

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK HADDELENMİŞ 3003, 3105, 3005 ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARINDA ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK MAGNEZYUMUN
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur ATAŞEN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği

Mayıs 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK HADDELENMİŞ 3003, 3105, 3005 ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARINDA ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK MAGNEZYUMUN
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Uğur ATAŞEN
(506121221)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ercan AÇMA

Mayıs 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121221 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Uğur ATAŞEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“SOĞUK HADDELENMİŞ 3003, 3105, 3005 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK MAGNEZYUMUN ETKİSİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ercan AÇMA
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Serdar AKTAŞ
Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Filiz ÇINAR ŞAHİN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Aralık 2015

Savunma Tarihi : 20 Mayıs.2015

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım için tez yöneticiliğini kabul ederek, tezin hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve yardımlarından sürekli olarak faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Ercan AÇMA'ya, bilgi birikimi, tecrübesiyle yüksek lisans tezim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Dr. Onur MEYDANOĞLU'na teşekkürlerimi bir borç bilirim. Deneylerim süresince benden yardımlarını esirgemeyen Assan Alüminyum ürün ve proses geliştirme bölümü çalışanlarına çok teşekkürler.

Hayatım boyunca yanımda olan ve hayatımın bundan sonraki her aşamasında yanımda olacak olan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatımın her anında olduğu gibi yüksek lisans tezim süresince de yanımda olan, benden desteklerini asla esirgemeyen, fikirlerimi hep destekleyen, aldığım kararlara önyargısız saygı gösteren sevgili babam Kemal ATAŞEN, sevgili annem Nuran ATAŞEN, sevgili kardeşim Şeyma ATAŞEN ve hayat arkadaşım Seçil KIRLANGIÇ ATAŞEN'e sonsuz teşekkürleri sunarım.

Nisan 2015

Uğur ATAŞEN
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ	3
3. ALÜMİNYUM ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ.....	5
4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM İŞLEM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	7
4.1 Alüminyumun Karakteristik Özellikleri.....	7
4.1.1 Atom yapısı ve kristal kafesi.....	7
4.1.2 Fiziko- kimyasal özellikleri.....	8
4.1.2.1 Isı iletkenliği.....	8
4.1.2.2 Elektrik iletkenliği.....	8
4.1.2.3 Yoğunluk	8
4.1.2.4 Viskozite ve yüzey gerilimi.....	9
4.1.2.5 Kimyasal özellikleri	10
4.1.2.6 Mekanik özellikleri	10
4.1.3 Termodinamik özellikleri.....	10
4.1.3.1 Ergime ısısı.....	10
4.1.3.2 Özgül ısı ve entropi	10
4.2 Alaşım Elementleri Etkisi.....	10
4.2.1 Magnezyum.....	10
4.2.2 Çinko	11
4.2.3 Silisyum.....	11
4.2.4 Bakır	11
4.2.5 Mangan.....	11
4.2.6 Demir.....	12
4.3 Alüminyum İşlem Alaşımları	12
4.3.1 İşlem alaşımlarının karakteristik özellikleri.....	13
4.4 Sürekli Döküm Yöntemiyle Alüminyum Levha Malzemesi Üretimi	14
4.4.1 Ergitme	14
4.4.2 Tutma	17
4.4.2.1 Sıvı alüminyumda gaz ve safsızlıkların giderilmesi	18
4.5 Sürekli Döküm.....	18
4.6 Haddelenin Genel Esasları ve Soğuk Haddeleme	19
4.6.1 Temel tanımlar	19
4.6.2 Hadde tezgahları ve merdane yapıları.....	20

4.6.3 Haddelenmede etkili kuvvetler ve geometrik ilişkiler	22
4.6.4 Haddelenme kuvvetlerinin hesaplanması	23
4.7 Soğuk Haddelenme.....	24
4.7.1 Gereksinilen hadde basıncı ve hadde momenti	25
4.7.2 Hızın tesiri	26
4.7.3 Haddelenebilecek minimum kalınlık.....	27
4.8 Soğuk Haddelenmeyi Etkileyebilecek Faktörler	27
4.8.1 Hadde yağı.....	27
4.8.2 Hız	28
4.8.3 Gergi	28
5. DENEYSEL KISIM	31
5.1 Kullanılan Cihazlar.....	31
5.2 Deneylerin Yapılışı.....	32
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	33
6.1 Malzeme Karakterizasyonu	33
6.2 Mekanik Testler	41
6.3 Sertlik Testleri	41
6.4 Korozyon Testleri	42
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Alüminyumun fiziksel özellikleri (Varley, 1970).	7
Çizelge 4.2 : Alüminyumun ısı iletkenliğinin artan safiyete bağılı olarak artışı (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998)	8
Çizelge 4.3 : Tavlanmış katı metalin 20 °C'deki yoğunluğu için örnek birkaç değer (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları1998).	8
Çizelge 4.4 : %99,75 Al'lu bir metalin yoğunluğunun ergime noktası üzerindeki sıcaklıkla ilişkisi (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).	9
Çizelge 4.5 : Sıcaklıkla viskozitenin değişimi.....	9
Çizelge 4.6 : ANSA Standartlarına göre işlem alaşımlarının sınıflandırılması (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).	13
Çizelge 5.1 : 3003, 3005 ve 3105 alüminyum alaşımlarında alaşım elementlerinin yüzdeleri	32

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Bayer prosesi akış şeması ([http://www.norandaaluminum.com/bayerprocess.php], tarih yok).....	6
Şekil 4.1 : Al-Mg ikili faz diyagramı (MDPI).....	11
Şekil 4.2 : Al-Mn ikili faz diyagramı (www.m.iopscience.iop.org/ , tarih yok).	12
Şekil 4.4 : Soğuk hadde tezgahı (www.m-hmm.co.jp).....	20
Şekil 4.5 : Soğuk haddelemede kullanılan merdane çeşitleri a) Tek yönlü ikili merdane, b) Çift yönlü ikil merdane, c) Üçlü merdane, d) Dörtlü merdane, e) Cluster merdane (Kayalı ve Ensari, 1991).	21
Şekil 4.6 : Haddeleme kuvvetleri (www.metalforminginc.com).....	22
Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan cihazlar.	31
Şekil 6.1 : 50x büyütmede, 6 mm kalınlığında 3105 alaşım; a) Tavlanmamış, b) 580 °C, 8 saat tavlanmış, c) 550 °C, 8 saat tavlanmış, d) 520 °C, 8 saat tavlanmış.	33
Şekil 6.2 : 50x büyütmede, 6 mm kalınlığında 3005 alaşım; a) Tavlanmamış, b) 580 °C, 8 saat tavlanmış, c) 550 °C, 8 saat tavlanmış, d) 520 °C, 8 saat tavlanmış.	34
Şekil 6.3 : 50x büyütmede, 6 mm kalınlığında 3003 alaşım; a) Tavlanmamış, b) 580 °C, 8 saat tavlanmış, c) 550 °C, 8 saat tavlanmış, d) 520 °C, 8 saat tavlanmış.	34
Şekil 6.4 : 2 mm kalınlığında 50x büyütmede dağlanmış 3003 alaşım a) Döküm kalınlığında 580/8 saat tavlanmış, b) Döküm kalınlığında 550/8 saat tavlanmış, c) Döküm kalınlığında 520/8 saat tavlanmış.	35
Şekil 6.5 : 2 mm kalınlığında 50x büyütmede dağlanmış 3005 alaşım a) Döküm kalınlığında 580/8 saat tavlanmış, b) Döküm kalınlığında 550/8 saat tavlanmış, c) Döküm kalınlığında 520/8 saat tavlanmış.	36
Şekil 6.6 : 2 mm kalınlığında 50x büyütmede dağlanmış 3105 alaşım a) Döküm kalınlığında 580/8 saat tavlanmış, b) Döküm kalınlığında 550/8 saat tavlanmış, c) Döküm kalınlığında 520/8 saat tavlanmış.	37
Şekil 6.7 : 50x büyütmede, 0,50 mm kalınlığında 3003 alaşım malzemelerin dağlanmış görüntüleri.....	38
Şekil 6.8 : 50x büyütmede, 0,50 mm kalınlığında 3005 alaşım malzemelerin dağlanmış görüntüleri.....	39
Şekil 6.9 : 50x büyütmede, 0,50 mm kalınlığında 3105 alaşım malzemelerin dağlanmış görüntüleri.....	40
Şekil 6.10 : Farklı sıcaklıklarda tavlanan alaşımların çekme mukavemeti değerleri	41
Şekil 6.11 : Döküm kalınlığı ve farklı tav sıcaklıklarında gerçekleşen sertlik değerleri.....	42
Şekil 6.12 : 3105 alaşım malzemenin potansiyel-zaman grafiği.	43

Şekil 6.13 : 3005 alaşım malzemenin potansiyel-zaman grafiği.	43
Şekil 6.14 : 3003 alaşım malzemenin potansiyel-zaman grafiği.	44
Şekil 6.15 : 3003, 3005, 3105 alaşım malzemelerin 580 °C/8 saat tavlanmış potansiyel-zaman grafiği.	44
Şekil 6.16 : 3003, 3005, 3105 alaşım malzemelerin 550°C/8 saat tavlanmış potansiyel-zaman grafikleri	45
Şekil 6.17 : 3003, 3005, 3105 alaşım malzemenin 520 °C/8 saat tavlanmış potansiyel-zaman grafiği.	45

SOĞUK HADDELENMİŞ 3003, 3105, 3005 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK MAGNEZYUMUN ETKİSİ

ÖZET

Hafiflik, yüksek mukavemet ve korozyon direnci gibi özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahip olan alüminyum metali, farklı alaşım elementleri ilave edilerek farklı özellikler de kazanabilmektedir. Genel olarak Mn serisi olarak bilinen 3xxx serisi alaşımlar ambalajdan, otomotiv endüstrisine, dış cephe kaplamadan, cam çıtasına kadar geniş bir yelpazede kendisine kullanım alanı bulmaktadır. Mn ilavesiyle folyo malzemesi olarak kullanılabilen 3003 alaşım, Mg ilavesiyle otomotiv endüstrisinde ısı kalkanı olarak kullanılan 3005 alaşım, Mn ve Mg ilavesiyle kompozit panel olarak kullanılan 3105 alaşım bunlara birer örnek olarak gösterilebilir. Her alaşımın içerisinde yaklaşık olarak aynı miktarda bulunan Fe ve Si elementlerinin yanına ilave edilecek farklı alaşım elementleri ile istenilen özelliklerde alaşım üretebilmek mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışmada; ikiz merdane döküm tekniğiyle üretilmiş olan 3003, 3005 ve 3105 alüminyum alaşımlarında alaşım elementi olarak Mg'nin mukavemete, malzeme sertliğine ve korozyon direncine olan etkisi incelenmiştir. 6 mm döküm kalınlığında alınan numuneler sırasıyla farklı sıcaklıklarda homojenizasyon tavı işlemi görmüş, arkasından test hadde cihazında 2 mm kalınlığına 1 pas haddelenmiş, bu kalınlıkta bir ara tav işlemine tabi tutulduktan sonra 0,50 mm kalınlığına bir pas daha haddelenmiş ve nihai tav işlemi görerek proses sonlandırılmıştır. Çalışmamızda Mg'nin tek başına ilave edilmesiyle meydana gelen değişiklikler incelendiği gibi Mg'nin yüzdesi azaltılıp yanına başka bir alaşım elementi ilave edildiğinde ne gibi farklı özellikler kazanabileceği de araştırılmıştır. Alaşımların sertlik değerleri, mikroyapıları, mukavemet değerleri, korozyon değerleri incelenmiş olup; Mg'nin açık bir şekilde alaşımın bu özelliklerini değiştirdiği görülmüştür.

Sonuç olarak yüksek sertlik, yüksek mukavemet istenilen kullanım alanlarında Mg ilaveli alüminyum alaşımlarının kullanılmasının performans açısından daha sağlıklı olabileceği söylenebilir.

EFFECT OF MAGNESIUM AS AN ALLOYING ELEMENT IN COLD ROLLED 3003, 3005 AND 3105 ALUMINIUM ALLOYS

SUMMARY

It is well known that aluminum is the third abundant element on earthcrust after silicon and oxygen. Before chemists developed inexpensive ways to produce pure aluminum, it was considered a somewhat precious metal. In fact, in 1855, a bar of pure aluminum metal was displayed at the Paris Exposition. It was placed next to the French crown jewels. Aluminum production is a two-step process. First, aluminum oxide is separated from bauxite by the Bayer process. In this process, bauxite is mixed with sodium hydroxide (NaOH), which dissolves the aluminum oxide. The other compounds in bauxite are left behind.

The aluminum oxide is then treated with a process similar to the Hall method. There is not enough natural cryolite to make all the aluminum needed, so synthetic (artificial) cryolite is manufactured for this purpose. The chemical reaction is the same with synthetic cryolite as with natural cryolite. About 50 million metric tons of aluminum were produced in 2014 by this two-stage process.

It is widely used in automotive industry, packaging, heat exchangers because of its lightness, corrosion resistivity and high strength. After 1960's it became the second most consumed metal after steel. Before this date it was the copper. Annually 30 million tones of aluminium are consumed and many of them can be recycled and used again.

Commercially there are 8 series of aluminium alloy. Aluminium alloys are alloys in which aluminium (Al) is the predominant metal. The typical alloying elements are copper, magnesium, manganese, silicon, tin and zinc. There are two principal classifications, namely casting alloys and wrought alloys, both of which are further subdivided into the categories heat-treatable and non-heat-treatable. About 85% of aluminium is used for wrought products, for example rolled plate, foils and extrusions. Cast aluminium alloys yield cost-effective products due to the low melting point, although they generally have lower tensile strengths than wrought alloys. The most important cast aluminium alloy system is Al-Si, where the high levels of silicon (% 4.0 –13) contribute to give good casting characteristics. Aluminium alloys are widely used in engineering structures and components where light weight or corrosion resistance is required. These series can show different and significant features when they are compared with each other. 1xxx series of aluminium are the purest series and it almost contains more than 99.5 % aluminium. It is widely used as a heat exchanger. Aluminium alloy surfaces will formulate a white, protective layer of corrosion aluminium oxide if left unprotected by anodizing and/or correct painting procedures.

In a wet environment, galvanic corrosion can occur when an aluminium alloy is placed in electrical contact with other metals with more negative corrosion potentials than aluminium, and an electrolyte is present that allows ion exchange. Aluminum is used as pure metal, in alloys, and in a variety of compounds. An alloy is made by melting and then mixing two or more metals. The mixture has properties different from those of the individual metals. Aluminum alloys are classified in numbered series according to the other elements they contain. The 1000 classification is reserved for alloys of nearly pure aluminum metal. They tend to be less strong than other alloys of aluminum, however. These metals are used in the structural parts of buildings, as decorative trim, in chemical equipment, and as heat reflectors. The 2000 series are alloys of copper and aluminum. They are very strong, corrosion (rust) resistant, and can be machined, or worked with, very easily. Some applications of 2000 series aluminum alloys are in truck paneling and structural parts of aircraft.

The 3000 series is made up of alloys of aluminum and manganese. These alloys are not as strong as the 2000 series, but they also have good machinability. Alloys in this series are used for cooking utensils, storage tanks, aluminum furniture, highway signs, and roofing.

Alloys in the 4000 series contain silicon. They have low melting points and are used to make solders and to add gray coloring to metal. Solders are low-melting alloys used to join two metals to each other. The 5000, 6000, and 7000 series include alloys consisting of magnesium, silicon, and zinc, respectively. These are used in ship and boat production, parts for cranes and gun mounts, bridges, structural parts in buildings, automobile parts, and aircraft components.

The largest single use of aluminum is in the transportation industry (28 %). Car and truck manufacturers prefer aluminum and aluminum alloys because they are very strong, yet lightweight. Companies are using more aluminum products in electric cars. These cars must be lightweight in order to conserve battery power. General Motors, Ford, and Chrysler have all announced advanced new car designs in which aluminum products will be used more extensively. Aluminum producers also plan to make a wider variety of wheels for both cars and trucks.

Twenty-three percent of all aluminum produced finds its way into packaging. Aluminum foil, beer and soft drink cans, paint tubes, and containers for home products such as aerosol sprays are all made from aluminum.

Fourteen percent of all aluminum goes into building and construction. Windows and door frames, screens, roofing, and siding, as well as the construction of mobile homes and structural parts of buildings rely on aluminum.

The remaining 35 % of aluminum goes into a staggering range of products, including electrical wires and appliances, automobile engines, heating and cooling systems, bridges, vacuum cleaners, kitchen utensils, garden furniture, heavy machinery, and specialized chemical equipment.

Approximately 15 million tonnes of aluminium alloys use pure magnesium as an alloying element. 80 % of the world's production of aluminium wrought alloys and 60 % of the world's production of cast alloys use magnesium as an alloying addition. For the former category, additions of 0.1 % - 4.4 % magnesium improve the formability and weldability of aluminium alloys.

For the latter category, additions of 0.3 % - 1.5 % magnesium improve the corrosion resistance and tensile properties of aluminium alloys following heat treatment.

The magnesium containing aluminium alloys are used in 3 principal industries:

Packaging accounts for 50 % of the demand for magnesium in the aluminium sector, consuming approximately 70.000 tonnes per annum. The principal use of magnesium containing alloys in this sector is for beverage cans. Other applications include aluminium foils, food cans and aerosol canisters.

The automobile industry consumes 35 % or 50.000 tonnes of the magnesium being supplied to the aluminium industry. Wrought alloys containing magnesium are used primarily in the production of automotive sheet, while cast alloys containing magnesium are used in the production of cylinder heads, pistons and engine blocks.

Structural extrusion profiles in the construction industry account for the remaining 15 % of the demand for magnesium in the aluminium alloying sector.

Whenever aluminium products are fabricated by rolling, extruding, drawing, bending, etc., work is done on the metal. When work is done below the metal's recrystallisation temperature (cold work), it not only forms the metal, but also increases its strength due to the fact that dislocations trying to glide on different slip planes interact causing a "traffic jam" that prevents them from moving.

Fabricating processes carried out above the metal's recrystallization temperature (hot work) do not normally increase strength over the annealed strength condition.

With non heat-treatable wrought alloys, cold work is the only way of increasing strength. With heat treatable alloy, cold work applied after heat treating can increase strength still further.

It is going to be investigated the effect of magnesium in 3003, 3005 and 3105 aluminium alloys. Percentage of silicon and iron are almost same in these 3 metals; but when there is approximately 1.10 % manganese in 3003 alloy, there is 1.20 % magnesium in 3005 as an alloying element. 3105 contains nearly half of this amount of magnesium and manganese.

After taking samples from twin roll casting stand, samples' size are 6 mm thickness, 2000 mm length and 100 mm width. Samples were cut into small sizes for annealing and cold rolling. First of all, samples were annealed at 580 °C for 8 hours and respectively they were annealed 550 °C for 8 hours and 520 °C for 8 hours. After annealing they were rolled to 2 mm and at this thickness they annealed again at 410 °C for 4 hours. Lastly they were rolled again to 0.50 mm and for the last time they were annealed at 350 °C for 4 hours.

After the first annealing, it was taken hardness and strength values of the alloys. When we compared them, we saw that magnesium can effect both strength and hardness. 3005 alloy is harder and it has more strength than the other two alloys.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Keşfedilişinin üzerinden yaklaşık olarak iki yüzyıl geçmesine rağmen, kısa sürede çok geniş bir kullanım alanına sahip olan alüminyum, hafifliği ve yüksek mukavemeti sebebiyle demirden sonra en çok kullanılan metal olmuştur. Doğada saf halde bulunmayışı ve cevherden üretiminde çok yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmasından dolayı çok az miktarlarda üretilen alüminyumun elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanması ile birlikte üretimi kısa sürede katlanarak artmış ve teknolojinin gidişatını çok keskin bir şekilde değiştirmiştir.

Alüminyum, alaşım formunda metalurjik esaslar dahilinde mekanik özelliklerinin farklı dereceler içermesi sayesinde mukavemet ve şekillenebilirlik arasındaki sahip olduğu uyum ile çok farklı endüstri kollarında çeşitli ürünler ile gereksinimlerimizi karşılama konusunda üzerine düşen görevi yerine getirmektedir. Günümüzde alüminyum ve alaşımları elektrik-elektronik sektörü, kimya endüstrisi, otomobil ve uçak parçaları yapımı, inşaat alanı ile özellikle ambalaj sanayiinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

İçerdiği farklı alaşım elementleri ile farklı seri isimleri alan alüminyum alaşımlarından bu çalışmada ele alınacak olan seri 3000 serisi olacaktır. Genel olarak mangan serisi olarak bilinen 3000 serisi alüminyum alaşımlarına, manganın yanısıra magnezyum ilave edildiğinde mukavemette, sertlikte ve korozyon direncinde meydana gelen değişiklikler bu tezin konusunu oluşturacaktır. Demir ve silisyumun yanında mangan içeren 3003 alaşım, mangan yerine sadece magnezyum içeren 3005 alaşım ve her ikisini birden içerip, içerdiği miktar diğer iki alaşıma göre daha az olan 3105 alaşım ele alınmış ve aralarındaki mukavemet, sertlik ve mikroyapısal farklılıklar deneylerle ortaya konulmuştur.

2. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ

Alumine kelimesinin isim babası olarak Antoine Laurent Lavoisier'in yardımcılığını yapan Louis Guyton de Morveau (1736- 1816) gösterilmektedir. Alumine kelimesi Roma imparatorluğu döneminde potasyum alum olarak kullanılan latince alumen kökünden gelmektedir (Vargel, 2004). Alüminyum metali yeryüzünde oksijen (%46,7) ve silisyumdan (%27,6) sonra en fazla bulunan element olmasına karşın (%8) doğada saf halde bulunmadığından dolayı keşfedilip üretim yöntemlerinin geliştirilmesi 1800'lü yılların ortalarına doğru mümkün olabilmıştır. Bu yüzden alüminyum en genç metal olarak tanımlanmaktadır (Edwards ve diğ, 1985).

1821 yılında Fransa'nın güneyindeki küçük bir köyün yakınlarında ilk alüminyum cevheri keşfedilmiş ve ticari nitelikteki bu cevher adını söz konusu Les Baux bölgesinden alarak boksit olarak tanımlanmıştır. Boksitin bileşimi bir ikili hidratına yaklaşıp olup böyle bir mineralin mevcudiyeti hiçbir zaman tespit edilemediğinden bunun böhmite, diaspor ve gibsite gibi hidroksitlerin karışımı olduğu kanaatine varılmıştır (Tulgar, 1987'de atıfta bulunulduğu gibi).

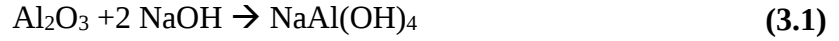
Yer kabuğunda çok fazla miktarda bulunuyor olmasına rağmen, alüminyum metali 19'uncu yüzyılın sonlarına kadar endüstriyel bir metal olamadı. Alümina, oksitler içinde en stabil olanlardan birisiydi ve bu yüzden oksiti redüklemek oldukça zordu (Vargel, 2004).

1886 yılında Charles Martin Hall A.B.D'de, Paul Louis Heroult ise Fransa'da birbirlerinden habersiz olarak buldukları kendi isimleriyle anılan yöntemde (Hall-Heroult) elektrolit olarak ergimiş elektrolit ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$) kullanarak (2050°C) gibi yüksek bir ergime sıcaklığına sahip alüminanın eritilmesini ancak bu şekilde mümkün kılabılmışlardır. Hall-Heroult yöntemiyle dünyanın ilk alüminyum ingotu 1888 yılının kasım ayında Pittsburgh Reduction Company tarafından üretilmiştir (Edwards ve diğ, 1985).

Alüminyumun ilk büyük kullanım alanı 1890'lı yıllara rastlamıştır. Alüminyum iletken olarak ilk kez 1895 yılında elektrik nakli için kullanılmıştır. I. Dünya Savaşı başlarında Alfred Wilm adlı Alman metalurjist, çeliğin yapısal özelliklerine benzer özellikleri haiz ve ısıtma işlemi uygulanabilen duralümin alaşımını bakır, mangan ve magnezyum katılmış alüminyumun yüksek sıcaklıkta ısıtılmasının ardından soğuk suda su verilmesi sonucu elde etmiştir. 2. Dünya Savaşı sürecinde alüminyum alaşımları hafifliğinden, mukavemetinden ve korozyon özelliklerinin iyi olmasından ötürü savaş uçakları için vazgeçilmez bir malzeme olmuştur. 1945 yılında 2. Dünya Savaşı sona erdiğinde dünyadaki alüminyum tüketimi en yüksek seviyeye çıkmıştır. Günümüzde de alüminyum ve alaşımları yıllık tüketimde demir-çelik mamullerinin ardından ikinci en fazla tüketilen malzeme durumundadır (Edwards ve diğ., 1985; Tulgar, 1987'de atıfta bulunulduğu gibi).

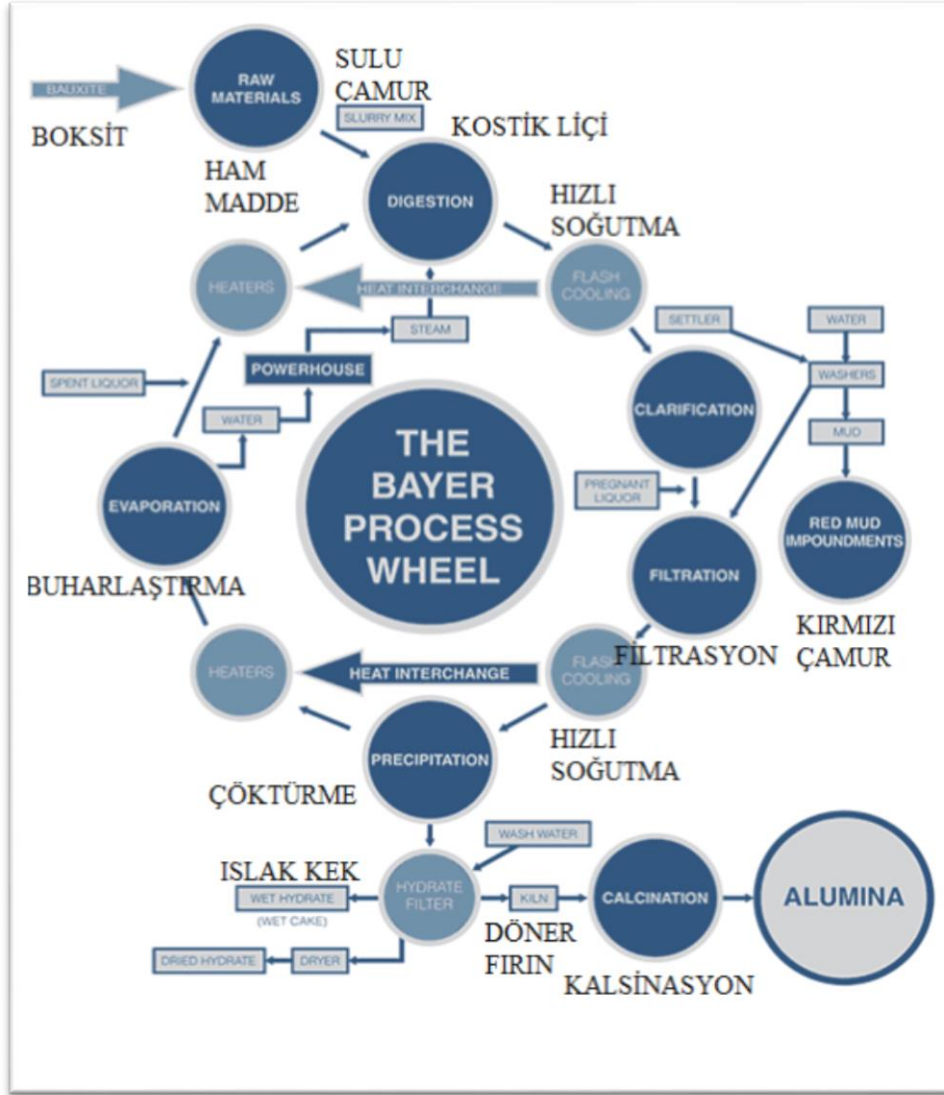
3. ALÜMİNYUM ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Genellikle %45-65 alümina, %1-12 silis, %2-25 demir ve %14-36 oranında kristal suyu içeren boksit cevherinden saf alüminanın elde edilmesi için kullanılan usullerden Bayer Metodu, pratik olarak yüksek tenörlü cevherlerin işlenmesinde dünya çapında kullanılan yegane metoddur. Cevherde mevcut organik maddeleri ortadan kaldırmak ve malzemenin dehidratasyonunu sağlayabilmek için kırılmış cevher, çok katlı veya döner fırınlarda 600°C’de kalsine edilir ve ardından bilyalı değirmenlerde 100 meş’e kadar öğütülür. Bu noktada liç işlemini erken başlatmak ve tozlaşmayı önlemek için yaş (%10 kostik liç ile) öğütme de yapılabilmektedir. Öğütülmüş boksit cevheri %30’luk sud kostik ile çalkalanır ve buharla çalışan otoklavlara gönderilerek 4 ile 5 saat 20 atm basınç altında 160-170°C’ye ısıtılır. Alümina, sıcaklık ve basıncın etkisi altında;



denklemine göre sodyum tuzu oluşarak çözeltiye geçer. Bu işlem sırasında demir kendiliğinden çökerek ayrılır. Hematit ağırlıklı olduğundan kırmızı çamur adını alan bu demir çökeleğinin içinde bir miktar diğer empüriteler (Ge, In, V) ve NaOH kalmakla beraber hidrodinamik olarak tesis dışında bir baraja itilir. Yoğun bir hale getirilmiş olan pülp ise yoğunluğu 1,2 g/cm³ oluncaya kadar seyreltilir. Dinlendirme ve filtre işlemlerinin tatbiki ile elde edilen berrak taşıyıcı çözelti, karıştırma tanklarına akıtılır. Daha önceki karışımdan gelen alüminyum hidrat aşılama katısı olarak karıştırma tanklarına ilave edilir. Aşılama katısı çöktürülecek toplam miktarın 2-2,5 katıdır. Böylece karıştırma sonunda çözeltinin içerdiği alüminin yaklaşık yarısı çökeltilmiş olur. Bu çökelti döner vakum filtrelerde filtre edilir, sud kostikten tamamen temizlenmesi için yıkanır ve %99’dan daha fazla alümin ihtiva eden bir ürüne dönüşmesi için döner fırınlarda alüminin kilogramı başına yaklaşık 1350 kcal enerji sarfıyatı ile 1150°C’de kalsine edilir (Duman, 1999; Dennis, 1987’de atıfta bulunulduğu gibi).

İzabik alüminyumun safiyeti %99,5-%99,9 aralığında değişirken yüksek parlaklıkta eloksalları yapımı ve elektronik endüstrisi gibi çok değişik uygulamalarda %99,9'dan daha saf alüminyum istenir. Bu nedenle 3 tabaka elektrolizi olarak da bilinen rafinasyon elektrolizi uygulanır. Söz konusu elektroliz hücrelerindekişlere göre tam terstir. Çalışma sıcaklığı 750-800°C; amperaj değeri 20-40 A olan bu elektroliz uygulamasında ergitme olmaksızın organik tuz-toluen karışımı kullanılarak oluşturulan elektrolit sıvısı yardımıyla yapılan redükleme sayesinde belirtilen yüksek safiyetlerde alüminyum eldesi mümkün olabilmektedir (Duman, 1999).



Şekil 3.1 : Bayer prosesi akış şeması ([<http://www.norandaaluminum.com/bayer-process.php>], tarih yok)

4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM İŞLEM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

4.1 Alüminyumun Karakteristik Özellikleri

Çizelge 4.1 : Alüminyumun fiziksel özellikleri (www.m.iopscience.iop.org/, tarih yok).

ÖZELLİK	SAFLIK				
	%99,999	%99,99	%99,8	%99,5	%99
Ergime Noktası (°C)		660,2			657
Kaynama Noktası (°C)		2480			
Ergime Gizli Isısı (cal/g)		94,6			93
Spesifik Isı, 100 °C'de (cal/g)		0,2226			0,2297
Buharlaştırma Entalpisi (kJ/mol)	294				
Yoğunluk, 20 °C'de (g/cm ³)	2,7	2,7	2,7	2,71	2,71
Elektrik Direnci, 20 °C'de $\mu\Omega$ -cm	2,63	2,68	2,74	2,8	2,87

4.1.1 Atom yapısı ve kristal kafesi

Alüminyum periyodik sistemin 3. Grubunda olup, atom numarası 13, atom çapı, 1,43 Å, iyon çapı 0,86 Å ve atom ağırlığı 26,97 g'dır. Yüzey merkezli kübik bir atom

kafesine sahiptir. Her bir alüminyum atomu komşu on iki iyon tarafından çevrelenmiş olduğundan koordinasyon sayısı 12’dir.

Katılaşma sırasında ayrışan alüminyum kristalleri düzensiz çok yüzeyliler, kendi aralarında üç boyutta birbirine temas eden birim küplerden taneler meydana getirirler (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

4.1.2 Fiziko- kimyasal özellikleri

4.1.2.1 Isı iletkenliği

Alüminyumun ısı iletkenliği artan safiyet derecesiyle orantılı olarak büyür.

Çizelge 4.2: Alüminyumun ısı iletkenliğinin artan safiyete bağlı olarak artışı (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

Al, %	Isı İletkenliği (cal/cm.s.°C)
99,489 (200°C)	0,5
99,70 (200°C)	0,531
99,90 (190°C)	0,82

4.1.2.2 Elektrik iletkenliği

Alüminyumun elektrik iletkenliği yükselen safiyet ile artar ve mevcut safsızlıklar elektrik iletkenliğini değişik ölçülerde etkilerler.

4.1.2.3 Yoğunluk

Hem sıvı hem katı alüminyumun yoğunluğu artan safiyet derecesiyle orantılı olarak düşer.

Çizelge 4.3: Tavlanmış katı metalin 20°C’deki yoğunluğu için örnek birkaç değer (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

Al, %	99,25	99,40	99,75
Yoğunluk,g/cm ³	2,727	2,706	2,703

Çizelge 4.4: %99,75 Al’lu bir metalin yoğunluğunun ergime noktası üzerindeki sıcaklıkla ilişkisi (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)
658,7	2,382
700	2,371
800	2,343
900	2,316
950	2,303
1000	2,289
1100	2,262

4.1.2.4 Viskozite ve yüzey gerilimi

Rothwell çizelge 4.5’teki viskozite değerlerini hesaplariken aşağıdaki eşitlikten faydalanmıştır (Van Horn, 1967’de atıfta bulunulduğu gibi).

$$\eta \cdot V^{1/3} = A \cdot e^{C/VT} \quad (4.1)$$

V= Spesifik hacim, A= 2,353.10⁻³, C=581,2, T= Sıcaklık (K)

Çizelge 4.5 : Sıcaklıkla viskozitenin değişimi.

Sıcaklık (°C)	Teorik Viskozite (Poise)	Ölçülen Viskozite (Poise)
662	0,01379	0,01379
669	0,01364	0,01362
689	0,01317	0,01317
718	0,0125	0,01254
768	0,01175	0,01162
806	0,01102	0,01102
833	0,01058	0,01063

4.1.2.5 Kimyasal özellikleri

Alüminyum yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir; oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin oluşum enerjisi oldukça yüksektir. Havada ince fakat çok sıkı bir oksit filmi ile kaplanır. Bu film metale yüksek bir korozyon direnci sağlar.

4.1.2.6 Mekanik özellikleri

Yüksek safiyetteki alüminyum teknik safiyetteki metale nazaran çok daha yumuşak ve kolay şekillenebilmektedir. Mekanik mukavemeti ise daha düşüktür. % 99,25 Al'lu bir metalin Young Modülü 7100 Mpa'dır. çok saf alüminyumunki ise ancak 6700 MPa'dır.

4.1.3 Termodinamik özellikleri

4.1.3.1 Ergime ısısı

Metalik alüminyumun özgül ergime ısısı 93 Kcal/g'dır. Alüminyumun özgül ergime ısısı küçük atom tartısı nedeniyle diğer metallere karşılık çok yüksektir.

4.1.3.2 Özgül ısı ve entropi

Katı Al'nin oda sıcaklığında sahip olduğu standart molar entropisi $S^0_{298} = 28,3 \text{ j/molK}$

Gaz Al'nin oda sıcaklığında sahip olduğu standart molar entropisi $S^0_{298} = 164,6 \text{ j/molK}$

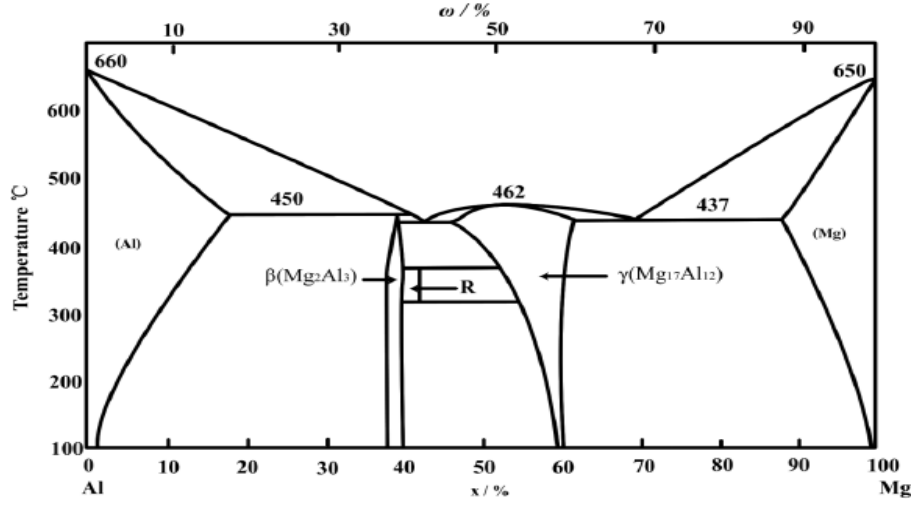
4.2 Alaşım Elementleri Etkisi

Alüminyum pek çok element ile alaşım yapabilme yeteneğine sahiptir. Özellikle şekillendirme yöntemi ve ısıtılma işlemi bağli olarak aynı kimyasal kompozisyona sahip farklı özelliklerde alaşım üretimi yapılabilir. Yaygın olarak kullanılanlar şu şekildedir.

4.2.1 Magnezyum

Şekil 4.1'de görülen Al-Mg ikili faz diyagramına göre, Mg ilavesi döküm alaşımlarında %10'a, diğer yöntemlerle üretilen alaşımlarda ise %7'ye kadar çıkarılabilmektedir. Tavlama koşullarında mukavemetteki artış Mg içeriği ile doğru orantılıdır. Mg alaşımları kaynak koşullarında iyi bir performans sergilerler. Bu yüzden mühendislik yapılarında, basınçlı kaplarda ve kimyasal tesislerde

kullanılabilmektedir. Genel olarak Mg içeren alüminyum alaşımlarının korozyon direnci oldukça yüksek olup, gemi yapımında kullanılabilmektedirler (MDPI)



Şekil 4.1 : Al-Mg ikili faz diyagramı (MDPI).

4.2.2 Çinko

Dökülebilirliği düşürür; yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler; %10 Zn'dan yüksek alaşımlar gerilim yenimi çatlaması gösterir. Diğer alaşım elementleri ile birlikte dayancı çok artırır.

4.2.3 Silisyum

Akışkanlığı artırır, sıcak çatlama eğilimini azaltır; %13'den fazla silis içeren alaşımların işlenmesi çok zordur, yenim direncini artırır.

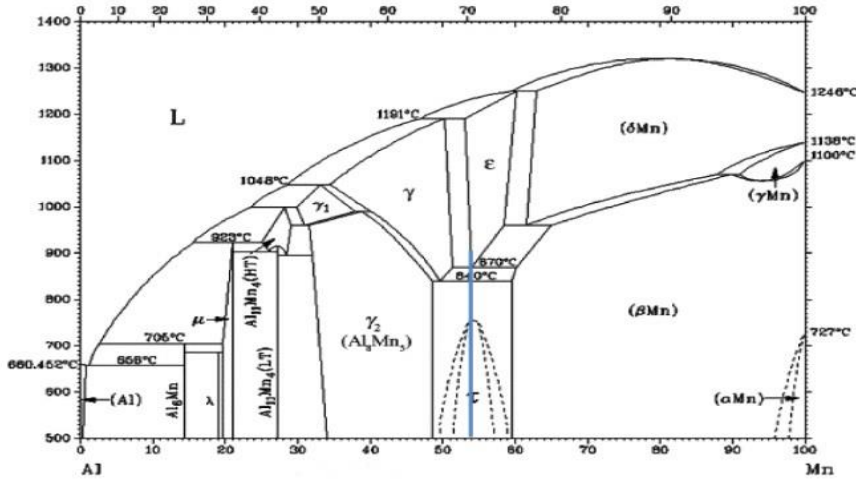
4.2.4 Bakır

%12 Cu'a dek dayancı artırır, daha fazlası gevreklik yaratır, genellikle yüksek sıcaklık özellikleriyle işlenebilirliği artırır.

4.2.5 Mangan

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere, Mn'nin alüminyum içerisindeki maksimum çözünürlüğü %1,82'dir. Fe'nin varlığında bu oran %1,25'lere düşer. Fazla eklendiğinde $MnAl_6$ intermetalik bileşik oluşturabilir, bu da yerel süneklik açısından kötü etkilere sebep olur. Mn ilavesi mukavemeti arttırmakla birlikte malzemenin korozyon direncini bozmadan yeniden kristalleşme sıcaklığını 50-60 °C kadar

arttırılabilir. Mn'li alaşımlar tavlanma esnasında kaba taneler oluşturmaya meyilli olurlar. En çok kullanılan alaşım ise 3003'tür.



Şekil 4.2 : Al-Mn ikili faz diyagramı (www.m.iopscience.iop.org/, tarih yok).

4.2.6 Demir

Alüminyum cevherlerinde doğal olarak bulunur, az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancını artırır, dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

4.3 Alüminyum İşlem Alaşımları

Alüminyum işlem alaşımları için Dünya'da en yaygın kullanılan simgeleme sistemi Amerikan Ulusal Standartlar Birliği (ANSA) tarafından belirlenen olup bu sistem en basit şekliyle aşağıda açıklandığı gibi dört rakamdan oluşmaktadır. Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1XXX dizisi arı alüminyum (%99,00) belirtir.

Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen empürite elementlerinin yüzdesini belirtir ve 1'den 9'a kadar değişebilir. ANSA Standartlarındaki alaşım elementleri ve yapılarına göre temel sınıflandırma çizelge 4.5'de gösterilmiştir (Öztürk, 1999).

Çizelge 4.7 : ANSA Standartlarına göre işlem alaşımlarının sınıflandırılması (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

Simge	Temel alaşım elementi	Yapısı
1XXX	Saf Alüminyum	Tek Fazlı
2XXX	Bakır	İki Fazlı
3XXX	Mangan	Tek Fazlı
4XXX	Silisyum	İki Fazlı
5XXX	Magnezyum	Tek Fazlı
6XXX	Magnezyum-Silisyum	İki Fazlı
7XXX	Çinko	İki Fazlı
8XXX	Diğer Elementler	
9XXX	Kullanılmayan Dizi	

4.3.1 İşlem alaşımlarının karakteristik özellikleri

Söz konusu alaşım grupları herbirinin kendi içindeki karakteristliğine göre aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

1XXX serisi, %99,00 veya daha fazla alüminyum içeren bu alaşımların en büyük karakteristik özelliği mükemmel korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenlik, düşük mekanik özellikler ve mükemmel şekillenebilirliktir. Demir ve silis bu serinin en önemli empüriteleridir. Genel kullanım alanları; kimyasal araçlar, yansıtıcılar, ısı değiştiricileri, elektrik iletkenleri, kapasitör, paketlenme folyosu ve dekoratif süsleme amacıyla kullanılır (Öztürk, 1999).

2XXX serisinin en önemli alaşım elementi bakırdır. Diğer önemli elementi magnezyumdur ve genelde bakır ile birlikte kullanılır. Bazı durumlarda mekanik özellikleri daha da iyileştirmek için yaşlandırma ısı işlemi uygulanır. Bu işlem sonucunda çekme mukavemetinde çok büyük bir değişim gözlenmez. Bu serideki alaşımların korozyon direnci diğer alüminyum alaşımlarına göre çok daha düşüktür. Bu tür alaşımların korozyon direncini arttırmak için saf alüminyum ve/veya magnezyum silis alaşımı ilavesi yapılır. Genel uygulama alanları; kamyon ve uçak lastikleri, kamyon süspansiyonları, uçak kanat yüzeyleri ve yapısal parçalardır (Öztürk, 1999).

3XXX serisinin en önemli alaşım elementi manganezdır. 3003, 3004, 3105 alaşımları mukavemetlerini ve işlenebilirliklerini arttırmak için geniş bir spektrumda

kullanılırlar. Bu alaşımların kullanıldığı yerler; ısı değıştiricileri, depolama tankları, karayolu şirketleri, çatı gereçleridir (Öztürk, 1999).

4XXX serisinin en önemli alaşım elementi silisyumdur. Bu serideki birçok alaşımın ısı işlem kabiliyeti yoktur; fakat ısı işlem görebilir metalleri kaynaklamak için kullanıldığında, kaynak yaptığı metalin belirli kısmını yapısına alabilir. 4032 alaşımının düşük sürtünme direnci olduğundan makine piston üretiminde kullanılır.

5XXX serisinin en önemli alaşım elementi magnezyumdur. Bu serideki alaşımların en karakteristik özellikleri, iyi kaynaklanabilmeleri ve denizel ortamda yüksek korozyon direncidir. Magnezyum oranı arttıkça alaşım gerilmeli korozyon çatlaması riski artar. Bu tür alaşımlar depolama tanklarında, otomotiv parçalarında, dekoratif süslemelerde, kutularda ve vinç parçalarında kullanılırlar (Öztürk, 1999).

6XXX serisinin en önemli alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. 2XXX ve 7XXX serisindeki kadar güçlü olmasa da, 6XXX serisi alaşımların şekillenebilme kabiliyeti, kaynak kabiliyeti, işlenebilme kabiliyeti ve korozyon direnci yüksektir. Bunların kullanılma alanları; bisiklet iskeletleri, taşıma araçları, köprü parmaklıkları ve geleneksel parçalardır.

7XXX serisinin en önemli alaşım elementi çinko olup bu alaşım grubuna %1 ile %8 arasında ilave edilir. Genellikle diğer elementler, bakır, krom çok az miktarda ilave edilirler. Bu alaşımlar; uçak yapılarında, taşınabilir araçlarda ve diğer yüksek gerilimli parçalarda kullanılırlar.

8XXX serisinde ise kullanılan alaşım elementleri çok geniş bir spektrumda yer almaktadır. %2,4-2,8 lityum içeren 8XXX serisi alaşımları, uzay araçlarının yapımında ve uçaklarda kullanılmaktadır (Öztürk, 1999).

4.4 Sürekli Döküm Yöntemiyle Alüminyum Levha Malzemesi Üretimi

4.4.1 Ergitme

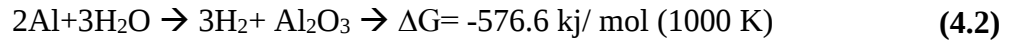
Ergitme işleminde kullanılan fırın tipleri genellikle reverber, pota, düşük ve yüksek frekans indüksiyon fırınları olup söz konusu seçimi etkileyen faktörler: a) Gerekli metal miktarı b) Kapital tasarrufu c) Şarj malzemelerinin form ve tipleri d) Ergitme

oranı ve gerekli sıcaklık kontrolü e) Gerekli ergitme kalitesi f) Ürün tipi'dir (Kalyoncu, 1997).

Alüminyumun ergitilmesi sırasında karşılaşılan safsızlıklar:

- Hidrojen
- İnklüzyonlar
- Alkali metaller
- Diğer metaller'dir.

Hidrojen ve ondan düşük oranda sodyum; alüminyum banyolarında yüksek buhar basınçlarına sahiptir. 1 atm basınç altında hidrojenin çözünürlüğü 1 ppm olup sıcaklıkla hızlı bir şekilde artar. Ticari metal H₂ atmosferinde tutulmamakla beraber rutubet içeren hava ortamında bulunması kaçınılmazdır. Bu durumda nem, ergimiş veya oksit katmanı içindeki Al ile reaksiyon verir.



Hidrojen atomları H₂ atmosferi ve hava ortamında oksit katmanı boyunca difüze olurlar ve banyo ile,



tepkimesine girerler. Serbest enerjinin (ΔG)'nin çok düşük seviyelerde bulunduğu koşullarda, tüm su buharı oksit katmanında hidrojen varlığında oksite dönüşür. Redüksiyon hücrelerinden gelen metal, transfer fırınına aktarıldığında 0,3-0,6 ppm hidrojen içerir. Ergitme fırınında hidrojen içeriği ergitme sıcaklığının ani hidrojen buharlaşması ile birlikte düşmesi nedeniyle azaltılabilmektedir.

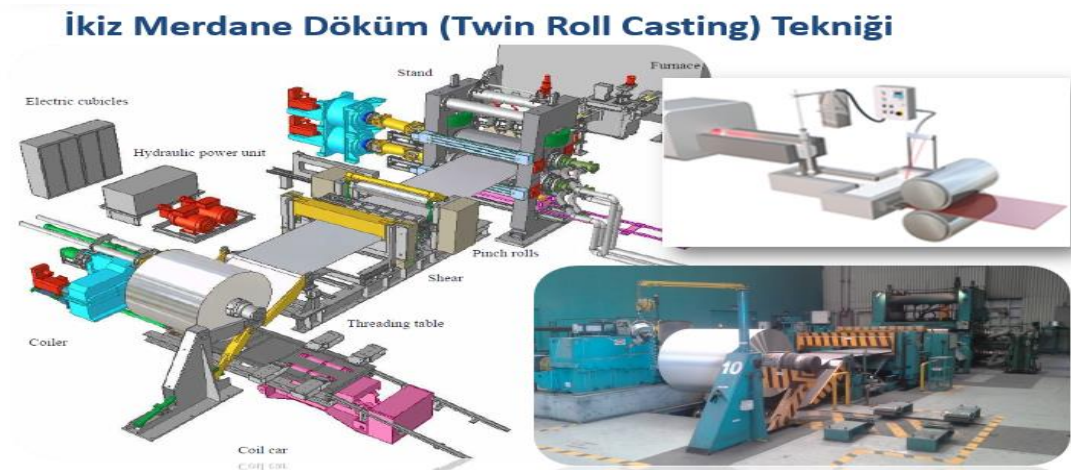
Alüminyum içerisinde hidrojen varlığının ikinci sebebi alaşım elementleri ilavesidir. Üretim ve işlem parametrelerine bağlı olarak magnezyum 0,5-8 ppm hidrojen içeriğine sahip olup benzer şekilde Ti, Mn ve Fe de bünyelerinde barındırdıkları H₂ ile en büyük kaynak olabilir. Üçüncü bir sebep ise ikincil üretimde metal yüzeyinde yer alan nem katmanı olup hidrojeni arttıran nedenlerden biridir.

Ayrıca birçok reverber fırında gaz veya petrol ürünü yakıtlar kullanılmakta olup oluşturdıkları su buharı hidrojen içeriğini olumsuz etkilemektedir. Genel itibarıyla 720°C sıcaklığındaki banyoda 100 mm Hg basınç altında 0,3-0,4 ppm hidrojen oranı nominal kabul edilmekte olup ergimiş alüminyumun kompozisyonu, sıcaklığı ve fırın atmosferi rutubetinin kontrolü gibi önlemler proses sırasında muhakkak yer almalıdır.

Sodyum, magnezyum, kalsiyum, lityum gibi alkali metaller redüksiyon hücrelerinden geldiklerinden dolayı folyo üretiminin başlangıcında hammadde içinde bulunmaları muhtemel olup flakslamadan sonra çözülmemiş tuz olarak giderilirler.

Alaşımlandırma esnasında ilave edilen demir, silisyum, titanyum, vanadyum, galyum kazandırılmak istenen özellikleri olumsuz yönde etkileyebilirler. Demir mineralleri normal proses gelişimi dahilinde Bayer prosesi sonunda kırmızı çamurla uzaklaştırılırlar. Ancak diğer hammaddeler ve ergitme sırasında kullanılan demir hücre parçalarının korozyonu neticesinde sıvı banyodaki yüzdelerde artış kaydedilir(Guthrie ve Nilmani, 1993).

Alüminyumun ergitilmesi sırasında oksijen içeren atmosfer ile karşılaşan alaşımın yüzeyinde ani şekilde oksit tabakası meydana gelir. Oksidasyon sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmakta ve ince oksit parçaları ergimiş alüminyum içinde alüminyuma yakın özgül ağırlıkları nedeniyle asılı kalmakta ayrıca yüksek spesifik yüzey alanı flotasyon ve çökmeyi yavaşlatmaktadır. Bununla beraber eriyikten ayrılan oksitler önemli miktarda kullanışlı metalik alüminyumu da tutmaktadır (Davis, 1996).



Şekil 4.3 : İkiz merdane döküm tekniği.

Alüminyumun ergitilmesi sırasında oksijen içeren atmosfer ile karşılaşan alaşımın yüzeyinde ani şekilde oksit tabakası meydana gelir. Oksidasyon sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmakta ve ince oksit parçaları ergimiş alüminyum içinde alüminyuma yakın özgül ağırlıkları nedeniyle asılı kalmakta ayrıca yüksek spesifik yüzey alanı flotasyon ve çökmeyi yavaşlatmaktadır. Bununla beraber eriyikten ayrılan oksitler önemli miktarda kullanışlı metalik alüminyum da tutmaktadır.

Bu durumu gidermek için kullanılan flakslar, genellikle %50'lik oranlarda NaCl ve KCl karışımı olup oksidasyonu geciktirir; inklüzyonun giderimini hızlandırıp metalik alüminyumun kaybını azaltırlar. Alüminyum alaşımlarında dört temel tip flaks vardır:

- 1) Örtü flakslar: Ergimiş metalin oksidasyonuna karşı fiziksel engel sağlamak için kullanılırlar.
- 2) Temizleyici flakslar: Oksit inklüzyonları ıslatarak ergimiş metalden daha kolay ayrılmasını sağlarlar.
- 3) Drostaki metali kazanmak için kullanılan flakslar: Sıvı alüminyum atmosfer veya sıvı nem ile temas ettiğinde, alüminyum oksit ve diğer oksitlerin birleşerek toplanmaları sonucu yüzeyde dros adı verilen bir tabaka meydana gelir. Sıvı alüminyum üzerinde oluşan bu oksit tabakası karıştırılıp dağıtılmadığı sürece iyi bir koruyuculuk görevi yapar. Oksit tabakasının kalınlığı en düşük seviyede tutularak aşırı oksit oluşumu önlenir. Yüzeydeki oksit tabakasının ortadan kaldırılması ile yeniden bir oksit tabakası oluşacaktır. Dros flaksları alüminyum oksit ile reaksiyona girerek drostaki alüminyumun geri kazanılmasını sağlar.
- 4) Rafinasyon flaksları: Ergimiş metalde belirli metalik elementlerle reaksiyona girerek, örneğin belirli klor içeren bileşikler içeren magnezyum, kalsiyum, lityum, sodyum ve potasyum ile reaksiyon vererek bu metalleri çözünmeyen klorürlerini oluşturarak yoğunluk farkından dolayı dros fazına gitmelerini sağlarlar (Davis, 1996).

4.4.2 Tutma

Döküm hatları için gerekli olan hazırlanmış metal ihtiyacının karşılanmasına yönelik uygulanır. Tutma fırınlarında metalin dinlendirilmesi ile sıvı metalde homojen dağılım ve döküm sürekliliği sağlanır (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

4.4.2.1 Sıvı alüminyumda gaz ve safsızlıkların giderilmesi

Gaz giderme olarak bilinen işlem esasen bir rafinasyon işlemi olup katılaşma sırasında yapıda istenmeyen üç grup maddenin giderilmesi için uygulanır.

Bunlar: 1) Sıvı alüminyumda çözünmüş olarak bulunan hidrojen gazı 2) Banyoda süspansiyon halde bulunan, metalik olmayan yabancı maddeler 3) Birincil alüminyumdan gelen ve sıvı alüminyumda çözünmüş olarak bulunan alkali ve toprak alkali elementlerdir.

Döküm sonrasında alüminyum folyoda çözeltide veya gaz halinde bulunan hidrojen, gaz boşluğu, pinhole, blister gibi kalite hatalarına neden olduğu gibi, alüminyum folyonun mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkiler (Uz, İnceleme Ve Araştırma Raporu, 1989).

4.5 Sürekli Döküm

Günümüzde levha döküm tekniği ile sarılabilir ruloların direkt üretimi alüminyum endüstrisinde standart uygulama haline gelmiştir. Levha döküm tekniği ilk defa 1846 yılında Sir Henry Bessemer tarafından tasarlanmıştır. Ancak zaman içinde sistemi desteklemesi gereken teknolojiler belirli bir dönem için durağanlaşsa da ülkeler arası teknolojik rekabet gerekli ivmeyi kazandırmış ve günümüzde sürekli alüminyum levha dökümünde yaygın olarak kullanılan üç tip yöntem karşımıza çıkmıştır. Bu yöntemler: Çift bantlı levha döküm yöntemi (twin belt strip casting), Bloklü levha döküm yöntemi (block caster) ve çift merdaneli levha döküm yöntemidir. Bu yöntemlerden ilk ikisi, ince slab da denilen 20 mm kalınlığında levha dökerler. Dökülen levha, ya belli uzunluklarda kesilir ve sıcak haddelenir, ya da döküm hattı üzerinde bulunan (in line) ve döküm hattıyla birlikte çalışan sıcak haddelerde, rulo halinde sarılabilir inceliğe getirilir. Üçüncü döküm yöntemi olan çift merdaneli levha döküm yönteminde ise, direkt rulo halinde sarılabilir, 6-10 mm kalınlığında levha dökülür (Büyükakkaş, 1996).

Alusuisse Caster-2 Sistemi, bloklü levha döküm yönteminin; Hazelett döküm sistemi, çift bantlı levha döküm yönteminin; ve Hunter sistemi de çift merdaneli levha döküm yönteminin en tipik örnekleridir.

Alusuisse Caster-2 sisteminde uygulamada 20 mm kalınlığında dökülen levha doğrudan haddelenerek, 2-4 mm kalınlığa getirilir ve rulo halinde sarılır. Bu sistemde yalnız alüminyum alaşımları değil, aynı zamanda bakır, pirinç (CuZn 37), çinko, çelik, magnezyum da dökülebilmektedir.

Hazelett sürekli alüminyum levha döküm sistemi, diğer sürekli levha döküm sistemleri arasında en yüksek döküm kapasitesine sahip olanıdır.

Dökülen ve sonraki işlemlerle istenilen kalınlığa getirilen alüminyum levhaların mikro yapıları, konvansiyonel yöntemlerle üretilen levhaların mikro yapıları ile benzerlik gösterdiğinden dökülen alüminyum levhalardan rahatlıkla derin çekme yöntemi ile içecek kutuları üretilebilmektedir.

Hunter sürekli alüminyum levha döküm sistemi ise folyo üretimine uygunluk açısından en avantajlı yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu yöntemin ticari anlamda ilk uygulaması, 1950'li yılların başında American Hunter Engineering ve Fransız Pechiney firmaları tarafından gerçekleştirilmiştir. Günümüzde %60'ı Kuzey Amerika'da ve Avrupa'da olmak üzere 170 kadar sürekli alüminyum levha döküm makinası üretim yapmaktadır (Büyükkakış, 1996).

4.6 Haddelenenin Genel Esasları ve Soğuk Haddeleme

4.6.1 Temel tanımlar

Malzemeleri, eksenleri etrafında dönen iki silindir (merdane) arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Merdaneler aynı hızla ve birbirine zıt yönde dönerler. Malzeme merdaneler arasından geçerken istenilen şekli alır. Merdaneler arasındaki açıklık malzemenin giriş kalınlığından daha az olduğundan haddelenen malzemenin çıkış kalınlığında azalma olur. Malzemenin merdaneler arasından her geçişine paso denir. Haddeleme dolaylı bir basma işlemi olup, genellikle uygulanan tek kuvvet merdanelerle sağlanan radyal basınçtır (Kayalı ve Ensari, 1991).

Haddeleme, işlem sıcaklığına göre sıcak ve soğuk haddeleme olarak ikiye ayrılır. Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan sıcak haddeleme ile döküm yapısı bozulurken, daha küçük kesitli ürünler elde edilir.

Soğuk haddelemede levha, folyo, ince çubuk ve tel gibi küçük kesitli ürünlerin eldesinde kullanılır. Soğuk haddelemede, düzgün bir yüzey, hatasız boyutlar ve yüksek mukavemet sağlamasına karşılık işlem için gerekli haddeleme kuvvetlerinin ve gücünün artmasına yol açar (Kayalı & Ensari, 1991).

4.6.2 Hadde tezgahları ve merdane yapıları

Hadde tezgahı, malzemelerin merdaneler arasından geçirilerek istenilen şekli almasını sağlar.

Bir hadde tezgahı merdanelerden, yataklardan, hadde kasası ile merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı motordan ibarettir. Bir hadde tezgahında merdaneler üst üste yataklanarak yerleştirilirler.

Hadde kasasında merdanelerin yatay ve düşey konumlarını ayarlayabilen düzenler vardır. Düşey yöndeki ayarlama ile merdaneler arası açıklık değiştirilerek haddelenen malzemenin çıkış yüksekliği kontrol edilir. Yatay yöndeki ayarlama ise merdanelerin birbirlerine göre olan konumlarını belirler.

Hadde tezgahının en önemli parçalarından olan merdaneler, haddeleme işleminin yapıldığı gövde kısmı, gövdeyi taşıyan ve yatak içinde dönen muylu kısmı ve merdanelerin dönen şaftlara bağlandığı kavrama kısmı olmak üzere üç kısımdan meydana gelir (Kayalı ve Ensari, 1991).



Şekil 4.4 : Soğuk hadde tezgahı (Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları, 1998).

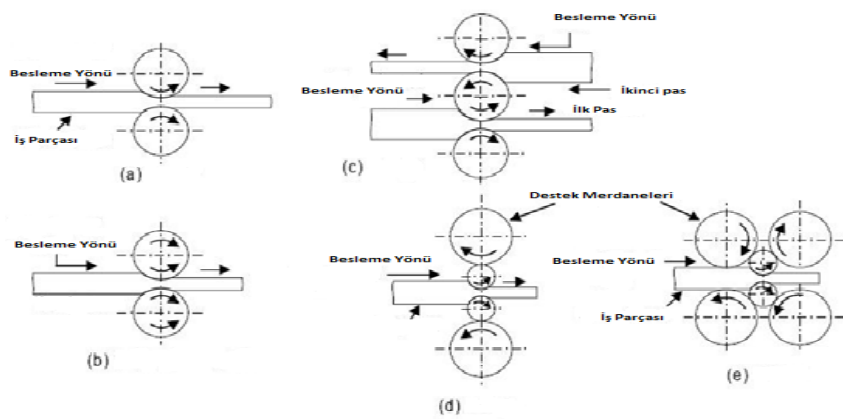
Tezgahlar merdanelerin diziliş durumlarına göre isimlendirilirler. En basit ve en genel merdane tertibi tek yönlü ikili tezgahdır. (Şekil 4.5 a).

Tek yönlü ikili bir tezgahta malzemenin haddelendikten sonra merdanelerin dönme yönü değiştirildiğinde çift yönlü veya tersinir ikili tezgah olarak isimlendirilir. (Şekil 4.5 b).

Üçlü hadde tezgahında ise üç merdane üst üste dizilmiş olup malzemeyi her iki yönde de haddelemeye uygundur. (Şekil 4.5 c). Malzeme üst ve orta merdane arasında bir yöne gidip, alt ve orta merdane arasından ters yönde giderek ileri geri haddelenir.

Küçük çaplı merdaneler ile haddeleme için gerekli kuvvetin azalmasına karşılık mukavemeti ve rijitliği azaldığından küçük çaplı iş merdanelerinin daha büyük çaptaki destek merdaneleri ile desteklenmesi gerekir. Bu tipteki tezgahların en basiti dörtlü hadde tezgahlarıdır. (Şekil 4.5 d). Dörtlü hadde tezgahında iki adet küçük çapta iş merdanesi ile bunları destekleyen iki adet daha büyük çaptaki destek merdaneleri bulunur. Bu tip hadde tezgahı levha ve sac haddelenmesinde çok sık kullanılır. Cluster tipi hadde tezgahlarında ise iki adet küçük iş merdanesi ile bu merdaneleri çevreleyen dört adet destek merdanesi bulunmaktadır. (Şekil 4.5 e).

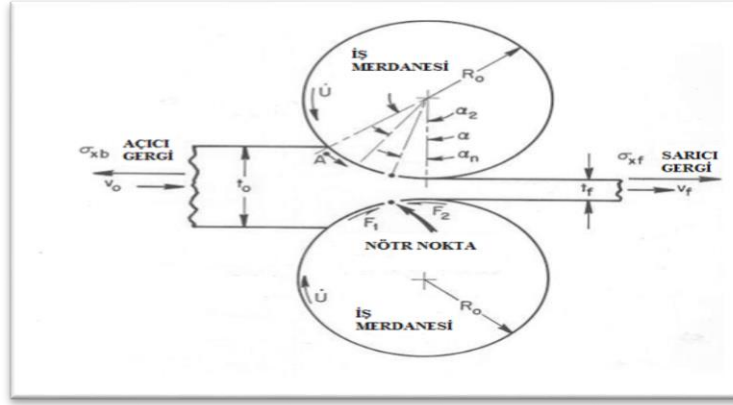
Aynı amaçla, iş merdanelerinin çapının daha küçük olabilmesi için çok sayıda destek merdaneli hadde tezgahları geliştirilmiştir. Farklı tipteki bir merdane düzeni ise, planet hadde tezgahıdır. Bu tezgahta büyük çaplı iki destek merdanesi etrafında planet gibi dönen çok sayıda küçük iş merdaneleri vardır (Kayalı ve Ensari, 1991).



Şekil 4.5 : Soğuk haddeledede kullanılan merdane çeşitleri a) Tek yönlü ikili merdane, b) Çift yönlü ikili merdane, c) Üçlü merdane, d) Dörtlü merdane, e) Cluster merdane (Kayalı ve Ensari, 1991).

4.6.3 Haddelenmede etkili kuvvetler ve geometrik ilişkiler

Haddelenmede etki eden kuvvetleri ve haddelenme geometrisini gösteren şekil 4.7’de, w_0 genişliğindeki ve h_0 kalınlığındaki bir sac, v_0 hızı ile merdanelere girmekte ve haddelenip h_1 kalınlığında ve v_1 hızında merdanelerden çıkmaktadır.



Şekil 4.6 : Haddelenme kuvvetleri (www.metalforminginc.com, tarih yok).

Gerçekte haddelenmiş sacın w_1 genişliği yayılma sebebi ile w_0 genişliğinden biraz büyük olmasına rağmen, genişliğin değişmediğini kabul edersek haddelenme sırasında merdanelerin malzemeye uyguladığı radyal basma kuvvetleri malzemenin boyca uzamasını sağlamaktadır.

Haddelenen malzemenin herhangi bir düşey elementinin distorsiyona uğramaması için çıkış hızı (v_1), giriş hızından (v_0) büyük olmalıdır. Haddelenen malzemenin hızı merdanelere girişten çıkışa doğru devamlı artarken merdanelerin yüzey hızı (v) sabit olup, v_0 ile v_1 arasındadır. Malzemenin merdaneler arasındaki geçiş hızı sadece bir noktada merdanelerin yüzey hızına eşittir. Bu noktaya nötr nokta denir. Merdanelerle sac arasındaki temas boyunca her noktada malzemeye etki eden iki kuvvet vardır. Bu kuvvetler radyal basma kuvveti (P_r) ve merdane ile malzeme arasındaki F sürtünme kuvvetidir.

Kavrama açısı veya temas açısı giriş düzlemi ile merdanelerin merkezlerini birleştiren düzlem arasındaki α açısıdır. Bir malzemenin merdaneler arasında F sürtünme kuvveti etkisi ile çıkış yönünde ilerleyebilmesi için sürtünme katsayısı (μ) ile kavrama açısı (α) arasında; $\mu > \alpha$ şeklinde bir ilişki bulunmalıdır (Kayalı & Ensari, 1991).

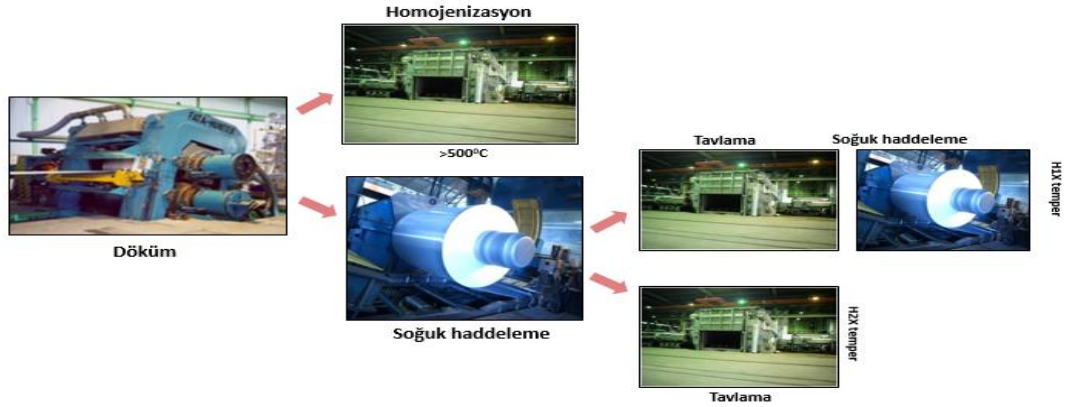
Haddelenme sırasında iki tipte elastik şekil değişimi olur. Bunlardan biri haddelenen parçanın deformasyona gösterdiği dirençle merdaneleri itmesi merdanelerin elastik

deformasyon sınırları içinde eğilmesidir. Yassı metalik malzemelerin haddelenmesinde, genişlik boyunca uniform kalınlık sağlamak için merdanelerin elastik eğilmesi bombeli merdaneler ile giderilebilir.

Haddeleme sırasında merdanelerde meydana gelen elastik şekil değişimi ile birlikte merdanelerin bağlı olduğu hadde kasasında ve merdaneler arasındaki mesafeyi ayarlayan vidalama sisteminde de elastik şekil değişimi olur. Bu durum haddelemek istenen kalınlığa göre ayarlanmış olan merdaneler arası mesafeyi etkiler, çünkü hadde tezgahındaki elastik deformasyon malzemenin çıkış kalınlığının merdaneler arasındaki mesafeden daima fazla olmasına neden olur.

Haddelenen malzemede kalınlığın hassas olarak sağlanması için, tezgahın uygulanan hadde kuvvetiyle doğrusal olarak artan elastik deformasyon karakteristiğinin (elastik eğri) bilinmesi gerekir. Bunun yanında söz konusu malzemenin h_0 kalınlığından haddelenmesi sırasında çıkış kalınlığının uygulanan kuvvetle değişiminin de bilinmesi gerekir (Kayalı ve Ensari, 1991).

İkiz Merdane Döküm (Twin Roll Casting) Tekniği



Şekil 4.7 : İkiz merdane döküm yöntemiyle üretilen malzemenin üretim şeması

4.6.4 Haddeleme kuvvetlerinin hesaplanması

Haddeleme kuvveti merdaneleri malzemeye bastırmak için kullanılan kuvvettir. Bu kuvvet aynı zamanda haddelenen malzemenin mukavemetine bağlı olarak malzemenin merdaneleri birbirinden uzaklaştırmaya çalıştığı kuvvete eşittir. Bu nedenle haddeleme kuvveti merdaneleri birbirinden ayırma kuvveti olarak da isimlendirilir.

Hadde basıncı, haddeleme kuvvetinin, temas yüzeyine bölünmesiyle hesaplanır. Temas yüzeyinin alanı ise haddelenen sacın genişliği ile temas boyunun çarpımına eşittir. Hadde basıncı nötr noktada en yüksek değerine ulaşır, sonra azalır. Haddeleme kuvvetinin etki ettiği noktanın merdane merkezlerine göre konumu haddeleme için gerekli momenti ve gücü belirler (Kayalı ve Ensari, 1991).

Haddeleme kuvvetini etkileyen faktörler arasında sürtünme katsayısı ve deformasyon duruma bulunmaktadır. Merdane çapı ve deformasyon oranı da haddeleme kuvvetini etkilemektedir. Haddeleme sırasında sürtünme katsayısının değeri temas yayı boyunca her noktada farklıdır, fakat sürtünme katsayısının değerini saptamak zor olduğundan ortalama sabit bir sürtünme katsayısı kabul edilir. Yassı malzemelerin haddelenmesi sırasında malzemenin merdanelere giriş ve çıkışında uygulanan çekme gerilmeleri de haddeleme kuvvetini azaltır. Haddeleme kuvvetini azaltan çekme gerilmeleri, hadde basıncını da azaltırlar. Giriş ve çıkışta çekme gerilmelerinin uygulanması halinde toplam hadde basıncı azalır, fakat nötr noktanın yeri çok az değişir. Yalnız girişte bir çekme gerilmesi uygulanırsa nötr nokta merdanelerden çıkış düzlemine doğru kayar. Girişteki çekme gerilmesi arttırıldığında, sonunda nötr nokta çıkış düzlemine ulaşır. Bu durumda merdanelerin hızı malzemenin hızından daha fazladır ve merdaneler malzeme yüzeyinde kayar. Eğer yalnız çıkışta bir çekme gerilmesi uygulanırsa, bu durumda da nötr nokta merdanelerin giriş düzlemine doğru kayar (Kayalı ve Ensari, 1991).

4.7 Soğuk Haddeleme

Döküm hatlarından gelen ve 6-8 mm kalınlığa kadar olan rulo malzemeleri alaşım ve sertlik durumlarına göre haddelenerek 0,15-4,5 mm'ye indirilir.

Haddelemede başarılı olmak için malzeme yüzeyi ve profilinin dalgasız ve kusursuz olması şarttır. Düzgün malzeme haddelemede çıkış gergisi önemli faktörlerden biridir.

Gergi, haddelenmekte olan malzeme kesitine etki eden kg olarak çekme kuvvetidir. Haddeye malzeme verilirken, ilk sarımların daha iyi olması için çıkış gergisi yüksek tutulur; sonra yavaş yavaş düşürülürken hız arttırılır. Her giriş ve çıkış gergisi azaltıldığında yüzey bozuklukları kontrol edilir ve ısısal bölgeleri önlemek için o bölgede yağ yoğunlaştırılır; yüzey bozukluklarını gidermek için giriş gergisi mümkün

olduğunca azaltılır. Haddedeleme ısısal bozunmaları engellemek, hem de kayganlık kazandırmak için özel yağlar kullanılır.

Soğuk hadde yağının 210 °C’de ilk damlama, 300 °C civarında son damlama noktası; bakiyesi düşük, viskozitesi yüksek, asit değerinin düşük olması ve leke bırakmama özelliğinin hafif veya hiç olmaması tercih edilir.

Haddeme sonucu sertleşerek sünekliğini kaybeden malzeme tav fırınlarında ısı işlemi görerek istenilen kondüsyonu kazanır. Uygulanan tav işlemleri üç grup altında toplanabilir: homojen tav işlemi, istenilen malzeme özelliklerinin sağlanması için malzeme soğuk haddeye girmeden önce veya tek paso çekildikten sonra; ara tav, soğuk haddede birkaç paso yemiş ve sertleşmiş malzemenin tekrar haddelenebilmesi için veya haddemesi bitmiş malzemenin son kondüsyonunu alması için, kısmi tav işlemi ise malzeme son kalınlığa indiğinde istenilen kondüsyondan daha mukavim ise uygulanır. Tüm bu işlemler esnasında yüzeyde bulunan hadde yağı buharlaştırılır ve iç gerilim azaltılarak malzeme folyo haddemeye uygun hale getirilir (Aluminium Foil And Thin Strip).

4.7.1 Gereksinilen hadde basıncı ve hadde momentleri

Hadde tezgahlarında güç gereksinimini etkileyen faktörler:

- Merdane basınç kuvveti
- Bant gerilimi
- Hadde yağı
- Hadde hızı

Troost ve arkadaşları merdane ilk temas problemini incelemişlerdir. Elastisite teorisi ile yapılan ince bant haddelerindeki yassılaşıma miktarı:

$$F_a = (1,5/2,5) F/b.E$$

olarak verilir.

Burada;

F = Merdane basınç kuvveti, b = Band kalınlığı

Band inceldikçe öyle bir noktaya gelir ki, burada merdaneler ilk teması yaparlar. Troost'a göre bu merdane yassılaşması, band çıkış kalınlığının yarısına eşit olunca yani $h_2/2 = f_a$ iken doğar. Ancak daha sonra Kadig, merdaneler arasındaki ilk temasın sadece merdanenin yassılaşmasına bağlı olmadığını aynı zamanda banddaki yassılaşma neticesi merdanelerin kıvrılmasına ve merdanelerin bombeliğine de bağlı olduğunu göstermiştir.

Kıvrılmanın merdane bombeliğinden büyük veya küçük olmasına bağlı olarak ilk temas ya merdanelerin uçları ile band uçları arasında meydana gelir (Candar, 1985).

Genellikle kriter kalınlık 0,1-0,2 mm arasındadır. Bilindiği gibi bu kalınlığın altındaki ileri bir indirgenme ancak band daha aralarına sokulmadan merdanelerin birbirine yüksek bir yük altında bastırılmasıyla mümkün olmaktadır. Burada Stan tarafından alınan merdane-ayırıcı-kuvvet artar (Candar, 1985).

4.7.2 Hızın tesiri

Hızın yükselmesi ile merdaneleri terk eden band kalınlığının düşmesi bu teknolojinin başlangıçlarında saptanmıştır. Bu, ilk pasodan son pasoya kadar geçerlidir. Hız tesiri olarak bilinen bu durum kalınlık kontrollerinde önemli bir faktör olarak rol oynamaktadır. Üç faktörün varlığından söz edilebilir,

- Haddelenen metalin plastik gerilimindeki değişme
- Haddelenen metal ile iş merdanesi arasındaki sürtünmedeki değişme
- Hadde tezgahındaki değişme

Hız tesiri, kısmen sürtünme, kısmen de yumuşama ve dinamik toparlanmalardan doğar. Küçük indirgenmelerde ve/veya düşük haddeleme hızlarında sürtünme tesiri ortaya çıkar ve etkindir. Büyük indirgemelerde ve /veya yüksek haddeleme hızlarında yumuşama ve dinamik toparlanma tesiri ortaya çıkar ve etkindir (Candar, 1985).

4.7.3 Haddelenebilecek minimum kalınlık

Kalınlığı h_1 olan bir bant tek bir pasoda h_2 kalınlığına indirilsin ve ölçülen hadde basınç kuvveti tespit edilsin, çıkış kalınlığının giderek azaldığı bu işlem birkaç defa tekrar edilsin. Böylece bandın plastik eğrisi adı verilen, Hadde basınç kuvveti-kalınlık eğrisi çıkartıldığında, h_2 'nin azalan değerleri ile bu eğri önce hemen hemen sabit bir gradyan ortaya koyar. Ancak belirli bir kalınlığın altında eğri çok dik yükselir ki, bu noktada ölçülen hadde basınç kuvvetindeki ileri bir artış kalınlıkta bir indirgenme yaratmaz; h_1 'den erişilebilecek en küçük h_2 çıkış kalınlığına yapılan indirgeme sınır indirgemedir ve h_{lim} ile gösterilir.

$$H_{lim} = 1,54 * \mu * c * \alpha_0 * r$$

Burada;

μ = Merdane ve bant arasındaki sürtünme katsayısı

c = Merdane malzemesi elastikliğinin karakteristik değeri

α_0 = Bant malzemesinin akma gerilimi

r = İş merdanelerinin yarıçapı (Candar, 1985).

4.8 Soğuk Haddelemeyi Etkileyebilecek Faktörler

4.8.1 Hadde yağı

Soğuk hadde yağları kerosen destillenme aralığından belirli ilk damlama ve son nokta arasında normal destilasyon veya vakum sistemiyle elde edilen, işlem amacına göre ağartma, dearomatizasyon, desülfürizasyon işlemleri uygulanan çok temiz yağlardır. Bunların ana işlevleri;

1. Soğutucu olarak görev yapmak
2. Ezmeye ve biçim kontrollerine katkıda bulunmak
3. Soğuk haddede kaydırıcılığı sağlamak

Olarak özetlenebilir. Bu fonksiyonları yerine getirebilmek için folyo hadde yağlarına katkılar yapılmaktadır. Bu katkılar fatty ester ve fatty alkol kombinasyonları olup yağ filminin dayanıklılığını kuvvetlendirmek için kullanılmaktadır.

Yukarıdaki özelliklere ilaveten yağın ısı ve mekanik etkiler neticesinde ani yaşlanması (lekenin ani artışı) istenmez. Folyo haddeme, hadde yağı kalitesi kadar filtrasyon kalitesi de önemlidir. Ana olarak iki tip filtre elemanı vardır:

1. Süzme özelliğini arttıran filtre elemanı (düşük densite, uygun tane boyutlu)
2. Kirli yağın temizlenmesini sağlayan ağartma elemanı (poröz yüzeyli, düşük pH'lı; yağ tutma özelliği %12 civarında) (Uz ve Derici, Alüminyum Folyo Özellikleri, Üretimi Ve Kalite Hataları).

4.8.2 Hız

Soğuk haddelerin çalışma prensibi iş merdaneleri arasında boşluk bulunmamasıdır. Bu nedenle hız, ezme, dolayısıyla kalınlık ve biçim ayar faktörlerinden birisidir. Artan hız;

1. Merdaneler arasına daha fazla yağ sürüp, daha kalın bir yağ filmi oluşturacağından merdane arasını kapar.
2. Kalınlaşan yağ filmi sürtünmeyi azaltacağından hadde torkunun metali ezme amacıyla daha çok kullanılmasını sağlar.
3. Sıcaklığı yükselttiğinden alüminyumun ezilmeye direncini azaltır.
4. Merdane /merdane temas alanını azalttığından sabit ön yüklemede ezme basıncını arttırmaktadır.
5. Merdaneleri negatif yönde eğer. Biçim kontrolü için merdane bombesinin termik veya mekanik olarak ayarlanmasını gerektirir.

Sonuç olarak hız ile birlikte ezme artmaktadır (Uz ve Derici, Alüminyum Folyo Özellikleri, Üretimi Ve Kalite Hataları).

4.8.3 Gergi

Çözücü gergisinin artması, metale uygulanan kuvvetlerin artmasına neden olur. Bu nedenle çözücü gergisi artışı ezme miktarını artırır. Hadde çıkış kalınlığını giriş gergisi ile ayarlamak her pasoda yapılabilir. Ancak giriş gergisinin bu etkisi incelen kalınlıklarla artmaktadır. Aşırı giriş gergisi kopmalara neden olur. Düşük giriş gergisi

ise folyoda buruşma ve kat yapar (Uz ve Derici, Alüminyum Folyo Özellikleri, Üretimi Ve Kalite Hataları).

Sarıcı gergisinin artışı da çıkış kalınlığını düşürür. Ancak bu etki çözücü gergisindeki gibi önemli boyutta değildir. Pratikte sarıcı gergisi düzgün sarım yapma amacıyla kullanılır. Sarıcı gergisi, sarılan malzeme kalınlığına göre değişmektedir. 3.4 mm kalınlık için 2,1 kg.mm⁻²lik gergi 0,009 mm için 4,2 kg.mm⁻² değerine ulaşmaktadır. Haddelemede gerekli tork $TR = \text{Gergi} * \text{en} * \text{kalınlık} * \text{masura çapı}$ ile hesaplanmakta, gergi kontrolü için gerekli akım:

$I = (TR * \text{Nominal akım}) / \text{max. Devirdeki tork}$ bağıntısından çıkarılır (Uz ve Derici, Alüminyum Folyo Özellikleri, Üretimi Ve Kalite Hataları).

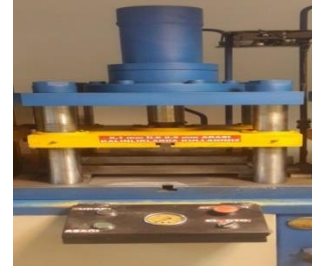
5. DENEYSEL KISIM

5.1 Kullanılan Cihazlar

Deneyler esnasında kullanılan cihazlar; şekil 5.1’de verilmiştir. a) Nabertherm marka tav fırını, b) Test numunesi hazırlama cihazı, c) Zwick Z050 marka çekme testi cihazı, d) Struers LectroPol-5 marka tane dağlama cihazı, e) Zeiss AxioCam MRc 5 marka optik mikroskoptur.



a



b



c



d



Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan cihazlar.

5.2 Deneylerin Yapılışı

6 mm döküm kalınlığında alınan malzemeler sırasıyla 580 °C, 8 saat; 550 °C, 8 saat ve 520 °C, 8 saat tav sıcaklıklarında tavllanmış, daha sonra 2 mm kalınlığına haddelenmiştir. Bu kalınlıkta 410 °C, 4 saat tava alınan malzemeler tavadan çıktıktan sonra 0,53 mm kalınlığına haddelenmiş ve bu kalınlıkta 350 °C, 4 saat tava alınarak prosesleri bitirilmiştir. Malzemelerde bulunan alaşım elementlerinin yüzdeleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çekme testi ZWICK marka çekme test cihazında 1 mm/dk hız ile A50 ölçü uzunluğunda gerçekleştirilmiştir.

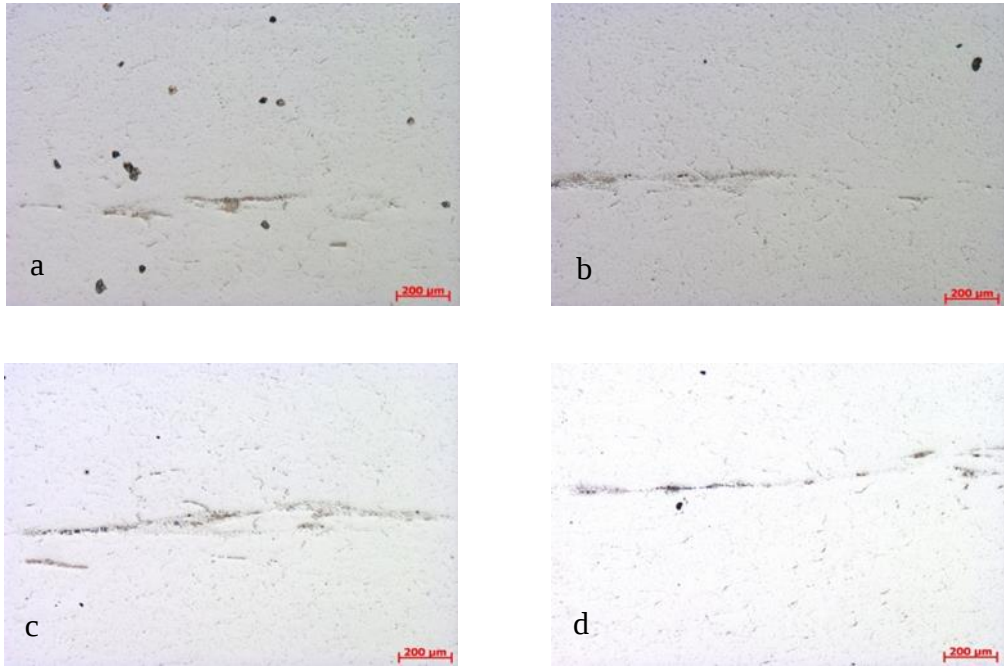
Çizelge 5.1: 3003, 3005 ve 3105 alüminyum alaşımlarında alaşım elementlerinin yüzdeleri.

ALAŞIM	Si	Fe	Cu		Mn		Mg		Cr	Zn	Diğer		Al	
			min	max	min	max	min	max			Herbiri max	Top.max	min	max
3003	0,6	0,7	0,05	0,2	1	1,5	-		-	0,1	0,05	0,15	-	-
3005	0,6	0,7	0,3		1	1,5	0,2	0,6	0,1	-	0,05	0,15	-	-
3105	0,6	0,7	0,3	0,1	0,3	0,8	0,2	0,8	0,2	0,4	0,05	0,15	-	-

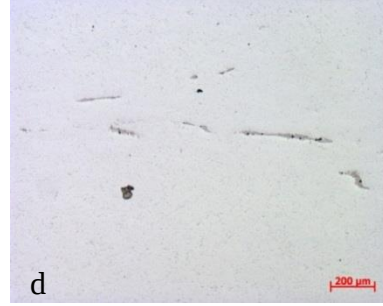
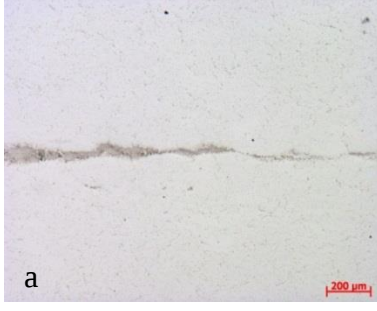
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1 Malzeme karakterizasyonu

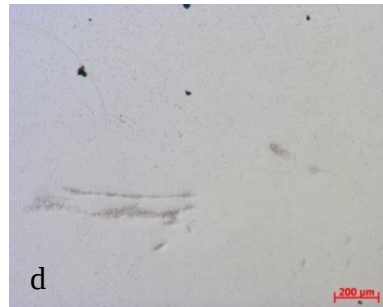
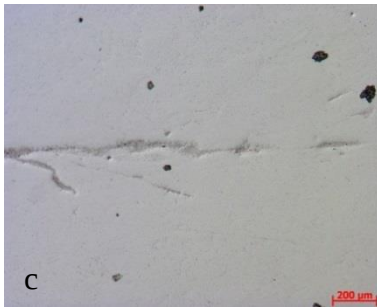
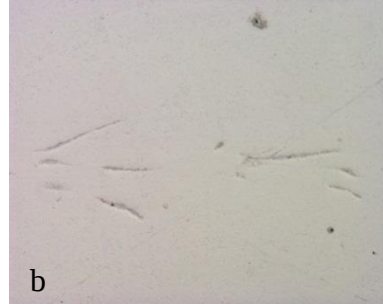
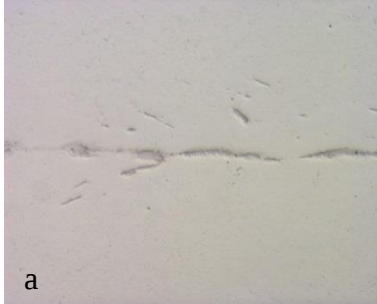
Sonuçlar bölümünde 3003, 3005 ve 3105 alaşımlara ait farklı kalınlık ve tav prosesleri sonucunda çekilmiş mikroyapı fotoğrafları eşliğinde mikroyapılarda meydana gelen değişimler irdelenmiş, bunun yanında alaşımların sertlik, mukavemet ve korozyon değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6.1’de 3105 alaşıma ait, döküm kalınlığında 3 farklı sıcaklıktaki mikroyapılar, şekil 6.2’de 3005 alaşıma ait, döküm kalınlığında 3 farklı sıcaklıktaki mikroyapılar ve şekil 6.3’te de 3003 alaşıma ait döküm kalınlığında 3 farklı sıcaklıkta mikroyapılar yer almaktadır.



Şekil 6.1 : 50x büyütmede, 6 mm kalınlığında 3105 alaşım; a) Tavlanmamış, b) 580 °C, 8 saat tavlanmış, c) 550 °C, 8 saat tavlanmış, d) 520 °C, 8 saat tavlanmış.

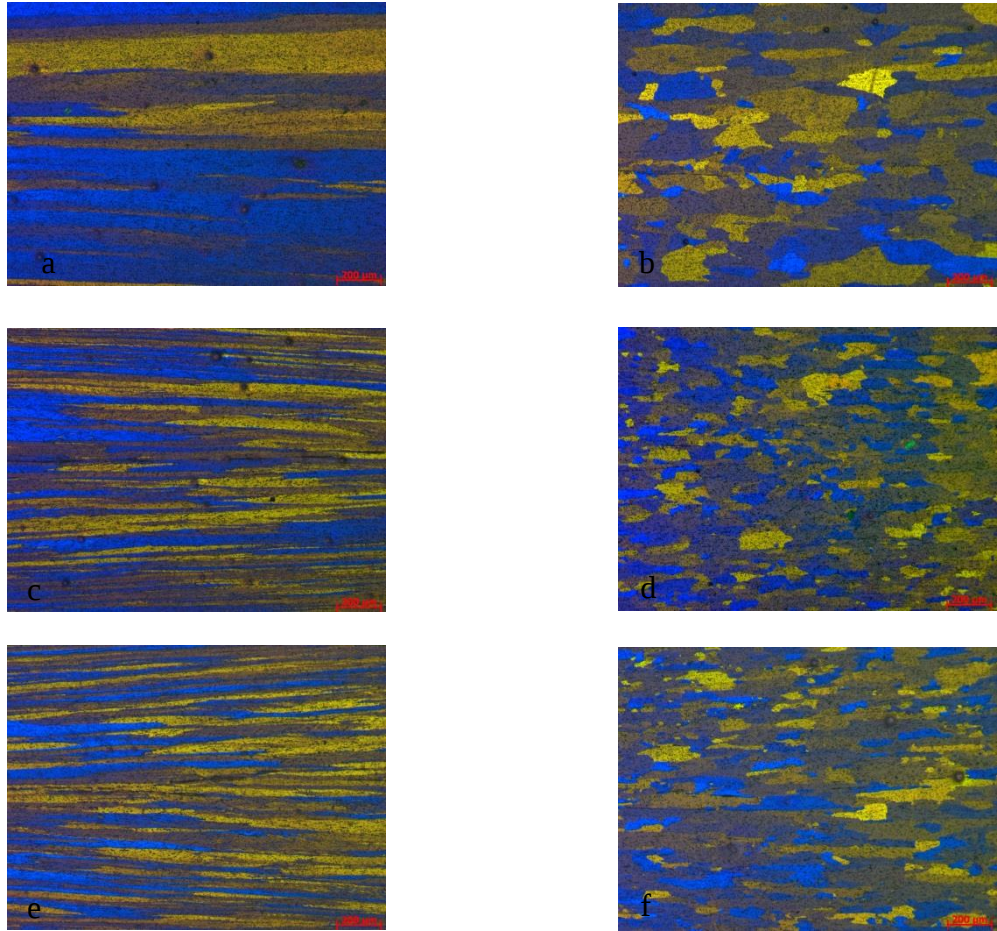


Şekil 6.2 : 50x büyütmede, 6 mm kalınlığında 3005 alaşım; a) Tavlanmamış, b) 580 °C, 8 saat tavlanmış, c) 550 °C, 8 saat tavlanmış, d) 520 °C, 8 saat tavlanmış.



Şekil 6.3 : 50x büyütmede, 6 mm kalınlığında 3003 alaşım; a) Tavlanmamış, b) 580 °C, 8 saat tavlanmış, c) 550 °C, 8 saat tavlanmış, d) 520 °C, 8 saat tavlanmış.

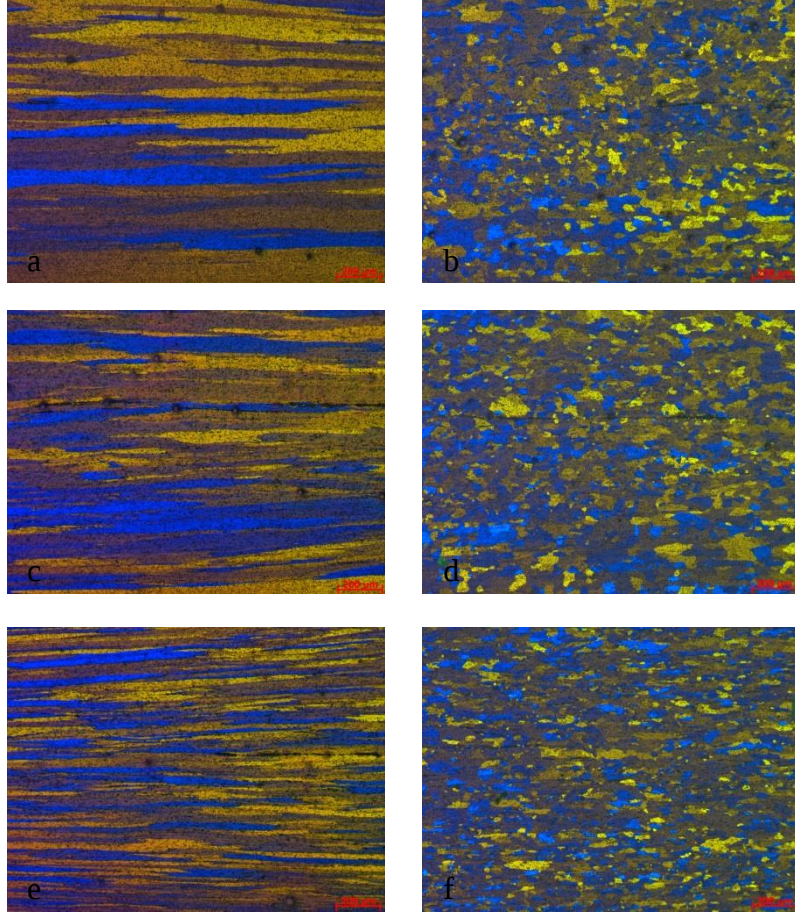
Döküm kalınlığında tavlandıktan sonra 2 mm kalınlığına haddelenen malzemeler bu kalınlıkta 410 °C, 4 saat tav işlemine alınmışlardır. Şekil 6.4'te 3003 alaşım malzemelerin tav öncesi ve tav sonrası mikroyapıları görülmektedir. Şekil 6.4 a'da 580 °C, 8 saat homojen tav işlemi görmüş malzemenin 2 mm kalınlıktaki tavsız mikroyapısı, b'de ise tavlı mikroyapısı görülmektedir. Şekil 6.4 c ve d'de ise 550 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemelerin 2 mm kalınlıkta tavlı ve tavsız mikroyapıları görülürken, şekil 6.4 e ve f'de 520 °C, 8 saat tav işlemi görmüş malzemelerin 2 mm kalınlıktaki tavlı ve tavsız mikroyapıları görülmektedir. Mikroyapılar kıyaslandığında artan tav sıcaklığıyla beraber 3003 alaşım malzemenin tane boyutunun büyüdüğü gözlenmiştir.



Şekil 6.4 : 2 mm kalınlığında 50x büyütmede dağlanmış 3003 alaşım a) Döküm kalınlığında 580/8 saat tavllanmış, b) Döküm kalınlığında 550/8 saat tavllanmış, c) Döküm kalınlığında 520/8 saat tavllanmış.

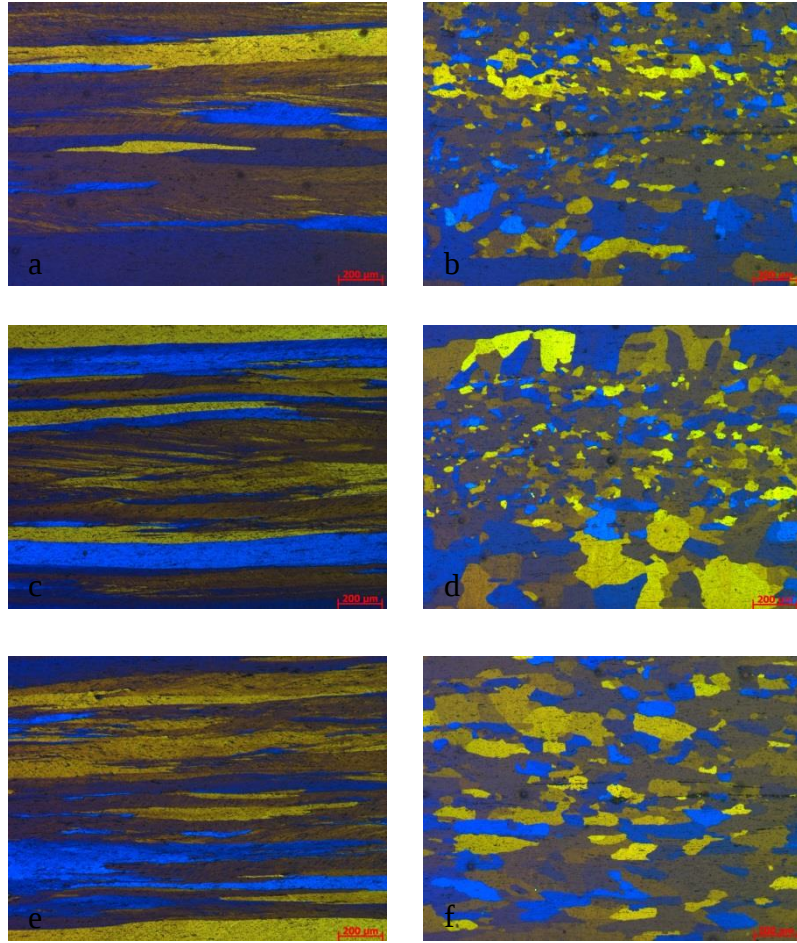
Benzer şekilde şekil 6.5'te 3005 alaşım malzemelerin tav öncesi ve tav sonrası mikroyapıları görülmektedir. Şekil 6.5 a'da 580 °C, 8 saat homojen tav işlemi görmüş

malzemenin 2 mm kalınlıktaki tavsız mikroyapısı, b’de ise tavlı mikroyapısı görölmektedir. Şekil 6.5 c ve d’de ise 550 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemelerin 2 mm kalınlıkta tavlı ve tavsız mikroyapıları görölürken, şekil 6.5 e ve f’de 520 °C, 8 saat tav işlemleri görmüş malzemelerin 2 mm kalınlıktaki tavlı ve tavsız mikroyapıları görölmektedir. Mikroyapılar kıyaslandığında artan tav sıcaklığıyla beraber 3005 alaşım malzemenin tane boyutunun küçüldüğü gözlenmiştir.



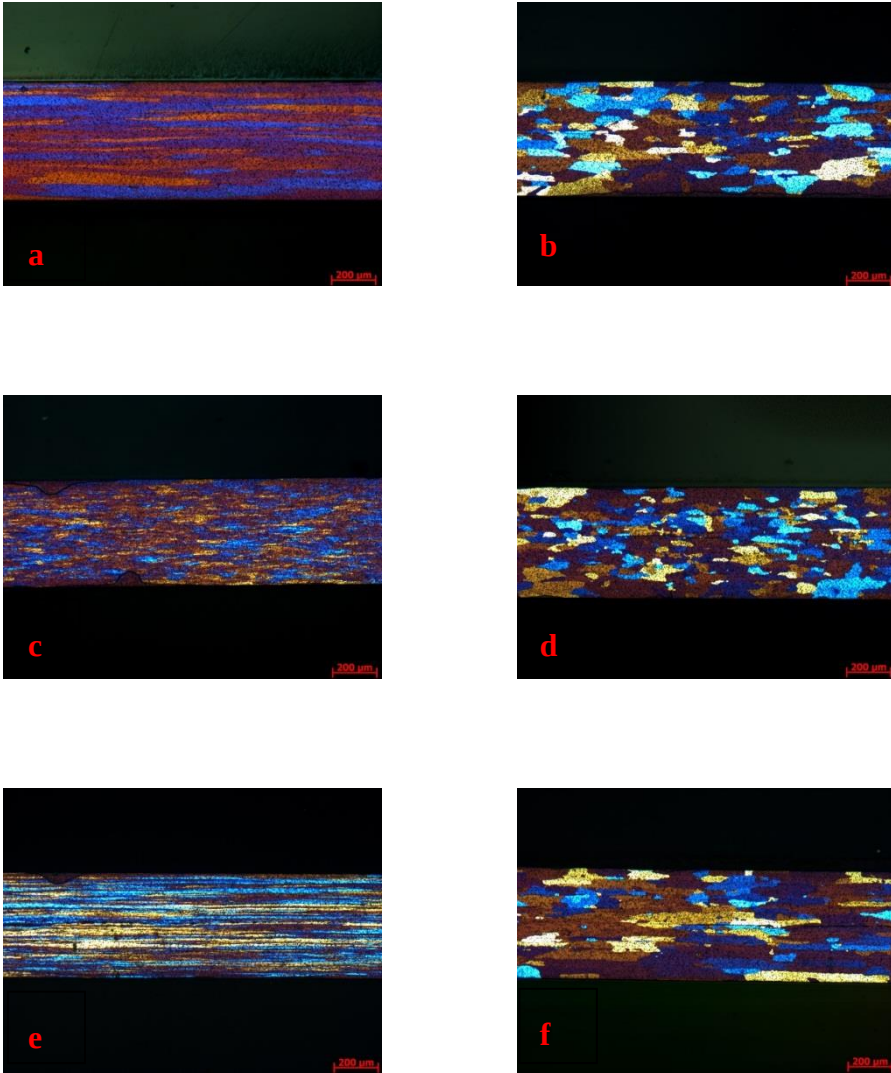
Şekil 6.5 : 2 mm kalınlığında 50x büyütmede dağlanmış 3005 alaşım a) Döküm kalınlığında 580/8 saat tavllanmış, b) Döküm kalınlığında 550/8 saat tavllanmış, c) Döküm kalınlığında 520/8 saat tavllanmış.

Son olarak şekil 6.6’da 3105 alaşım malzemelerin tav öncesi ve tav sonrası mikroyapıları görülmektedir. Şekil 6.6 a’da 580 °C,8 saat homojen tav işlemi görmüş malzemenin 2 mm kalınlıktaki tavsız mikroyapısı, b’de ise tavlı mikroyapısı görülmektedir. Şekil 6.6 c ve d’de ise 550 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemelerin 2 mm kalınlıkta tavlı ve tavsız mikroyapıları görülürken, şekil 6.6 e ve f’de 520 °C, 8 saat tav işlemi görmüş malzemelerin 2 mm kalınlıktaki tavlı ve tavsız mikroyapıları görülmektedir. Benzer şekilde 3105 alaşım malzemenin tane boyutu da tıpkı 3005 alaşım malzemede olduğu gibi tav sıcaklığının artmasıyla küçülmektedir.



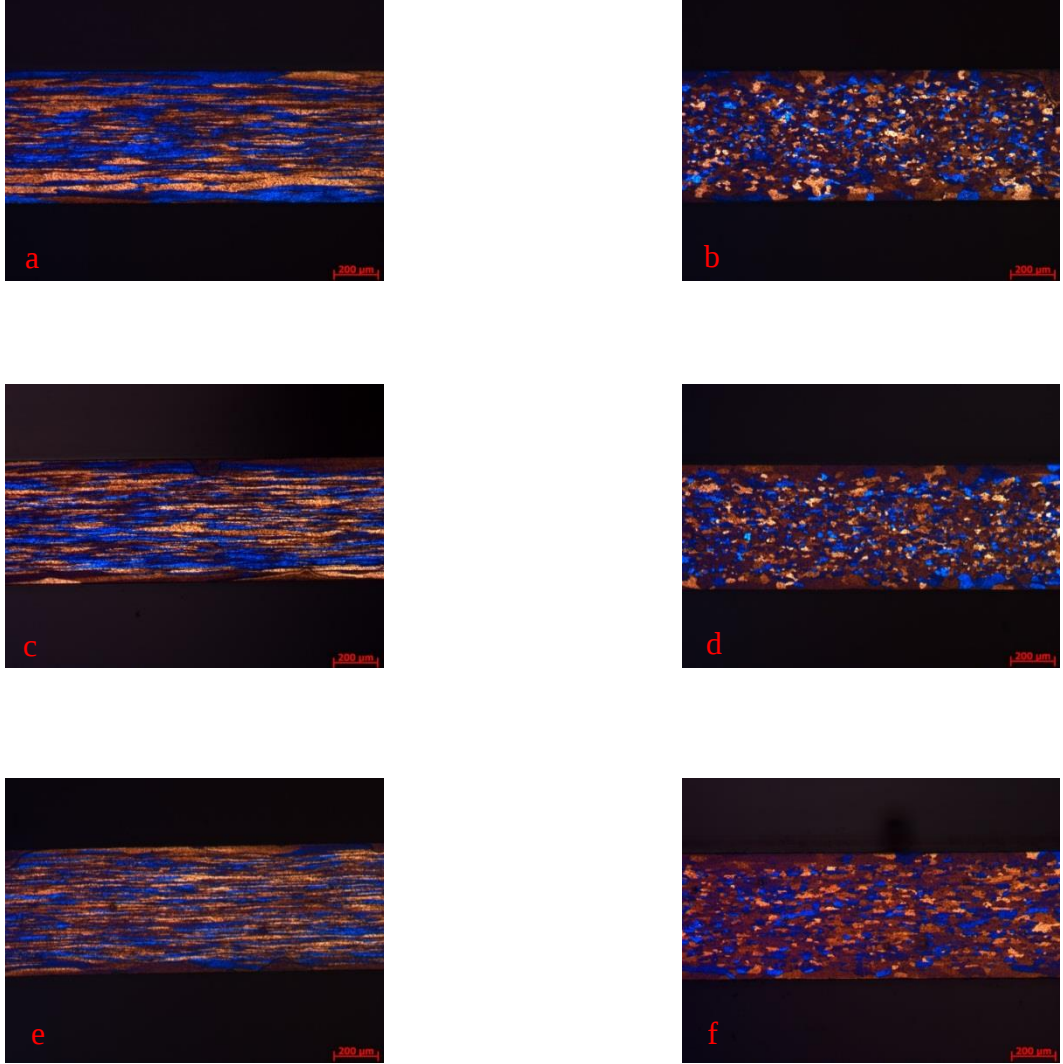
Şekil 6.6 : 2 mm kalınlığında 50x büyütmede dağlanmış 3105 alaşım a) Döküm kalınlığında 580/8 saat tavllanmış, b) Döküm kalınlığında 550/8 saat tavllanmış, c) Döküm kalınlığında 520/8 saat tavllanmış.

Nihai tav görmüş ve görmemiş malzemelerin dağlanmış yüzey fotoğrafları aşağıda yer almaktadır. Şekil 6.7 a'da 580 °C, 8 saat homojen tav işlemi gören 3003 alaşımın nihai tavsız hali yer alırken, şekil 6.7 b'de 350 °C, 4 saat nihai tavlı hali yer almaktadır. Benzer şekilde şekil 6.7 c ve d'de 550 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemenin nihai tavlı ve nihai tavsız hali, şekil 6.7 e ve f'de ise 520 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemenin nihai tavlı ve nihai tavsız resimleri yer almaktadır. Homojen tav sıcaklığı yüksek olan numunelerin tane boyutunun nihai tav sonrasında da büyük olduğu gözlenmektedir.



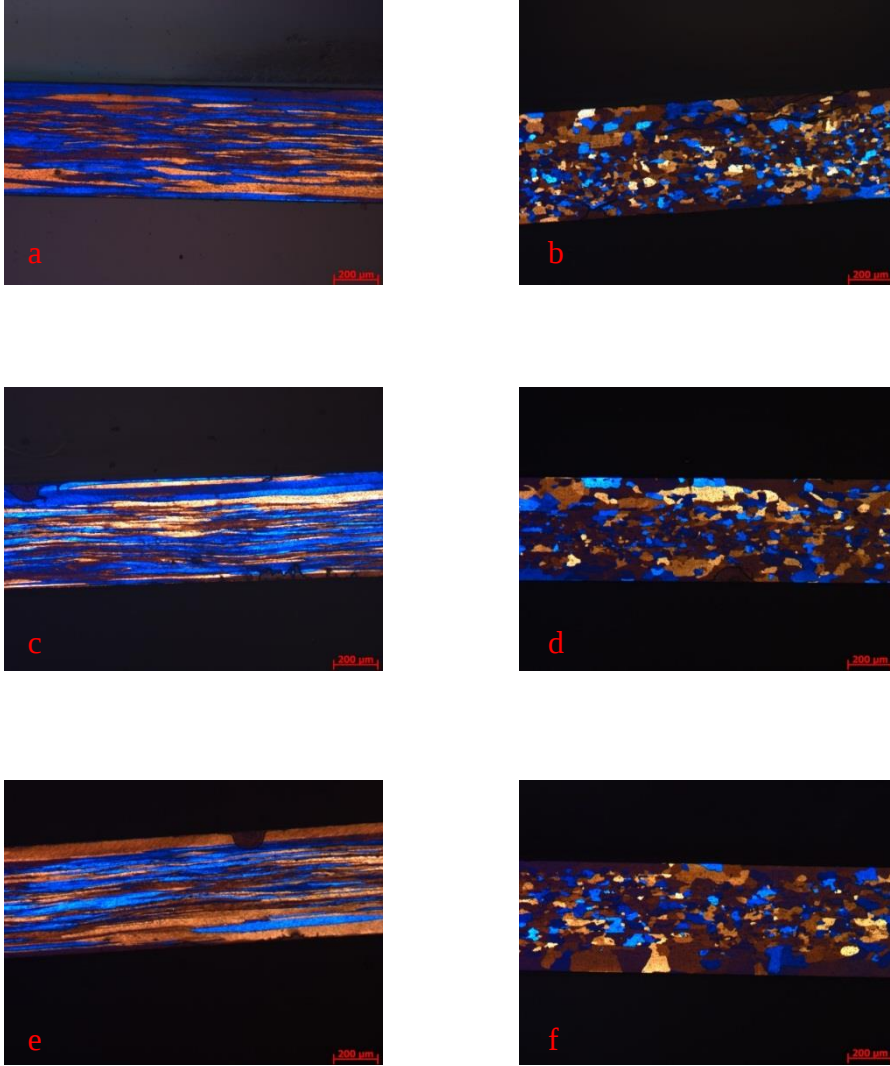
Şekil 6.7 : 50x büyütmede, 0,50 mm kalınlığında 3003 alaşım malzemelerin dağlanmış görüntüleri.

Nihai tav görmüş ve görmemiş malzemelerin dağlanmış yüzey fotoğrafları aşağıda yer almaktadır. Şekil 6.8 a'da 580 °C, 8 saat homojen tav işlemi gören 3005 alaşımın nihai tavsız hali yer alırken, şekil 5.6 b'de 350 °C, 4 saat nihai tavlı hali yer almaktadır. Benzer şekilde şekil 6.8 c ve d'de 550 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemenin nihai tavlı ve nihai tavsız hali, şekil 6.8 e ve f'de ise 520 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemenin nihai tavlı ve nihai tavsız resimleri yer almaktadır.



Şekil 6.8 : 50x büyütmede, 0,50 mm kalınlığında 3005 alaşım malzemelerin dağlanmış görüntüleri.

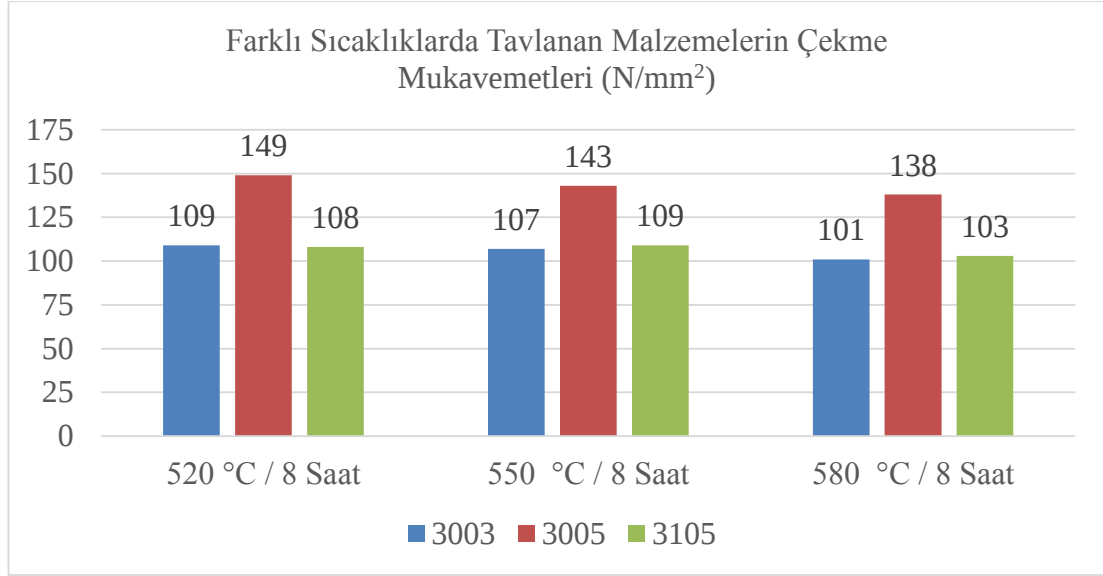
Nihai tav görmüş ve görmemiş malzemelerin dağlanmış yüzey fotoğrafları aşağıda yer almaktadır. Şekil 6.9 a'da 580 °C, 8 saat homojen tav işlemi gören 3105 alaşımın nihai tavsız hali yer alırken, şekil 6.9 b'de 350 °C, 4 saat nihai tavlı hali yer almaktadır. Benzer şekilde şekil 6.9 c ve d'de 550 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemenin nihai tavlı ve nihai tavsız hali, şekil 6.9 e ve f'de ise 520 °C, 8 saat homojen tav görmüş malzemenin nihai tavlı ve nihai tavsız resimleri yer almaktadır.



Şekil 6.9 : 50x büyütmede, 0,50 mm kalınlığında 3105 alaşım malzemelerin dağlanmış görüntüleri.

6.2 Mekanik testler

Çekme testleri ZWICK marka çekme test cihazında 1 mm/dk hız ile A50 ölçü uzunluğunda gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.10'da farklı sıcaklıklarda ölçülen çekme mukavemetleri gösterilmektedir.

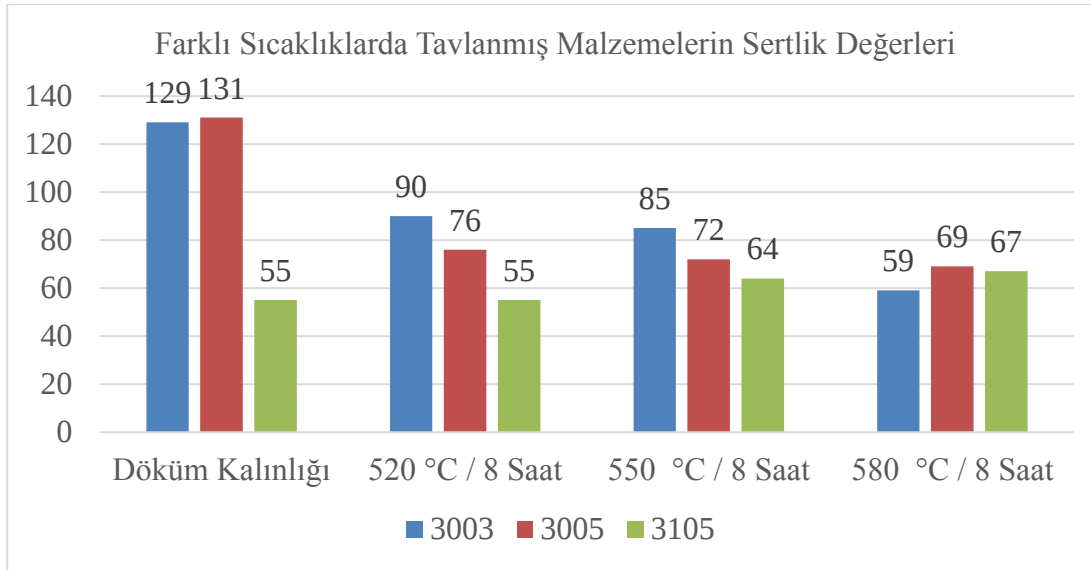


Şekil 6.10 : Farklı sıcaklıklarda tavlanan alaşımların çekme mukavemeti değerleri

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde 3005 alaşım malzemenin tüm sıcaklıklarda 3003 ve 3105 alaşıma göre çekme dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir. Artan tav sıcaklığıyla beraber çekme dayanımlarının her 3 alaşımda da azaldığı, en fazla değişimin yine 3005 alaşımda meydana geldiği söylenebilir. Bunun sebebi olarak 3005 alaşım malzemedeki tane boyutunun diğer 2 alaşıma göre daha küçük olduğu gösterilebilir.

6.3 Sertlik testleri

Sertlik ölçümleri VICKERS uç ile 10 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri her bir numunenin kesiti boyunca yüzeyden farklı noktalardaki mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Ölçülen sertlik değerleri şekil 6.11'de verilmiştir. Döküm kalınlığında 3003 ve 3005'in sertlikleri birbirine çok yakınken 520 °C, 8 saat tav işlemi sonrası 3005 daha yumuşak hale gelmiştir. 580 °C, 8 saat tav işlemi sonrası ise 3003 giderek yumuşamış ve 3 malzeme arasında en yumuşak malzeme haline gelmiştir.

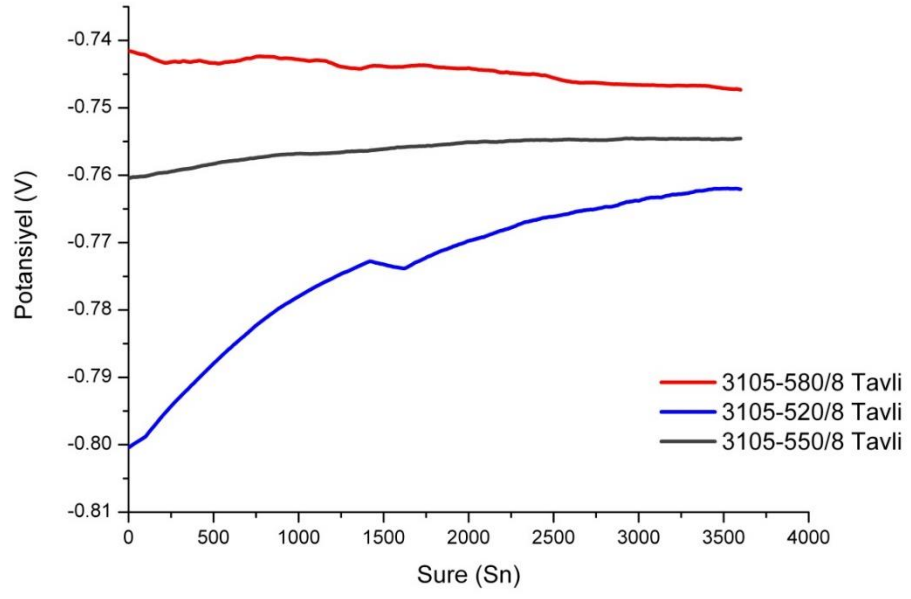


Şekil 6.11 : Döküm kalınlığı ve farklı tav sıcaklıklarında gerçekleşen sertlik değerleri

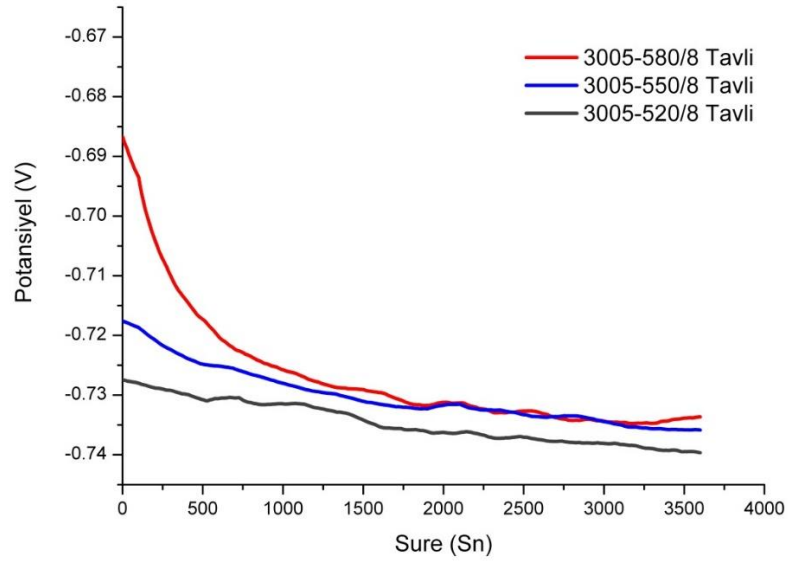
Bu grafikler ışığında tek başına Mg'nin malzemenin döküm kalınlığında sertliğinde bir artışa sebep olduğunu, tav işlemiyle birlikte Mn'ye göre malzemenin yumuşamasına daha fazla müsade ettiği görülmektedir.

6.4 Korozyon testleri

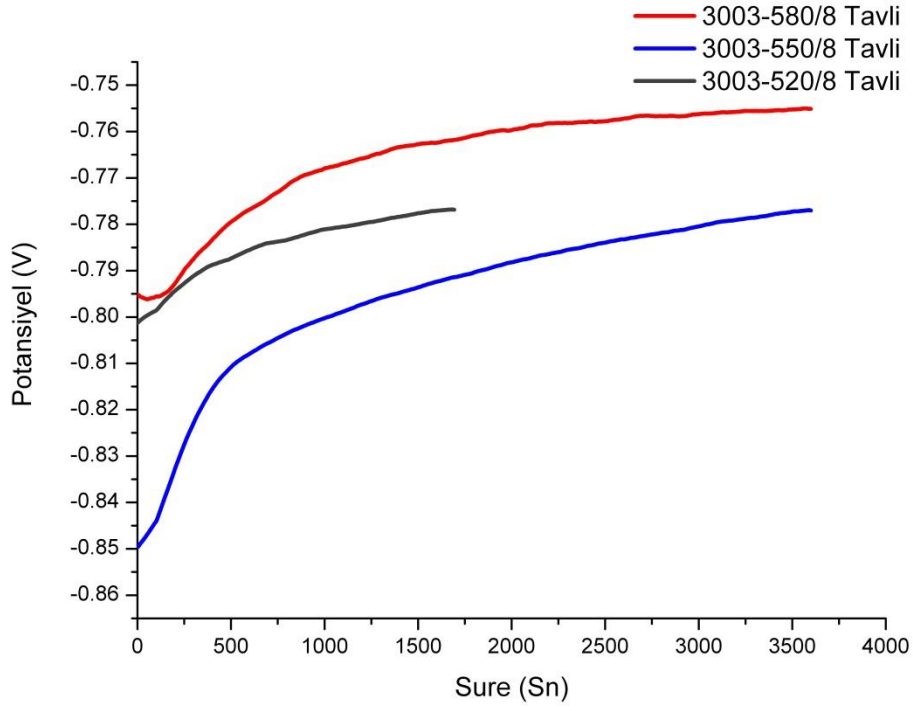
Daha sonra her 3 alaşımdan da 0,53 mm kalınlığında 3 cm çapında daire şeklinde numuneler kesilmiş, bu numuneler 1 M NaCl çözeltisi içerisinde 60 dk bekletilerek korozyon grafikleri çıkartılmıştır. Şekil 6.12'de 3105 alaşımın farklı sıcaklıktaki potansiyel zaman grafiği, şekil 6.13'de 3005 alaşımın farklı sıcaklıktaki potansiyel zaman grafiği, şekil 6.14'de ise 3003 alaşımın farklı sıcaklıktaki potansiyel zaman grafikleri yer almaktadır. Aynı şekilde şekil 6.15, 6.16 ve 6.17'de 3 alaşımın sırasıyla 580 °C, 8 saat, 550 °C, 8 saat ve 520 °C, 8 saat tav işlemi gördükten sonra ölçülen korozyon potansiyelleri yer almaktadır.



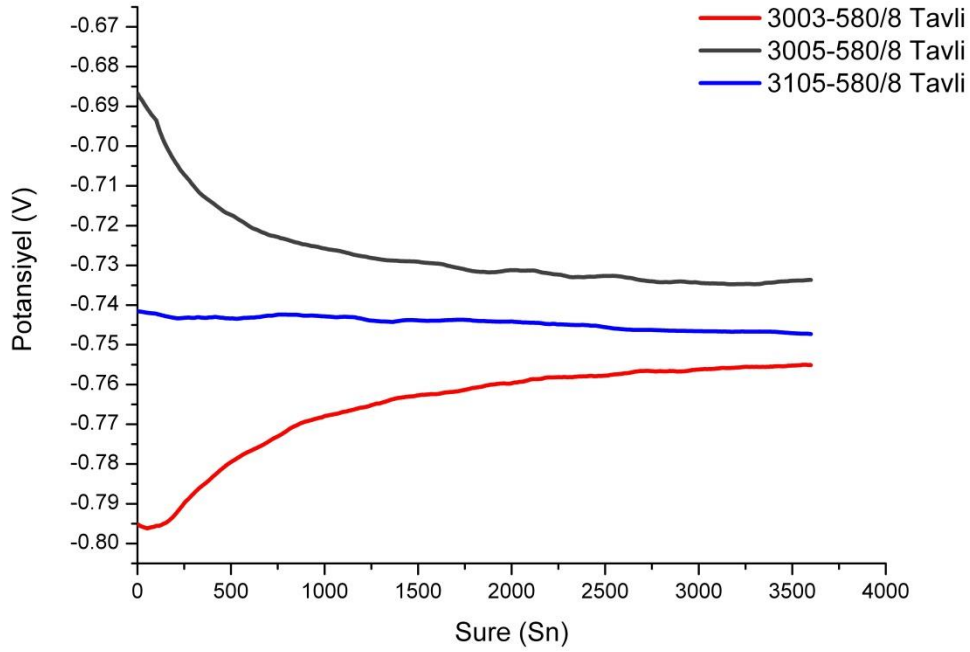
Şekil 6.12 : 3105 alaşım malzemenin potansiyel-zaman grafiği.



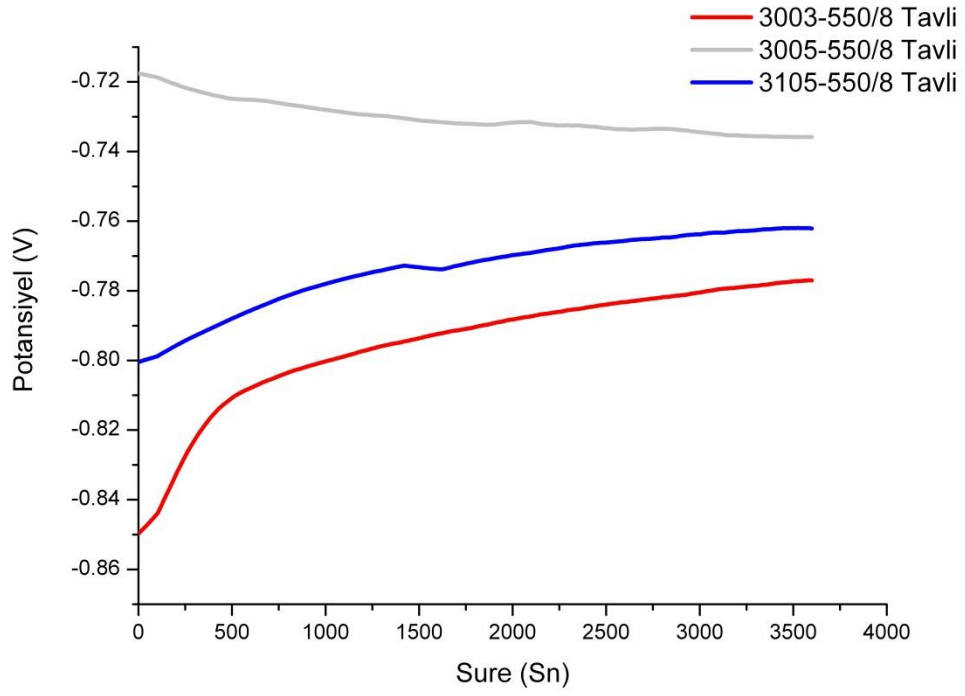
Şekil 6.13 : 3005 alaşım malzemenin potansiyel-zaman grafiği.



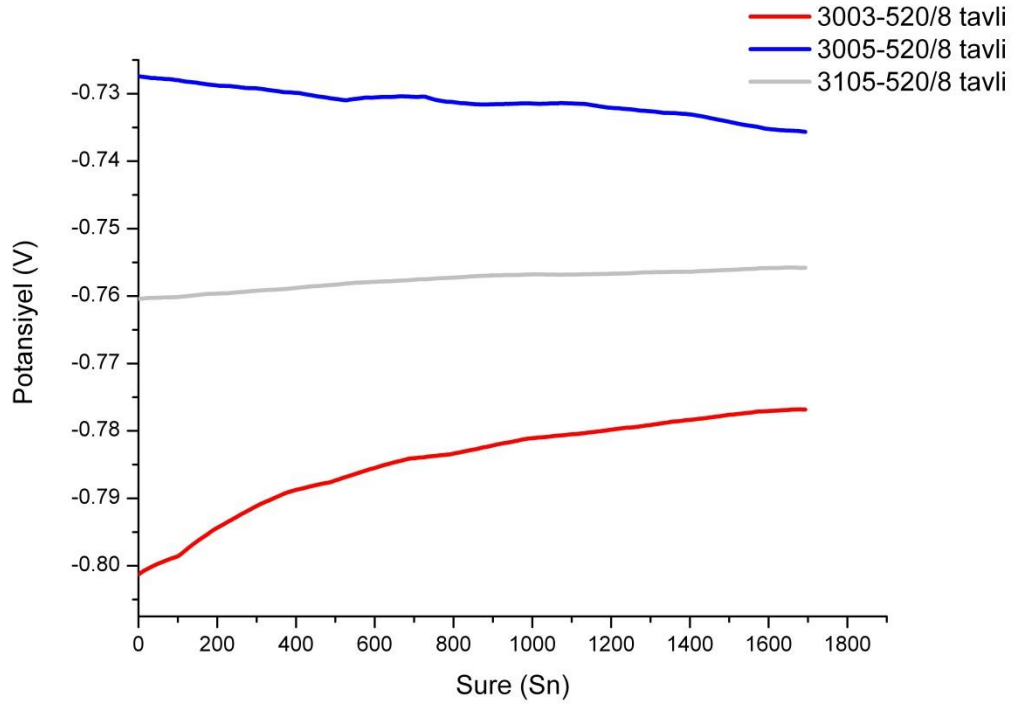
Şekil 6.14 : 3003 alaşım malzemenin potansiyel-zaman grafiği.



Şekil 6.15 : 3003, 3005, 3105 alaşım malzemelerin 580 °C/8 saat tavlanmış potansiyel-zaman grafiği.



Şekil 6.16 : 3003, 3005, 3105 alaşım malzemelerin 550⁰C/8 saat tavlanmış potansiyel-zaman grafikleri



Şekil 6.17 : 3003, 3005, 3105 alaşım malzemenin 520 ⁰C/8 saat tavlanmış potansiyel-zaman grafiği.

Magnezyum miktarının artmasıyla birlikte korozyona karşı direncin arttığı korozyon grafiklerinde karşımıza çıkmaktadır. Korozyon grafiklerini incelediğimizde magnezyum içeren 3005 alaşım malzemenin, hiç magnezyum içermeyen 3003 ve 3005 alaşıma kıyasla daha az magnezyum içeren 3105 alaşım malzemeye göre her üç tav derecesinde de korozyona karşı daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmaktadır. Alaşımları kendi içlerinde değerlendirdiğimizde de tav sıcaklığı arttıkça korozyona karşı dayanımın yükseldiği gözlemlenmiştir.

Yukarıdaki grafikler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşabilmekteyiz:

- Mg içeren 3005 alaşım, 3003 ve 3105 alaşıma kıyasla daha yüksek mukavemete sahiptir.
- Tüm tav sıcaklıklarında Mg içeren 3005 alaşımın korozyona dayanımı diğer iki alaşıma kıyasla yüksek çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Aluminium Foil And Thin Strip.** (t.y). Düsseldorf: Alman Alüminyum Birliği.
- Assan Alüminyum A.Ş., Eğitim Notları.** (1998).
- Büyükakkaş, F.** (1996). "Sürekli Alüminyum Levha Dökümü" Bitirme Tezi.
- Candar, K.** (1985). "Alüminyum Folyo Üretimi" Bitirme Tezi. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi.
- Cresswell, P., & Nilmani, M.** (1995). Melt Impurities And Their Relationship To Upstream Processes. 4th Australasian Asian Course And Conference.
- Davis, J.** (1996). Aluminium And Aluminium Alloys. *ASM Specialty Handbook*. içinde
- Dennis, W. H.** (1987). (H. E. Tulgar, Dü.) *Demirden Gayri Metaller Metalurjisi*(842).
- Duman, İ.** (1999). Demirdışı Metaller Metalurjisi II. İstanbul.
- Edwards, J. D., Frary, F. C., & Jeffries, Z.** (1985). *Aluminium And Its Production*. New York: Mc Graw-Hill.
- Guthrie, R. I., & Nilmani, M.** (1993). *Impurity Sources And Control- General Principles Of Melt Treatment*. The Minerals, Metals And Materials Society.
- Kalyoncu, Z.** (1997). "Alüminyum Folyo Üretimi" Bitirme Tezi.
- Kayalı, E. S., & Ensari, C.** (1991). *Metallere Plastik Şekil Verme İlke Ve Uygulamaları*. İstanbul: İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi.
- Öztürk, , A.** (1999). Alüminyum Ve Alaşımlarının Sürekli Dökümü.
- Uz, Ü.** (1989). *İnceleme Ve Araştırma Raporu*. Nasaş Alüminyum Sanayi Ve Ticaret A.Ş.
- Uz, Ü., & Derici, H. R.** (t.y). *Alüminyum Folyo Özellikleri, Üretimi Ve Kalite Hataları*. Nasaş Alüminyum Sanayii Ve Ticaret A.Ş.
- Url-1** < <http://metalforminginc.com/Publications/Papers/ref133/>>, alındığı tarih: 08.11.2014.
- Url-2** < <http://m.iopscience.iop.org/0953-8984/26/6/064201>> alındığı tarih: 26.03.2015.
- Url-3** <<http://m-hmm.co.jp>> alındığı tarih: 26.03.2015
- Url-4** <http://norandaaluminum.com/bayer_process.php> alındığı tarih: 12.11.2014
- Van Horn, K. R.** (1967). *Aluminium, Vol. I. Properties, Physical Metallurgy And Phase Diagrams*. Ohio: American Society For Metals.

Vargel, C. (2004). *Corrosion Of Aluminium*. Paris: Elsevier.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur ATAŞEN

Doğum Tarihi ve Yeri : 06 Kasım 1987, İstanbul

Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya & Metalurji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (2006-2011)