedir.

R değerinin büyük olması sonucu anizotropi tanımından da anlaşılacağı üzere malzemenin kalınlığının azalmasına karşı göstermiş olduğu direncin fazla olduğu anlamına gelmektedir. (Kayalı vd. ,1979)

Dikey anizotropi değerleri şekil 1.2.4.3.1'ten görülebileceği üzere deney numunesinin haddelene yönüne bağımlı olarak değişiklik göstermektedir. Burada haddelene yönüne farklı doğrultularda alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen R değerleri birbirlerine yakın olabileceği gibi farklılıkta arz edebilmektedir. Bu amaçla malzemeler için ortalama bir dikey anizotropi değerinden bahsetmek daha doğru sonuçlar verecektir.

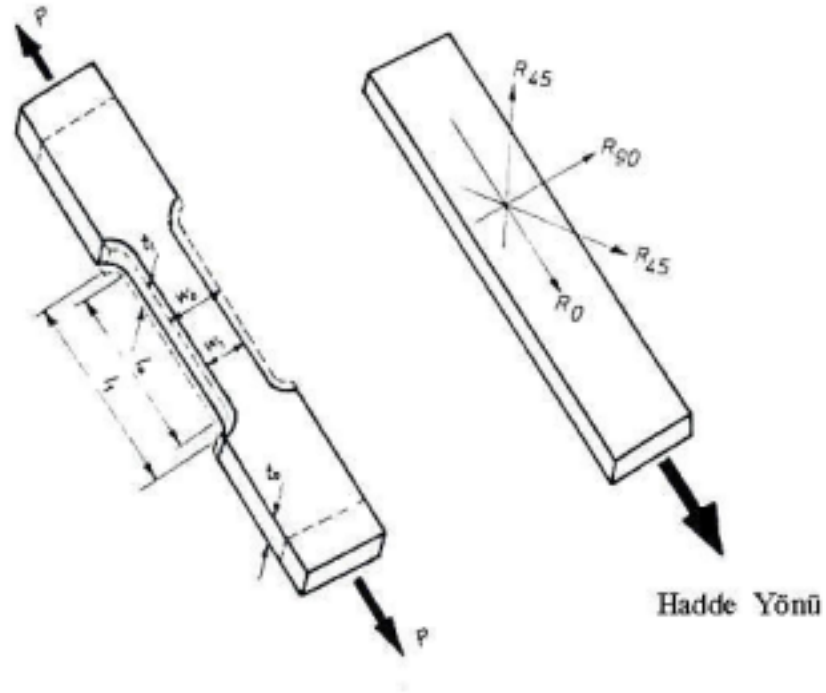
$$\bar{R} = \frac{(R_0 + 2R_{45} + R_{90})}{4} \dots\dots\dots(1.2.16)$$

$\bar{R}$ : Ortalama dikey anizotropi

$R_0$ : Hadde yönünde alınan numuneden elde edilen anizotropi

$R_{45}$ : Hadde yönüne  $45^0$  den alınan numuneden elde edilen anizotropi

$R_{90}$ : Hadde yönüne dik doğrultuda alınan numuneden elde edilen anizotropi



Şekil 1.2.5.3.1 Anizotropi katsayısı için deney numunesi (Kayalı vd., 1995)

Alüminyum ve alaşımları üzerinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki ortalama dikey anizotropi ( $\bar{R}$ ) değeri 0,60 -0,85 değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Eğer ;

$0,6 < \bar{R} < 0,85$  çekilebilirlik iyi ,  $\bar{R} < 0,6$  çekilebilirlik kötü olarak belirtilebilir. (Çimenoğlu vd. , 1984). Fakat dikey anizotropi değerinin 1 den büyük olması halinde ise alüminyum alaşımları için derin çekilebilirliğin kötü yönde etkilendiği söylenebilir. (Delikçük , 1989)

Husman'ın (1978) 2024-T3 ve 2219-T31 alüminyum alaşımları üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda ; 2024-T3 alaşımının  $\bar{R}$  değerinin 2219-T31 alaşımını  $\bar{R}$  değerinden yüksek olduğunu tespit etmiştir.  $\bar{R}$  değerinin kalınlık ile değişiminin çok az olduğu tespit edilmiştir. 2219-T31 alaşımını , 2024-T3 alaşımından daha düşük bir derin çekilebilme kabiliyeti gösterdiği ortaya konmuştur. (Çimenoğlu vd.,1984)

Althoff'un (1976) yaptığı çalışmalar sonucunda  $\bar{R}$  değerinin 1100-0 alaşımı için 0,74 , 1100-H14 için 0,50 ve az karbonlu çelik için 1,63 olarak tespit edilmiştir. (Çimenoglu vd.,1984)

Levha yüzeyinde değişik yönlerden alınan numunelerin farklı dikey anizotropi değeri veya çekilebilirlik oranı göstermeleri "Düzlemsel Anizotropi" olarak adlandırılmaktadır. Düzlemsel anizotropinin (DR) ölçütü ise aşağıdaki bağıntıya göre yapılmaktadır.

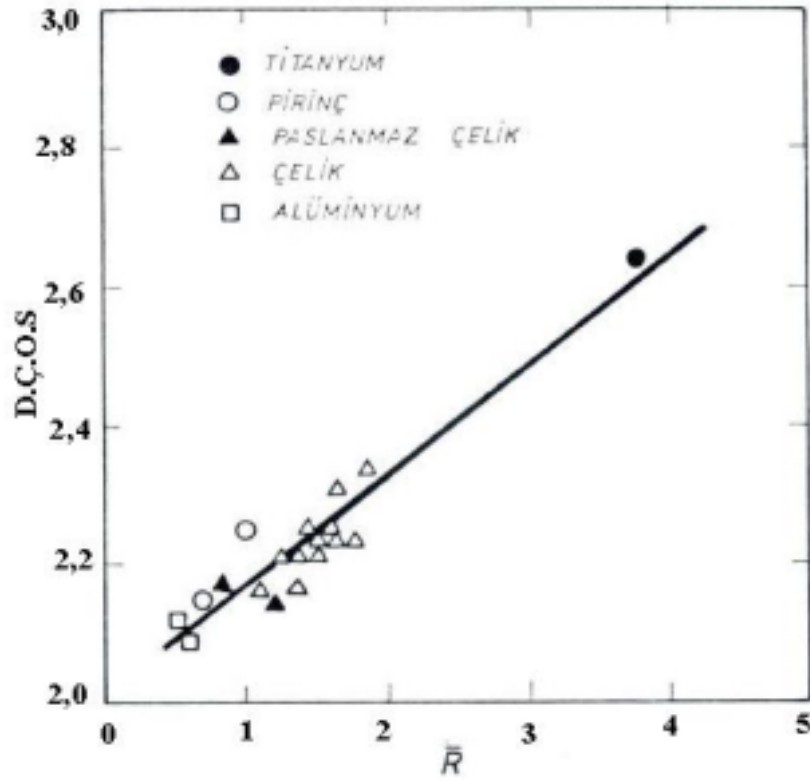
$$\Delta R = \frac{(R_0 - 2R_{45} + R_{90})}{2} \dots\dots\dots(1.2.17)$$

Kulaklanmanın daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere levha düzlemindeki anizotropiden etkilendiğini bilmekteyiz. Burada ;

- i. DR=0 Kulaklanma görülmez
- ii. DR>0 0<sup>0</sup>/90<sup>0</sup> Kulaklanma
- iii. DR<0 45<sup>0</sup> Kulaklanma meydana gelir.

Aynı zamanda mutlak değer olarak DR arttıkça , kulak yüksekliği büyümektedir. Kulakların oluşum yönü DR'ye bağlı olup , en büyük DR değeri yönündedir.

Dieter'in (1976) yaptığı çalışmalar sonucunda  $\bar{R}$  değeri ile Derin Çekme Oranı arasında bir ilişki kurmaya çalışmış ve çeşitli malzemeler için aşağıdaki grafiği elde etmiştir.



Şekil 1.2.5.3.2 Çeşitli malzemeler için ort. dikey anizotropi D.Ç.O ilişkisi (Rogers vd., 1985)

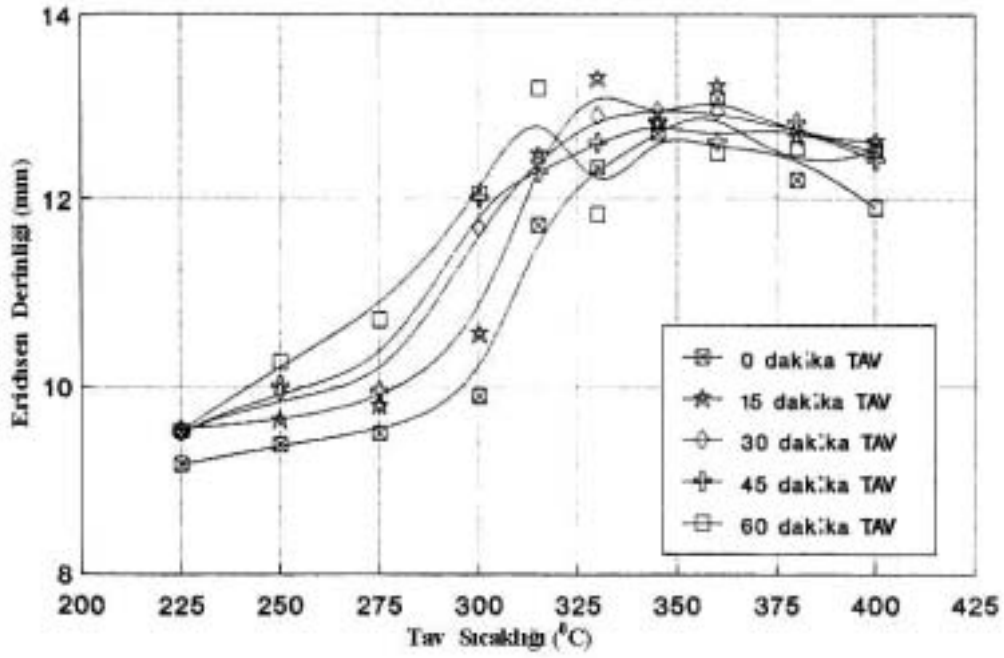
#### 1.2.5.4. Erichsen Derinliği

Standart Erichsen testi , sac ve bantların derin çekilebilme kabiliyeti yanında tane yapısı , buna bağlı olarak ta portakallanma eğilimi konusunda da önemli bilgiler vermektedir. Erichsen derinliği arttıkça malzemenin derin çekilebilme kabiliyeti yükselmektedir. (Delikçük ,1989)

Erichsen derinliği , malzeme kalınlığından etkilenmektedir. Erichsen çukuru tepe bölgesinin görünüşü ise tane yapısı konusunda fikir vermektedir. Bu bölgede yüzeyin pürüzlü olması tanelerin iri olduğunu ve portakallanma olabileceğini göstermektedir. (Delikçük ,1989)

Sistem genel anlamıyla; numuneyi tespit etmek için tutucu bir çember , kalıp , numuneyi kalıp içine doğru zorlayan küresel bir zımba ile numunenin yırtılması anında çökertilen kısmın en büyük derinliğini ölçme sisteminden ibarettir.





Şekil 1.2.5.4.1 Etial -6 için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi (Delikanlı , 1992)

Şekil 1.2.5.4.1 den görüleceği üzere , Etial -6 alaşımı için ;225 °C de tüm tav sürelerinde aynı erichsen derinliği elde edilirken , bundan sonraki tav sıcaklıklarında artan tav süresine bağlı olarak erichsen derinliği de artmaktadır. Maksimum değerini 325 °C de ve 15 dakika tav süresinde ulaşılmaktadır. Bu sıcaklıktan sonraki tav sıcaklıklarında tav süresi ne kadar arttırılırsa arttırılsın erichsen derinliğinin düştüğü görülmektedir.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

Alüminyum ve alaşımları günümüzde yaşamımıza girmiş ve yaşamın ayrılmaz bir malzemesi haline gelmiştir. Saf haldeki alüminyum oldukça yumuşaktır. Kolay işlenebilir ve geri kazanılabilir bir metaldir. Alüminyum , alaşımlandırılması ve ısıt işlemlere tabi tutulması sonucu arzu edilen mekanik özelliklere kolayca ulaşabilmektedir.

Derin çekme prosesi çok kapsamlı bir konudur. Derin çekme işlemi esnasında malzemenin nasıl davranacağını önceden bilinmesi şekillendirme işlemini kolaylaştırmaktadır.

Malzemenin derin çekilebilirliği üzerinde bir çok faktör etkilidir. Bu faktörlerin optimum seviyelerde tutulması derin çekilebilirliği olumlu yönde etkilemektedir.

Yapılan çalışmalar neticesinde malzemenin birim şekil değişimini dağıtabilme yeteneğinin bir ölçüsü olan deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerinin ve malzemenin boyun verme sırasında lokal birim şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olan deformasyon hızı duyarlılığı (m) değerlerinin malzemenin derin çekilebilirliğinin belirlenmesi esnasında etkili olduğu görülmüştür.

Aynı zamanda yüksek deformasyon hızı duyarlılığına sahip metallerde birim şekil değiştirme daha homojen olarak dağıtılmaktadır. (Hosford , 1977)

Malzemelerin derin çekilebilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden birisi dikey anizotropi katsayısıdır. Dikey anizotropi değeri arttıkça malzemelerin derin çekilebilirliği de artış göstermektedir. Alüminyum için , ortalama dikey anizotropi değerinin 0,60 ile 0,85 arasında kalması durumunda çekilebilirliğin iyi olduğu görülmüştür. Ortalama dikey anizotropi değerinin 0,60'nın altına düşmesi durumunda derin çekilebilirlik olumsuz yönde etkilenmektedir. (Çimenoglu vd. , 1984)

Derin çekilebilirliği etkileyen bir diğer faktör ise erichsen derinliğidir. Bu değer mükün merteye yüksek olması arzu edilmektedir.

Kulaklanma , derin çekme esnasında karşılaşılan problemlerden birisi olup, kulak oluşumunun kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Alüminyum – Magnezyum alaşımları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda yapıdaki magnezyum miktarının akma ve çekme mukavemetlerini arttırdığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde % 10 oranında magnezyum içeren alüminyum alaşımının , tavlama işlemlerinden sonra bütün alüminyum döküm alaşımları içinde çekme ve akma mukavemetleri bakımından en yüksek özelliğe sahip olduğu görülmüştür. (Çakmak , 1983)

%1- % 6 arasında mangan içeren alaşımlar endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda AA 3004 için tav sıcaklık ve sürelerinin artması neticesinde derin çekilebilirliğin iyileştiği görülmüştür. (Deliküçük , 1989)

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Deneysel Malzemeler

Deneysel çalışmalar sırasında ; sürekli döküm tekniği ile Fata-Hunter Speed Caster ® lisanslı döküm makinelerinde 5 mm kalınlığında dökülmüş AA 3003 ve AA 5754 alüminyum alaşımları kullanılmıştır.

Deneysel kullanılan AA 3003 ve AA 5754 alüminyum alaşımlarının kimyasal analizleri ASSAN Alüminyum Tesisleri Kalite Kontrol Biriminde Bulunan ThermoARL firmasına ait ARL 4460 OE spektrometre cihazıyla tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1.1. AA 3003 alüminyum alaşımının kimyasal analiz sonuçları (% Ağırlık)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Ti	Zr	Al
0,128	0,428	0,061	1,058	0,001	0,003	0,006	0,001	0,010	0,008	98,27

Çizelge 3.1.2. AA 5754 alüminyum alaşımının kimyasal analiz sonuçları (% Ağırlık)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Ti	Zr	Al
0,099	0,267	0,001	0,006	2,113	0,002	0,007	0,001	0,013	0,009	97,46

Deneysel çalışmalar üç grup numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

I. grup numune ; Assan alüminyum tesislerinde sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş 5mm kalınlığında AA 5754 alüminyum alaşımı 520 °C de 8 saat homojenizasyon tavına tabi tutulup , daha sonra % 76 deformasyonla kalınlığı 1,2 mm düşürülmüştür.

II grup numune ; Assan alüminyum tesislerinde sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş AA 5754 alüminyum alaşımı % 76 deformasyonla kalınlığı 1,2 mm düşürülmüştür.

III grup numune ; Assan alüminyum tesislerinde sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş AA 3003 alüminyum alaşımı % 76 deformasyonla kalınlığı 1,2 mm düşürülmüştür.

Deneysel çalışmalar esnasında numuneler farklı sıcaklıklarda tavlanarak, mekanik özelliklerindeki değişimler izlenmiş ve bu değişen özelliklere bağlı olarak numunelerin derin çekilebilirlik özellikleri araştırılmıştır.

### **3.2. Deneyslerde Kullanılan Cihaz ve Sistemler**

#### **3.2.1. Isıl İşlem Fırınları**

Numunelere uygulanan ısıl işlemler Assan alüminyum tesisleri kalite kontrol biriminde bulunan Nabertherm N30/65 HA marka ısıl işlem fırınlarında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.2.1.1)

Testler için uygun boyutlarda kesilen numuneler numaralandırılarak gruplar halinde tav fırınına yerleştirilmiş ve numunelerin uygun tav sıcaklık ve süreleri için tavlanması sağlanmıştır.

Marka ve Modeli:	Nabertherm N 30 / 65 HA
Boyutlar :	290x420x260
Ağırlık :	195 kg
Maksimum sıcaklık :	850 °C
Sıcaklık kontrol hassasiyeti :	$\pm 3^{\circ} C$



Şekil 3.2.1.1. Nabertherm N 30 / 65 HA ısıtma fırını(Assan Alüminyum Tesisleri )

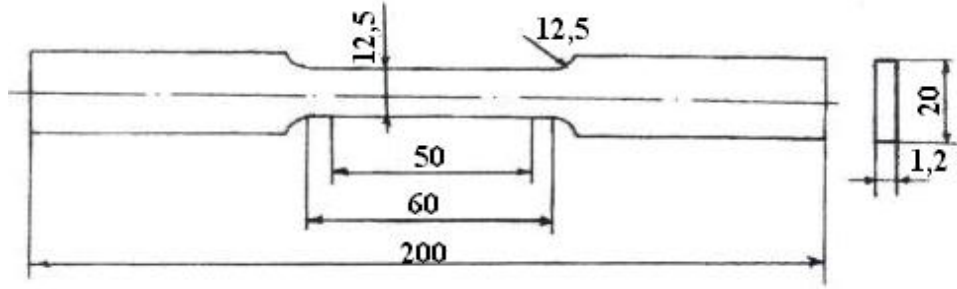
### 3.2.2. Çekme Cihazı

Numunelerin çekme testleri Assan alüminyum tesisleri kalite kontrol biriminde bulunan Zwick marka Z050 ve 1478 modeli çekme cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2.2.1 de Zwick Z050 çekme cihazı görülmektedir.

Deneysel çalışmalar ; TS 138 ve ASTM B 557' ye uygun olarak hazırlanmış çekme numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2.2.2. de çekme numunesi görülmektedir.



Şekil 3.2.2.1 Zwick Z050 çekme cihazı (Assan Alüminyum Tesisleri)



Şekil 3.2.2.2. TS 138 ve ASTM B 557' ye uygun olarak hazırlanmış çekme numunesi boyutları

### 3.2.3. Erichsen Testi

Numunelerin derin çekmede şekil değıştirme kabiliyetini tespit etmek amacıyla , numuneler erichsen testine tabi tutulmuştur. Deneyler Assan alüminyum tesisleri kalite kontrol biriminde bulunan Erichsen 125 marka test cihazı üzerinde

gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.2.3.1) 70x300x1,2 mm boyutlarında hazırlanan numuneler üzerinde üç ayrı ölçüm yapılmış ve ortalama erichsen derinliği tespit edilmiştir.

Ölçme hassasiyeti : 0,1 mm

Bilya çapı : 10 mm

Sıkıştırma kuvveti : 10 kN



Şekil 3.2.3.1. Erichsen test cihazı (Assan Alüminyum Tesisleri)

#### **3.2.4. Sertlik Ölçüm Cihazı**

Sertlik ölçümleri ORMA Orman Ürünleri Fabrika'sında (Isparta) bulunan üniversal sertlik ölçme cihazı ile yapılmıştır. Çalışmalarımızda Brinell sertlik ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. Bilye uçları 1,25 mm , 2,5 mm ve 5,0 mm çaplarında olup malzeme cinsine göre yük ve bilye çapı seçilebilmektedir.

#### **3.2.5. Stereo ve Optik Mikroskoplar**

Numunelerin makro ve mikro yapıları incelemeleri Assan alüminyum tesisleri kalite kontrol biriminde bulunan Olympus SZ-CTV marka Stereo mikroskopta (Şekil 3.2.5.1) ve Zeiss HAL-100 marka optik mikroskopta (Şekil 3.2.5.2)



yapılmıştır. Her iki mikroskopta bilgisayar kontrollu olup elde edilen mikro ve makro yapı fotoğrafları bilgisayar ortamında incelenmiştir.



Şekil 3.2.5.1. Olympus SZ-CTV marka stereo mikroskop



Şekil 3.2.5.2. Zeiss HAL-100 marka optik mikroskop

### 3.3. Deneylerin Yapılışı

#### 3.3.1. Isıl İşlemler

I- Sürekli levha döküm yöntemiyle üretilmiş ve 520<sup>0</sup> C de 8 saat homojenizasyon işlemine tabi tutulmuş AA 5754 alüminyum alaşımı ;

- i. 520<sup>0</sup> C 8 saat homojenizasyon tavlama
- ii. 310<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- iii. 330<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- iv. 350<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- v. 380<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- vi. 410<sup>0</sup> C 4 saat tavlama

II- Sürekli levha döküm yöntemiyle üretilmiş AA 5754 alüminyum alaşımı ;

- i. 310<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- ii. 330<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- iii. 350<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- iv. 380<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- v. 410<sup>0</sup> C 4 saat tavlama

III- Sürekli levha döküm yöntemiyle üretilmiş AA 3003 alüminyum alaşımı ;

- i. 310<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- ii. 330<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- iii. 350<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- iv. 380<sup>0</sup> C 4 saat tavlama
- v. 410<sup>0</sup> C 4 saat tavlama

AA 5754 ; 520<sup>0</sup> C 8 saat homojenizasyon tavlama , AA 5754 ve AA 3003 alüminyum alaşımları tavlama öncesi uygun boyutlarda kesilerek markalanmış ardından uygun tav sıcaklık ve sürelerinde tav işlemi gerçekleştirilmiştir.

Assan Alüminyum tesisleri kalite kontrol biriminde bulunan tav fırınlarının boyutları küçük olduğundan fırın ve numune sıcaklıklarının eşit olduğu kabul edilmiştir .

Tavlama işlemleri neticesinde ; 5 mm kalınlıktan % 76 deformasyon oranı ile 1,2 mm ye haddelenmiş alüminyum alaşımlarının kazandığı deformasyon sertleşmesi sonucu oluşan etkiler giderilmeye çalışılmıştır.

Tavlamalar sonucunda malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimler belirlenmiş ve malzemelerin şekillendirilebilirlik karakteristikleri ortaya konmuştur.

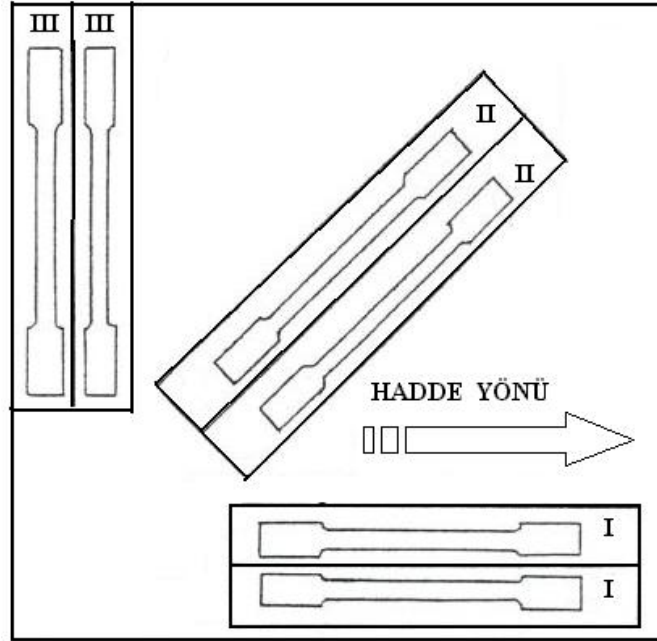
### **3.3.2. Mekanik Özelliklerin Tespiti**

Çeşitli tav sıcaklıklarında (310 °C -330 °C -350 °C -380 °C -410 °C ) 4 saat sabit tav süresinde tavlanan AA 5754 , AA 5754 (520 °C de 8 saat homojenizasyon tavlı ) AA 3003 alüminyum alaşımlarından hazırlanan TS 138 ve ASTM B 557'ye uygun olarak hazırlanan çekme numuneleri üzerinde çekme testi uygulanmış ve sırasıyla akma gerilmeleri , çekme gerilmeleri , % uzama değerleri ile deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve dikey anizotropi (R) değerleri tespit edilmiştir. Deney numuneleri üç ayrı yönde( 0° -45° -90°) ve ikişer adet olmak üzere hazırlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak malzemeler için mekanik özellikler tespit edilmiştir.

I – nolu numuneler ; hadde yönünde alınan numuneler

II – nolu numuneler ; hadde yönü ile 45° açıdan alınan numuneler

III – nolu numuneler ; hadde yönüne dik doğrultulardan alınan numuneler



Şekil 3.3.2.1. Deneylerde kullanılan çekme numuneleri seçimi

Her alaşım için hazırlanan numuneler Zwick marka çekme cihazlarında ölçme boyu 50 mm ve test hızı 10 mm/ min seçilerek çekme deneyleri gerçekleştirilmiş ve her bir numune için mekanik özelliklerin tespiti sağlanmıştır.

### 3.3.3. Erichsen derinliğinin tespiti

Erichsen test düzeneği yardımıyla derin çekilebilirliğin bir ölçüsü olan erichsen derinliği tespit edilmiştir. Bilindiği üzere malzemelerin erichsen derinliği arttıkça , derin çekilebilme kabiliyetleri artmaktadır.

Deneyler Assan kalite kontrol biriminde bulunan erichsen test cihazında gerçekleştirilmiştir. Numuneler 70x300x1,2 mm boyutlarında hazırlanmış ve her bir numune üzerinde üç ayrı test gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak belirli tav sıcaklıkları ve süresi için malzemelerin erichsen derinlikleri tespit edilmiştir. Deneyler sırasında sıkıştırma kuvveti 10 kN ve bilya çapı 10 mm olarak alınmıştır.

### 3.3.4. Sertlik değerleri

Sertlik ölçümleri  $P/D^2$  esas alınarak 2,5 mm çapında bilya , 10 kgf ön yük ve 62,5 kgf yük altında Brinell cinsinden yapılmıştır. Ölçümler için 50X50X1,2 mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerden her tav sıcaklık ve süresi için üçer ölçüm alınmış ve sonuçlar bu üç değer in ortalamasında elde edilmiştir.

### 3.3.5. Kulaklanma Tespiti

Küçük boyutlu bir derin çekme işlemi olan kulaklanma testinde doğrudan malzemenin kulaklanma eğilimi ölçülmektedir.

Bu amaçla deney numunelerinde 60 mm çapında disk şeklinde numuneler hazırlanarak yaklaşık 30 mm iç çapında kap üretilecek şekilde derin çekilir. Daha sonra kulak bölgeleri ve kulaklar arası çukur bölgelerin yükseklik ortalamaları tespit edilerek % kulaklanma değerlerine ulaşılır.

$$\%Kulaklanma = \frac{2(H_{1ort} - H_{0ort})}{H_{1ort} + H_{0ort}} \times 100 \dots\dots\dots(3.3.1.)$$

$H_{1ort}$ = Test kabında kulak bölgelerinin yükseklik ortalaması

$H_{0ort}$ = Test kabında çukur bölgelerin yükseklik ortalaması

Bazı durumlarda % kulaklanma değerinin tespitinde ortalama yükseklik yerine yüksekliğin en büyük değeri dikkate alınmaktadır.

$$\%Kulaklanma = \frac{(H_{1ort} - H_{0ort})}{H_{1ort}} \times 100 \dots\dots\dots(3.3.2.)$$

Yapılan % kulaklanma testlerinde üç grup numune için (AA3003 , AA 5754 , AA 5754 (HT) ), her tav parametresi için üçer numune hazırlanarak deneyler yapılmıştır. Formül 3.3.2. yardımıyla % kulaklanma değerleri tespit edilmiştir.

### 3.3.6.Metalografik incelemeler

Malzemelerin mikro yapı incelemeleri için; AA 5754 ve AA 3003 alüminyum alaşımlarından döküm kalınlığında (5 mm) , haddeleme sonrası (1,2 mm) ve tav

sıcaklıkları sonucunda elde edilen numuneler haddeleme yönüne paralel doğrultularda soğuk bakalite alınmıştır.

Daha sonra numuneler sırasıyla Assan kalite kontrol biriminde bulunan Metkon Gripo 200-IV ve Struers Labopol -5 marka mekanik parlatma cihazlarıyla parlatılmış , ardından Struers Lectropol -5 elektronik dağlama cihazı ile dağlanmıştır. Şekil 3.3.6.1 de mikro yapı incelemesi sırasında kullanılan cihazlar görülmektedir.

Hazırlanan numunelerin mikro yapı incelemeleri , Zeis HAL – 100 marka optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir.

Makro yapı incelemeleri için ise hazırlanan numuneler koloidal silika ile parlatılmış ardından Barkers çözeltisinde dağlanarak Olympus SZ-CTV marka stereo mikroskopta incelenmiştir.



Şekil 3.3.6.1. Mikro yapı incelemeleri için , numunelerin hazırlanmasında kullanılan sistemler(Struers Labopol – 5 , Metkon Gripo 200-IV , Struers Lectropol – 5 )(Assan Alüminyum Tesisleri)

## 4. BULGULAR

### 4.1. Tav Parametrelerinin Akma ve Çekme Gerilmeleri Üzerine Etkisi

Deneyler esnasında , Assan Alüminyum tesislerinde sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş üç grup numune kullanılmıştır.

I. grup ; AA 3003 alüminyum alaşımı

II. grup ;AA 5754 alüminyum alaşımı

III. grup ; AA 5754 alüminyum alaşımı (HT: 520 °C de 8 saat homojenizasyon işlemine tabi tutulmuş)

Bu üç grup numune daha sonra 310 °C , 330 °C , 350 °C , 380 °C , 410 °C tav sıcaklıklarında 4 saat tav süresinde ısıtılma tabi tutulmuş ve numunelerin akma ve çekme gerilmelerindeki değişimler izlenmiştir. (Şekil 4.1.1. -4.1.12)

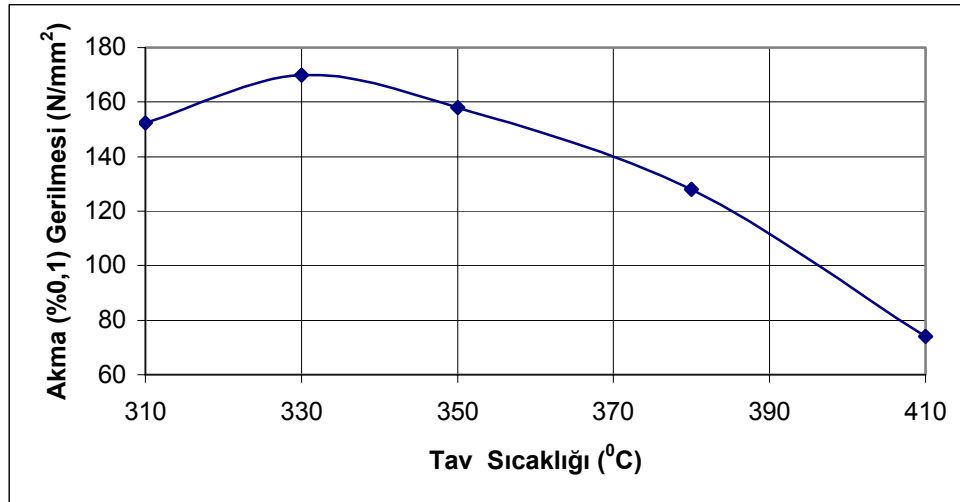
AA 3003 alaşımının döküm kalınlığında akma gerilmesi 130,4 N/mm<sup>2</sup> , çekme gerilmesi 170,2 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Daha sonra % 76 deformasyon oranı ile kalınlığı 1,2 mm nihai kalınlığa düşürüldüğünde akma gerilmesi 233,45 N/mm<sup>2</sup> , çekme gerilmesi ise 238,25 N/mm<sup>2</sup> değerine ulaştığı görülmüştür. Yapılan ısıtılma işlemler neticesinde AA 3003 alüminyum alaşımının akma ve çekme gerilmelerinin düştüğü görülmüştür. 410 °C de 4 saat tavllanmış numunede akma gerilmesi 83,60 N/mm<sup>2</sup> ve çekme gerilmesi ise 133,75 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

AA 5754 alüminyum alaşımının döküm kalınlığındaki akma gerilmesi 129,85 N/mm<sup>2</sup> , çekme gerilmesi ise 191 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. % 76 deformasyon oranı ile haddelenmiş akabinde akma gerilmesinin 281,7 N/mm<sup>2</sup> ve çekme gerilmesinin 282,7 N/mm<sup>2</sup> değerine ulaştığı görülmüştür. Daha sonra uygulanan ısıtılma işlemlerde nihai tav sıcaklıklarında akma ve çekme gerilmelerinde çok büyük bir düşüşün olmadığı gözlenmiştir.

520 °C de 8 saat homojenizasyon işlemine tabi tutulmuş AA 5754 alaşımının döküm kalınlığındaki akma gerilmesi 90,8 N/mm<sup>2</sup> ve çekme gerilmesi 168,5 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. % 76 deformasyon oranı ile haddelenmiş 1,2 mm

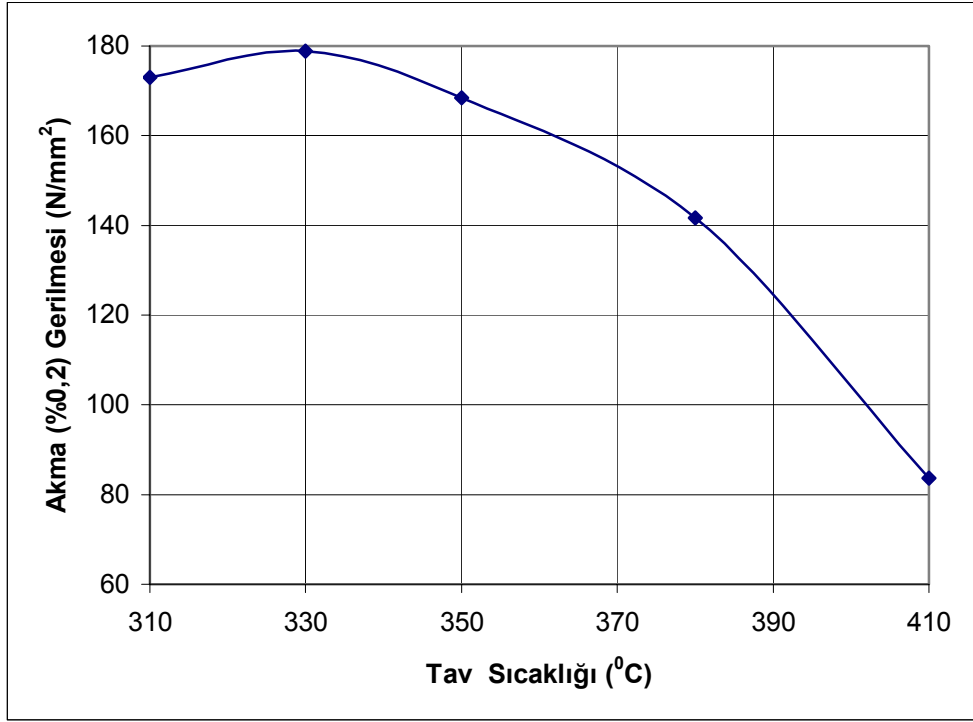
kalınlığındaki numunenin akma gerilmesinin  $243,25 \text{ N/mm}^2$  ve çekme gerilmesinin  $266,70 \text{ N/mm}^2$  değerine ulaştığı görülmüştür. Homojen tavlı AA 5754 alaşımının her nihai tav sıcaklığında düşük akma ve nispeten düşük çekme gerilmesi değerlerini vermektedir. Bu fark akma gerilmelerinde yaklaşık olarak  $10 \text{ N/mm}^2$  seviyesinde iken , çekme gerilmeleri arasındaki fark yaklaşık olarak  $3 \text{ N/mm}^2$  mertebesindedir.

Aynı zamanda AA 5754 alüminyum alaşımının süreksiz akma özelliği gösterdiği görülmüştür. Bu malzeme grubunun belirgin bir üst ve alt akma noktası göstermediği belirlenmiştir. Malzemenin bu davranışının deformasyon yaşanması nedeniyle oluştuğu bilinmektedir. (Dieter , 1984) Ayrıca AA 5754 alaşımı üzerinde yapılan çalışmalarda Magnezyum miktarının bu eğilimi arttırdığı belirlenmiştir.

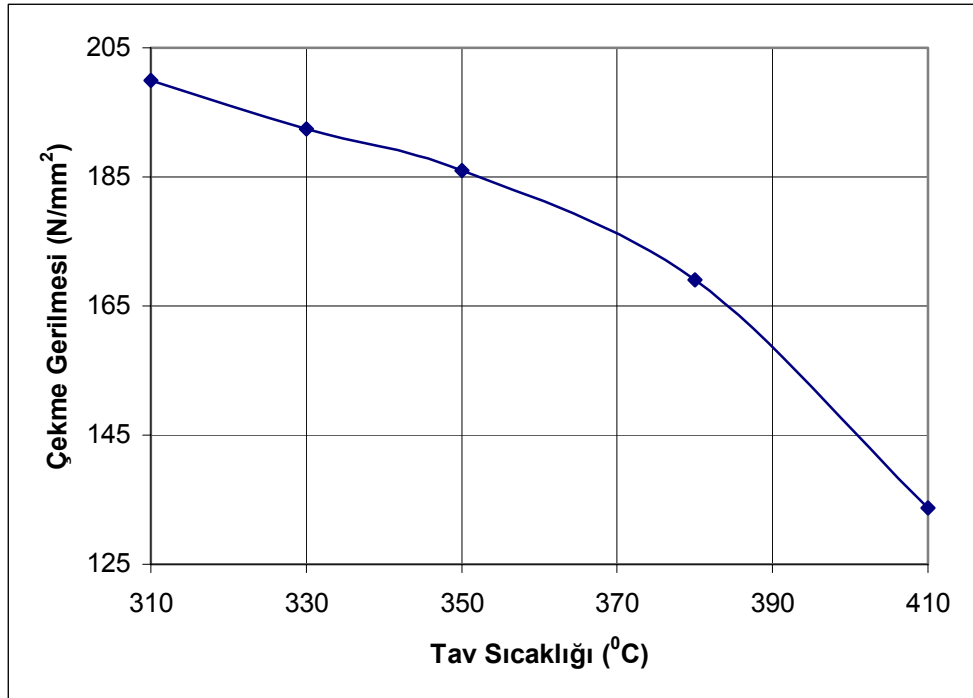


Şekil 4.1.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi

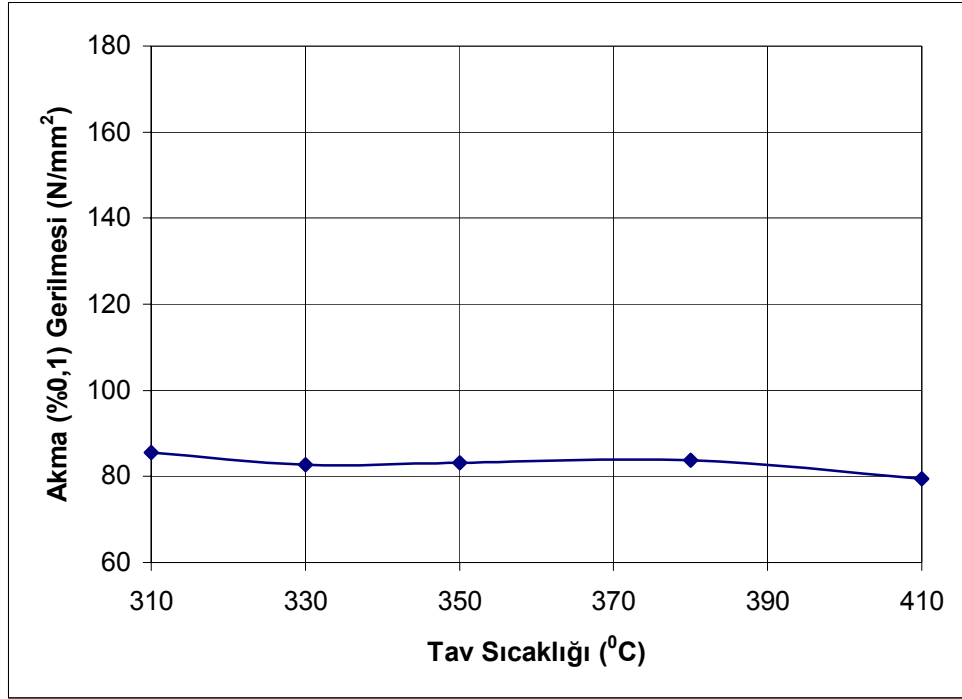




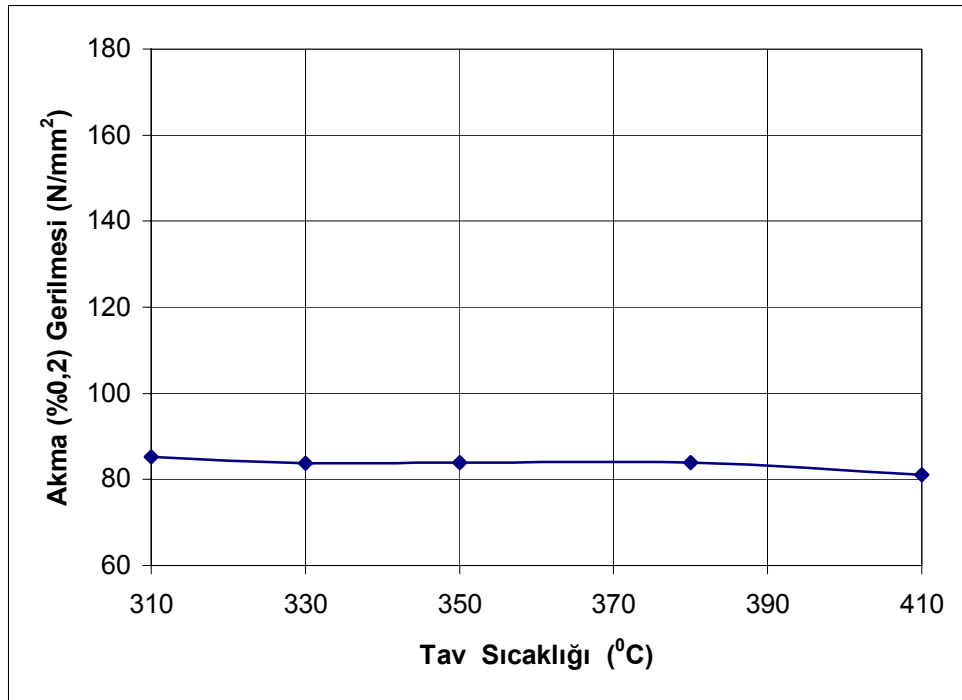
Şekil 4.1.2. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi



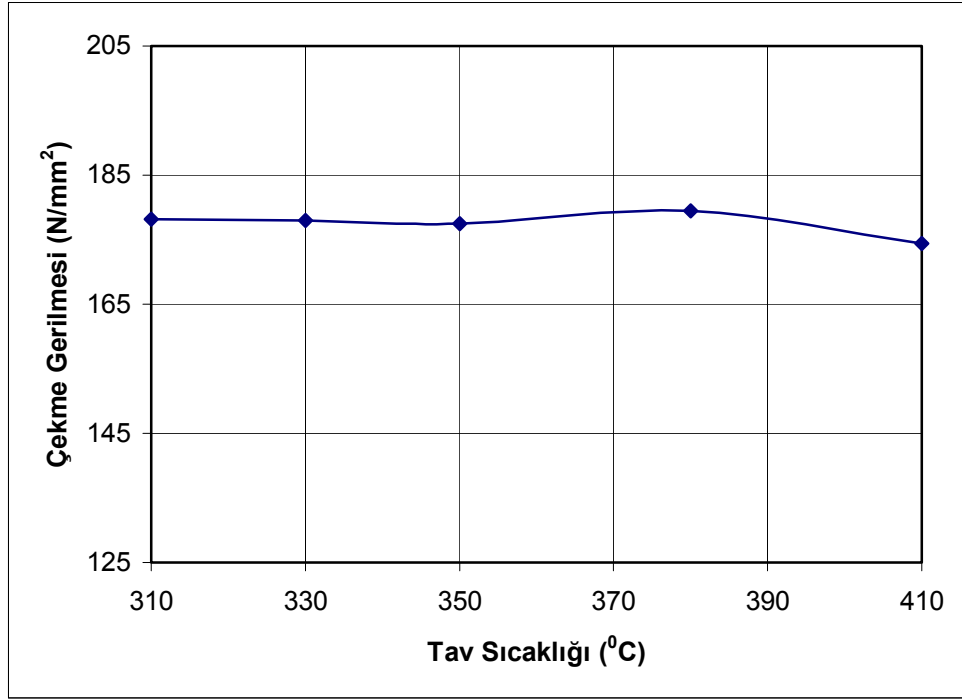
Şekil 4.1.3. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi



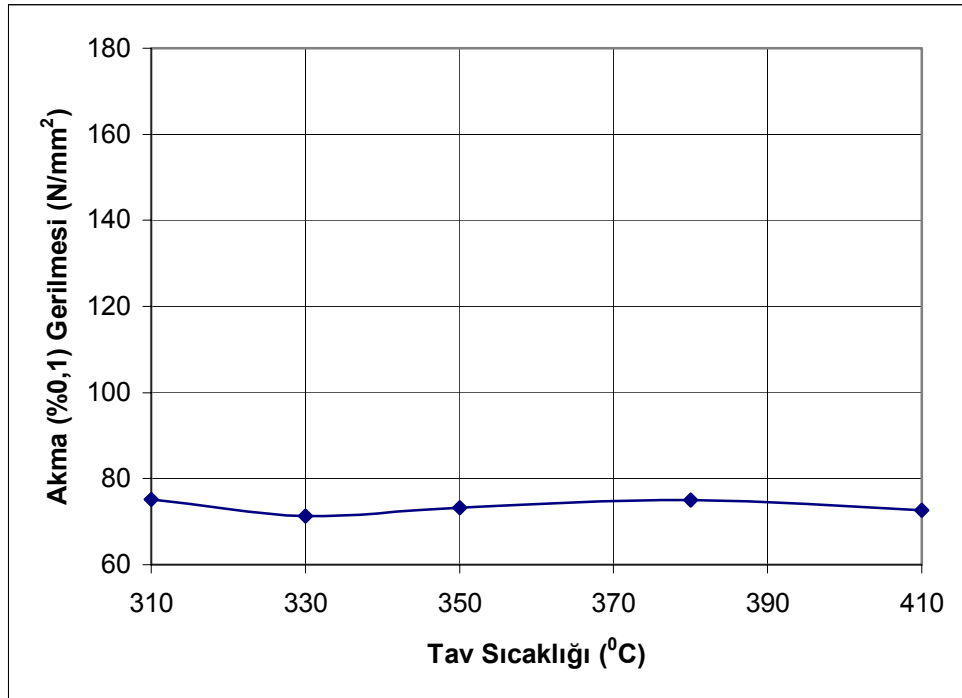
Şekil 4.1.4. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi



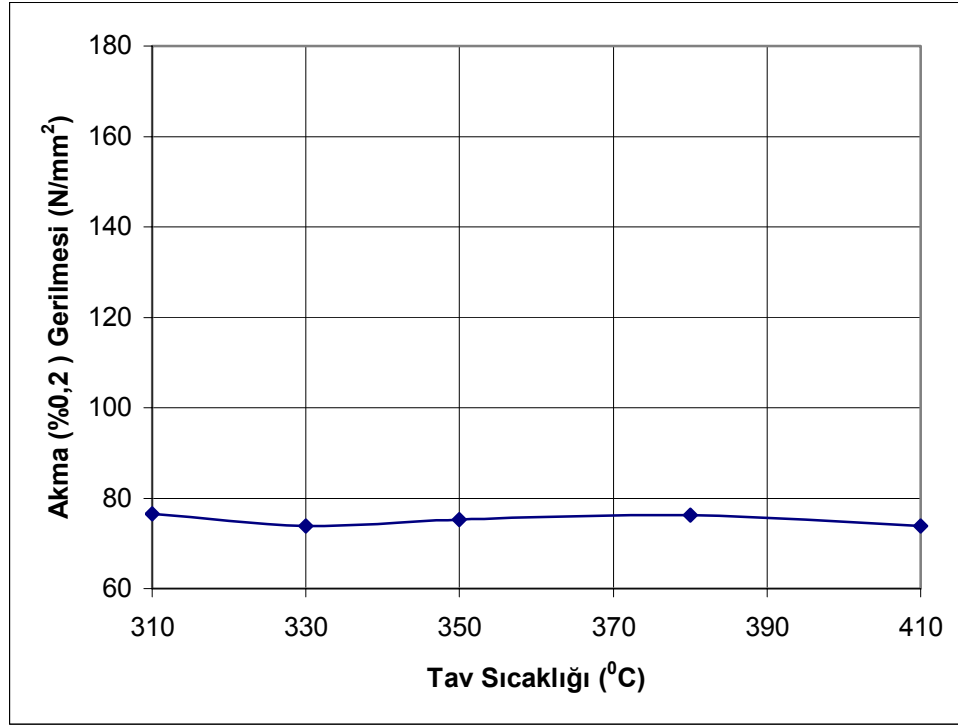
Şekil 4.1.5. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi



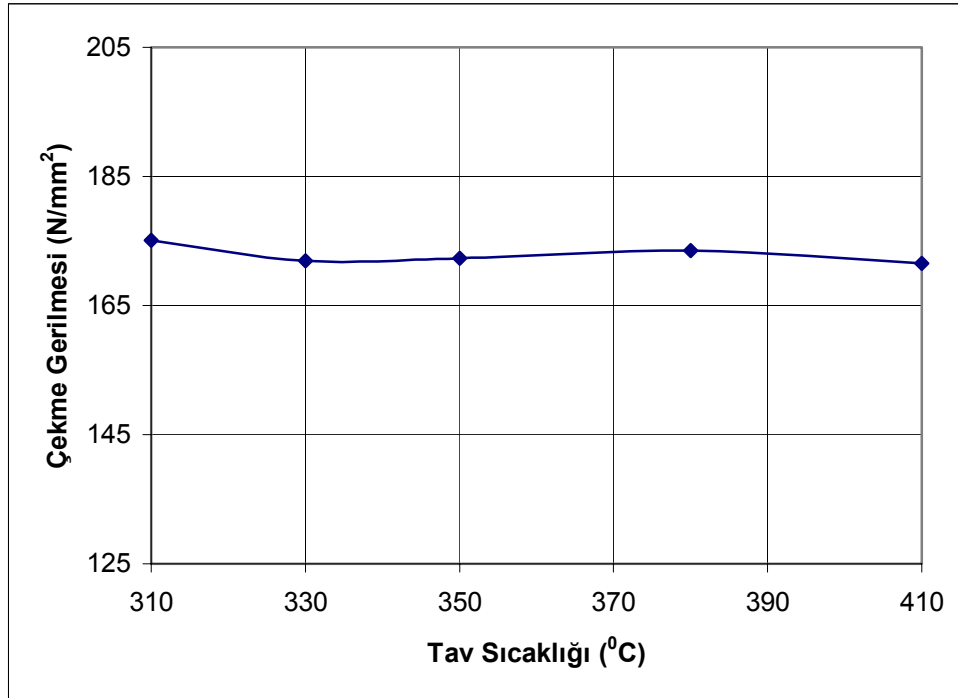
Şekil 4.1.6. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi



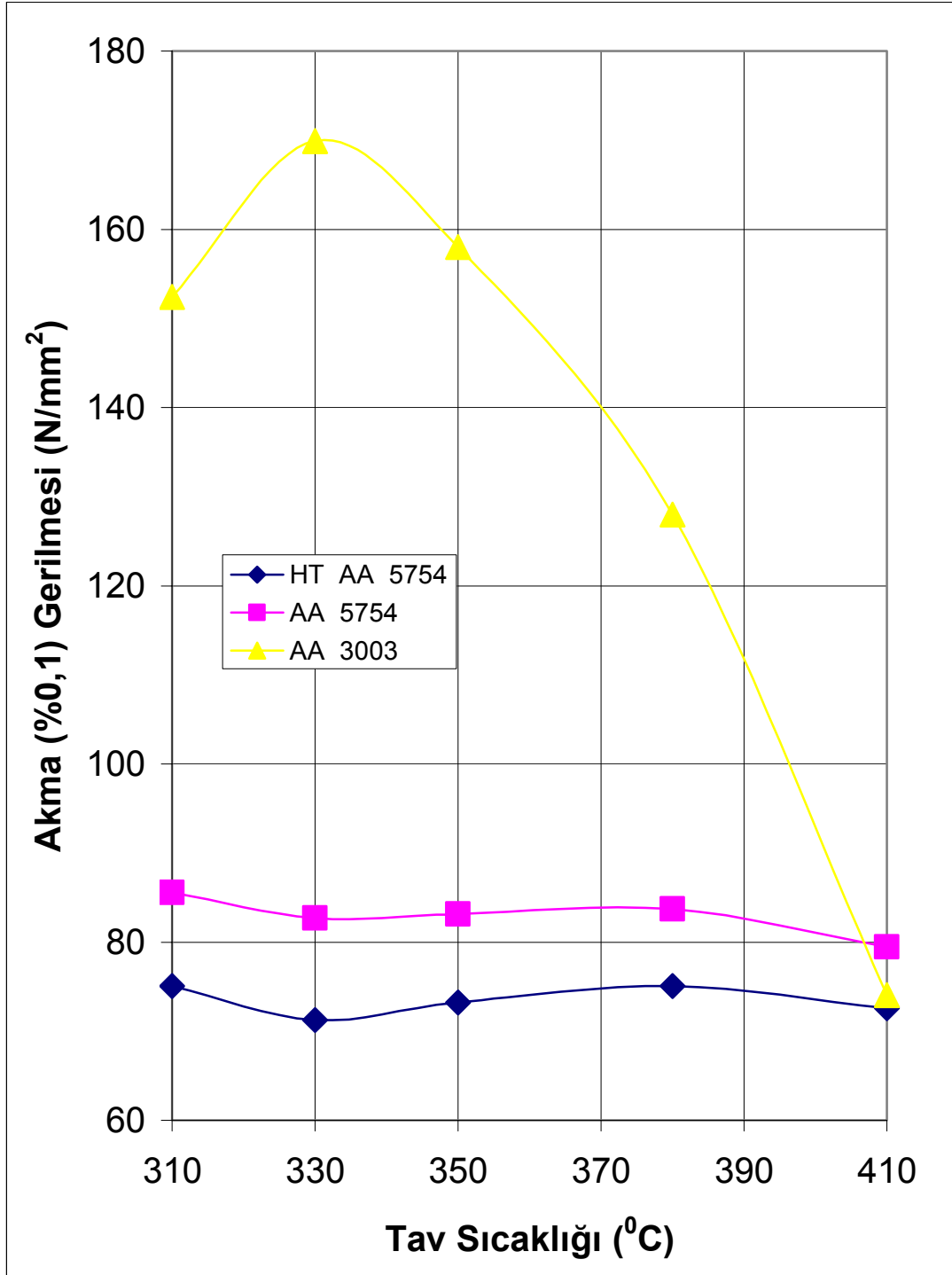
Şekil 4.1.7. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi



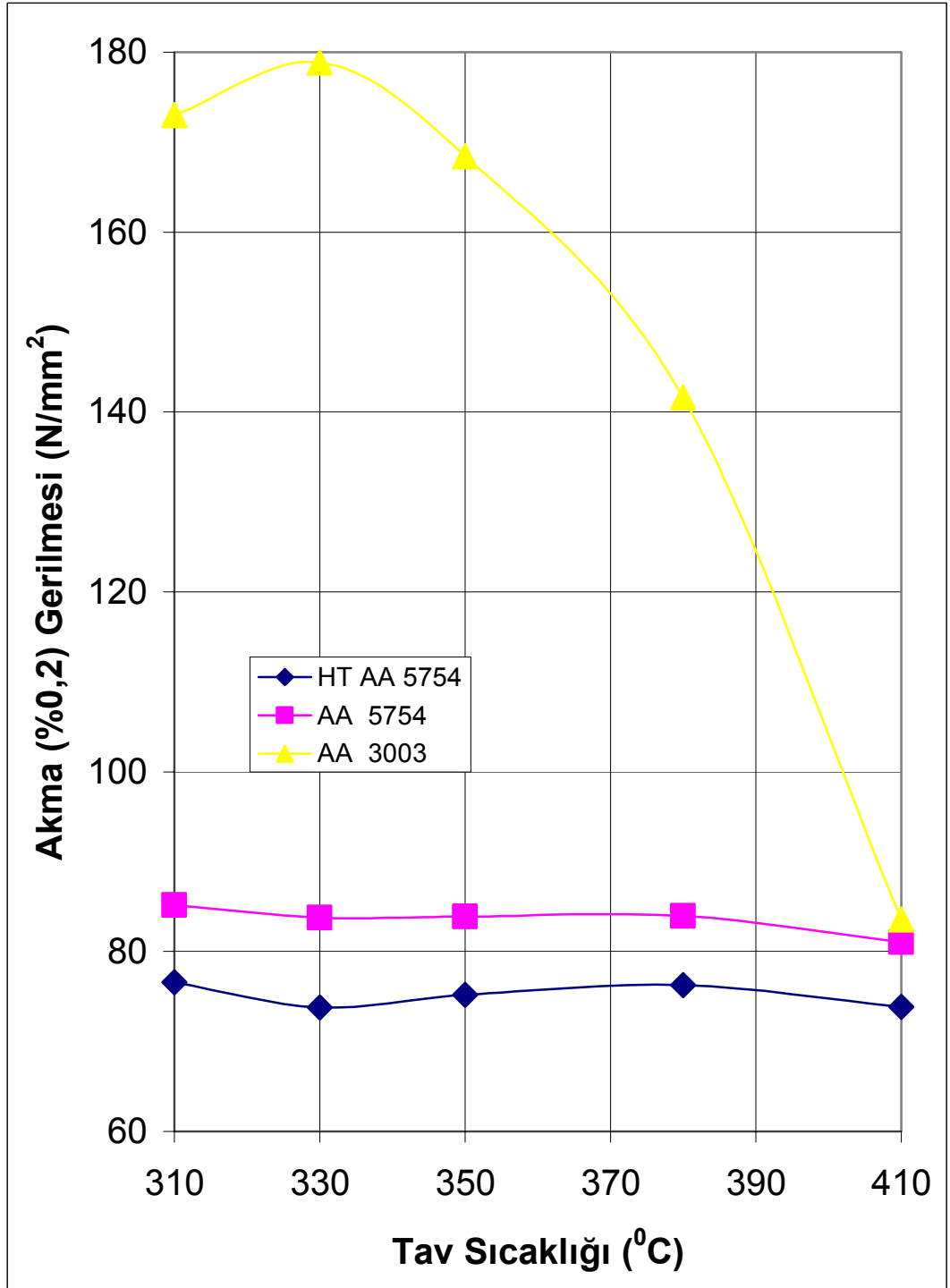
Şekil 4.1.8. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi



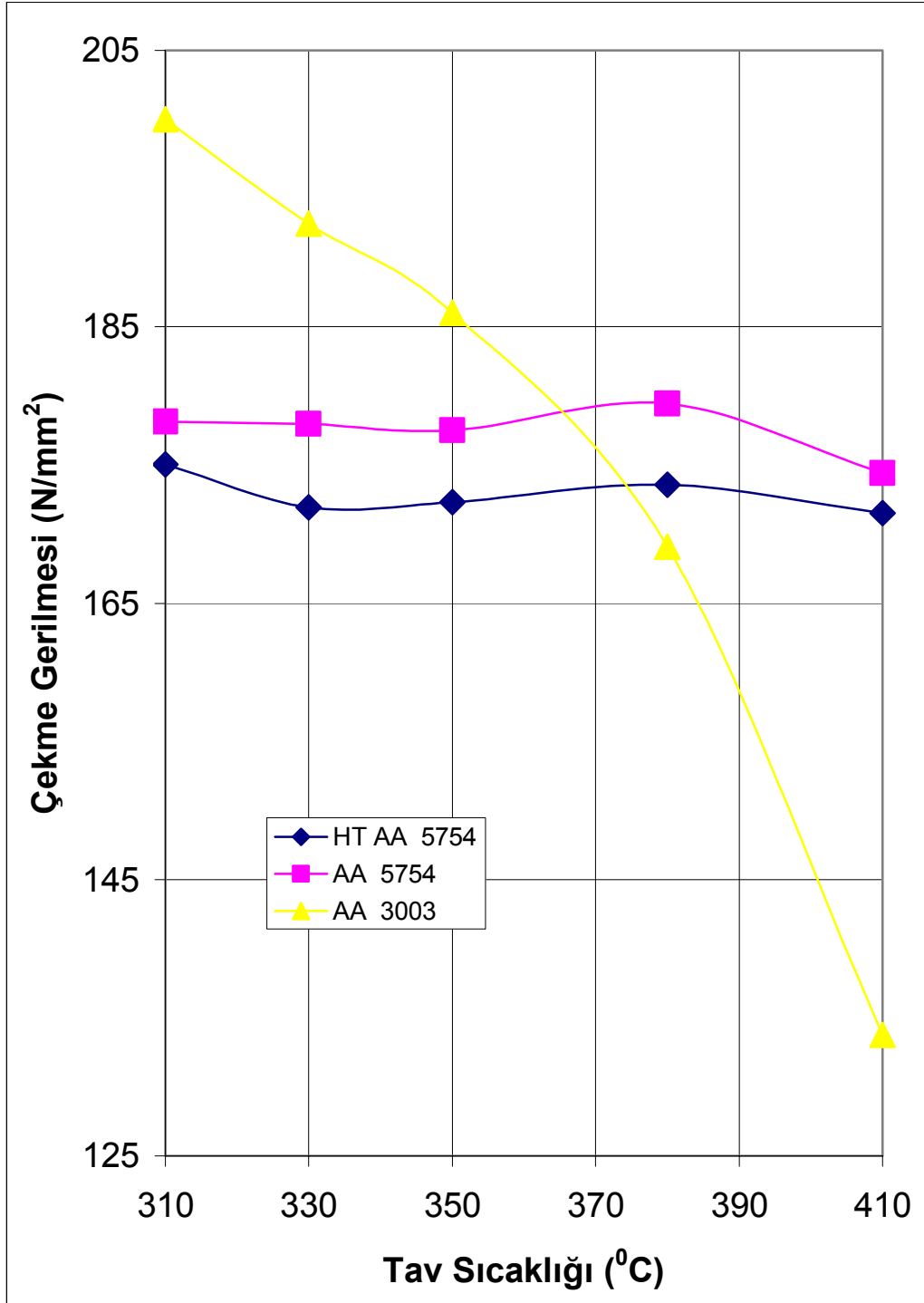
Şekil 4.1.9. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi



Şekil 4.1.10. AA 3003- AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımlar için tav sıcaklığı akma (%0,1) gerilmesi ilişkisi



Şekil 4.1.11. AA 3003- AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımlar için tav sıcaklığı akma (%0,2) gerilmesi ilişkisi



Şekil 4.1.12. AA 3003- AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı çekme gerilmesi ilişkisi

#### 4.2. Tav Parametrelerinin % Uzamaya Etkileri

Üç grup numune üzerinde yapılan deneyler sonucunda farklı tav parametrelerinde elde edilen % uzama değerlerinin değişimi şekil 4.2.1.- 4.2.4. arasında gösterilmiştir.

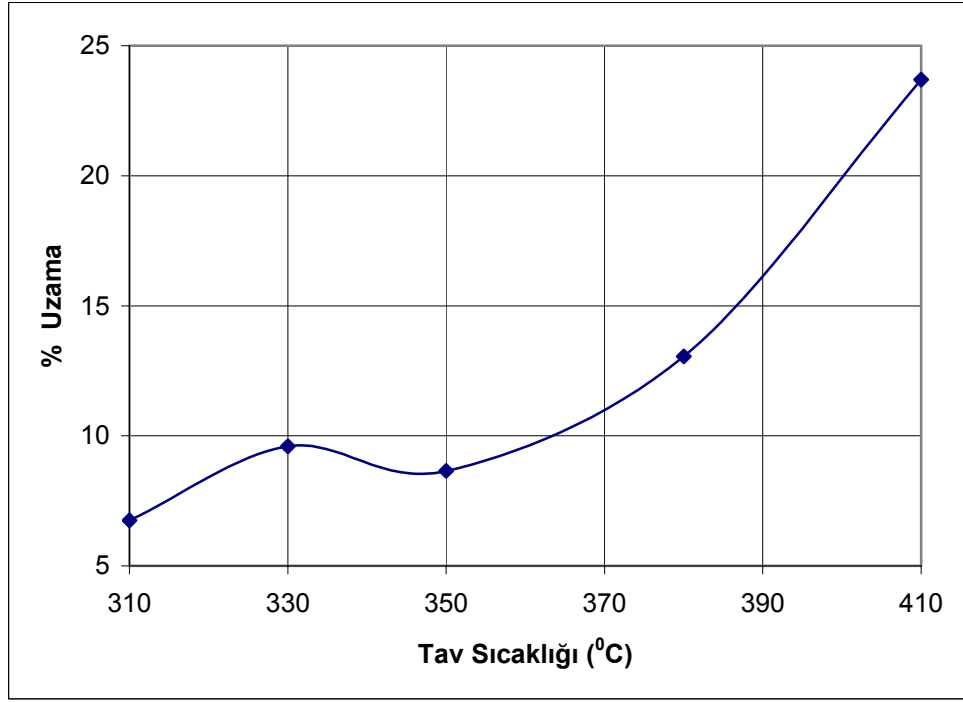
Tavsız AA 3003 alaşımının % uzama değeri 3,10 iken tav sıcaklıklarının artmasıyla % uzama değerleri artış göstermiş ve 410 °C de 4 saat ısıl işleme tabi tutulmuş numunede % uzama değerinin 23,70 değerine ulaştığı gözlenmiştir.

AA 5754 alaşımında ise % uzama değerleri tavsız malzemede 1,65 iken , ısıl işlemler ile %uzama değerlerinin arttığı gözlenmiştir. 310 °C de 4 saat tavlı numunede % uzama değeri 20,8 iken 380 °C de 4 saat tavlı numunede bu değer 22,65 olduğu ve maksimum değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

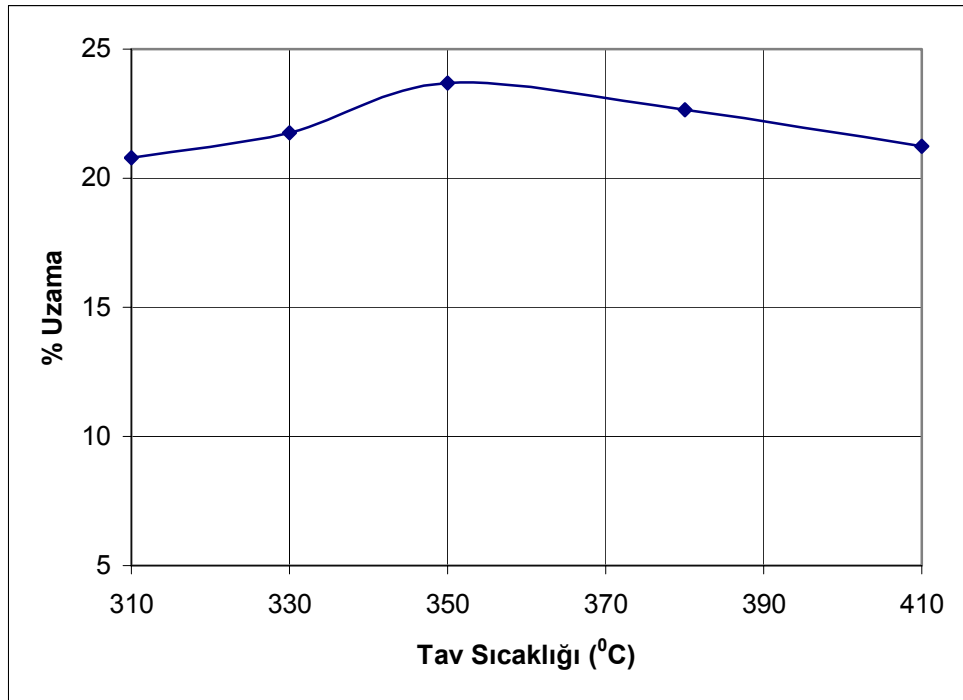
AA 5754 (HT) alaşımında ise 310 °C de 4 saat tavlı numunede % uzama değeri 21,80 iken , 380 °C de 4 saat tavlı numunede bu değer % 24,25 ile maksimum seviyesine ulaşmıştır.

Her iki grup AA 5754 için beklendiği üzere 45° yönünde en yüksek uzama değerleri elde edilmiştir. Ayrıca her iki grupta % Ag (en yüksek çekme miktarındaki uzama değeri ) değeri oldukça yüksek seviyede olup kopma anındaki uzamaya oldukça yakındır.

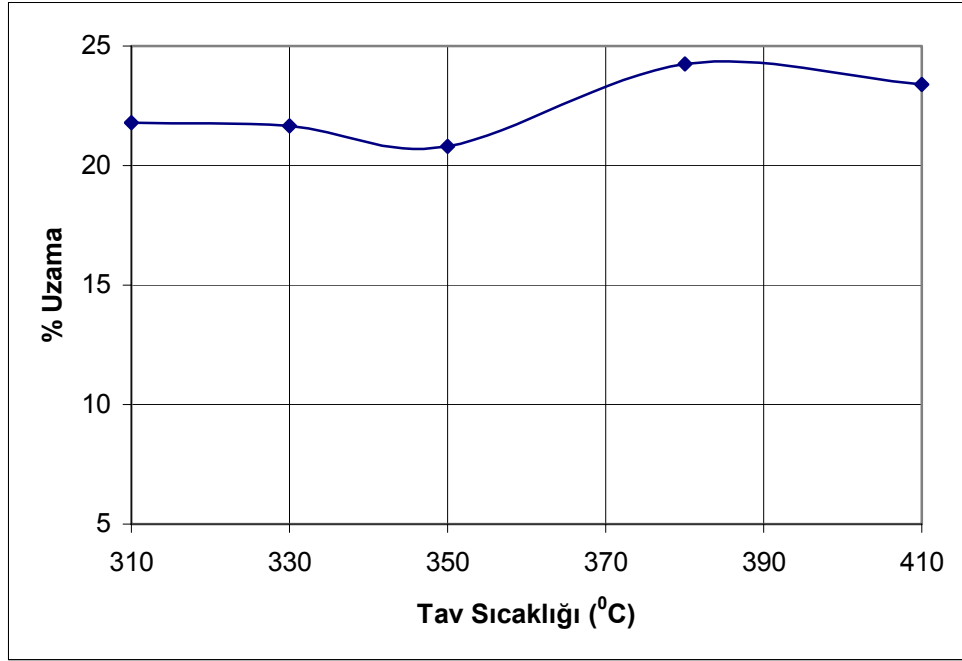




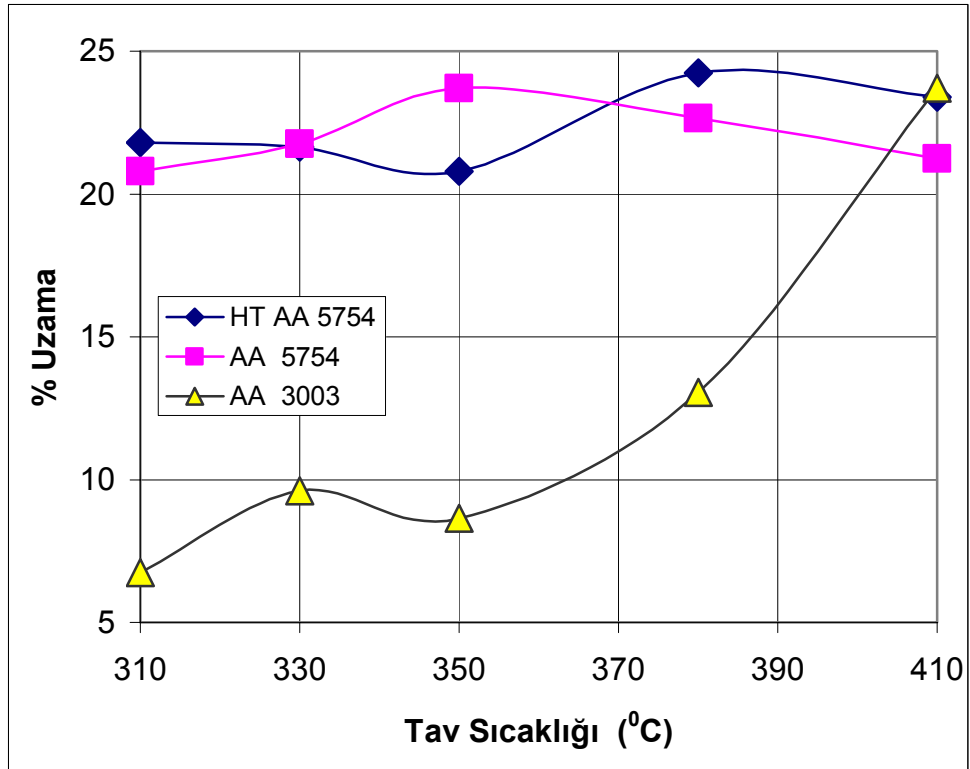
Şekil 4.2.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi



Şekil 4.2.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi



Şekil 4.2.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi



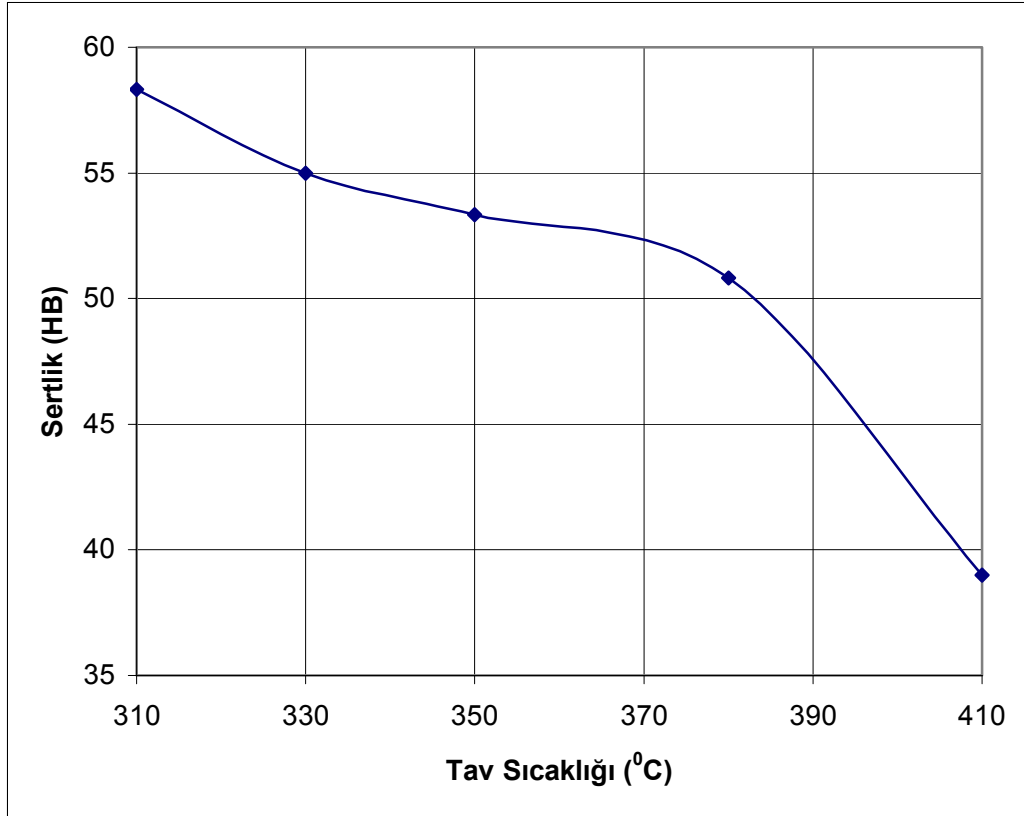
Şekil 4.2.4. AA 3003, AA5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı % uzama ilişkisi

### 4.3. Tav Parametrelerinin Sertliğe Etkileri

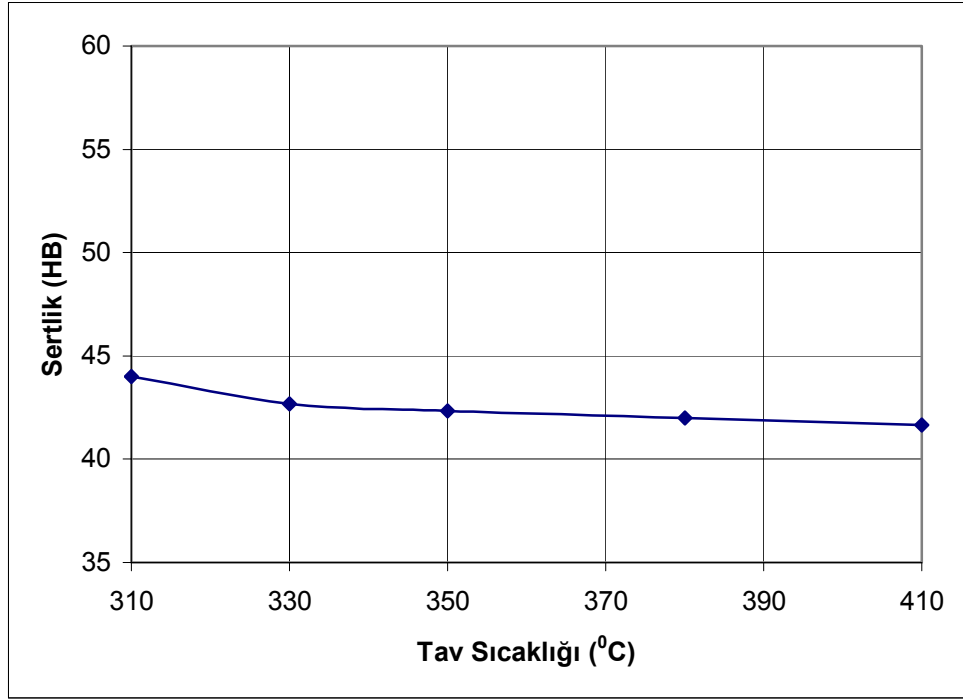
AA 3003 ,AA 5754 ve AA 5754 (HT) numune grupları için tav sıcaklığı sertlik değişimleri Şekil 4.3.1 -4.3.4'e kadar gösterilmiştir.

Genel olarak uę grup numune için tav sıcaklığının artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. AA 3003 için 310 <sup>0</sup>C de 4 saat ısıl işleme tabi tutulmuş alaşımda sertlik değeri 58,33 HB iken , 410 <sup>0</sup>C de 4 saat tavlı numunede bu değer 39 HB olarak tespit edilmiştir.

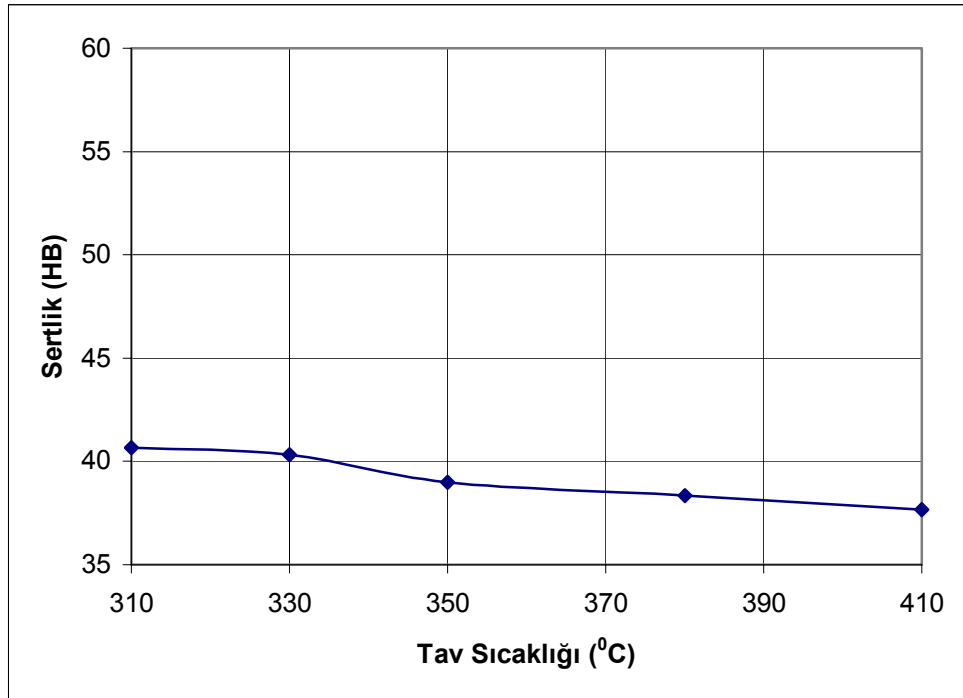
AA 5754 alaşım grubu için sertlikteki dŐŐuŐn AA 3003 alaşımına nazaran daha az olduğu grlmŐtir.



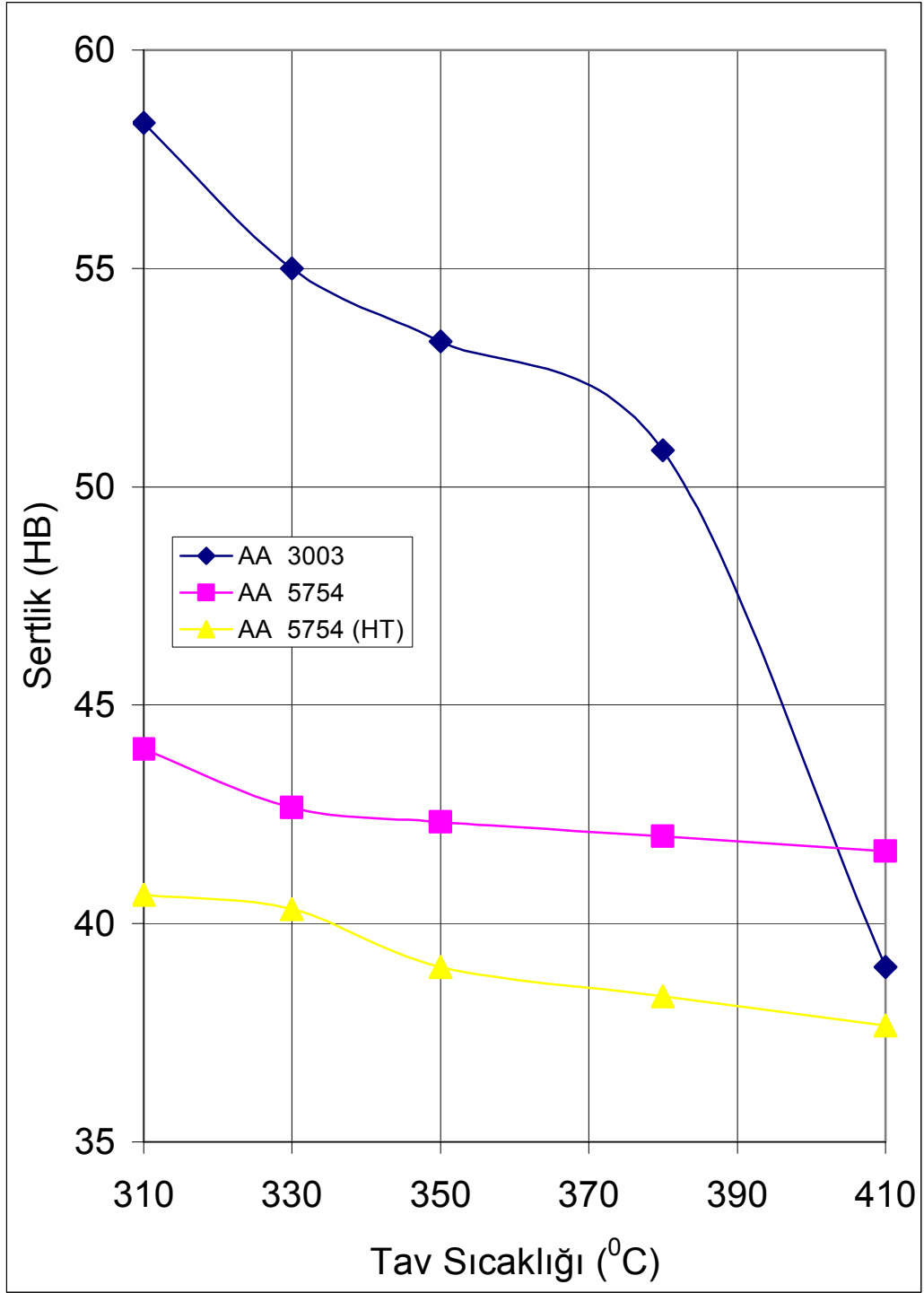
Şekil 4.3.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi



Şekil 4.3.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi



Şekil 4.3.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi



Şekil 4.3.4.. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı sertlik (HB) ilişkisi

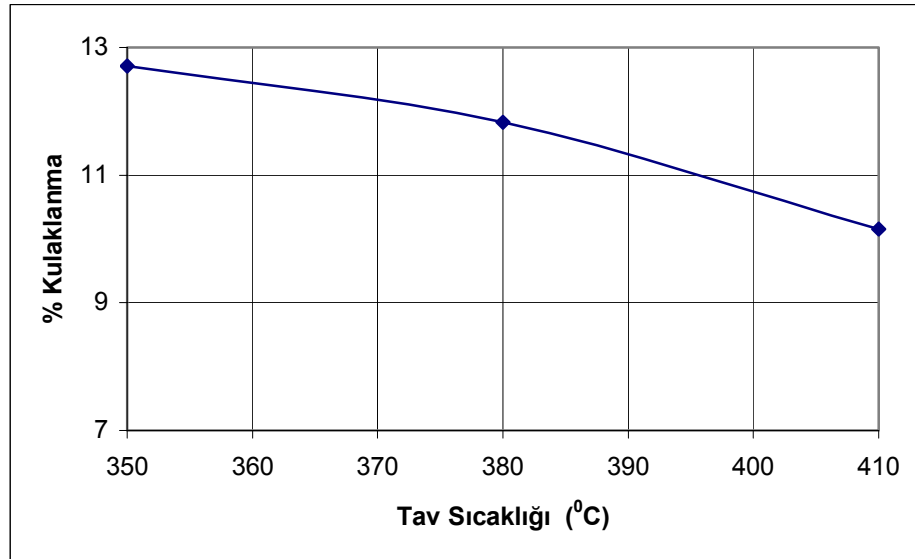
#### 4.4. Tav Parametrelerinin % Kulaklanmaya Etkileri

AA 3003, AA5754 ve AA 5754 (HT) numuneler için elde edilen tav sıcaklığı - % kulaklanma değerleri şekil 4.4.1 – 4.4.4.'e kadar gösterilmiştir.

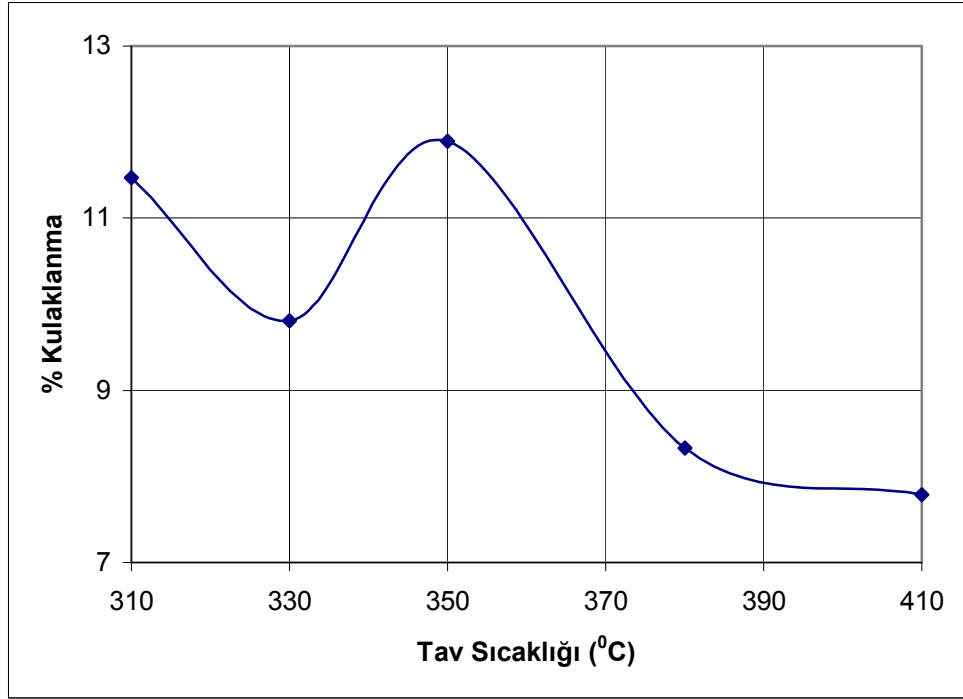
AA 3003 için yapılan kulaklanma deneylerinde 310 °C / 4 saat ve 330 °C / 4 saat ısıtılma tabii tutulmuş numuneler için sonuca ulaşılammış , bu iki tav parametresi için numune deneyler esnasında yırtılmış ve bu iki sıcaklığın derin çekme için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. 3003 için en düşük kulaklanma değeri 410 °C / 4 saat tavlı numunede 10,160 olarak tespit edilmiştir.

AA 5754 için yapılan deneylerde kulaklanmanın en düşük değerini 410 °C / 4 saat tavlı numunede 7,790 olarak , en büyük değeri ise 350 °C / 4 saat tavlı numunede 11,892 olarak tespit edilmiştir.

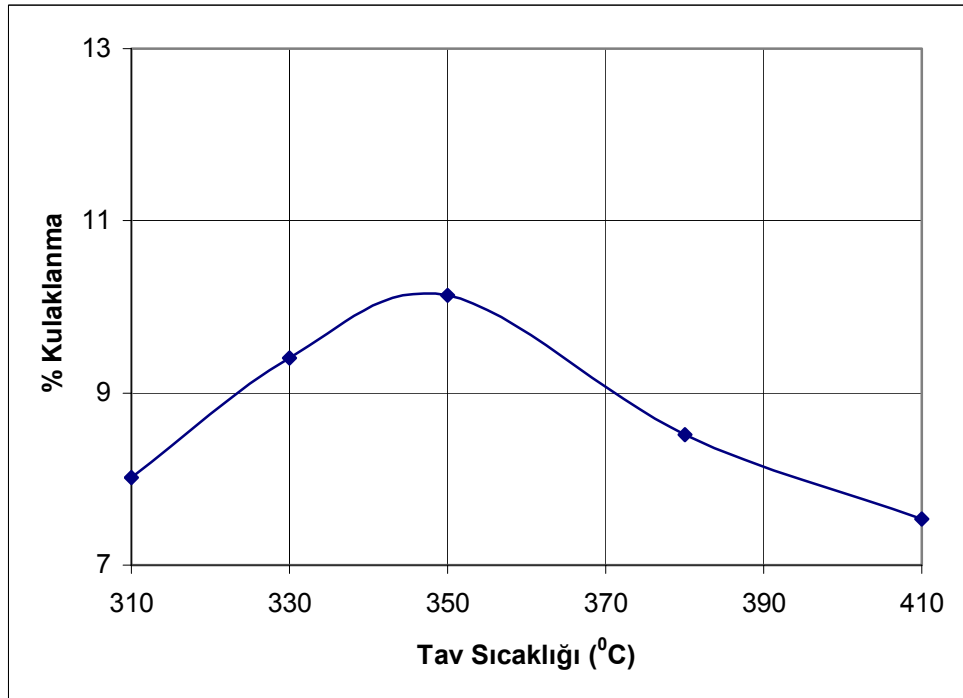
AA 5754 (HT) için ise yine en yüksek kulaklanma değeri 350 °C / 4 saat tavlı numunede 10,135 olarak , en düşük değeri ise 410 °C / 4 saat tavlı numunede 7,536 olarak tespit edilmiştir.



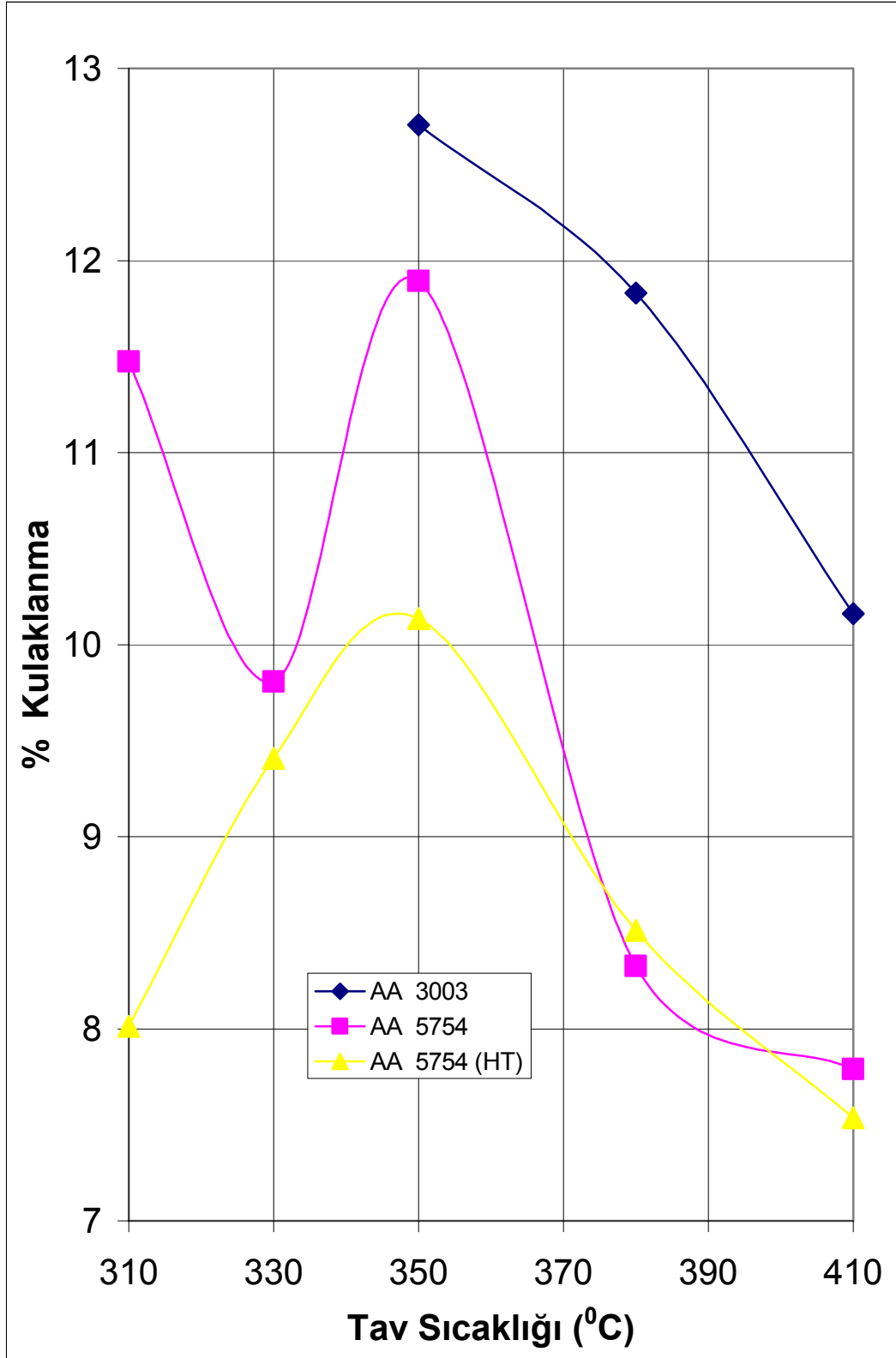
Şekil 4.4.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi



Şekil 4.4.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi



Şekil 4.4.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi



Şekil 4.4.4. AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı % kulaklanma ilişkisi

#### 4.5. Tav Parametrelerinin Erichsen Derinliğine Etkileri



Erichsen derinliği malzemenin derin çekilebilirliğinin bir ölçüsüdür. Bu amaçla AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) için farklı tav parametreleri için gerçekleştirilen erichsen testleri sonucunda elde edilen sonuçlar şekil 4.5.1–4.5.4.'te gösterilmiştir.

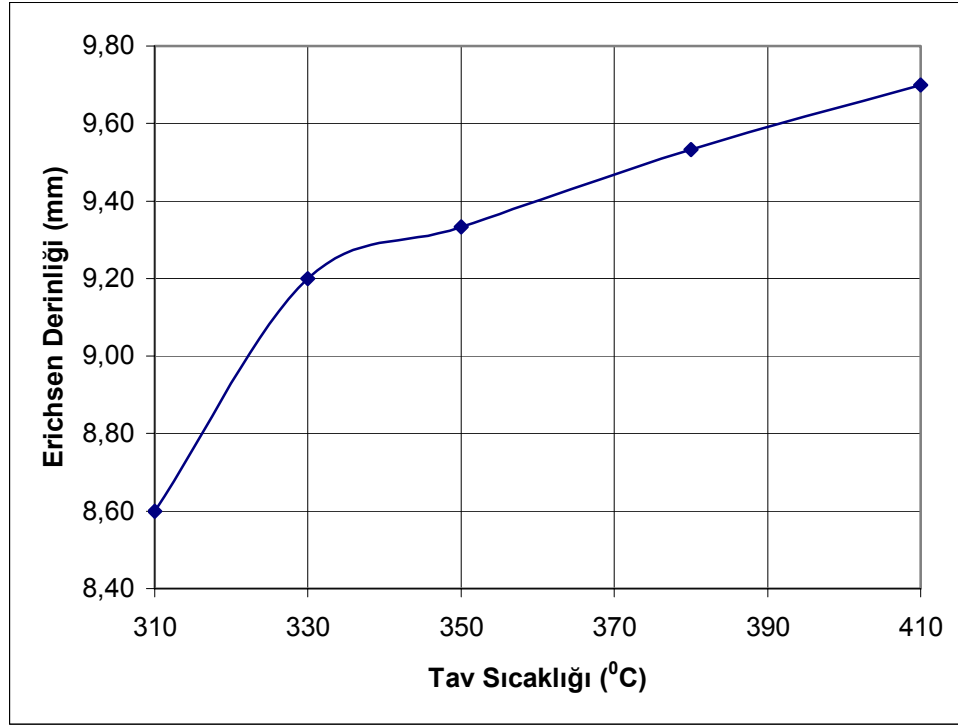
Genel olarak üç grup numune için (AA 5754, AA 5754 (HT), AA 3003) tav sıcaklıklarının artışı ile erichsen derinliğinin arttığı belirlenmiştir.

AA 3003 için erichsen derinliğinin en düşük değeri 310 °C / 4 saat tavlı numunede 8,60 mm iken , 410 °C / 4 saat tavlı numunede 9,70 mm ile en büyük değere ulaşıldığı gözlenmiştir.

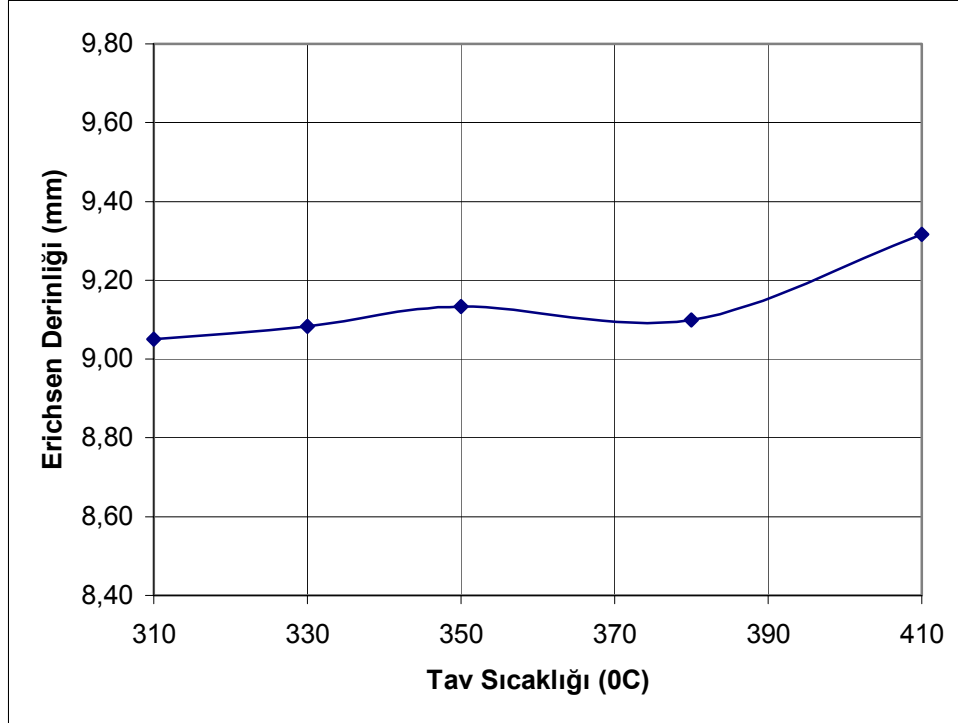
AA 5754 için 310 °C / 4 saat tavlı numunede erichsen derinliği 9,05 mm iken , 410 °C / 4 saat tavlı numunede ise 9,32 mm olduğu görülmüştür.

AA 5754 (HT) için; erichssen derinliğinin en küçük değeri 310 °C / 4 saat tavlı numunede 9,05 mm iken ,en büyük erichsen derinliği ise 410 °C / 4 saat tavlı numunede 9,32 mm olarak elde edilmiştir.

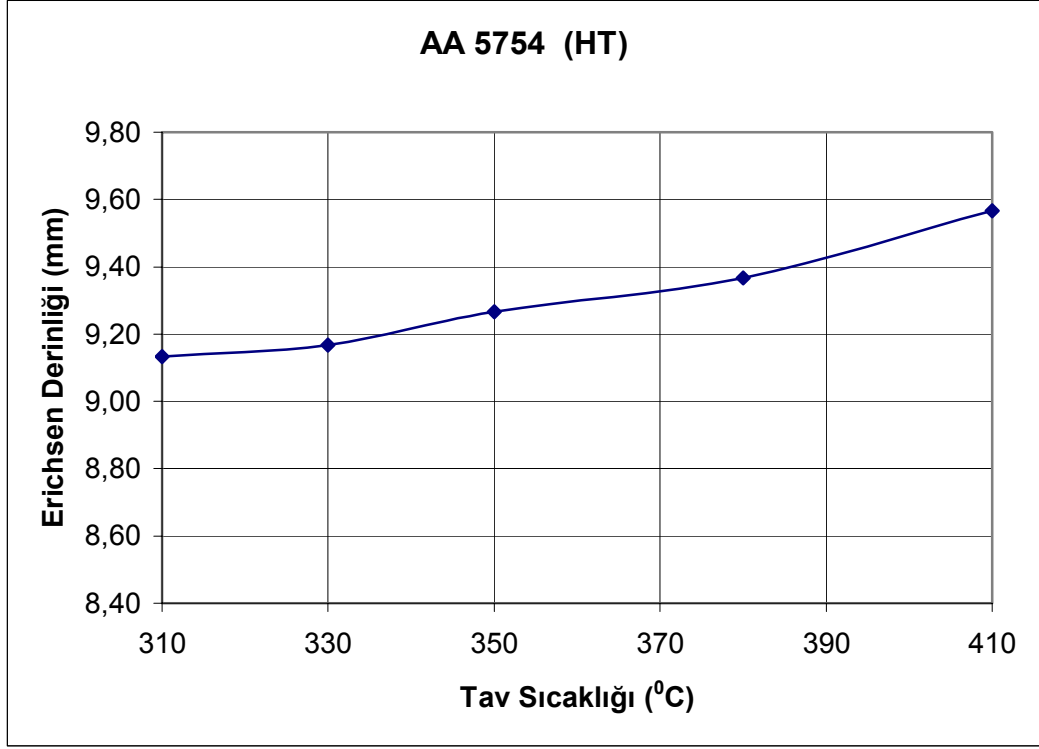
Yapılan testelerde , AA 5754 (HT) numune grubu için , malzemenin hadde yönüne paralel doğrultularda yırtıldığı görülmüştür. Erichsen testi gibi malzemenin iki ekseninde simetrik olarak deforme edildiği test koşullarında malzemenin hadde yönüne paralel yönde yırtılmasının makroskobik yapıdan kaynaklandığı söylenebilir. Bu durumun malzeme kalınlığının azalması ile artış gösterdiği yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür.



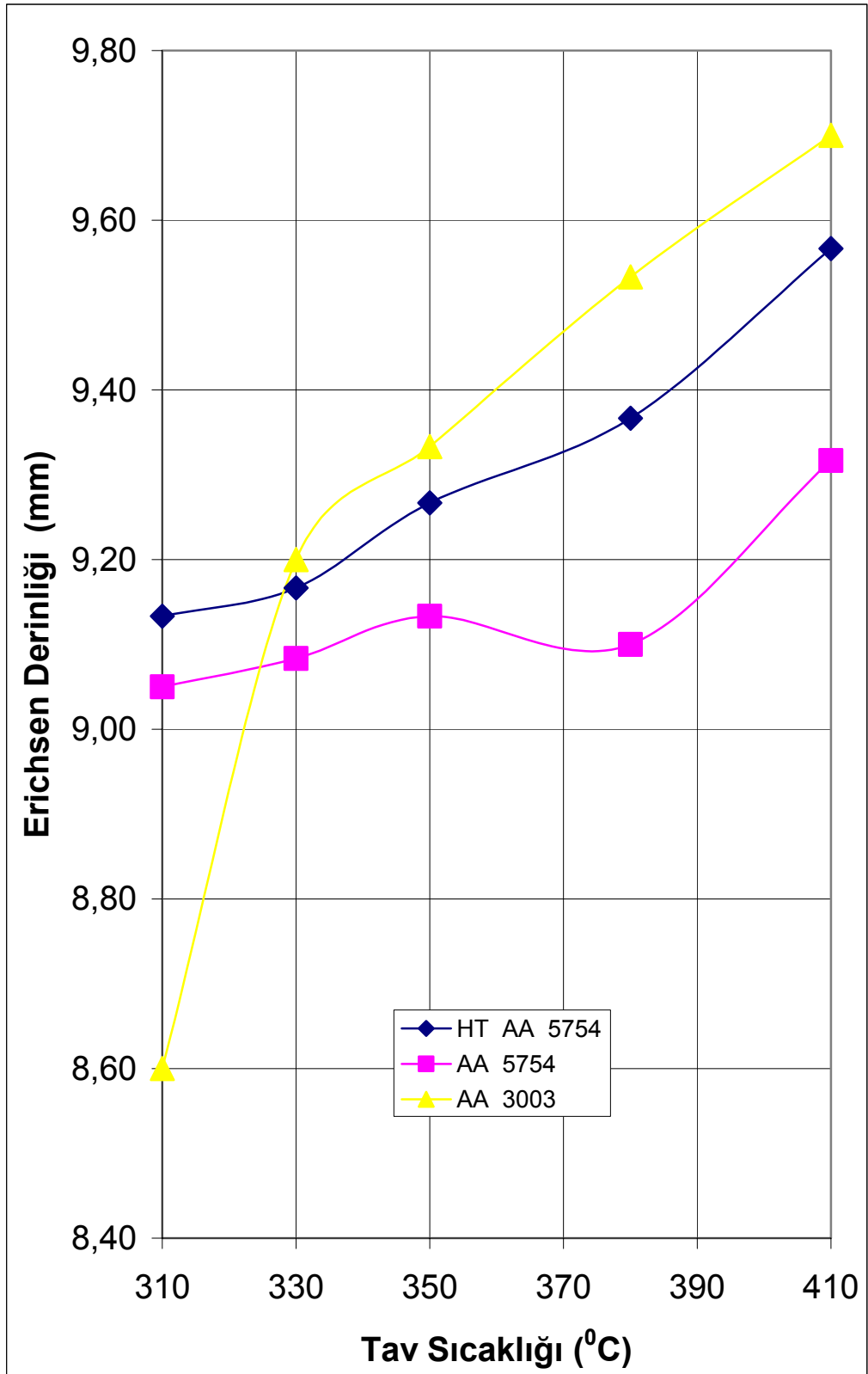
Şekil 4.5.1. AA 3003 alaşımı için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi



Şekil 4.5.2. AA 5754 alaşımı için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi



Şekil 4.5.3. AA 5754 (HT) alaşımı için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi

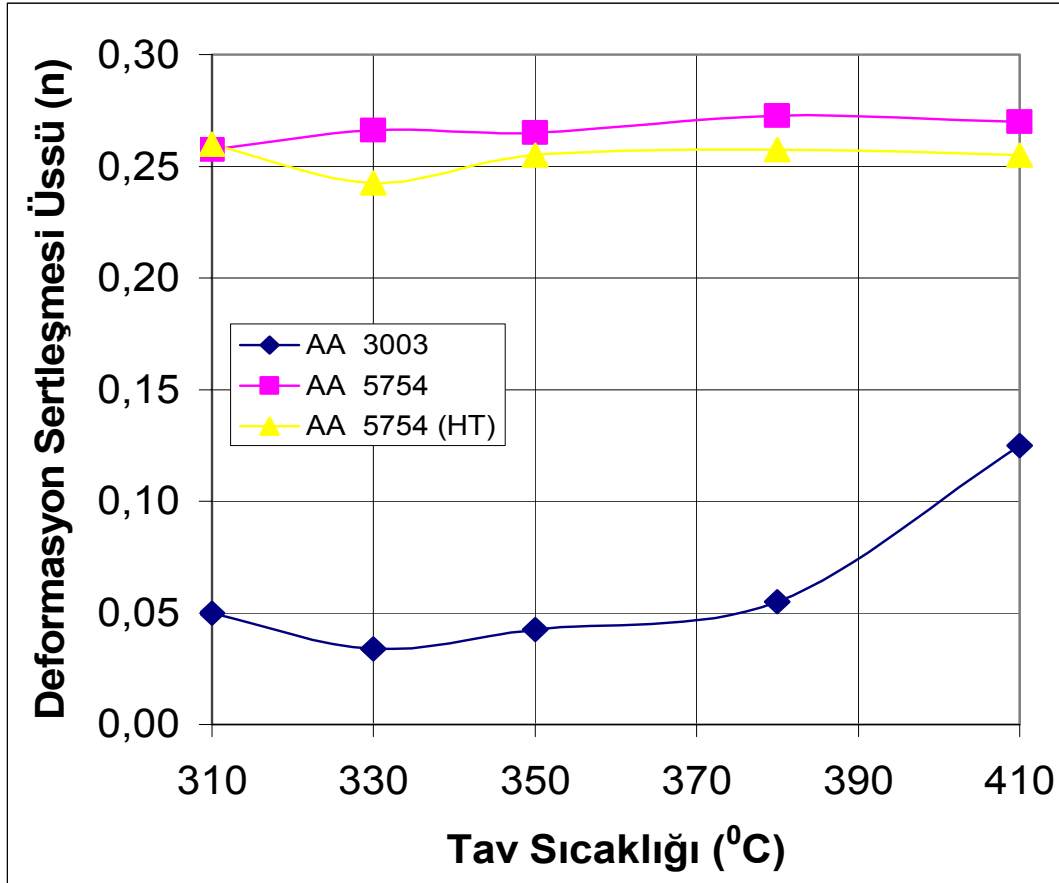


Şekil 4.5.4. AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı erichsen derinliği ilişkisi

#### 4.6. Tav Parametrelerinin Deformasyon Sertleşmesi Üssü (n) Üzerine Etkileri

Malzemelerin homojen deformasyona uğraması ve boyun vermeye direnç göstermesi yüksek “n” değeri ile sağlanır. Yapılan çalışmalar sonucunda soğuk şekillendirilecek alüminyum alaşımları için “n” değerinin mümkün merteye büyük olması gerektiği tespit edilmiştir.

AA 5754 (HT) alaşımı için n değeri daha yüksek beklenirken (Homojenizasyon tavinin malzemeye kazandırdığı stabil durum nedeni ile), aksine yapılan deneyler sonucunda homojenizasyon tavi uygulanmayan AA 5754 için “n” değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.6.1. AA 3003, AA 5754 ve AA 5754 (HT) alaşımları için tav sıcaklığı deformasyon sertleşmesi üssü ilişkisi

#### 4.7. Tav Parametrelerinin Mikroyapı Üzerindeki Etkileri

Üç grup numune üzerinde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuçlar şekil 4.7.1-4.7.27 de gösterilmiştir.

AA 3003 alüminyum alaşımının döküm kalınlığında büyük taneler içerdiği ve bu tanelerin haddeleme sonrasında uzama eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle mangan içeren ve sürekli döküm tekniği ile üretilmiş alaşımlarda , aşırı doymuş bölgenin , ilk gördüğü yeniden kristalleşme sıcaklıklarında büyük taneler ürettiği bilinmektedir. Nispeten kararlı soğumuş orta bölge ise daha küçük taneler üretmektedir.

Sürekli döküm yönteminin malzemeye kazandırdığı aşırı doymuş bir yapı söz konusudur.

Yapılan incelemelerde AA 3003 alaşımının merkez hattı segregasyonunun (MHS) kaba, lamelli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca merkez ile yüzeyler arasında dağılmış bir segregasyondan söz edilebilir.

Merkez hattı segregasyonu (MHS) ; Döküm esnasında dış bölgelerden, iç bölgelere doğru katılma esnasında çözündürülemeyen alaşım elementlerinin en son katılmanın olduğu merkez düzleminde tüp formunda çökeltiler oluşturmasıdır. Yapılan çalışmalar , merkez hattı segregasyonunun malzemenin şekillendirilebilirliğini olumsuz yönde etkilemediği görülmüştür. Örneğin (100 µm kalınlığında) çok yoğun MHS içeren AA 8006 alaşımında dahi oluşan mekanik hataların sebebinin MHS'nin olmadığı görülmüştür. (Dündar, 2004)

AA 5754 (HT) alaşımında , dış kabukta daha küçük tanelerin olduğu , belli bir kalınlık boyunca küçük tanelere sahip olmasına karşın çok düzenli bir tane yapısının oluşmadığı görülmüştür. (Şekil 4.7.19-Şekil 4.7.21) Şekil verilebilirlik açısından malzemelerde üniform bir tane yapısı arzu edilmektedir.

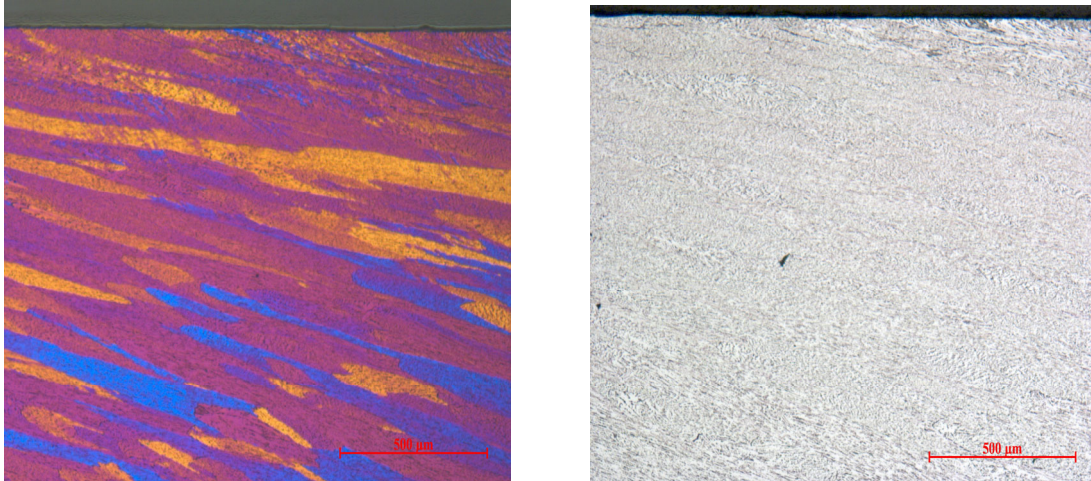
AA 5754 (homojenizasyon tavsız) alaşımında ise aynı özelliklerin görülmesine rağmen sabit tav parametrelerinde iki grup kıyaslandığında AA 5754 (HT) alaşımına göre nispeten daha küçük bir tane yapısına rastlanmıştır.

Yapılan incelemeler neticesinde AA 5754 alaşımı için 310 °C de 4 saat ısıl işlemin malzemenin yeniden kristalleşmesi için yeterli bir tav sıcaklık ve süresi olduğu sonucuna varılmıştır.

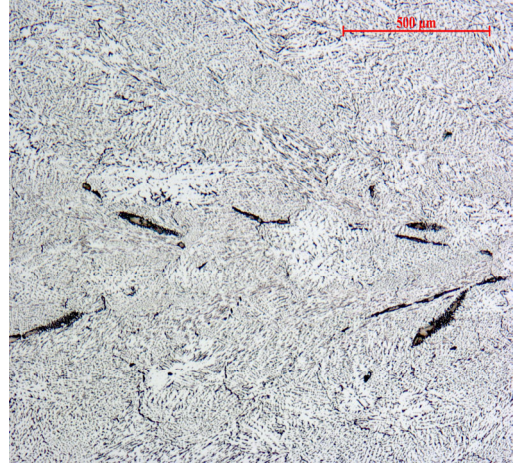
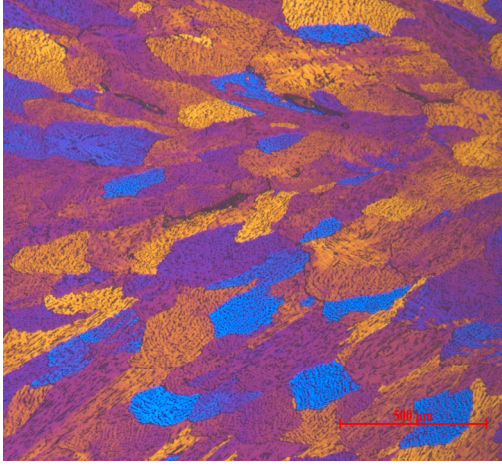
AA 5754 (HT) ve AA 5754 için beklenildiği üzere; 410 °C de tavllanmış numunelerin , 310 °C de tavllanmış numunelere nazaran daha büyük taneler içerdiği ve tanelerin kalınlık boyunca homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir.

AA 5754 (HT) alaşımında intermetalik parçacıkların daha büyük olduğu görülmüştür. Homojenizasyon tavlı sırasında; sürekli döküm yönteminin doğası gereği matris içerisinde çözünen elementler çökelmeye başlar. Çünkü alaşım elementleri aşırı doymuş bölgede kararsız koşullardadırlar. Homojenizasyon tavlı sayesinde yüksek sıcaklıklarda, bu kararsız koşullardaki elementler uygun bölgelere difüze olarak intermetalik partiküllerin büyümesine sebep olurlar.homojenizasyon tavlı sırasında oluşan intermetalik partiküllerin hacimsel oranı , ilk yenden kristalleşme tavlında oluşacak tanelerin sayısını ve büyüklüklerini etkiler. Bu durum “Zener-Drag Mekanizması” olarak bilinmektedir.

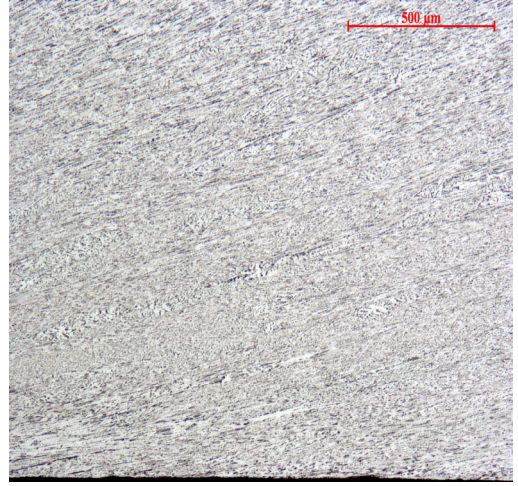
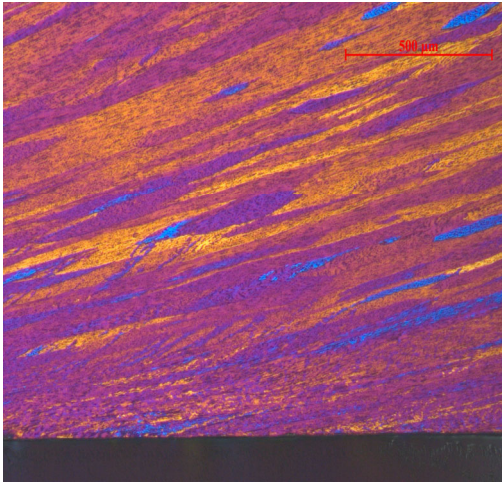
Yapılan incelemeler sonucunda ,AA 5754 (HT) ve AA 5754 MHS'nun bulunduğu görülmüştür. MHS'nun kaba ve partiküler bir yapı sergilediği belirlenmiştir.



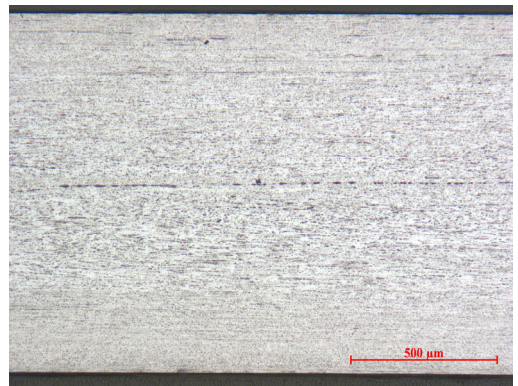
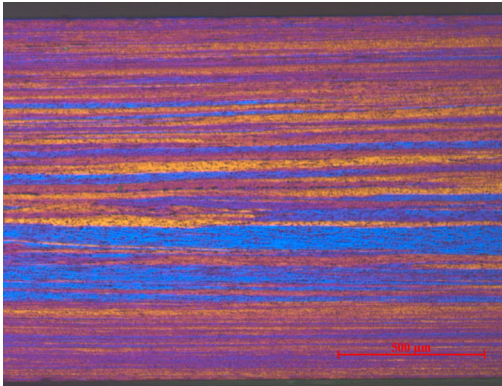
Şekil 4.7.1. AA 3003 alaşımının döküm (üst) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



Şekil 4.7.2. AA 3003 alaşımının döküm (merkez) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)

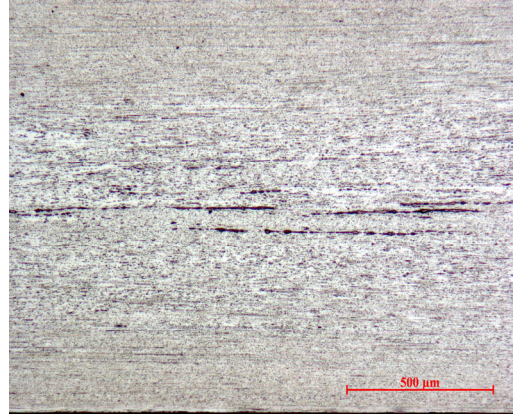
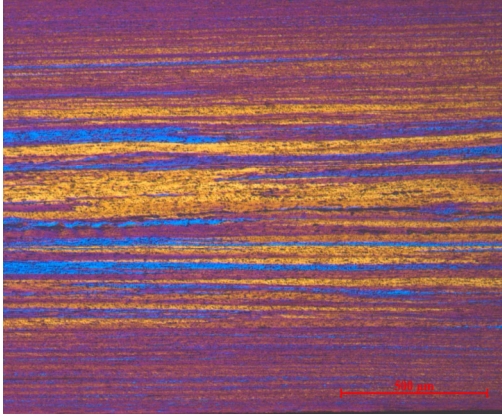


Şekil 4.7.3. AA 3003 alaşımının döküm (alt) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)

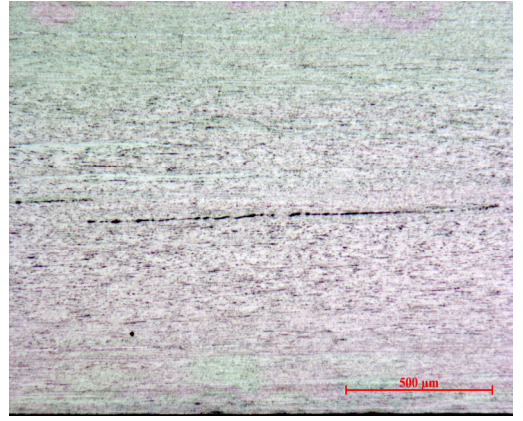
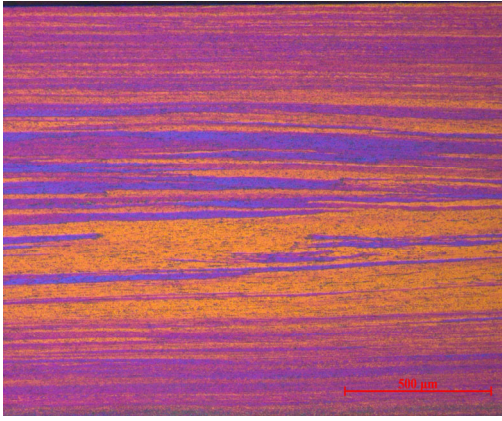


Şekil 4.7.4. AA 3003 alaşımının haddelenmiş - tavsız numunenin iç yapısı (pl-bw)

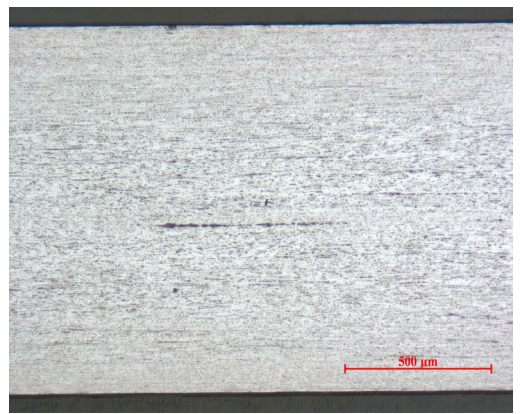
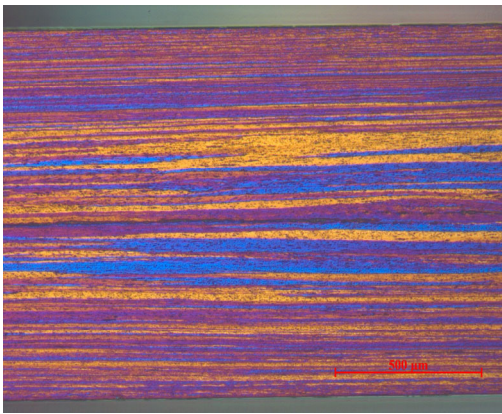




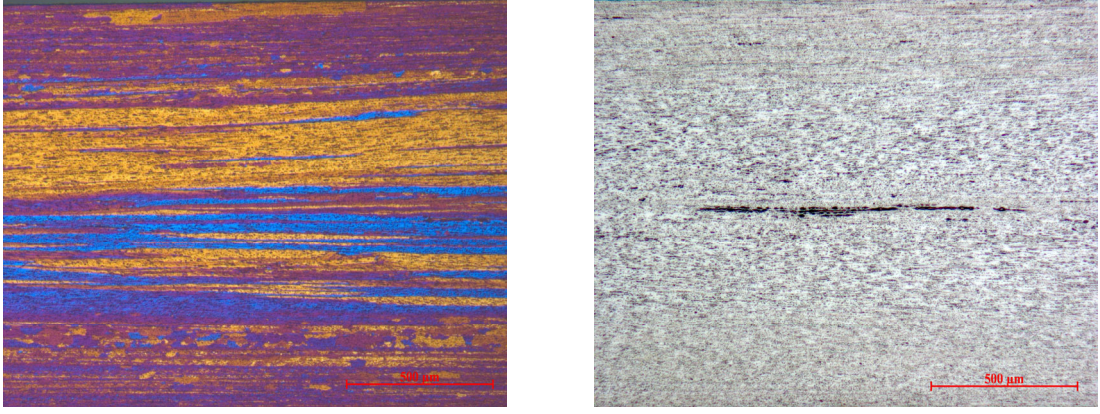
Şekil 4.7.5. AA 3003 alaşımının 310 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



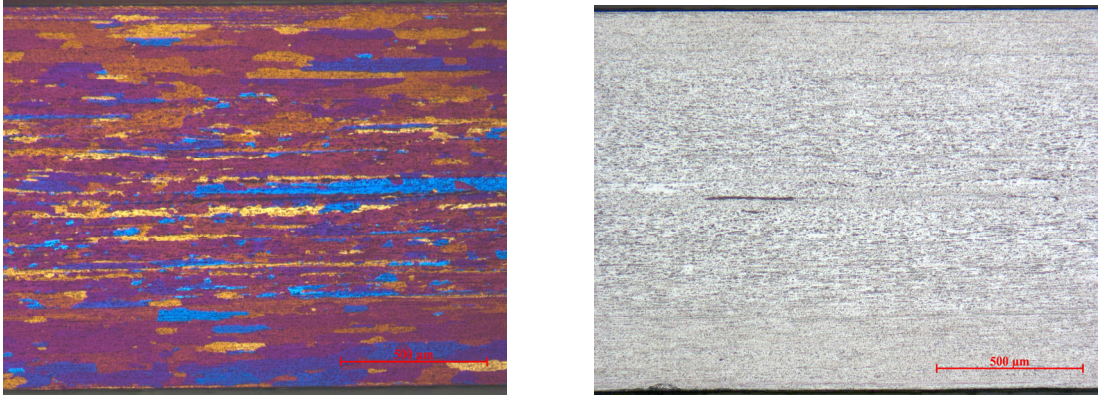
Şekil 4.7.6. AA 3003 alaşımının 330 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



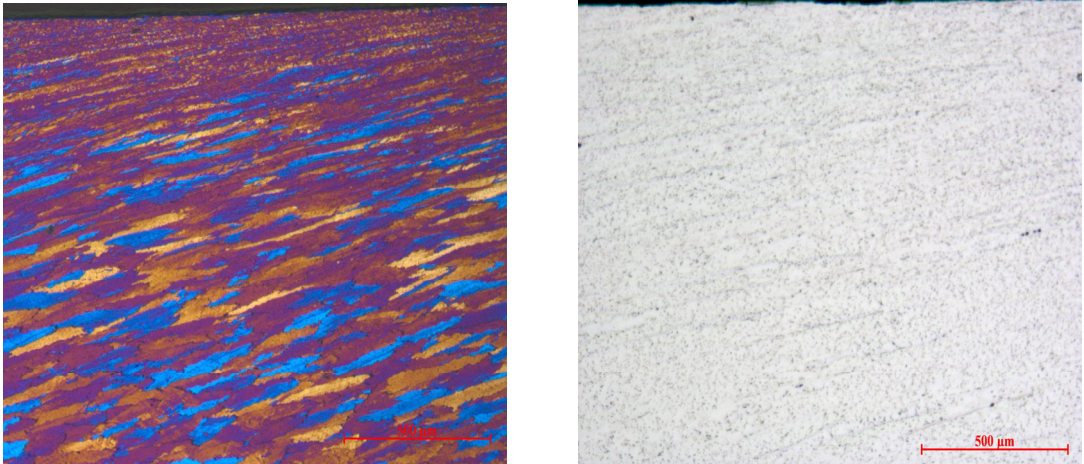
Şekil 4.7.7. AA 3003 alaşımının 350 °C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



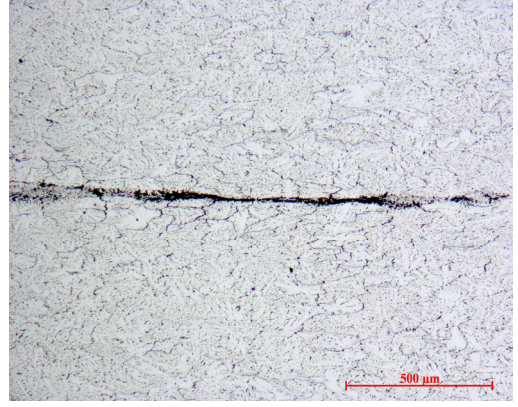
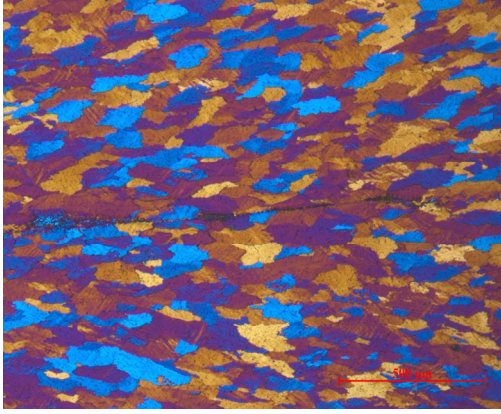
Şekil 4.7.8. AA 3003 alaşıminın 380 °C' de 4 saat tavlannmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



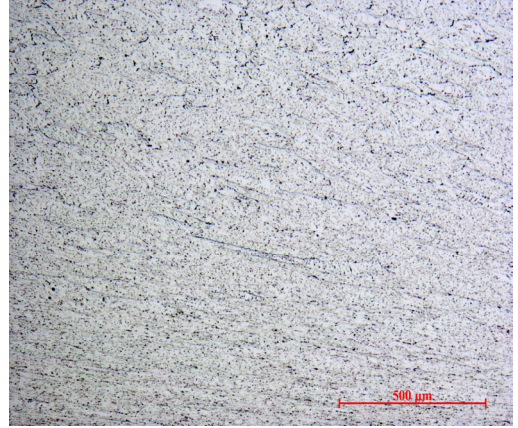
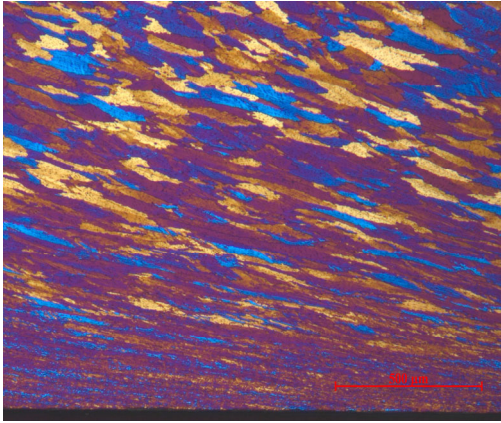
Şekil 4.7.9. AA 3003 alaşıminın 410 °C' de 4 saat tavlannmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



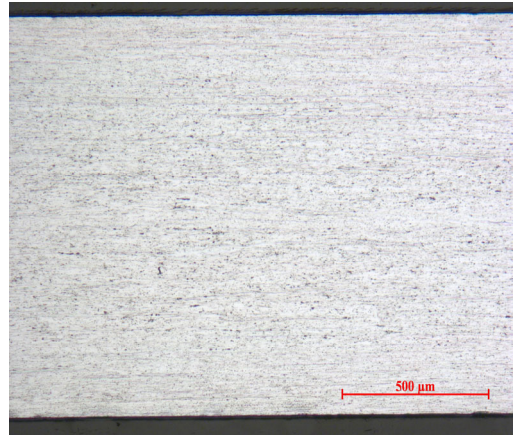
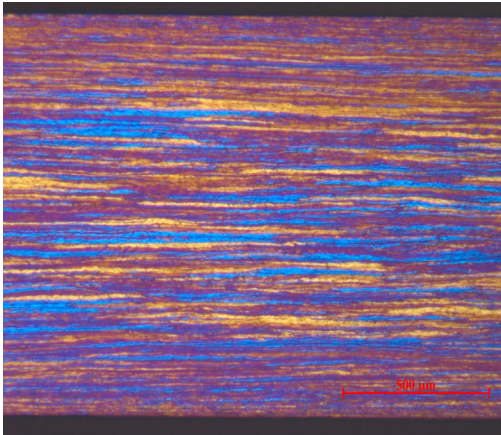
Şekil 4.7.10. AA 5754 alaşıminın döküm (üst) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



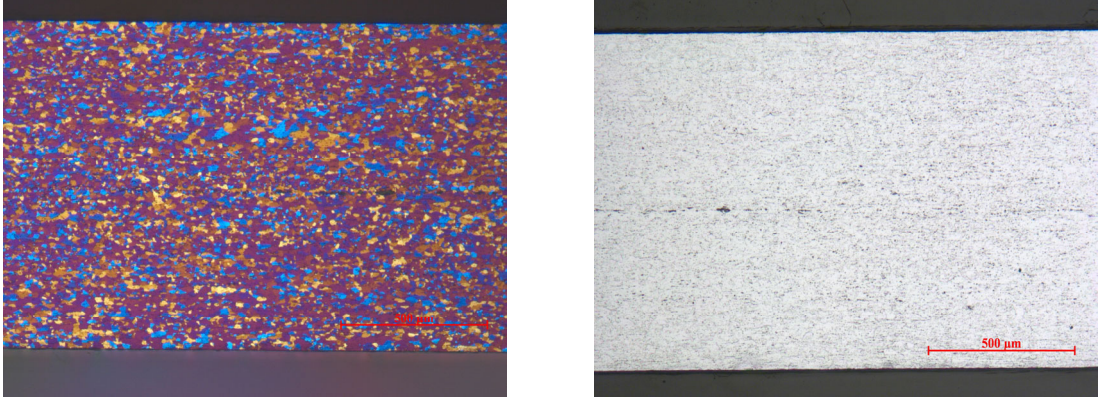
Şekil 4.7.11. AA 5754 alaşımının döküm (merkez) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



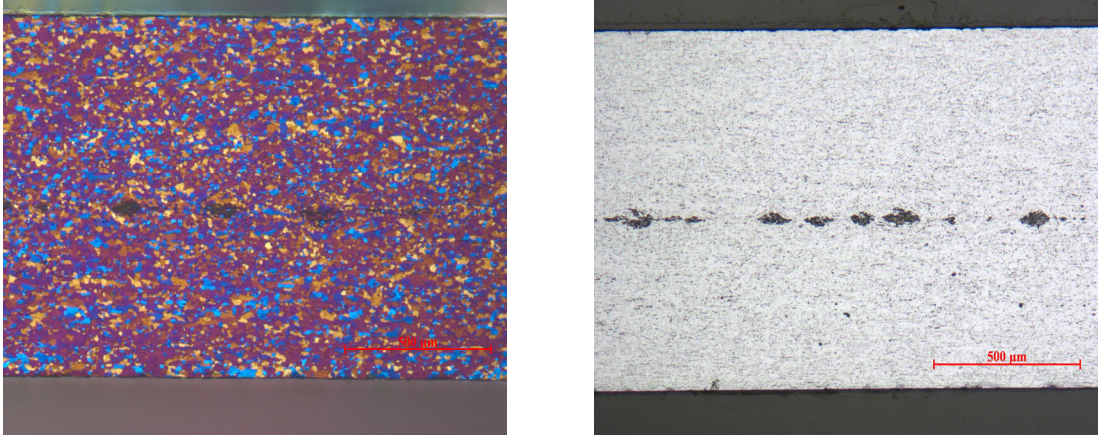
Şekil 4.7.12. AA 5754 alaşımının döküm (alt) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



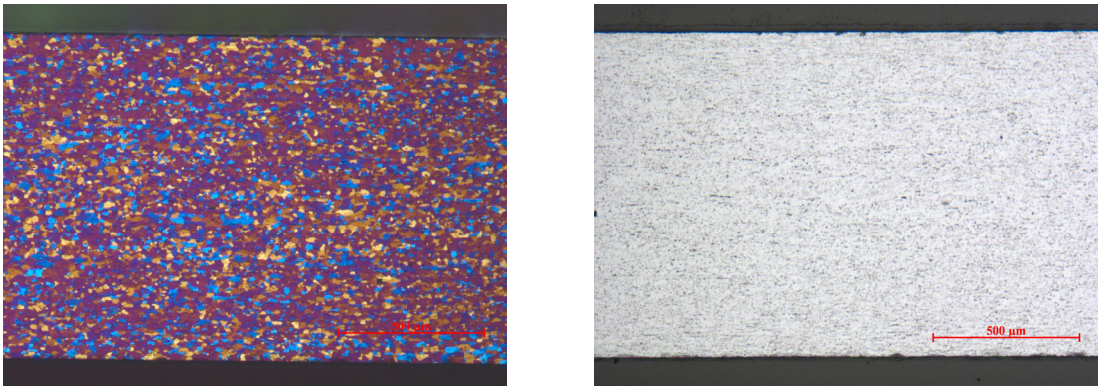
Şekil 4.7.13. AA 5754 alaşımının haddelenmiş - tavsız numunenin iç yapısı (pl-bw)



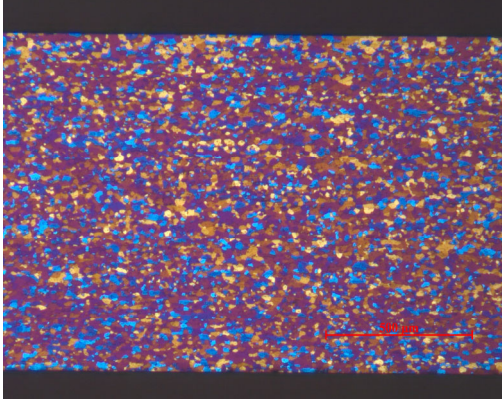
Şekil 4.7.14. AA 5754 alaşımının 310<sup>0</sup>C' de 4 saat tavlanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



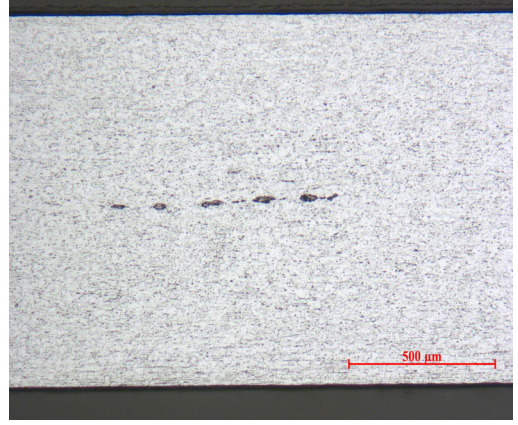
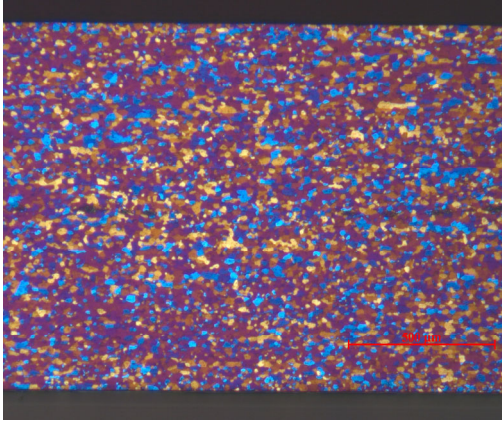
Şekil 4.7.15. AA 5754 alaşımının 330<sup>0</sup>C' de 4 saat tavlanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



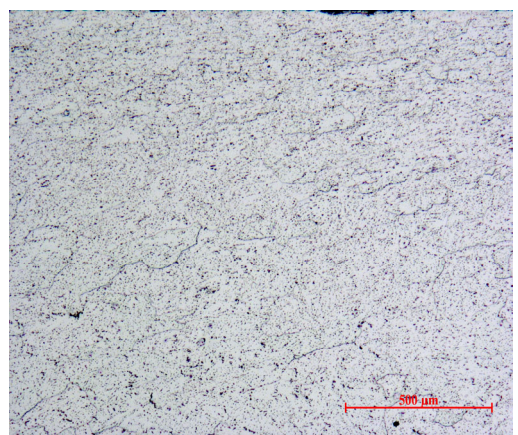
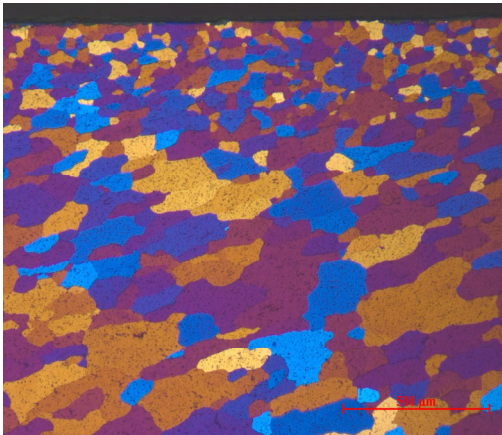
Şekil 4.7.16. AA 5754 alaşımının 350<sup>0</sup>C' de 4 saat tavlanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



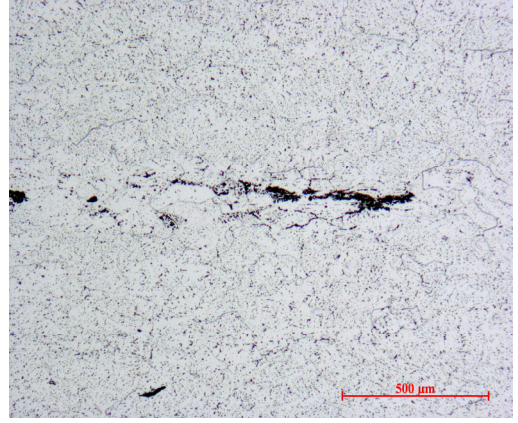
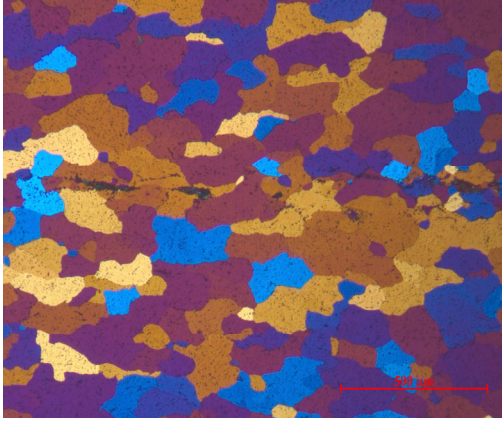
Şekil 4.7.17. AA 5754 alaşımının 380<sup>0</sup>C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



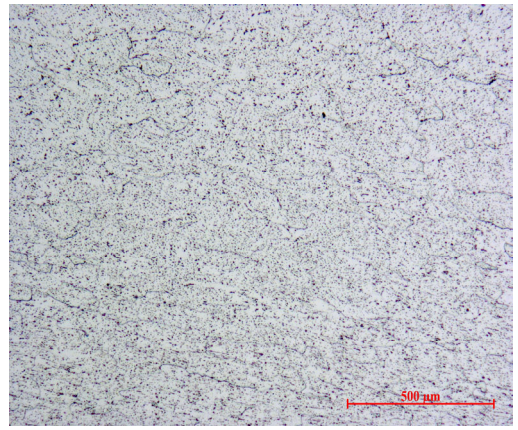
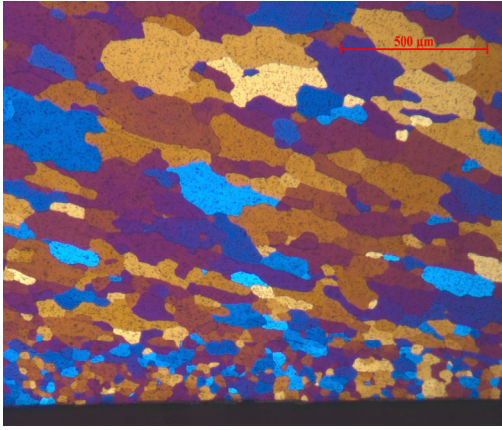
Şekil 4.7.18. AA 5754 alaşımının 410<sup>0</sup>C' de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



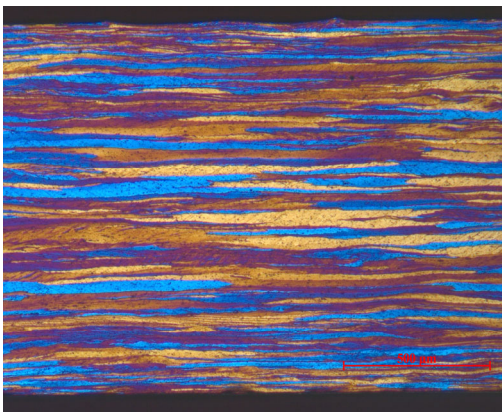
Şekil 4.7.19. AA 5754 (HT) alaşımının döküm (üst) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



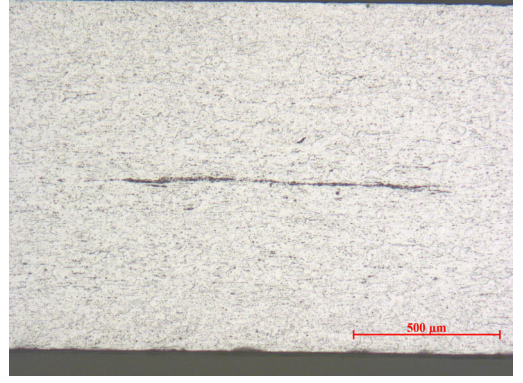
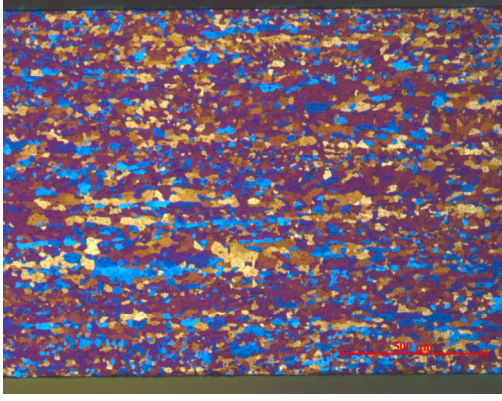
Şekil 4.7.20. AA 5754 (HT) alaşımının döküm (merkez) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



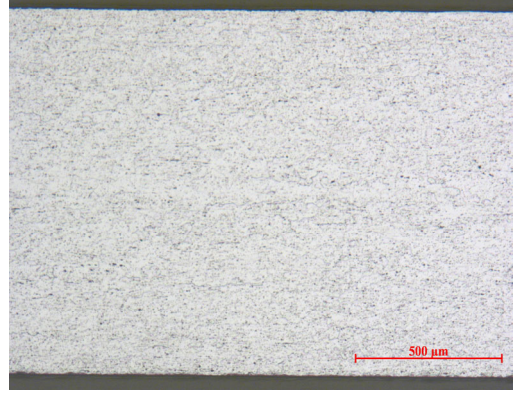
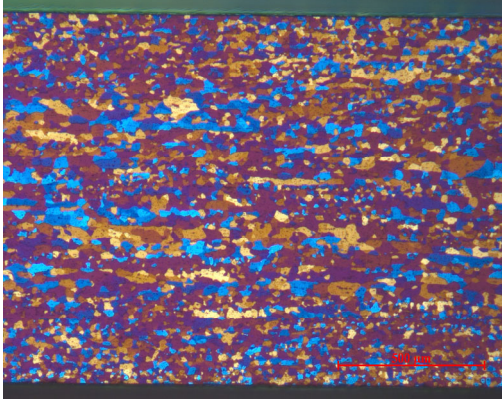
Şekil 4.7.21. AA 5754 (HT) alaşımının döküm (alt) kalınlığındaki iç yapısı (pl-bw)



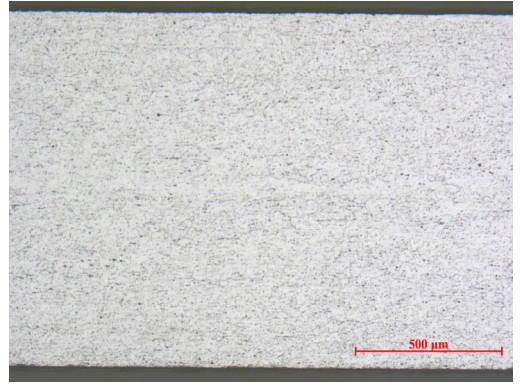
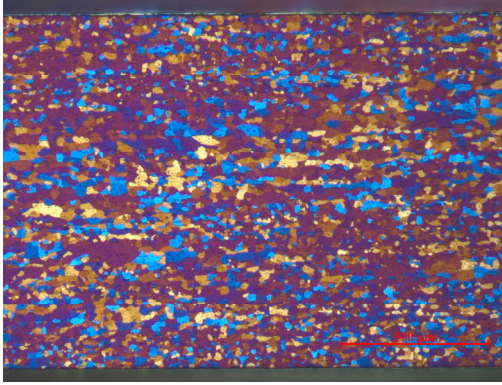
Şekil 4.7.22. AA 5754 (HT) alaşımının haddelenmiş - tavsız numunenin iç yapısı (pl-bw)



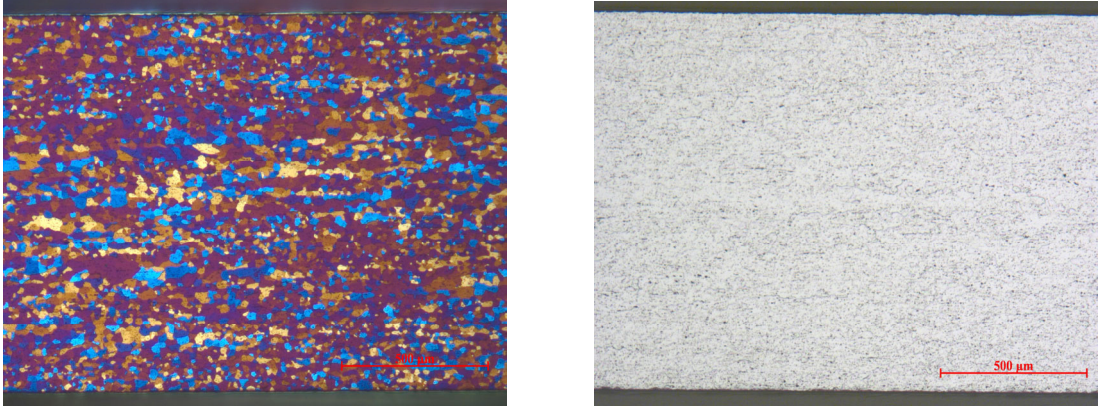
Şekil 4.7.23. AA 5754 (HT) alaşımının 310 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



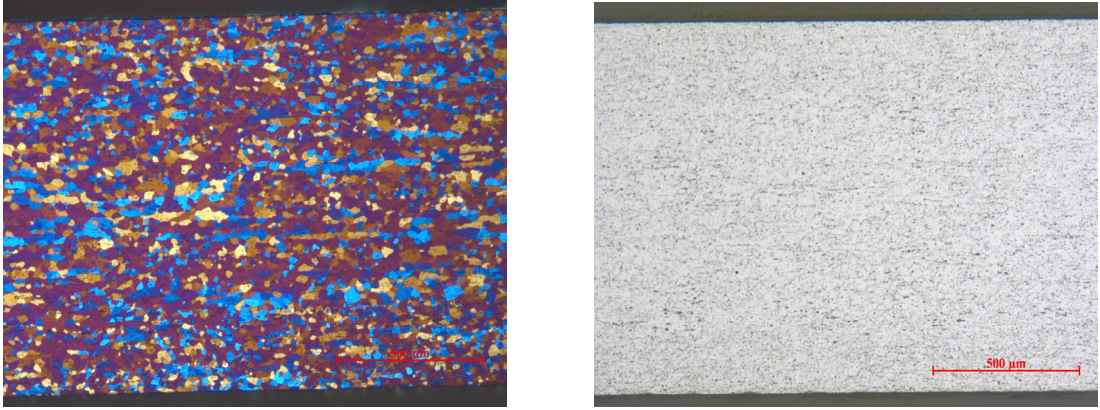
Şekil 4.7.24 AA 5754 (HT) alaşımının 330 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



Şekil 4.7.25. AA 5754 (HT) alaşımının 350 °C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



Şekil 4.7.26 AA 5754 (HT) alaşımının 380<sup>0</sup>C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)



Şekil 4.7.27.AA 5754 (HT) alaşımının 410 <sup>0</sup>C de 4 saat tavllanmış numunenin iç yapısı (pl-bw)

#### 4.8. Tav Parametrelerinin Prizmatik Derin Çekilebilme Özellikleri Üzerine Etkileri

Numunelerin prizmatik derin çekme prosesindeki davranışlarının belirlenebilmesi maksadı ile her tav parametresi için dörder adet 80X80X1,2 mm boyutlarında prizmatik çekme numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde prizmatik çekme deneyleri gerçekleştirilmiş ve malzemelerin prizmatik çekilebilme davranışlarının tav sıcaklıklarına bağlı olarak değişimi gözlenmiştir.

AA 3003 alüminyum alaşımı için yapılan testlerde ; 310 <sup>0</sup>C / 4 saat ve 330 <sup>0</sup>C / 4 saat tavlı numunelerin diğer tav parametrelerine nazaran kötü bir prizmatik çekilebilirlik özelliği gösterdikleri tespit edilmiştir. Düşük kap derinliklerinde dahi bu numunelerde erken yırtılma eğilimine rastlanmıştır. 410 <sup>0</sup>C / 4 saat tavlı



numunelerde ise sıvanma tehlikesi baş göstermiştir. Bu tav parametresinde çalışma yapılması halinde derin çekme şartlarının (yağlama , çekme hızı , v.b.) optimum seviyelerde tutulması önerilebilir. AA 3003 alaşımı için elde edilen sonuçlara bakıldığında en kötü sonuçların, 310 °C / 4 saat ve 330 °C / 4 saat tavlı numunelerde elde edildiği görülmüştür. En başarılı sonuçlar ise ;410 °C / 4 saat tavlı numunede sıvanma tehlikesine rağmen elde edilmiştir.

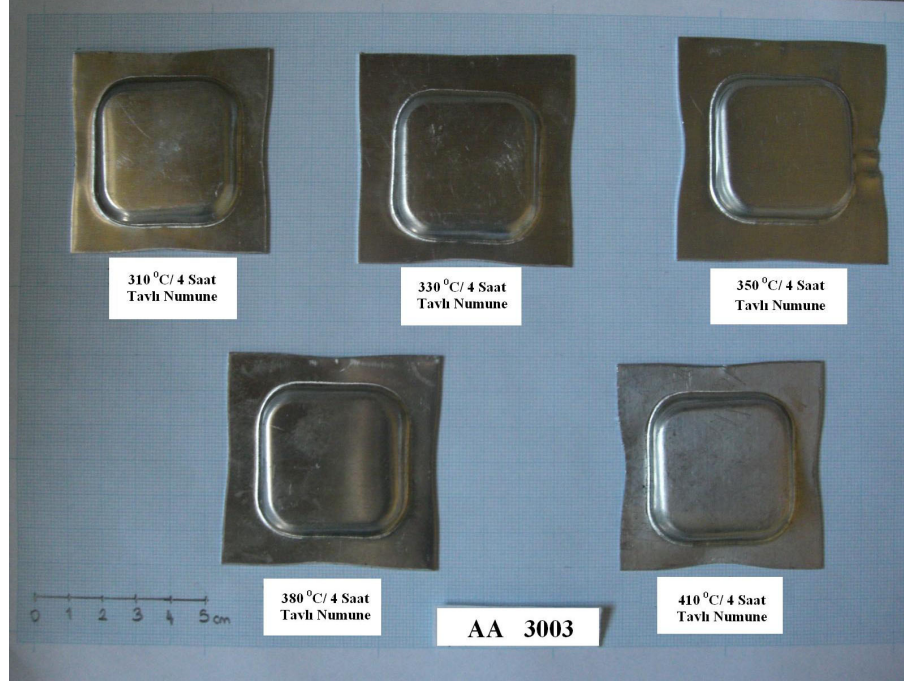
AA 5754 alaşımı için en iyi test sonucu 410 °C / 4 saat tavlı numunede elde edilmiştir. Diğer tav parametreleri için elde edilen sonuçlar hemen hemen aynı özellikleri göstermektedirler.

AA 5754 (HT) alaşımında ise beklenildiği üzere elde edilen deney sonuçlarının diğer grup AA 5754 alaşımına göre nispeten daha iyi olduğu görülmüştür.

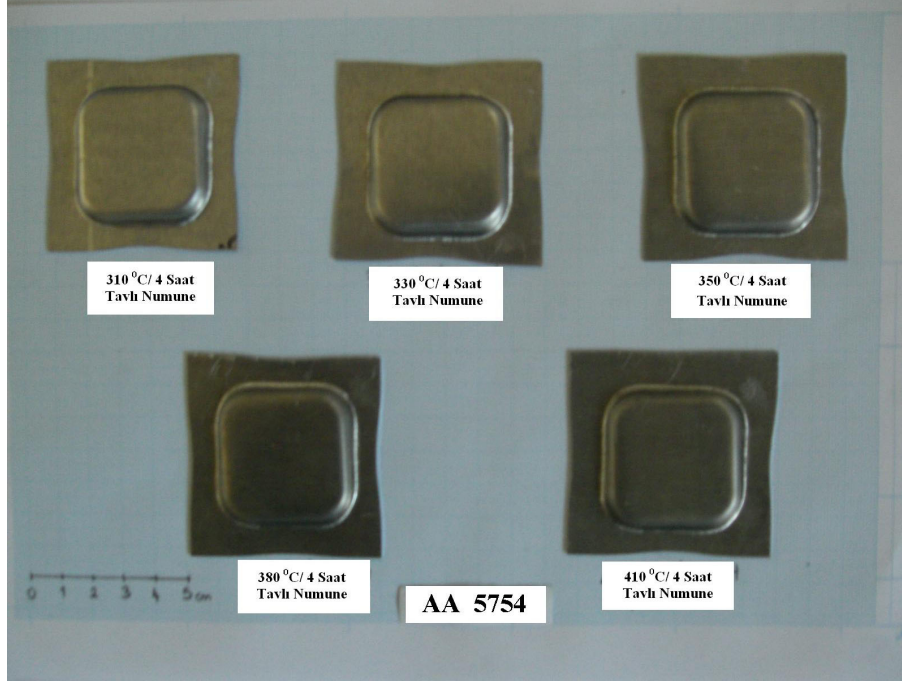
AA 5754 (HT) ve AA 3003 alüminyum alaşımları için 410 °C / 4 saat tavlı numunelerde hemen hemen aynı başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Test sonuçlarının geneline bakıldığında istisnai birkaç tav parametresi haricinde tav sıcaklığının artışı ile prizmatik çekilebilirliğin arttığı gözlenmiştir.

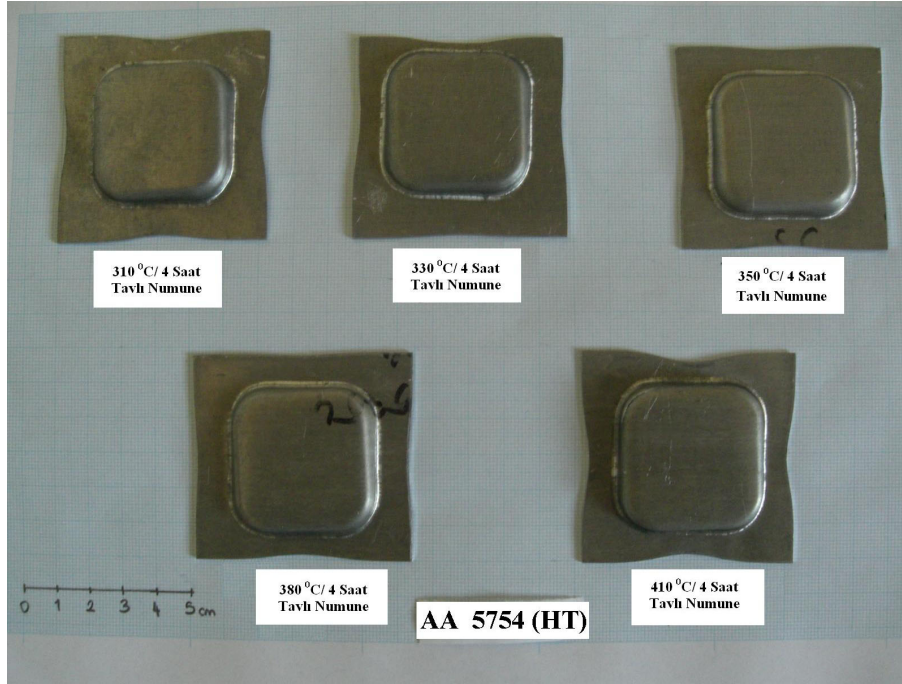
Şekil 4.8.1.- 4.8.3.'te AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için prizmatik derin çekme işlemi sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.8.1. AA 3003 alaşımı için elde edilen prizmatik derin çekme işlemi sonuçları



Şekil 4.8.2. AA 5754alaşımı için elde edilen prizmatik derin çekme işlemi sonuçları



Şekil 4.8.3. AA 5754 (HT) alaşımı için elde edilen prizmatik derin çekme işlemi sonuçları

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

1. Yapılan çalışmalar sonucunda AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için ; numunelerin tümünde tav sıcaklığının artışı ile birlikte akma ve çekme gerilmeleri azalırken , % uzama değerlerinin arttığı görülmüştür.

AA 5754 (HT) alaşımının ise , her tav parametresinde en düşük akma ve çekme gerilmesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca 410 °C / 4 saat tavlı AA 5754 (HT) ve AA 3003 alaşımlarının hemen hemen aynı % uzama değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

2. Yapılan çekme testleri neticesinde AA 5754 alüminyum alaşımının süreksiz akma gösterdiği tespit edilmiştir. Yapıdaki magnezyum miktarının artışının bu eğilimi arttırdığı bilinmektedir.

3. Yapılan sertlik ölçümleri neticesinde tav sıcaklığının artışı ile birlikte sertliğin azaldığı görülmüştür. Teste tabi tutulan üç grup numune içerisinde en düşük sertlik değerini AA 5754 (HT) alaşımı göstermiştir.

4. Kulaklanma ölçümleri neticesinde ; en düşük kulaklanma eğilimini 410 °C de 4 saat tavlı AA 5754 (HT) alaşımı göstermiştir.

5. Bilindiği üzere erichsen derinliği malzemelerin derin çekilebilirliği açısından önemli bilgiler vermektedir. Erichsen derinliğinin artışı ile derin çekilebilirliğin arttığı bilinmektedir. Erichsen testi sonucunda tav sıcaklıklarının artışı ile birlikte erichsen derinliğinin arttığı görülmüştür. AA 3003 alaşımı için 410° C de 4 saat tavlı numunede bu değer 9,70 mm ye ulaştığı görülmüştür. Ayrıca AA 5754 (HT) alaşımı , homojenize edilmemiş alaşıma nazaran daha yüksek erichsen derinliği göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında homojen tavlı numunelerin daha iyi şekillenebilir olduğu söylenebilir.

6. Deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerinin soğuk şekillendirilen alüminyum alaşımları için mümkün mertebe yüksek olması arzu edilmektedir. Yapılan

testler sonucunda AA 5754 alaşımının AA 3003'e göre nihai tav sıcaklık ve sürelerinde daha yüksek "n" değeri gösterdiği tespit edilmiştir.

7. Yapılan mikro yapı incelemelerinde her üç grup numunede merkez hattı segregasyonuna rastlanmıştır. Bu oluşumun şekillendirilebilirliği olumsuz yönde etkilemediği bilinmektedir.

AA 3003 alaşımı için MHS nin kaba ve lamelli bir yapıda olduğu , AA 5754 alaşımı için ise partiküler bir yapıda olduğu grlmştir.

310 °C tav sıcaklığının AA 5754 alaşımının yeniden kristalleşmesi için yeterli bir sıcaklık olduğu grlmştir.

AA 3003 alaşımında dış kabuktaki taneler büyük iken nispeten kararlı soğumuş orta bölgedeki taneler ise daha küçüktür.

8. Yapılan prizmatik çekme testleri sonucunda , homojen tavlı numunelerin homojenize edilmemiş numunelere nazaran daha iyi derin çekilebilirlik özelliği gösterdiği belirlenmiştir. 310 °C ve 330 °C tav sıcaklıklarında AA 3003 alaşımı daha testin ilk safhalarında yırtılma eğilimi göstermektedir. Bu tav sıcaklıklarının AA 3003 alüminyum alaşımının derin çekilmesinde tercih edilmemesi önerilir.

Genel olarak tav sıcaklıklarının artışının derin çekilebilirliği olumlu yönde etkilediği grlmştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Ahmetoğlu , M.A., Kinzel G., Altan T., 1997 , Forming of Aluminium Alloys- Applications of Computer Simulations and Blank Holding Force Control , Journal of Metarials Processing Technology 71(1997)147-151
- Alıcı , İ., 2001, Derin Çekme Saçlarının Deformasyon Davranışının İncelenmesi , Uludağ Üni. F.B.E. , Yüksek Lisans Tezi, Bursa
- Altıntaş , S., 1984, Biçimlendirme Sınır Diyagramları , 8. Metalürji Kongresi , İstanbul
- Alper G., 2003 Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş 5052-5182 ,Alüminyum Alaşımının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi İ.T.Ü., F.B.E ,Y.L. Tezi , İstanbul
- Anık , S., Anık , S. , Vural , M., 1998 ,Çeviri, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi , Birsen Yayınevi , İstanbul (Yazar: Weissbach , W.,)
- Birol Y., Okumuş E., Akkurt A.S., Romanowski C., 2001, The Response of Twin Roll Cast Aluminum Strips to Thermo-Mechanical Processing, Light Metals , The Minerals, Metals & Materials Society
- Birol, Y., Dündar, M., Romanowski C.A., 2002., Twin-Roll Cast 5000 Series Aluminum Sheet for Automotive Applications
- Chow , C.L., Yu , L.G., Tai , W.H. , Demeri , M.Y., 2001 , Prediction of Forming Limit Diagrams for AL6111-T4 Under Non- Proportional Loading , International journal of Mechanichal Sciences 43(2001)471-486
- Conserva M. , Donzelli G. , Trippodo R. , 1992, Aluminium and Its Applications, Edimet, Brescia
- Çakmak , H.F., 1983 , Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının Özelliklerinin, Etibank Alüminyum İşletmesi Müessesesi Dökümhane Müdürlüğü , Seydişehir, Konya

- Çimenoglu, H., Kayalı, E.S., 1984. Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirliğini Etkileyen Faktörler, 11. Uluslararası Alüminyum Sanayii Kongresi, Seydişehir
- Darendeliler, H.; 1991, Computer -Aided Deformation Analysis of Deep-Drawing Process, O.D.T.Ü. F.B.E., Doktora Tezi, Ankara
- Davis J.R., 1998 Aluminium and Aluminium Alloys, ASM International
- Delikanlı, K., 1992. Soğuk Haddelenmiş Teknik Alüminyumun Derin Çekilmesinde Tavlama Süresi ve Sıcaklığının Şekillendirilme Kabiliyetine Etkileri, Doktora Tezi, Selçuk Üni. Fen Bilimleri E., Konya.
- Deliküçük Y., 1989 Al-Mn İşlem Alaşımlarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri, Selçuk Üniversitesi F.B.E., Konya
- Dieter G.E., 1984. Mechanical Metallurgy, Mc Graw-Hill, Singapore
- Doğan. M., 1989, Alüminyumun Isıl İşlemi, Marmara Üniversitesi F.B. Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Dündar M., Sarıoğlu K., Birol Y., Akkurt A.S., Romanowski C., 2002, Formability Performance of 5XXX Series Aluminium Alloys, TMS., Seattle, USA
- Dündar M., 2004, Assan Alüminyum Sanayi Seminer Notları, İstanbul
- Erişkin Y., 1986, Uygulamalı Saç Metal Kalıp Konstrüksiyonu, Gazi Üniversitesi Yayın No: 138
- Ersümer A., 1960, Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri, İTÜ Yayın No :443, İstanbul
- Ertürk T., 1979, Kütle Deformasyon ve Levha Biçimlendirme İşlemlerinde Deformasyon Sınırları ve Biçimlendirilebilme Analizi, III. Metalürji Kongresi

- Gosh , A.K., 1975 , How to Rate Stretch Formability of Sheet Metals , Metal Progress
- Gündü , T., 2000, Derin Çekme Saçlarında Derin Çekilebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi , İTÜ., F.B.E. , Yüksek Lisans Tezi , İstanbul
- Güneş, A.T. ,2002, Pres İşleri Tekniği Bölüm II , M.M.O. Yayın No :MMO/2002/307 , İstanbul
- Göngül , A., Doğan , Y., 1979 , Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri , Etibank Alüminyum Tesisleri Yayını , Konya
- Harpell E. T. , Werswick M. J. , Finn M. , Jain M. , Martin P. ; 2000, “Numerical Prediction of the Limiting Draw Ratio for Aluminum Alloy Sheet” Journal of Metarials Processing Technology 100 /131-141
- Hatch Jhon E., 1984, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, American Society For Metals, Metal Park Ohio
- Hero , H., Naess , S.E., 1979, Metal Technology Handbook
- Hosford , W.F., 1977 , Formability – Analysis Modelling and Experimentation ,AIME
- Jahazi M. , Goudarzi M. ; 1997 “The Influence of Thermomechanical Parametres on the Earing Behaviour of 1050 and 1100 Aluminum Alloys” Journal of Metarials Processing Technology 63 / 610-613
- Kaftanoğlu , B., Karabay , M., Kılkuş B., Erdem, A., 1980, Derin Çekme ve Kalıplarının Tasarımı , İmalatı , Sınai Eğitim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Yayın No: 59 , Ankara
- Karabulut , A., Aran , A., 1984, 2024 Alüminyum Alaşımında Soğutma Hızı Duyarlılığı , II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi , Konya
- Kavaklıoğlu, B., 1999, Alüminyum Levha Üretiminde Proses Optimizasyonu, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul



- Kayalı E.S. , Ensari C. , Silahtaroglu S. ;1979 ,”Derin Çekme Kalitesindeki Saçlarda Özellikleri Etkileyen Faktörler” III: Ulusal Metalürji Kongresi
- Kayalı,E.S., Ensari, C., 1995, Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İ.T.Ü Kimya - Metalürji Fakültesi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Kevin Y. T. , Lee K. B., 2000 ;“Sectional Finite Element Analysis of Forming Processes for Aluminum–Alloy Sheet” International Journal of Mechanical Sciences 42 /1911-1933
- Kleemola H.J., Kumpulainen , J.O., 1978, Sheet Metal Industries
- Lancker , M., 1967, Metallurgy of Aluminium Alloys , Chapman and Hall
- Lloyd D.J. , 2004, Some Aspects of the Metallurgy of Automotive Al Alloys Metaterials Forum Volume 28
- Morris, L.R., Jin , I., 1988 , Centre line Segregation in Twin Roll Cast , Continous Casting of Non – Ferrous Metals and Alloys , The Minerals , Metal & Metarial Society
- Oğuz , B., 1990 , Demir Dışı Metallerin Kaynağı Metalurjisi – Uygulama , Erdini Basımevi , İstanbul
- Okumuş E., 2003 , Sürekli Levha Döküm TEkniği ile Üretilmiş 1XXX -3XXX ve 5XXX Alaşımli Levhaların Mikroyapı Karakterizasyonu, İTÜ F.B.E , Y.L. Tezi , İstanbul
- Özden E., 1994, Assan Alüminyum Sürekli Döküm Tekniği Eğitim Notları , İstanbul
- Özenç S. ; 1995 ,Üst 13 Derin Çekme Sacının Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Teorik ve Deneysel Olarak Saptanması, İTÜ F.B.E , Y.L. Tezi , İstanbul
- Romonovski C.A., Thin Gauge Roll Casting Method, United States Patent, No: 5,518,064

- Savoie, J., Jain , M., Carr, A.R., Wu , P.D., Neale , K.W., Zhou , Y., Jonas, J.J., 1998, Predictions of Forming Limit Diagrams Using Crystal Plasticity Models , *Metarials Science And Engineering A257* (1998) 128-133
- Sillekens w.H., Sano , T., Teraseki , M. , Matsuno , K. , Kals , J.A.G. , 1997 , Formability of Recycled Aluminium Alloy 5017 , *Journal of Metarials Processing Technology* 65(1997)252-260
- Slomova , M., 2002 ,Continuous casting Technologies for Production of Aluminium Alloy Sheet for Transportation Applications , *Research Report*
- Sowerby , R., Sarren , B.K. , 1978 , Formability Tophichs-Metalic Metarials , ASTM , STP 647
- Şimşek A.T.,1988 , Al-Mg-Si İşlem Alaşımalarında Ön Yaşlandırma Isıtma Hızı ve kademeli Yapay Yaşlandırmanın Mekanik Özelliklere Etkisi , Selçuk Üni. Fen B. E. , Yüksek Lisans Tezi , Konya
- Tekin , E., 1984, Demirdışı Metaller ve Alaşımalarının Uygulamalı Optik Metalogrofisi , Segem II. Baskı , Yayın No : 101 , Ankara
- Totten E. G. , Mackenzie D.S., 2003 , Handbook Of Aluminium Volume I “Physical Metallurgy and Processes” Marcel Decker Inc.
- Ünsal , N., 1991 , Malzeme Bilgisi (Alaşımaları İç Yapısı ve Özellikleri ) Akdeniz Üni. Yayınevi , Antalya
- VDM-Handbuch , Çeviren: Gürleyik , Y., 1993 , Alüminyum Alaşımaları –I , Mühendis ve Makine Cilt 34 Sayı :401
- Yazıcı E., Çimenoglu H.; Kayalı , E.S. , 1990 , Alüminyum Tane Boyutunun Deformasyon Özelliklerine Etkileri , VI. Akdeniz Üni. Müh. Haftası , Akdeniz Üni. Isparta Müh. Fakültesi , Isparta

Yeşiloltalı N., 2001 , AA 3003 Alüminyum Alaşımlarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri S.D.Ü. F.B.E. Y.L. Tezi , Isparta

Yılmaz , B., 2002, Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklerine Etkisi , S.D.Ü. F.B.E. Y. Lisans Tezi , Isparta

Yüksel , M., 1998 , Malzeme Bilgisi , TMMOB –Makine Mühendisleri Odası , Denizli Şubesi Yayınları , Yayın No:1

Yoon J.W. , Barlat F. , Chung K. , Pourboghrat F. , Yang D.Y., 2000; “Earing Predictions Based on Asymmetric Nonquadratic Yield Function” International Journal Plasticity 16/1075-1104

Zhang S.H. , Wang Z.R. , Wang Z.T. , Xu Y. , Chen K.B.; 2004, “Some New Features in the Development of Metal Forming Technology” , Journal of Materials Processing Technology 151/ 39-47

<http://www.eaa.net/aam>

<http://www.cpforming.org>

<http://www.aluminium.matter.org.uk>

<http://www.alfed.org.uk>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Halil ÇETİN

Doğum Yeri : İzmir

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1994 – 1997 : Denizli Lisesi Mezunu

Lisans 1997 – 2001 : Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mezunu

Yabancı Dil : İngilizce

**EKLER**

- Ek 1. Tavsız AA 3003 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 2. 310 °C de 4 saat tavlannış AA 3003 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 3. 330 °C de 4 saat tavlannış AA 3003 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 4. 350 °C de 4 saat tavlannış AA 3003 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 5. 380 °C de 4 saat tavlannış AA 3003 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 6. 410 °C de 4 saat tavlannış AA 3003 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 7. Tavsız AA 5754 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 8. 310 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 9. 330 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 10. 350 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 11. 380 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 12. 410 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 13. Tavsız AA 5754 (HT) alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 14. 310 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 15. 330 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 16. 350 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 17. 380 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 18. 410 °C de 4 saat tavlannış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik zellikleri
- Ek 19. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için tav parametrelerine bağlı olarak tespit edilen erichsen derinlikleri
- Ek 20. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için tav parametrelerine bağlı olarak tespit edilen % kulaklanma değerleri
- Ek 21. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için tav parametrelerine bağlı olarak tespit edilen sertlik (HB) değerleri
- Ek 22. Sürekli ve yarı sürekli döküm yöntemleriyle üretilmiş AA 5754 alüminyum alaşımı için elde edilen şekillendirme limit diyagramı
- Ek 23. Sürekli döküm tekniği ile üretilmiş AA 3003 için elde edilmiş şekillendirme limit diyagramı
- Ek 24. Deneyler sırasında kullanılan prizmatik derin çekme kalıbı

Ek 1. Tavsiy AA 3003 alaşımının mekanik 6zellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
3003	Tavsız (Sert Çekme)	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

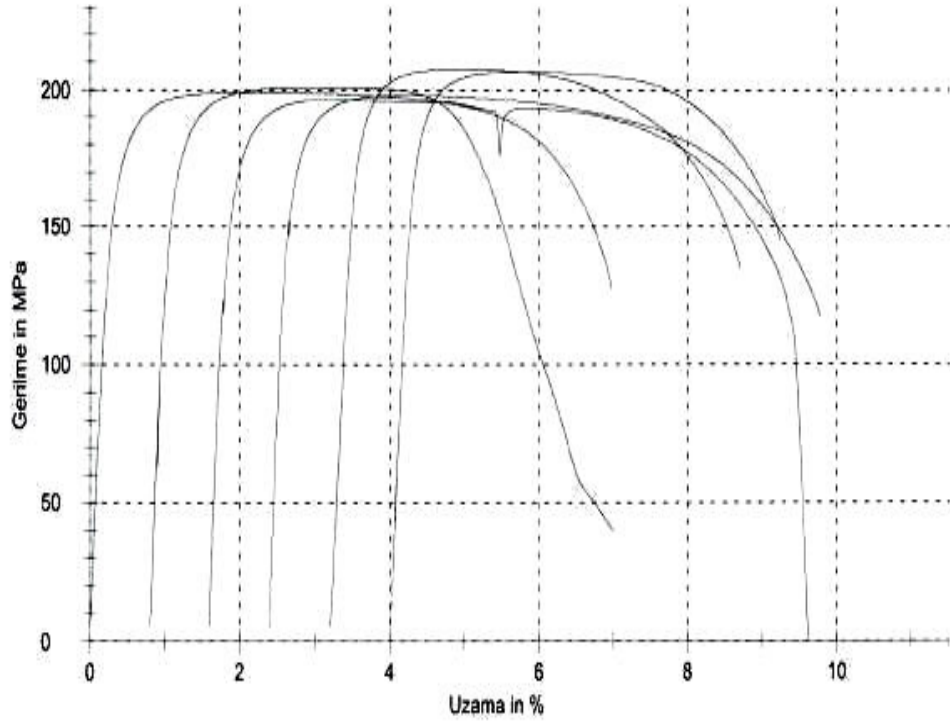
Nr	Bobin No	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modülü N/mm <sup>2</sup>	Akma %0,1 N/mm <sup>2</sup>	Akma.%0,2 N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	Bükme 90-180	Sertlik HB	Karar
1	1	0	1,185	75513	223,8	232,6	238,1	1,7	1,0	-	-	-
2	1	0	1,185	66662	229,1	234,3	238,4	4,5	1,0	-	-	-

Ek 2. 310 °C de 4 saat tavllanmış AA 3003 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
3003	310 °C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	3	0	1,285	82248	148,03	170,5	199,1	7,4	1,8	0,07	0,48	0,47
	4										0,47	
	5										0,46	
2	5	0	1,285	75379	156,72	175,5	200,9	6,1	2,1	0,05	0,55	0,55
3	5	45	1,310	102650	136,16	165,7	196,5	16,2	1,3	0,05	1,12	1,12
	6										1,11	
4	4	45	1,310	232754	116,21	153,3	198,2	7,8	1,8	0,06	0,73	0,75
	5										0,76	
	6										0,78	
5		90	1,290	45523	190,26	197,2	207,6	6,0	1,2	0,03		-
6		90	1,320	52803	185,32	194,2	206,5	5,5	1,3	0,03		-



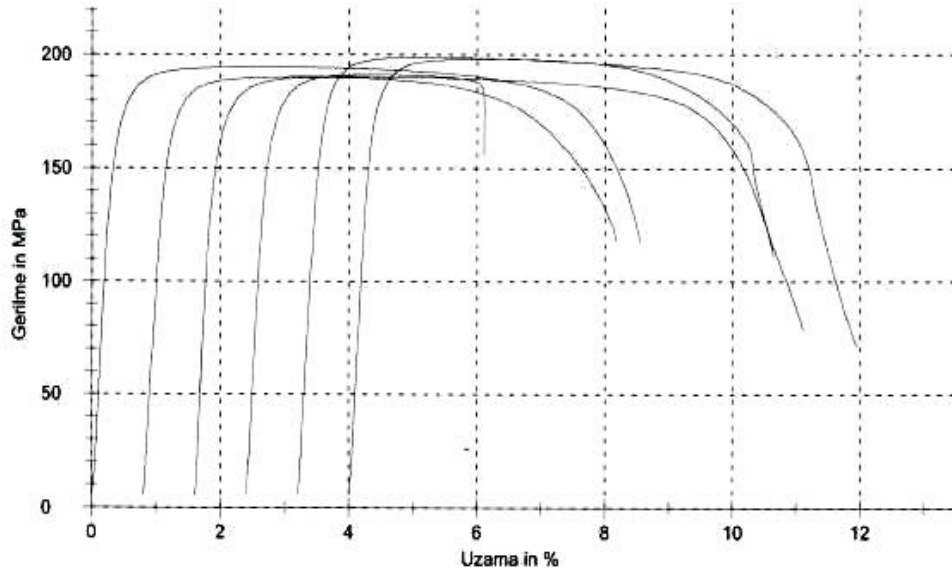
Ek 3. 330 °C de 4 saat tavllanmış AA 3003 alaşımının mekanik özellikleri



Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
3003	330 <sup>0</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,310	40120	177,96	183,9	194,6	8,9	2,4	0,03	0,49	0,44
	2										0,44	
	3										0,42	
	4										0,42	
2	1	0	1,310	49602	161,83	173,8	190,3	10,3	2,5	0,04	0,43	0,40
	2										0,40	
	3										0,39	
	4										0,39	
	5										0,38	
3	1	45	1,310	55355	160,77	172,6	189,9	7,2	1,8	0,04	1,03	0,99
	2										1,02	
	3										0,99	
	4										0,96	
	5										0,94	
4	2	45	1,315	33271	180,52	184,4	191,2	3,6	1,2	0,03	1,11	1,11
	3										1,11	
5	1	90	1,300	46032	179,41	188,1	198,9	8,9	1,6	0,03	0,66	0,63
	2										0,65	
	3										0,63	
	4										0,62	
	5										0,61	
6	1	90	1,310	46759	179,89	187,5	198,1	7,3	1,6	0,03	0,68	0,64
	2										0,65	
	3										0,63	
	4										0,61	
	5										0,60	

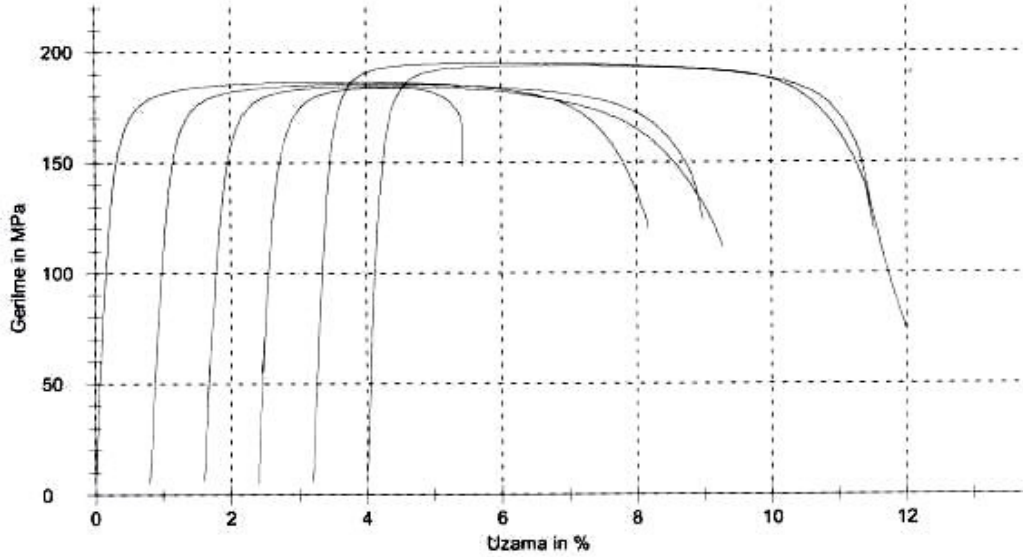


Ek 4. 350<sup>0</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 3003 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
3003	350 <sup>o</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,220	56390	157,12	168,2	186,5	8,5	3,1	0,05	0,45	0,44
	2										0,45	
	3										0,44	
	4										0,44	
	5										0,44	
2	1	0	1,210	50226	158,93	168,7	185,5	8,8	2,9	0,05	0,44	0,43
	2										0,43	
	3										0,43	
	4										0,43	
	5										0,44	
3	1	45	1,210	65063	140,99	161,5	184,4	7,9	2,2	0,04	1,15	1,16
	2										1,16	
	3										1,16	
	4										1,16	
	5										1,15	
4	1	45	1,230	73306	141,02	161,2	183,9	2,9	1,7	0,05	1,03	1,09
	2										1,07	
	3										1,12	
	4										1,16	
	5										0,78	
5	1	90	1,180	72998	161,73	178,0	195,0	8,9	2,4	0,03	0,77	0,78
	2										0,78	
	3										0,78	
	4										0,78	
	5										0,78	
6	1	90	1,200	76880	164,73	177,9	193,8	8,5	2,3	0,03	0,73	0,76
	2										0,75	
	3										0,76	
	4										0,78	
	5										0,78	

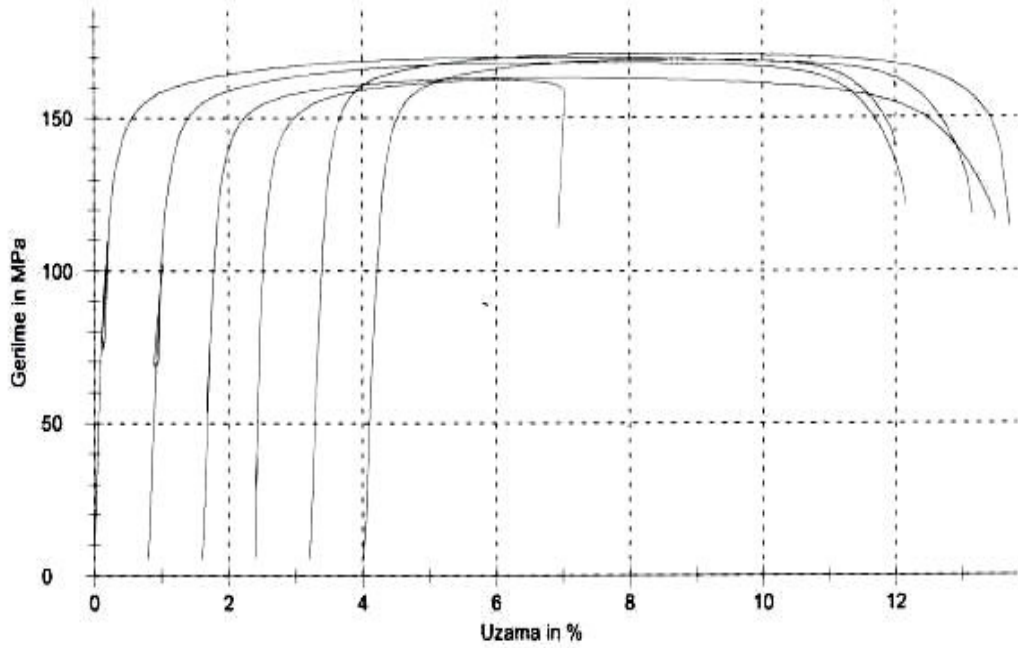


Ek 5. 380<sup>o</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 3003 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
3003	380 °C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,315	71111	123,94	139,9	169,9	13,8	6,4	0,07	0,53	0,48
	2										0,49	
	3										0,47	
	4										0,46	
	5										0,45	
2	2	0	1,300	52748	132,02	143,3	168,3	12,3	6,1	0,07	0,51	0,46
	3										0,46	
	4										0,45	
	5										0,43	
3	2	45	1,310	51679	135,79	144,0	163,3	12,9	4,6	0,05	1,10	1,11
	3										1,10	
	4										1,13	
4	2	45	1,310	118982	122,30	137,9	162,5	4,5	3,4	0,00	0,86	0,89
	3										0,93	
5	2	90	1,320	51608	142,50	151,7	171,1	11,6	4,9	0,05	0,63	0,59
	3										0,59	
	4										0,57	
	5											
6	2	90	1,320	43923	143,79	151,5	169,3	9,3	4,4	0,05	0,63	0,59
	3										0,59	
	4										0,57	

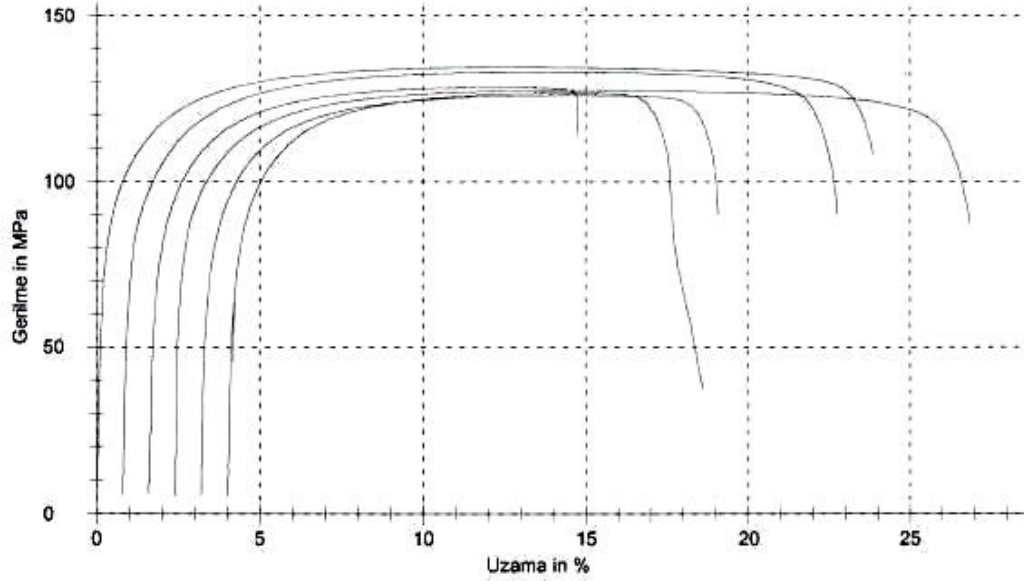


Ek 6. 410 °C de 4 saat tavlanmış AA 3003 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
3003	410 <sup>o</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	2	0	1,270	42842	76,00	85,3	134,4	25,1	12,5	0,15	0,68	0,65
	3										0,65	
	4										0,64	
	5										0,64	
2	2	0	1,265	43932	72,10	81,9	133,1	22,3	12,2	0,13	0,64	0,63
	3										0,63	
	4										0,62	
	5										0,62	
3	2	45	1,290	38962	69,70	79,5	128,5	12,9	10,4	0,12	0,78	0,78
	3										0,78	
	4										0,77	
	5										0,77	
4	2	45	1,290	47850	74,51	82,5	127,5	25,1	12,3	0,12	0,63	0,65
	3										0,64	
	4										0,66	
	5										0,68	
5	2	90	1,250	54563	64,85	75,5	126,0	16,5	11,3	0,12	0,47	0,44
	3										0,45	
	4										0,43	
	5										0,42	
6	2	90	1,250	44363	68,44	78,8	126,7	14,7	9,9	0,12	0,46	0,46
	3										0,46	
	4										0,47	
	5										0,46	



Ek 7. Tavsız AA 5754 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
5754	Tavsız (Sert Çekme)	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

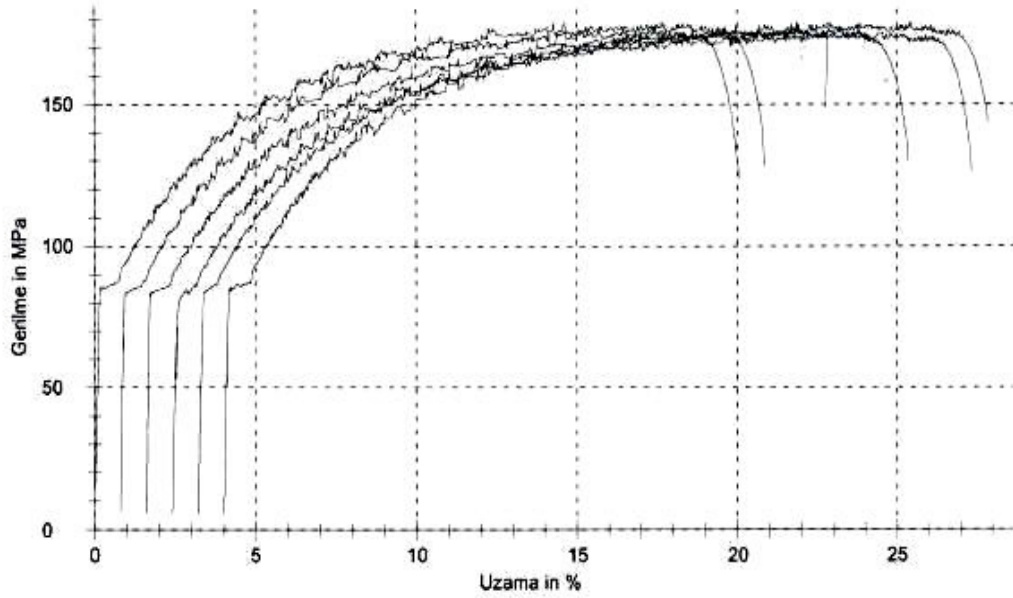
Nr	Bobin No	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modülü N/mm <sup>2</sup>	Akma %0,1 N/mm <sup>2</sup>	Akma.%0,2 N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	Bükme 90-180	Sertlik HB	Karar
1	1	0	1,220	68010	279,8	283,0	283,8	1,6	0,3	.	.	.
2	1	0	1,220	64807	277,3	280,6	281,6	1,7	0,5	.	.	.

Ek 8. 310 °C de 4 saat tavlanmış AA 5754 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
5754	310 <sup>0</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	2	0	1,075	37542	85,32	85,8	179,2	21,6	17,2	0,25	0,66	0,65
	3										0,66	
	4										0,65	
	5										0,65	
2	2	0	1,075	55132	83,72	84,6	177,1	20,0	17,5	0,25	0,61	0,63
	3										0,64	
	4										0,64	
	5										0,61	
3	2	45	1,075	63796	83,55	84,2	177,6	21,2	17,8	0,26	0,61	0,65
	3										0,68	
	4										0,68	
	5										0,62	
4	2	45	1,075	38927	82,34	83,8	176,2	25,3	20,6	0,26	0,60	0,63
	3										0,63	
	4										0,63	
	5										0,66	
5	2	90	1,095	42030	84,43	85,3	178,6	22,6	18,1	0,26	0,77	0,79
	3										0,82	
	4										0,74	
	5										0,84	
6	2	90	1,095	47855	85,07	86,0	179,3	24,6	17,5	0,26	0,77	0,76
	3										0,75	
	4										0,74	
	5										0,77	

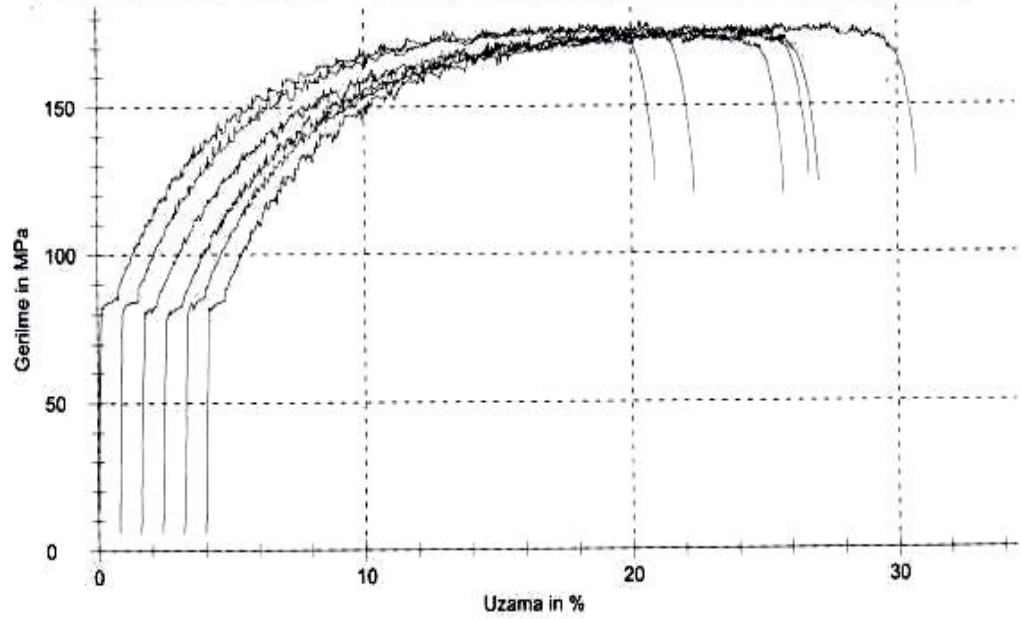


Ek 9. 330<sup>0</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 5754 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
5754	330 <sup>0</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	2	0	1,080	55424	82,55	84,0	177,5	21,3	17,0	0,26	0,65	0,65
	3										0,64	
	4										0,66	
	5										0,63	
2	2	0	1,080	52927	82,85	83,5	178,4	22,2	19,2	0,26	0,00	0,00
	3										0,00	
	4										0,00	
	5										0,00	
3	2	45	1,080	58489	80,66	81,7	175,6	24,7	20,1	0,27	0,54	0,59
	3										0,61	
	4										0,60	
	5										0,60	
4	2	45	1,080	41892	80,86	80,6	175,8	24,6	21,4	0,27	0,63	0,62
	3										0,63	
	4										0,63	
	5										0,60	
5	2	90	1,080	34271	83,87	82,3	177,1	24,5	19,9	0,27	0,81	0,81
	3										0,74	
	4										0,84	
	5										0,86	
6	2	90	1,080	40739	82,84	83,0	177,8	26,9	23,1	0,26	0,81	0,81
	3										0,74	
	4										0,84	
	5										0,86	

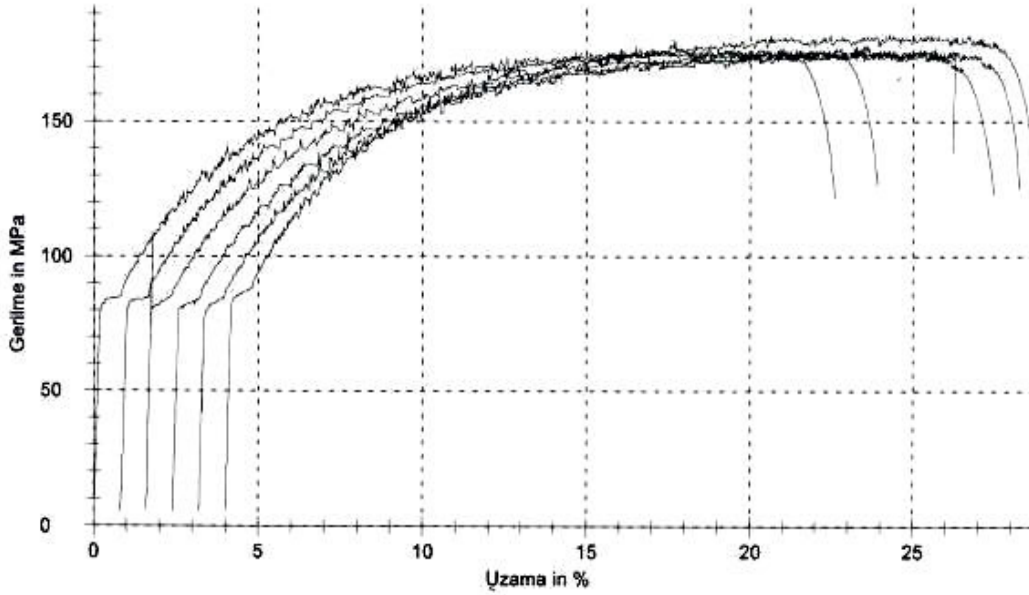


Ek 10. 350<sup>0</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 5754 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
5754	350 °C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	2	0	1,100	34479	82,75	84,0	177,4	24,9	17,2	0,25	0,65	0,63
	3										0,65	
	4										0,60	
	5										0,62	
2	2	0	1,100	34551	83,53	83,8	177,6	22,5	19,7	0,26	0,65	0,64
	3										0,63	
	4										0,63	
	5										0,64	
3	2	0	1,100	57790	81,24	81,7	178,3	26,9	21,4	0,27	0,65	0,64
	3										0,64	
	4										0,64	
	5										0,65	
4	2	0	1,100	40430	81,46	81,9	176,7	23,7	18,7	0,27	0,62	0,63
	3										0,65	
	4										0,61	
	5										0,62	
5	2	90	1,150	48152	80,53	82,2	176,8	25,0	19,7	0,27	0,81	0,75
	3										0,73	
	4										0,72	
	5										0,74	
6	2	90	1,150	47855	84,52	85,2	182,7	25,6	19,9	0,26	0,81	0,78
	3										0,79	
	4										0,77	
	5										0,77	



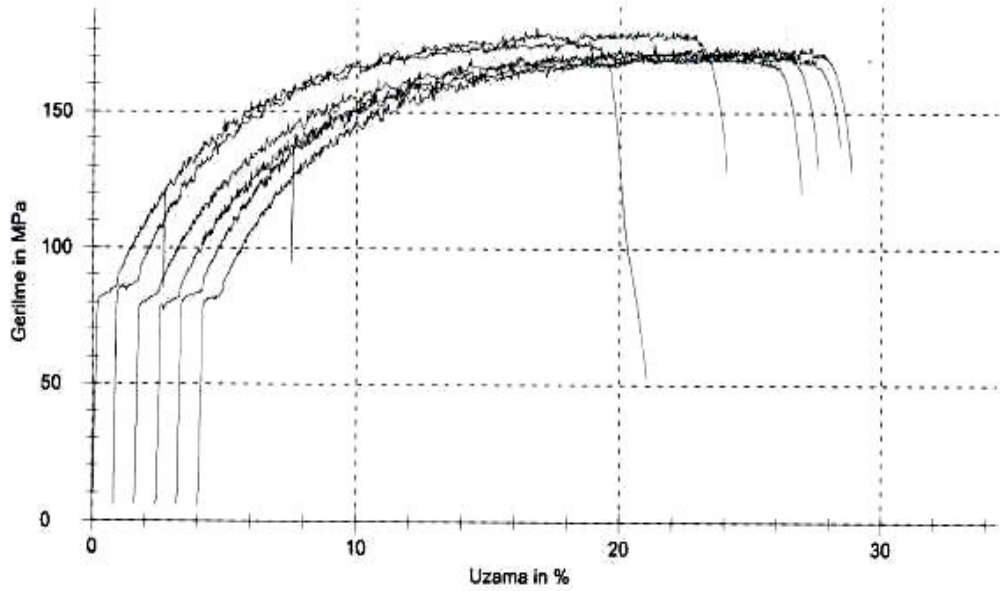
Ek 11. 380 °C de 4 saat tavlanmış AA 5754 alaşımının mekanik özellikleri



Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
5754	380 <sup>o</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	2	0	1,100	41148	81,92	82,3	177,5	21,4	15,2	0,27	0,65	0,63
	3										0,64	
	4										0,64	
	5										0,60	
2	2	0	1,100	72529	85,56	85,6	181,4	23,9	15,7	0,27	0,59	0,61
	3										0,59	
	4										0,65	
	5										0,60	
3	2	45	1,115	52979	79,42	80,2	173,7	27,1	20,7	0,28	0,59	0,60
	3										0,61	
	4										0,61	
	5										0,61	
4	2	45	1,115	39303	77,43	79,6	171,1	25,2	20,4	0,27	0,62	0,61
	3										0,62	
	4										0,61	
	5										0,58	
5	2	90	1,115	55774	81,10	82,1	175,6	26,5	17,8	0,27	0,82	0,81
	3										0,75	
	4										0,85	
	5										0,81	
6	2	90	1,115	48661	80,49	81,3	172,7	25,0	21,9	0,27	0,78	0,78
	3										0,78	
	4										0,79	
	5										0,77	

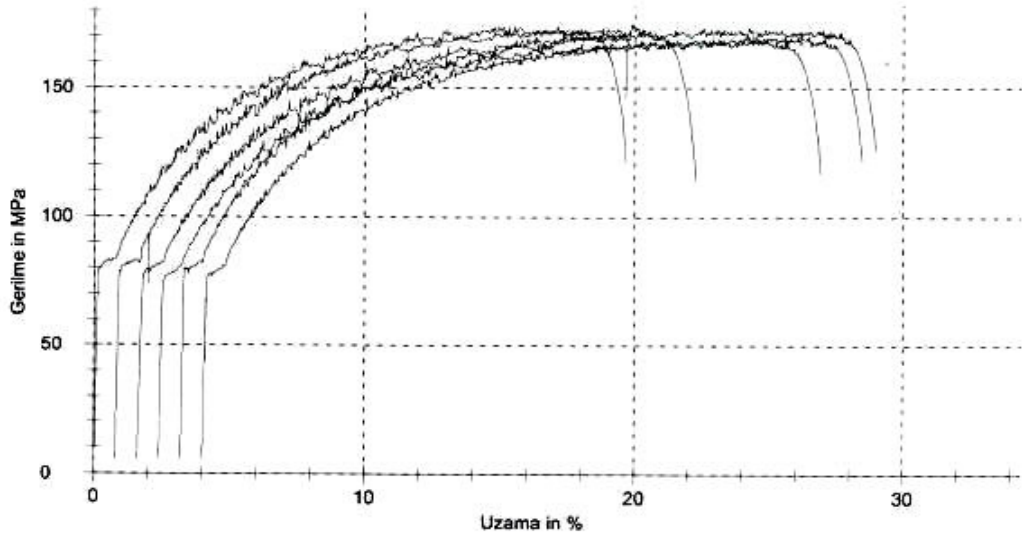


Ek 12. 410<sup>o</sup>C de 4 saat tavllanmış AA 5754 alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
5754	410 <sup>u</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,165	51123	80,17	81,6	174,2	20,3	15,2	0,26	0,58	0,63
	2										0,63	
	3										0,65	
	4										0,64	
	5										0,67	
2	1	0	1,165	78965	78,80	80,5	174,6	22,2	18,9	0,26	0,61	0,64
	2										0,63	
	3										0,66	
	4										0,65	
	5										0,63	
3	1	45	1,165	35468	78,85	79,0	173,6	17,8	16,7	0,28	0,65	0,66
	2										0,67	
	3										0,66	
	4										0,67	
	5										0,65	
4	1	45	1,165	55563	76,29	77,4	169,8	25,2	20,2	0,27	0,57	0,60
	2										0,62	
	3										0,62	
	4										0,57	
	5										0,60	
5	1	90	1,175	67959	79,51	78,5	173,6	25,9	20,8	0,27	0,81	0,76
	2										0,73	
	3										0,74	
	4										0,74	
	5										0,76	
6	1	90	1,175	47674	77,15	76,7	171,3	25,0	21,8	0,27	0,80	0,78
	2										0,77	
	3										0,79	
	4										0,77	
	5										0,78	



Ek 13. Tavsız AA 5754 (HT) alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
HT 5754	Tavsız (Sert Çekme)	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

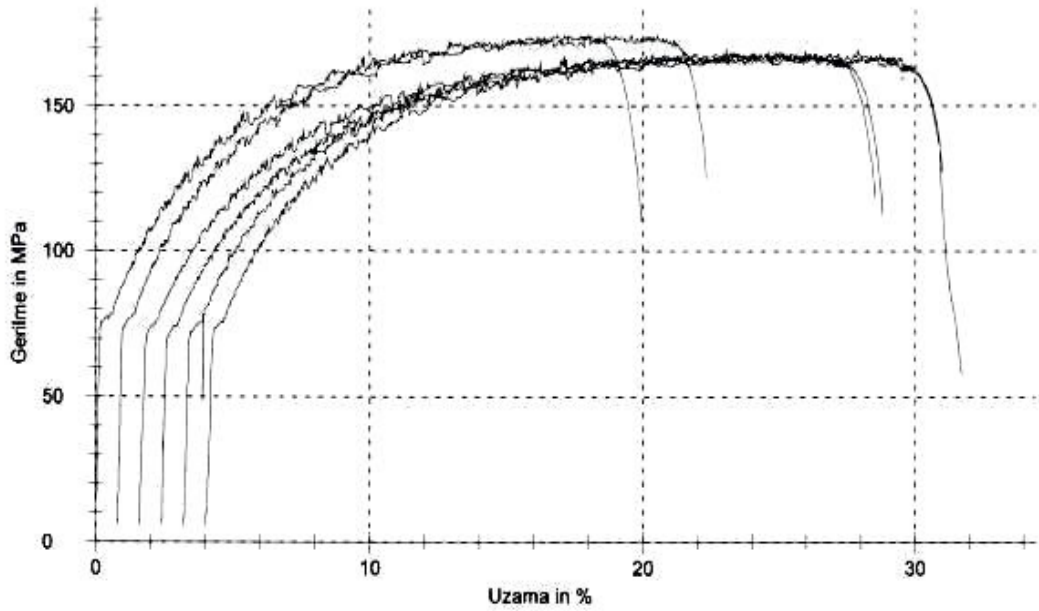
Nr	Bobin No	N Yönü	Kalınlık mm	E-Modülü N/mm <sup>2</sup>	Akma %0,1 N/mm <sup>2</sup>	Akma.%0,2 N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	Bükme 90-180	Sertlik HB	Karar
1	1	0	1,215	219107	129,9	220,4	266,9	2,5	0,6	-	-	-
2	1	0	1,215	61502	264,3	266,1	266,5	2,0	0,2	-	-	-

Ek 14. 310 °C de 4 saat tavllanmış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
HT 5754	310 °C 4 saat	50 mm	10 mm/min

**Sonuçlar**

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	2	0	1,200	50145	75,47	76,9	174,9	20,9	17,6	0,25	0,73	0,73
	3										0,73	
	4										0,73	
	5										0,73	
2	2	0	1,195	40138	74,68	76,3	175,2	22,7	17,4	0,24	0,71	0,71
	3										0,70	
	4										0,73	
	5										0,70	
3	2	45	1,205	31286	72,28	74,0	168,3	28,3	20,8	0,27	0,91	0,81
	3										0,80	
	4										0,79	
	5										0,75	
4	2	45	1,215	46004	70,85	72,6	167,2	29,0	19,8	0,00	0,72	0,73
	3										0,70	
	4										0,75	
	5										0,77	
5	2	90	1,200	32336	72,53	73,8	169,6	26,3	19,3	0,25	0,00	0,00
	3										0,00	
	4										0,00	
	5										0,00	
6	2	90	1,210	20286	74,46	75,6	169,1	27,8	23,1	0,26	0,92	0,95
	3										0,93	
	4										0,94	
	5										0,99	

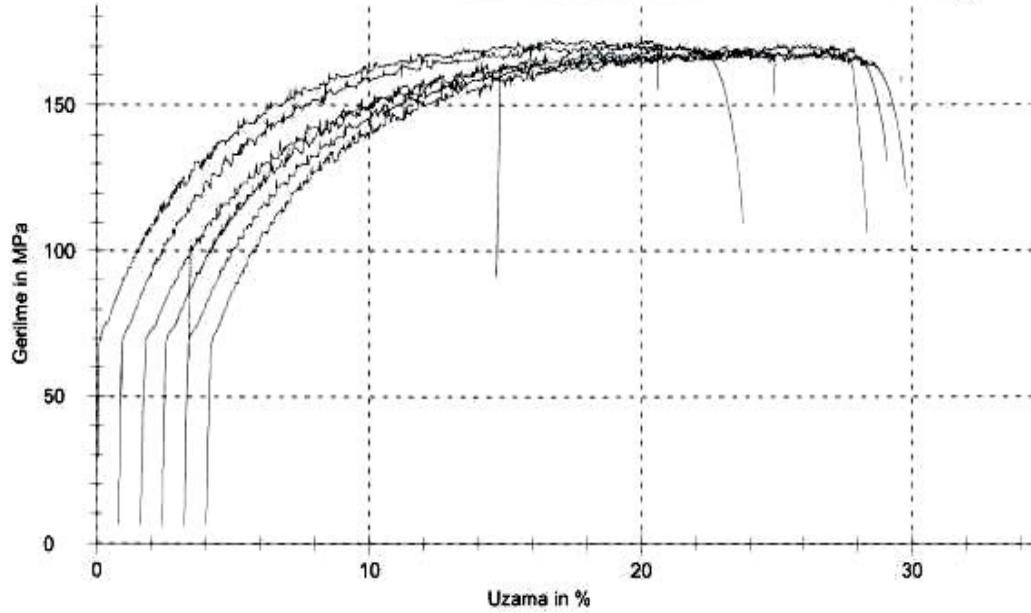


Ek 15. 330 °C de 4 saat tavllanmış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
HT 5754	330 <sup>0</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma,% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	3	0	1,215	86522	71,32	74,1	172,7	20,2	16,6	0,24	0,72	0,72
	4										0,71	
	5										0,72	
2	3	0	1,215	57332	71,15	73,5	171,2	23,1	18,5	0,24	0,73	0,73
	4										0,76	
	5										0,71	
3	2	45	1,200	35266	71,21	72,7	170,4	23,5	18,7	0,27	0,65	0,65
	3										0,64	
	4										0,65	
	5										0,66	
4	2	45	1,200	57157	70,98	72,8	170,7	27,5	22,4	0,21	0,66	0,65
	3										0,65	
	4										0,67	
	5										0,63	
5	1	90	1,200	45922	71,15	72,8	169,3	25,5	19,9	0,25	0,95	0,91
	2										0,90	
	3										0,90	
	4										0,90	
	5										0,90	
6	1	90	1,200	33813	71,05	72,8	168,8	26,5	19,5	0,25	0,95	0,91
	2										0,90	
	3										0,90	
	4										0,90	
	5										0,90	

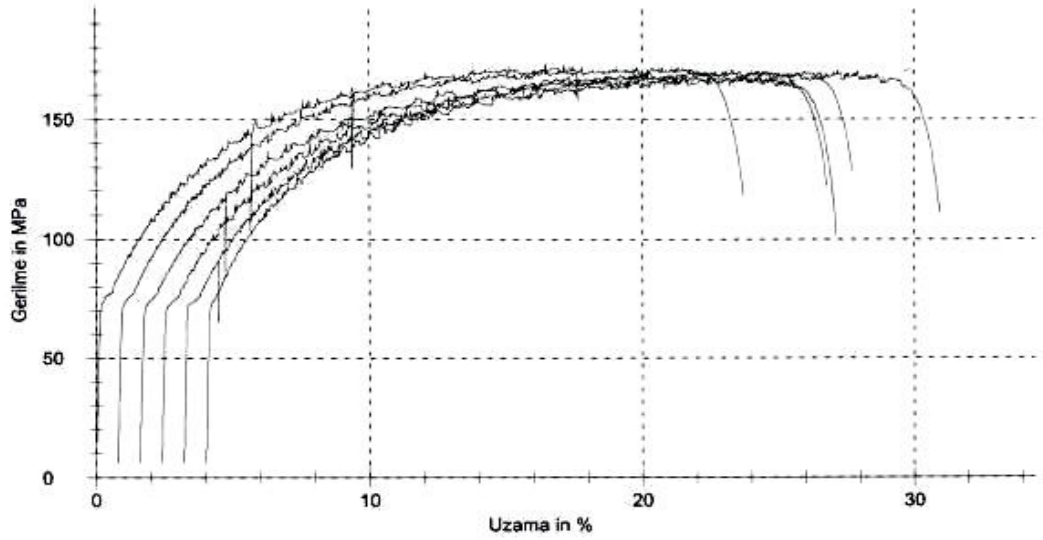


Ek 16. 350<sup>0</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
HT 5754	350 <sup>o</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,215	42795	73,73	75,7	173,3	17,8	16,1	0,24	0,69	0,70
	2										0,74	
	3										0,74	
	4										0,66	
	5										0,69	
2	1	0	1,205	51144	72,69	74,7	171,3	23,8	16,7	0,26	0,70	0,70
	2										0,69	
	3										0,70	
	4										0,71	
	5										0,69	
3	1	45	1,210	53295	71,28	73,2	169,9	27,0	19,8	0,26	0,65	0,67
	2										0,70	
	3										0,67	
	4										0,66	
	5										0,65	
4	1	45	1,210	59683	71,07	72,8	170,1	29,3	24,5	0,26	0,71	0,67
	2										0,65	
	3										0,69	
	4										0,65	
	5										0,64	
5	1	90	1,210	58129	72,49	73,6	168,3	24,2	16,7	0,26	0,86	0,89
	2										0,93	
	3										0,91	
	4										0,88	
	5										0,88	
6	1	90	1,210	45392	73,43	75,2	168,0	23,3	20,0	0,24	0,92	0,95
	2										0,99	
	3										0,97	
	4										0,92	
	5										0,93	

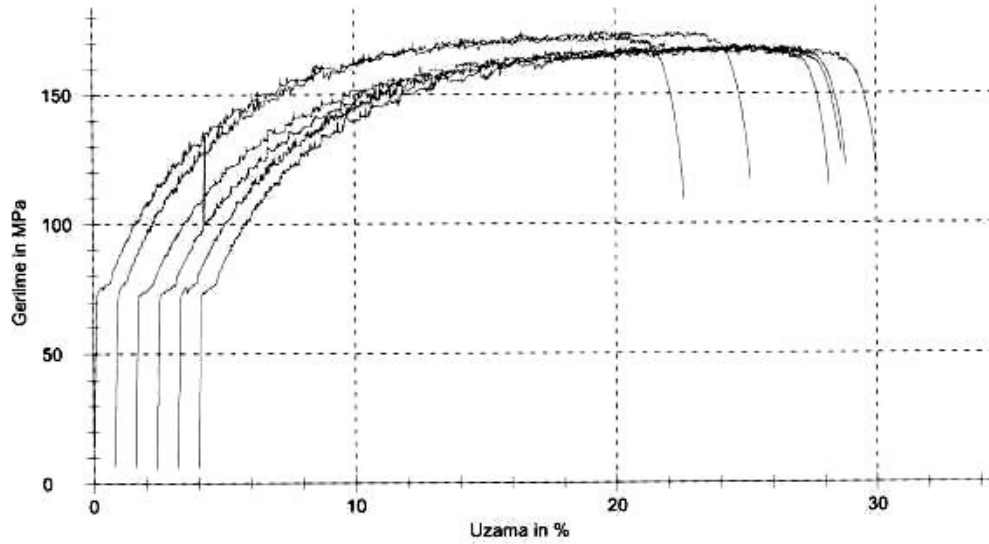


Ek 17. 380<sup>o</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
HT 5754	380 <sup>0</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,200	43002	74,77	75,9	172,7	23,4	19,5	0,24	0,76	0,71
	2										0,71	
	3										0,68	
	4										0,70	
	5										0,69	
2	1	0	1,200	43086	75,32	76,6	174,4	25,1	18,1	0,24	0,71	0,71
	2										0,69	
	3										0,70	
	4										0,76	
	5										0,67	
3	1	45	1,200	47657	72,90	73,9	168,6	27,5	23,2	0,27	0,71	0,70
	2										0,69	
	3										0,70	
	4										0,71	
	5										0,70	
4	1	45	1,200	42775	73,08	74,2	170,0	27,4	19,1	0,27	0,69	0,67
	2										0,67	
	3										0,66	
	4										0,63	
	5										0,67	
5	1	90	1,210	38134	74,18	74,7	169,0	26,3	21,6	0,00	0,92	0,93
	2										0,95	
	3										0,93	
	4										0,95	
	5										0,91	
6	5	90	1,210	45357	73,37	74,4	168,0	26,7	21,8	0,25	0,94	0,94
	6										0,92	
	7										0,94	
	8										0,92	
	9										0,95	

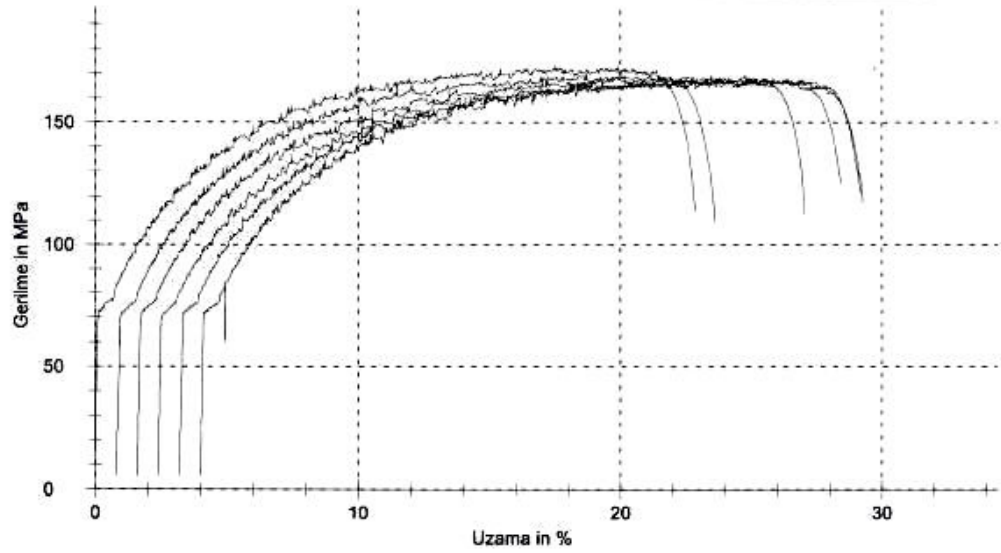


Ek 18. 410<sup>0</sup>C de 4 saat tavlanmış AA 5754 (HT) alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım Kodu	İşlem Sırası	Ölçme Boyu	Test Hızı
HT 5754	410 <sup>0</sup> C 4 saat	50 mm	10 mm/min

### Sonuçlar

Nr	Index	N.Yönü	Kalınlık mm	E-Modu N/mm <sup>2</sup>	Akma % N/mm <sup>2</sup>	Akma.% N/mm <sup>2</sup>	Çekme N/mm <sup>2</sup>	Uzama %	Ag %	n-val.	r val.	r transv.
1	1	0	1,205	61689	72,99	74,3	172,9	23,6	17,2	0,25	0,72	0,72
	2										0,72	
	3										0,75	
	4										0,72	
	5										0,69	
2	1	0	1,205	34642	72,25	73,4	170,1	23,2	17,4	0,24	0,75	0,74
	2										0,72	
	3										0,68	
	4										0,79	
	5										0,78	
3	1	90	1,205	50910	73,09	73,9	169,1	26,2	22,8	0,26	0,68	0,67
	2										0,68	
	3										0,67	
	4										0,67	
	5										0,67	
4	1	90	1,205	67245	71,48	72,3	168,4	26,8	21,2	0,26	0,61	0,62
	2										0,62	
	3										0,64	
	4										0,63	
	5										0,62	
5	1	90	1,205	47264	72,65	73,4	168,0	26,6	22,0	0,26	0,89	0,88
	2										0,89	
	3										0,94	
	4										0,84	
	5										0,86	
6	1	90	1,205	51866	72,74	73,7	167,9	25,9	19,3	0,25	0,91	0,88
	2										0,93	
	3										0,84	
	4										0,88	
	5										0,86	



Ek 19. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için tav parametrelerine bağlı olarak tespit edilen erichsen derinlikleri



AA 3003				
TAV SICAKLIĞI ( °C)	I ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	II ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	III ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	ORT. ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)
310	8,7	8,6	8,5	8,60
330	9,2	9,3	9,1	9,20
350	9,3	9,4	9,3	9,33
380	9,3	9,7	9,6	9,53
410	9,8	9,7	9,6	9,70

AA 5754				
TAV SICAKLIĞI ( °C)	I ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	II ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	III ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	ORT. ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)
310	8,8	9,2	9,15	9,05
330	9,15	9	9,1	9,08
350	9,1	9,2	9,1	9,13
380	9	9,2	9,1	9,10
410	9,25	9,45	9,25	9,32

AA 5754 (HT)				
TAV SICAKLIĞI ( °C)	I ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	II ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	III ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)	ORT. ERİCHSEN DERİNLİĞİ (mm)
310	9,1	9,2	9,1	9,13
330	9,1	9,2	9,2	9,17
350	9,3	9,3	9,2	9,27
380	9,4	9,4	9,3	9,37
410	9,5	9,7	9,5	9,57

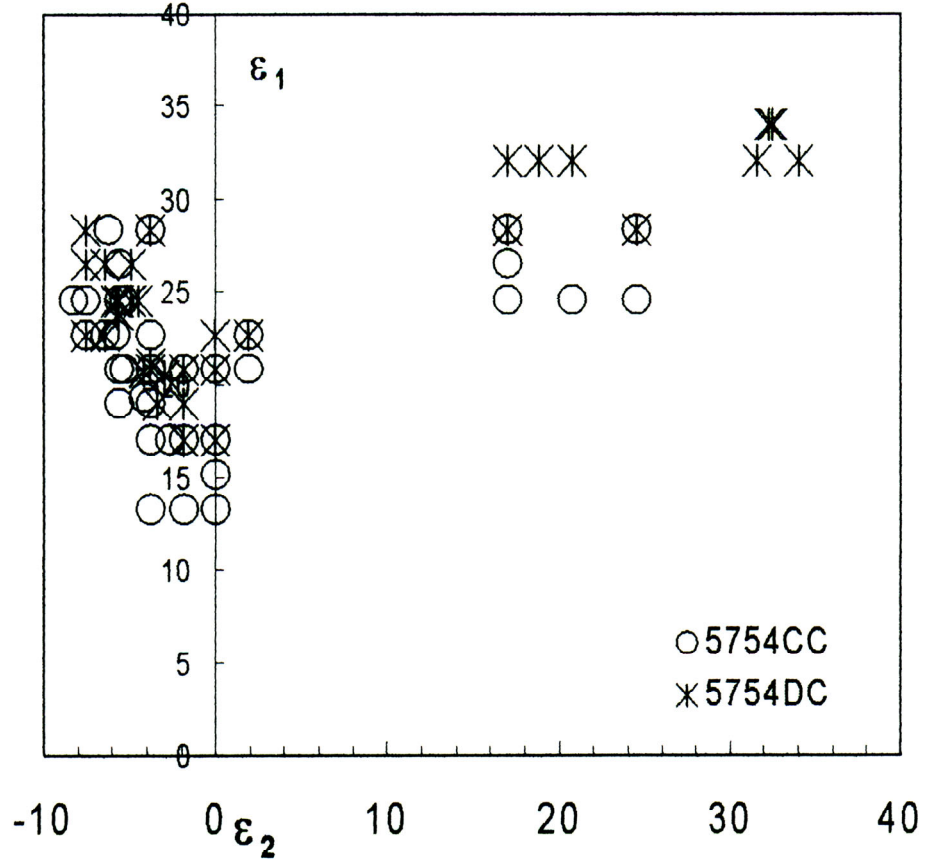
Ek 20. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için tav parametrelerine bağlı olarak tespit edilen % kulaklanma değerleri

TAV SICAKLIK VE SÜRELERİ	% KULAKLANMA		
	AA 3003	AA 5754	AA (HT) 5754
310 °C / 4 saat	-	11,473	8,014
330 °C / 4 saat	-	9,806	9,409
350 °C / 4 saat	12,706	11,892	10,135
380 °C / 4 saat	11,830	8,328	8,513
410 °C / 4 saat	10,160	7,790	7,536

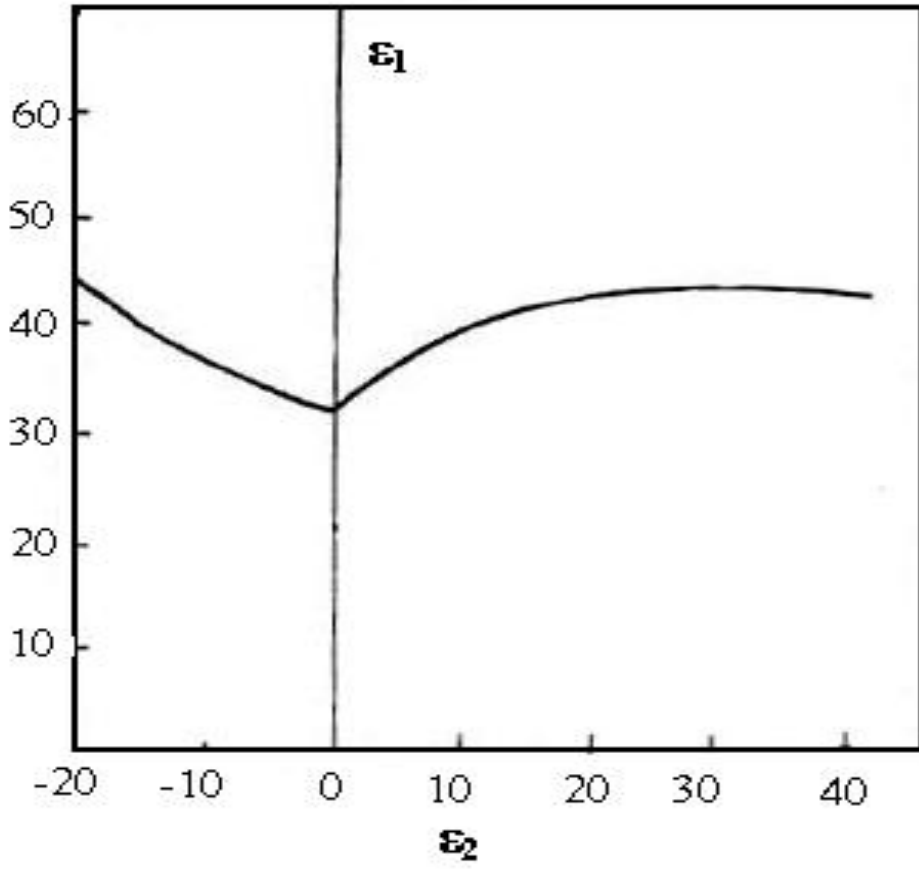
Ek. 21. AA 3003 , AA 5754 ve AA 5754 (HT) alüminyum alaşımları için tav parametrelerine bağlı olarak tespit edilen sertlik (HB) değerleri

Tav Sıcaklık ve Süreleri	Sertlik (Brinell)		
	AA 3003	AA 5754	AA 5754 (HT)
Tavsız	72,00	92,55	67,30
310 °C / 4 saat	58,33	44,00	40,66
330 °C / 4 saat	55,00	42,66	40,33
350 °C / 4 saat	53,33	42,33	39,00
380 °C / 4 saat	50,83	42,00	38,33
410 °C / 4 saat	39,00	41,66	37,66

Ek 22. Sürekli ve yarı sürekli döküm yöntemleriyle üretilmiş AA 5754 alüminyum alaşımı için elde edilen şekillendirme limit diyagramı



Ek 23. Sürekli döküm tekniği ile üretilmiş AA 3003 için elde edilmiş şekillendirme limit diyagramı



Ek 24. Deneyleer sırasında kullanılan prizmatik derin çekme kalıbı

