

**SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM TEKNİĞİYLE  
ÜRETİLMİŞ 1XXX - 3XXX VE 5XXX ALAŞIMLI  
LEVHALARIN MİKRO YAPI  
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. Müh. Ertuğrul OKUMUŞ**

**Enstitü No: 506981054**

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

**Programı: Malzeme**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI**

**Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Niyazi ERUSLU**

**Prof. Dr. Mehmet KOZ (Marmara Üniversitesi)**

**OCAK 2003**

## ÖNSÖZ

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

Olayları ve sonuçları sürekli sorgulamayı öğreten, yüksek lisans tezimin oluşmasında yapıcı eleştirilerini eksik etmeyen, fikirleri, önerileri ve özellikle sabrıyla bana destek olan sayın hocam Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI'ya yardımlarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Numunelerin incelenmesinde ve resimlerinin çekilmesinde yardımlarını unutamayacağım sevgili dostum ve meslektaşım Metalurji Müh. Emrah Fahri ÖZDOĞRU'ya, dostluğu ve yardımları için teşekkür ederim.

Tezimi hazırlamamda ve tamamlamamda desteğini ve teşviğini asla unutamayacağım, sevgili Müge AĞAT'a özel olarak teşekkür ederim. Aynı teşviği ve sabrı doktora tezimi hazırlamamda da göstereceğini ümit ederim...

Karakterizasyon çalışmalarımda yardımcı olan ASSAN Alüminyum Test Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

İstanbul, Ocak 2003

Ertuğrul OKUMUŞ

## İÇİNDEKİLER

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                               | <b>v</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                             | <b>vi</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                             | <b>vii</b> |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                            | <b>ix</b>  |
| <b>ÖZET</b>                                                      | <b>x</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                                   | <b>xii</b> |
| <br>                                                             |            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                  | <b>1</b>   |
| 1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı                                   | 1          |
| <br>                                                             |            |
| <b>2. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ VE ÜRETİMİ</b>                       | <b>4</b>   |
| 2.1. Alüminyumun Tarihçesi ve Dünyada Alüminyum                  | 4          |
| 2.2. Alüminyum Üretimi                                           | 8          |
| 2.2.1. Primer (birincil) ve Sekonder (ikincil) alüminyum üretimi | 8          |
| 2.2.2. İkiz merdane döküm yöntemi (Twin-Roll Casting Prosesi)    | 14         |
| <br>                                                             |            |
| <b>3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI</b>              | <b>17</b>  |
| 3.1. Alüminyum ve Alaşımları                                     | 17         |
| 3.2. İsimlendirme Kriterleri ve Standartları                     | 20         |
| 3.3. Kondüsyon (Temper) Tanımları                                | 22         |
| 3.3.1. Temel kondüsyon tanımları                                 | 23         |
| 3.4. İşlem Alaşımları                                            | 24         |
| <br>                                                             |            |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                    | <b>27</b>  |
| 4.1. Kullanılan Malzemeler                                       | 27         |
| 4.2. Kullanılan Cihazlar                                         | 28         |
| 4.3. Deney Sonuçları ve İrdelenmesi                              | 28         |
| 4.3.1. Mekanik özelliklerin tesbiti                              | 28         |
| 4.3.2. Makro yapı karakterizasyonu                               | 32         |
| 4.3.2.1. Optik mikroskop incelemeleri                            | 32         |
| 4.3.3. Mikro yapı karakterizasyonu                               | 34         |
| 4.3.3.1. Optik mikroskop incelemeleri                            | 34         |
| 4.3.3.2. Boyuna (longitudinal) kesit incelemeleri                | 34         |
| 4.3.3.3. Enine (transverse) kesit incelemeleri                   | 38         |
| 4.3.3.4. Yüzey kesiti incelemeleri                               | 42         |
| 4.3.3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri         | 44         |
| 4.3.3.6. Boyuna (longitudinal) kesit incelemeleri                | 44         |
| 4.3.3.7. Enine (transverse) kesit incelemeleri                   | 53         |
| 4.3.3.8. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) incelemeleri        | 56         |
| 4.3.3.9. Yüzey düzlemi mikro yapı incelemeleri                   | 56         |
| 4.3.3.10. Merkez düzlemi mikro yapı incelemeleri                 | 60         |
| 4.3.4. Termo-meknik işlemlerin tane gelişimine etkisi            | 63         |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.4.1. Döküm kalınlığında ısıtıl işlemin etkisi                               | 65        |
| 4.3.4.2. Döküm kalınlığında %45 soğuk deformasyon sonrası ısıtıl işlemin etkisi | 67        |
| <b>5. GENEL SONUÇLAR</b>                                                        | <b>69</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                | <b>71</b> |
| <b>EKLER</b>                                                                    | <b>73</b> |
| <b>EK A. Tablo A.1</b>                                                          | <b>73</b> |
| <b>EK B. Tablo B.1</b>                                                          | <b>76</b> |
| <b>EK C. Tablo C.1</b>                                                          | <b>78</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                 | <b>81</b> |

## KISALTMALAR

|              |                                               |
|--------------|-----------------------------------------------|
| <b>EC</b>    | : Elektrik İletkenleri                        |
| <b>TRC</b>   | : İkiz Merdane Döküm Teknolojisi              |
| <b>HF</b>    | : Hidroflorik Asit                            |
| <b>SEM</b>   | : Taramalı Elektron Mikroskobu                |
| <b>EDS</b>   | : Enerji Saçınım Spektrometresi               |
| <b>TEM</b>   | : Geçirimli Elektron Mikroskobu               |
| <b>ANSI</b>  | : Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü          |
| <b>AA</b>    | : Amerikan Alüminyum Birliği                  |
| <b>BSI</b>   | : İngiliz Standartlar Enstitüsü               |
| <b>DIN</b>   | : Alman Standartlar Enstitüsü                 |
| <b>ISO</b>   | : Uluslararası Standardizasyon Örgütü         |
| <b>ASTM</b>  | : Amerikan Mazleme ve Test Derneği            |
| <b>AECMA</b> | : Avrupa Uçak Malzemeleri Üreticileri Birliği |
| <b>MHS</b>   | : Merkez Hattı Segregasyonu                   |
| <b>MPa</b>   | : Mega Pascal                                 |
| <b>N</b>     | : Newton                                      |
| <b>ABD</b>   | : Amerika Birleşik Devletleri                 |
| <b>DC</b>    | : Direkt Döküm Teknolojisi                    |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                             | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1.</b> 1950 yılından bu yana dünya birincil alüminyum üretimi .....                                              | 5               |
| <b>Tablo 2.2.</b> 1950 yılından bu yana Batı Avrupa birincil alüminyum üretimi ....                                         | 6               |
| <b>Tablo 2.3.</b> 1960 yılından bu yana endüstrileşmiş ülkelerde kişi başına alüminyum tüketimi .....                       | 8               |
| <b>Tablo 2.4.</b> Temel bazı metaller için birincil ve ikincil kaynaklardan üretim için termal enerji gereksinimleri .....  | 12              |
| <b>Tablo 2.5.</b> 1950 yılından bu yana Avrupa ikincil alüminyum üretimi .....                                              | 13              |
| <b>Tablo 4.1.</b> 1235, 3003 ve 5754 alaşımı için O kondüsyon mukavemet değerleri ve döküm numuneleri ölçüm sonuçları ..... | 29              |
| <b>Tablo A.1</b> Dünya genelinde yıllık birincil alüminyum üretimi .....                                                    | 73              |
| <b>Tablo B.1.</b> Önemli bazı ulusal ve uluslararası alüminyum standardizasyon ve test organizasyonları .....               | 76              |
| <b>Tablo C.1.</b> AA standartlarına göre bazı alaşım grupları ve kimyasal bileşimleri .....                                 | 78              |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Yıllara bağlı dünya yapısal malzeme tüketimi .....                                                                 | 4               |
| Şekil 2.2 : Endüstrileşmiş ülkelerde son kullanıma bağlı olarak alüminyum tüketiminin dağılımı .....                           | 7               |
| Şekil 2.3 : Endüstrileşmiş ülkelerde son kullanıma bağlı olarak alüminyum tüketiminin dağılımı .....                           | 7               |
| Şekil 2.4 : Elektrolitik alüminyum fırını .....                                                                                | 9               |
| Şekil 2.5 : Birincil alüminyum üretim adımları .....                                                                           | 10              |
| Şekil 2.6 : Yarı-sürekli su soğutmalı alüminyum ve alüminyum alaşımlı billet ve slab üretimi şeması .....                      | 11              |
| Şekil 2.7 : Geri kazanım ve yeniden değerlendirme yöntemiyle alüminyum üretiminin akış diyagramı .....                         | 12              |
| Şekil 2.8 : Twin-Roll Caster yandan görünüşü .....                                                                             | 14              |
| Şekil 2.9 : Twin-Roll Caster detay görünüşü .....                                                                              | 15              |
| Şekil 2.10 : Twin-Roll Caster detay görünüşü .....                                                                             | 16              |
| Şekil 3.1 : Alüminyumun alaşım elementleriyle çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımlarının şematik gösterimi .....           | 18              |
| Şekil 3.2 : AA nın işlem alaşımları için isimlendirme kriteri .....                                                            | 22              |
| Şekil 3.3 : Temel işlem alaşımlarının kimyasal kompozisyonu, ısıtılma ve mekanik mukavemet özellikleri arasındaki ilişki ..... | 25              |
| Şekil 4.1 : 1235 numunesi çekme diyagramı .....                                                                                | 29              |
| Şekil 4.2 : 3003 numunesi çekme diyagramı .....                                                                                | 30              |
| Şekil 4.3 : 5754 numunesi çekme diyagramı .....                                                                                | 30              |
| Şekil 4.4 : 1235-3003 ve 5754 numunesi çekme mukavemetleri ve % uzamalarının karşılaştırılması .....                           | 31              |
| Şekil 4.5 : 5754 numunesinde gözlenen süreksiz akma davranışı .....                                                            | 31              |
| Şekil 4.6-11 : 1235, 3003, 5754 kesit tane görüntüsü .....                                                                     | 32,33           |
| Şekil 4.12-17 : 1235 boyuna kesit mikro yapı resimleri .....                                                                   | 35              |
| Şekil 4.18-21 : 3003 boyuna kesit mikro yapı resimleri .....                                                                   | 36              |
| Şekil 4.22-27 : 5754 boyuna kesit mikro yapı resimleri .....                                                                   | 37,38           |
| Şekil 4.28-31 : 1235 enine kesit mikro yapı resimleri .....                                                                    | 39              |
| Şekil 4.32-37 : 3003 enine kesit mikro yapı resimleri .....                                                                    | 40              |
| Şekil 4.38-43 : 5754 enine kesit mikro yapı resimleri .....                                                                    | 41              |
| Şekil 4.44-49 : 1235-3003 ve 5754 numunesi yüzey mikro yapısı .....                                                            | 42,43           |
| Şekil 4.50-53 : 1235-3003 ve 5754 numunesi boyuna SEM resimleri .....                                                          | 44,45           |
| Şekil 4.54 : 1235 alaşımında EDS analizi yapılan bölge .....                                                                   | 46              |
| Şekil 4.55 : 1235 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin elementel dağılımını gösteren harita .....                           | 46              |
| Şekil 4.56 : 1235 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin spektrumu .....                                                      | 46              |
| Şekil 4.57-59 : 3003 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon yapısı .....                                              | 47,48           |
| Şekil 4.60 : 3003 alaşımında EDS analizi yapılan bölge .....                                                                   | 48              |
| Şekil 4.61 : 3003 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin elementel                                                            |                 |

|                      |                                                                                                                                       |       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|                      | dağılımını gösteren harita .....                                                                                                      | 48    |
| <b>Şekil 4.62</b>    | : 3003 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin spektrumu .....                                                                        | 49    |
| <b>Şekil 4.63</b>    | : 3003 alaşımında boyuna kesit numunesinde lameler MHS yapısı .....                                                                   | 49    |
| <b>Şekil 4.64-67</b> | : 5754 numunesi boyuna SEM resimleri .....                                                                                            | 50,51 |
| <b>Şekil 4.68</b>    | : 5754 alaşımında EDS analizi yapılan bölge .....                                                                                     | 52    |
| <b>Şekil 4.69</b>    | : 5754 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin elementel dağılımını gösteren harita .....                                             | 52    |
| <b>Şekil 4.70</b>    | : 5754 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin spektrumu .....                                                                        | 52    |
| <b>Şekil 4.71-76</b> | : 1235-3003 ve 5754 numunesi enine SEM resimleri .....                                                                                | 53-55 |
| <b>Şekil 4.77-84</b> | : 1235-3003 ve 5754 numunesi yüzey TEM resimleri .....                                                                                | 56-59 |
| <b>Şekil 4.85-91</b> | : 1235-3003 ve 5754 numunesi merkez düzlemi TEM resimleri ...                                                                         | 60-62 |
| <b>Şekil 4.92</b>    | : 1235 alaşımlı dökme levhada farklı sıcaklıklardaki tav aşamalarında meydana gelen tane gelişimleri .....                            | 65    |
| <b>Şekil 4.93</b>    | : 1235 alaşımlı dökme levhada %45 hadde pasosundan sonra farklı sıcaklıklardaki tav aşamalarında meydana gelen tane gelişimleri ..... | 67    |



## SEMBOL LİSTESİ

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| <b>Al</b>            | : Alüminyum             |
| <b>Cu</b>            | : Bakır                 |
| <b>Si</b>            | : Silisyum              |
| <b>Zn</b>            | : Çinko                 |
| <b>Mg</b>            | : Magnezyum             |
| <b>Mn</b>            | : Manganez              |
| <b>μ</b>             | : Mikron                |
| <b>σ<sub>ç</sub></b> | : Çekme mukavemeti      |
| <b>%e</b>            | : % mühendislik uzaması |

## **SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM TEKNIĞIYLA ÜRETİLMİŞ 1XXX- 3XXX VE 5XXX ALAŞIMLI LEVHALARIN MİKRO YAPI KARAKTERİZASYONU**

### **ÖZET**

1940’larda geliştirilmiş ve 1950’lerin başlarında ticarileşen Hunter twin-roll caster (TRC), su soğutmalı çelik merdaneler arasına döküm yapmak suretiyle dökme demir dışı levha üretmektedir. Sürekli döküm yöntemiyle üretilen dökme levha kalınlığı 5-10 mm dir. Bu teknoloji Fata-Hunter, SCAL (Pechiney) ve diğer üretici firmalar tarafından sürekli geliştirilmektedir ve bunun sonucunda günümüzde 2100 mm den daha geniş dökme levha üretilebilmektedir. Twin-roll caster teknolojisi dünya üzerindeki 260’dan fazla döküm makinasıyla hacmen en büyük sürekli alüminyum döküm teknolojisidir.

Twin-roll casting teknolojisi direkt olarak eriyik metalden ~ 0,5 - 10 mm kalınlığında alüminyum üretilebilmesine olanak sağlar. Ticari twin-roll casterlar genellikle 6 mm kalınlıkta üretilir ve kullanılan döküm alaşımları dar bir katılaşma aralığına sahiptirler. Bu yöntemle levha üretilmesine rağmen limit çalışma şartlarında çeşitli kusurlar oluşabilmektedir. Twin roll cast prosesiyle başarılı bir alüminyum levha üretiminde asıl uğraş yüksek üretim verimiyle birlikte hem fiziksel hem de mekanik özellikleri de geliştirmektir. Özellikle alaşım, döküm kalınlığı ve hızı, tip mesafesi gibi döküm parametrelerinin dökme levha kalitesi üzerindeki baskın etkilere sahip olduğu literatürde belirtilmektedir. Bu çalışmada alaşım gruplarının karakteristik olduğu ön görülen döküm parametreleriyle üretilen alüminyum levhaların, alaşıma bağlı olarak mikro yapısal açıdan ürün kalitesindeki değişimler incelenmiştir.

Çalışmada Twin-roll casting teknolojisiyle, sırasıyla ~ 5 – 6 – 5 mm kalınlığında üretilmiş farklı ana alaşım elementleri içeren, 5754 (Al-Mg), 3003 (Al-Mn), 1235 (Al-Fe-Si) alaşımlı alüminyum levha döküm örnekleri kullanılmıştır. Örnekler döküm yönü, döküm yönüne dik ve yüzeyden hazırlanmıştır. TEM numuneleri ise yüzey ve merkez kesitlerinden elde edilmiştir. Örneklerin mekanik özellikleri çekme testiyle, optik mikroskop, stereo mikroskop, SEM ve TEM ile başta döküm tane yapıları ve çökelti yapısı, çökeltilerin morfolojisi, boyutları ve dağılımları incelenmiştir. Farklı alaşım içeriklerinin özellikle tane yapısı üzerinde etkileri ve alaşımların katılaşma aralıklarına bağlı olarak da çökelti yapısındaki değişiklikler tesbit edilmiştir. EDS analizleri yapılarak da çökelti partiküllerinin kimyasal içerikleri tesbit edilmiştir. Dökme levha örneklerinden 1235 alaşımının termo-mekanik işlemler sonucunda gösterdiği tane gelişimi ise optik ışık mikroskobu ile incelenmiştir.

Yapılan çekme testi sonuçlarında, alaşım miktarının artmasıyla mukavemetin arttığı, uzama kabiliyetinin azaldığı saptanmıştır. Dökme levha, katılaşma sırasında deformasyona uğrayarak; O kondüsyonda olmayıp katılaşma sırasında maruz kaldığı

deformasyon nedeniyle çeyrek sert (H12) kondüsyonunun özelliklerini kazanmaktadır.

Diğer alaşımlardan farklı olarak 5754 alaşımında plastik deformasyon sırasında süreksiz akma görülmektedir. Malzemenin bu davranışı *Portevin-LeChatelier* etkisi olarak bilinen, çökelti atomlarıyla dislokasyonların etkileşiminden kaynaklanan deformasyon yaşlanması nedeniyle olmaktadır.

Döküm yönüne dik ve paralel hazırlanan numunelerin yüzeyleri incelendiğinde eş eksenli taneler, döküm yönüne paralel kesitlerin merkez bölgelerinin incelemelerindeyse döküm yönünde uzamış taneler görülmektedir.

Numunelerin yüzeyindeki – hatta merkezindeki – çökelti partiküllerinin kırılıp birkaç parçaya ayrılmış olmaları, katılaşma sırasında deformasyon ögesinin malzeme kesiti boyunca etkin olduğunu göstermektedir.

Özellikle alaşım elementi miktarının artması, alaşımdaki alüminyum yüzde oranının azalmasıyla segregasyon oluşumu eğiliminin arttığı gözlenmiştir.

İncelenen alaşımlarda alaşım elementi miktarına bağlı olmak kaydıyla segregasyon yapısı değişmektedir. 1235 alaşımlarında lameler ve ince bir segregasyon yapısı hakim iken, 3003 alaşımlarında ise lameler, kalın segregasyon yapısının yanında, dökme levha yüzeyi ve merkezi arasında segregasyon ağı yapısı tüm kesite gözlenmiştir. Ayrıca enine kesit ve boyuna kesit incelemeleri 3003 alaşımında merkez hattının fiberler halinde yapıda mevcut olduğunu göstermektedir. 5754 alaşımlarında çok daha kaba ve partiküler bir merkez hattı yapısının varlığı yapılan incelemelerde belirlenmiştir.

SEM incelemeleri matriste ve tane sınırlarında dağılmış büyük çökelti partiküllerinin varlığını göstermektedir. Bu partiküller küçük ve nispeten eş eksenli partiküllerle birlikte dendritik düzensiz şekillerde de görülmektedir.

TEM analizlerinde ise düzgün şekillenmiş hücre yapısı ve eş eksenli partiküllerin bulunduğu bazı bölgeler ve bu bölgelerde düzenlenmiş dislokasyon yapıları gözlenmiştir.

1235 alaşımının homojenleştirme ısı işlemi yeniden kristalleşmenin önce yüzeyde, daha sonra merkez düzleminde başladığı ve ısı işlemin ilerleyen aşamalarında tüm kesit boyunca tane büyümesinin olduğu saptanmıştır.

1235 alaşımında %45 soğuk işlem yapıldıktan sonra uygulanan homojenleştirme ısı işleminde ise mikro yapı değişiminin daha düşük sıcaklıkta, merkezden başlayarak yüzeye doğru yeniden kristalleşmenin devam ettiği ve artan sıcaklıklarda döküm kalınlığında homojenleştirme işlemine tabi tutulan örnekten daha az şiddetli olmak kaydıyla; yüzeyde sınırlı bir tabakada tane büyümesi olduğu görülmüştür.

## **MICRO-STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF CONTINUOUS CAST 1XXX, 3XXX AND 5XXX ALUMINUM STRIPS**

### **SUMMARY**

When compared to the traditional hot mill process, the relatively low capital cost of twin roll casters (TRC), in combination with their lower energy and manning cost, have made twin roll casting an increasingly popular method of producing a wide range of aluminum flat rolled products. As explained above, for aluminum flat-rolled and foil products continuous casting being more important because it is economic and fast. The first commercial application of continuous casters can be attributed to Properzi. The wheel/belt caster was used to produce low-cost electrical-conductor wire in 1948. One of the first slab casters, introduced by Rigamonti in the early 1950s. Other casters developed during the 1950s by Pechiney, Alcan and HunterDouglas.

Twin roll casting can be used to produce aluminum sheet from ~ 0,5 to 10 mm thick directly from the melt. Commercial twin roll casters are generally limited to aluminum sheet 6 mm thick and to casting alloys with narrow freezing ranges. Although sheet can be produced, various defects arise which limit the range of operation conditions suitable for commercial exploitation. One of the major challenges for the twin roll casting process to be successful in aluminum sheet production is to improve both the physical and mechanical properties of the sheet while achieving high productivity. In the literature, mentioned that the casting parameters such as alloy, the casting gauge and speed and tip setback effect the metallurgical quality of the cast strip. In this study, the effect of alloy on the micro structural quality investigated from the samples produced twin roll casters with specific casting parameters for the alloy.

In the study, three different alloys, 5754 (Al-Mg), 3003 (Al-Mn) and 1235 (Al-Fe-Si), that were produced with Twin-roll casting process as arranged in order 5 – 6 – 5 mm casting thickness were used. Samples were prepared as longitudinal (casting direction), transverse (perpendicular to casting direction) and surface cast samples. Cast material mechanical properties were obtained with tension test. The grain structure and precipitation structure; size, morphology, distribution were observed with the optical microscope, stereo microscope, SEM and TEM. The effect of different alloying elements on grain structure was investigated. Also, the effect of solidification range that is related to alloy on precipitation structure was investigated. Energy Dispersive X-ray Analysis (EDS) were employed for identification of the chemical contents of intermetallic phases. 1235 alloy samples were annealed to investigate the effect of thermo-mechanical process on structural changes of material. Optical microscope was used for investigation of the structural changes in heat treated materials.

The results of tensile tests show that the higher amount of alloying element, the higher ultimate tensile stress the material has. And also it refer that the cast material was exposed to deformation while it was solidifying in roll bite. Also, broken down to two or more pieces particles support the existence of the deformation distributed over the strip thickness.

Different from the other alloys, 5754 alloy stress - strain curve has discontinuous yielding. This behaviour that is because of the interaction between dislocations and impurities is called the *Portevin-LeChatelier* effect.

In the samples prepared as longitudinal and transverse sections, the surface grains are equiaxed and the grains in the centre of longitudinal section seems to be extended.

The increasing amount of alloying elements and decreasing amount of aluminum cause severe segregation structure.

The type and amount of segregates will be strongly alloy dependent, controlled mainly by the solidification interval. And also, segregate structure and morphology related to main alloying element. 1235 alloy has a fine and lamellar segregation structure, but 3003 alloy has lamellar, coarse segregation and also has segregation network between material surface and center line. The investigations of longitudinal and transverse sections of 3003 alloy show that actually segregates have fibre structure. Also, 5754 has a coarse particulates.

SEM observations indicate the being of coarse particles which was dispersed in matrix and near the grain boundaries. Also, these particles can be shown as small, equiaxed or interdendritic network.

The TEM analyses conducted on the as-cast samples revealed the presence of a well formed cell structure and dislocations arrangements associated in some areas with primary particles.

The TEM investigations of 1235 alloy as-cast samples that was applied heat treatment in a temperature range covering both recrystallization and homogenization anneals shown that the surface of the cast strip was recovered firstly. The interior of the strip recovered after surface and grains grow very coarse across the thickness of the strip with increasing temperatures.

Contrary to as-cast samples, in deformed %45 1235 alloy samples recrystallization starts at lower temperature. The recrystallization begins at the interior of the strip and progress toward the surface. In creasing temperature, grain coarsening is occurred at the limited surface layer is not severe as occurred in as-cast samples.

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Ham alüminyum ilk kez 1825 yılında elde edilmiş, bu elementin halka tanıtımı ise 1855 yılında 1.Paris Dünya Sergisi'nde gerçekleşmiştir. Yeryüzünde en bol bulunan element olmasına rağmen, alüminyumu arıtmak ve eritmek, elektrik enerjisinin son derece pahalı olmasından dolayı çok masraflı bir iş olmuştur. Öyle ki, o zamanlar alüminum altından daha değerliymiş.

Danimarka Kralı X. Christian görkemini göstermek için kendine “alüminyum bir taç” sipariş etmiş.

Şaşaya her imparatorundan biraz daha meraklı olan III. Napaleon ise “som altından” da öte bir özene layık olduğuna inandığı konuklarını alüminyum sofrta takımı ile ağırlarmış. Elektrik enerjisi bollaşıncaya kadar, alüminyum krallarla imparatorların tekeline kalmıştır.

Hepimizin kullandığı alüminyum kutuların tarihsel gelişimi alüminyum endüstrisinin de tarihsel gelişimine güzel bir örnek teşkil etmektedir. Bugünkü uygarlığın simgelerinden biri haline gelen “alüminyum kutular” için epeyce beklenmiştir. 1962 yılında Reynold Metals şirketi “seri üretimi” sağlayacak bir yöntem geliştirmiş. Ama kutunun ağırlığı 350 grammış.

350 gramlık kutuların ilk talibi ABD'nin ortabati bölgesindeki Hamms adlı bir bira fabrikası olmuştur. Coca-Cola ile Pepsi-Cola ise bu kutuları kullanmaya dört yıl sonra başlamış ve zamanla ise alüminyum dışında kutu kalmamıştır.

Bununla yetinilmeyip en hafif alüminyum kutu peşine düşülmüş. Kutu imalatındaki metal oranının azaltılmasını amaçlayan “araştırmalar” sonunda işe yaramış ve kutunun ağırlığı 18,5 grama düşürülmüştür. Şimdilerde ise 15 gramdır.

Kutuların ağırlığının sürekli azalması, alüminyum fabrikalarının bilgilerini sürekli yenileyecek aşamalı yöntemler geliştirmelerinden kaynaklanmaktadır. Daha çok beyin, som altından öte bir zenginlik göstergesi arayan imparatorun sofrası takımından zaman içinde herkesin kullanıp attığı “kola kutusu” üretiyor.

Kutu eskiden olduğu gibi 350 gram kola alıyor, ama kendi içinde çarpıcı bir değişimle daha az malzeme ve enerji, buna karşılık daha çok beyin bulunuyor.

Kol gücünden daha fazla değer üretir hale geliyor. İşçilerin “sayısı” azalırken, mühendislerin “sayısının” çoğalması bu yüzden... Değerlerin en fazlasını “bilgi” üretiyor. Ağır sanayinin simgesi olan çelik fırınlarının tarihten silinmesi, onun yerini alüminyumdan yapılmış kutuların alması, kutuların üretiminde de her zamankinden daha az işçi kullanılması da bu yüzdendir [1].

Alüminyum endüstrisi geçtiğimiz 100 yıl içerisinde sınırlı sayıda alaşım ve üründen, geniş bir ürün yelpazesine sahip büyük hacimli üretim miktarlarına gelişim göstermiştir. Günümüzde A.B.D alüminyum üretiminin 5,6 milyon tonu düz-hadde ürünü, 1,7 milyon tonu ekstrüzyon ve 2,4 milyon tonu ingot/döküm ürünlerini içermektedir. Bu ürünler; inşaat, yapı, ulaşım ve paketleme gibi geniş pazar alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca pazar; elektrik iletkenleri (electrical conductors, EC), dövme parça, çubuk, tel ve metalik toz alanlarında genişlemektedir. İçinde bulunduğumuz 2000’li yıllarda alüminyum, geçtiğimiz yüzyıldan bu yana; alaşım geliştirme, ürün-üretim teknolojileri ve işlem ekipmanlarındaki gelişimlerden faydalananarak büyümekte ve gelişmektedir [2].

Pazar; alaşım, proses ve düşük maliyetli – işlevsel alternatifliğe sahip ürünlerin seçimiyle gelişmektedir. Ekonomik etmenler, alüminyum ürünlerinin pazar alanlarını koruması veya yeni marketlerde karşılaşacağı malzemelerle olan rekabet ortamında en büyük öneme sahip husus olacaktır.

Geleneksel sıcak hadde prosesiyle karşılaştırıldığında, twin roll caster teknolojisi oldukça düşük enerji ve çalışan maliyeti sayesinde düz alüminyum hadde ürünleri üretiminde oldukça popüler bir üretim methodu halini almıştır.

Twin-roll casting (TRC) teknolojisi direkt olarak eriyik metalden ~ 0,5 - 10 mm kalınlığında alüminyum üretilbilmesine olanak sağlar. Ticari twin-roll casterlar

genellikle 6 mm kalınlıkta üretilir ve kullanılan döküm alaşımları dar bir katılāşma aralığına sahiptirler. Bu yöntemle levha üretilebilmesine rağmen limit çalışma şartlarında çeşitli kusurlar oluşabilmektedir. TRC prosesiyle başarılı bir alüminyum levha üretiminde asıl uğraş yüksek üretim verimiyle birlikte hem fiziksel hem de mekanik özellikleri de geliştirmektedir [4,5].

Bu çalışmanın amacı TRC prosesiyle üretilmiş üç ana alüminyum işlem grubunun alaşım (1xxx : Al-Fe-Si, 3xxx : Al-Mn, 5xxx : Al-Mg) döküm mikro yapılarının ve mekanik özelliklerinin karakterizasyonudur.

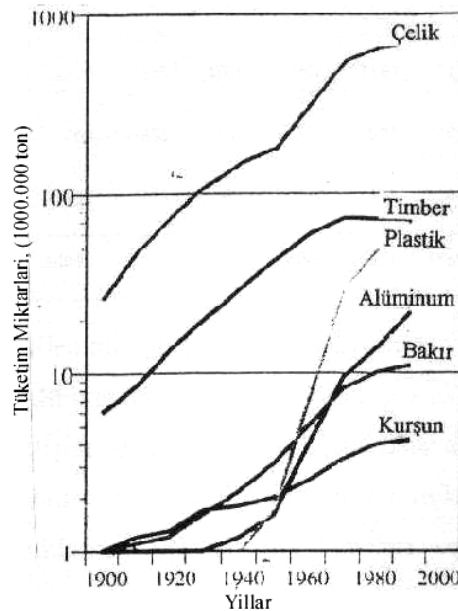


## 2. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ VE ÜRETİMİ

### 2.1. Alüminyum Tarihçesi ve Dünyada Alüminyum

Alüminyum, bir yüzyılı biraz aşkın tarihçesi içerisinde son zamanlarda dünya pazarlarında çok yönlü bir malzeme olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünya genelinde pazarının gelişmesinin temel adımları çelikten farklı olarak, endüstriyel devrim sırasında atılan alüminyum, bu yüzyılda önem görmeye başlamıştır [2, 3].

Alüminyum ilk defa 1825 yılında Orsted tarafından elde edilmiş ve 1850-1860 yılları arasında oldukça düşük miktarlarda üretilmiştir. Alüminyumun tamamen endüstrileşmesi 1880 yılından sonra olmuştur. 1880 yılında Amerikada Hall ve Fransada Heroult hemen hemen eş zamanlı olarak, daha sonra isimleriyle anılan güvenilir ve tekrar edilebilir, endüstriyel ölçekli üretim proseslerini keşfetmiş ve tanımlamışlardır. Bir yüzyıldan kısa bir zamanda alüminyum hem üretim hem de kullanım açısından dikkate değer bir gelişme göstermiş ve şimdi günümüz endüstrisi için önem açısından çelikten sonra ikinci sırayı almıştır. Öyle ki, 1920’de birincil alüminyumun yıllık üretimi 200.000 ton iken, bugün 18 milyon tonlara doğru tırmanmaktadır [2,3].



Şekil 2.1. Yıllara bağlı dünya yapısal malzeme tüketimi [3].

Şekil 2.1 dünya alüminyum üretiminin diğer önemli yapısal malzemelerle karşılaştırılması görülmektedir. Açıkça alüminyumun en hızlı büyüme peryodu 1950–1970 yılları arasında gerçekleşmiştir. Bu hızlı çıkışın ardından ana endüstriyel pazarların doygunluğa ulaşmasının sebep olduğu dünya genelindeki ekonomik durum sebebiyle bu büyüme hızı düşmüştür [2].

Toplam dünya üretiminin yalnızca 1000 kg olduğu ilk sene olan 1865 yılından bu yana kronolojik detaylar Ek A. Tablo A.1’de verilmiştir. Verilen grafiklerdeki değerler yaklaşık olarak verilmiş olup; Çin, Sovyetler Birliği ve diğer Doğu Avrupa ülkelerinin üretimleri tahmini olarak alınmıştır. Birincil alüminyumun üretim miktarları; Dünya ve önemli Avrupa ülkeleri için ayrı ayrı Tablo 2.1 ve 2.2’de sırasıyla verilmiştir [3].

**Tablo 2.1.** 1950 yılından bu yana dünya birincil alüminyum üretimi (1000 ton), [3].

| Yıl           | 1950        | 1980         | 1981         | 1982         | 1983         | 1984         | 1985         | 1986         | 1987         | 1988         | 1989         | 1990         |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Avrupa        | 246         | 3758         | 3724         | 3527         | 3585         | 3814         | 3641         | 3716         | 3750         | 3804         | 3913         | 3911         |
| Doğu Ülkeleri | 219         | 3320         | 3276         | 3266         | 3309         | 3250         | 3309         | 3432         | 3530         | 3679         | 3650         | 3425         |
| Kuzey Amerika | 1012        | 5764         | 5648         | 4386         | 4484         | 5365         | 4825         | 4429         | 4947         | 5546         | 5656         | 5683         |
| Latin Amerika | -           | 776          | 744          | 756          | 906          | 1002         | 1121         | 1358         | 1440         | 1484         | 1626         | 1730         |
| Asya          | 30          | 1570         | 1319         | 1020         | 981          | 1184         | 1153         | 1066         | 950          | 1013         | 1135         | 1180         |
| Okyanusya     | -           | 460          | 535          | 548          | 695          | 998          | 1095         | 1113         | 1276         | 1407         | 1501         | 1492         |
| Afrika        | -           | 437          | 483          | 501          | 424          | 413          | 473          | 552          | 572          | 597          | 605          | 601          |
| <b>TOPLAM</b> | <b>1507</b> | <b>16085</b> | <b>15729</b> | <b>14004</b> | <b>14384</b> | <b>16026</b> | <b>15617</b> | <b>15666</b> | <b>16465</b> | <b>17530</b> | <b>18086</b> | <b>18022</b> |

Yukarıda belirtilen tüm bu tablolar alüminyumun yakın geçmişi hakkında net bilgiler vermektedir. Alüminyuma gelecek yıllarda olacak rağbet, ekonomik ve endüstriyel faaliyetlerin gelişimine bağlı olacaktır. Kuşkusuz alüminyumun diğer metallerle olan rekabetinde kendine özgü özellikleri yalnızca miktarsal değerlerde artışa değil aynı zamanda alışımalarının üretimi, uygulamaları ve değerlerinin artışına da neden

olacaktır. Bu bağlamda malzeme analistleri 2000’li yıllarda alüminyuma olan ilginin hafif yapısal malzemelere olan ilginin artmasına paralellik göstereceği konusunda birleşmektedirler.

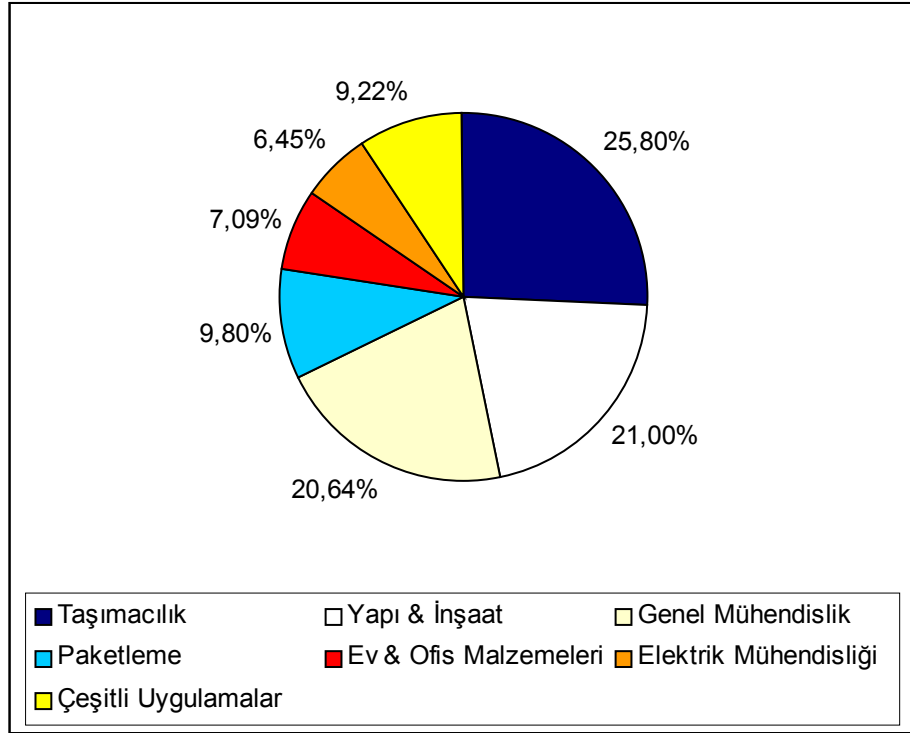
**Tablo 2.2.** 1950 yılından bu yana Batı Avrupa birincil alüminyum üretimi (1000 ton), [3].

| Yıl           | 1950       | 1980        | 1985        | 1986        | 1987        | 1988        | 1989        | 1990        |
|---------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Avusturya     | 18         | 94          | 94          | 92          | 93          | 95          | 93          | 89          |
| Fransa        | 61         | 432         | 293         | 322         | 322         | 328         | 335         | 326         |
| Batı Almanya  | 28         | 731         | 745         | 764         | 738         | 744         | 742         | 720         |
| Yunanistan    | -          | 146         | 123         | 124         | 126         | 149         | 148         | 150         |
| İtalya        | 37         | 271         | 224         | 243         | 233         | 226         | 219         | 232         |
| İzlanda       | -          | 75          | 77          | 80          | 85          | 82          | 89          | 88          |
| Hollanda      | -          | 258         | 245         | 258         | 269         | 271         | 274         | 272         |
| Norveç        | 45         | 662         | 724         | 729         | 798         | 827         | 859         | 871         |
| İspanya       | 2          | 386         | 370         | 355         | 341         | 294         | 352         | 355         |
| İsveç         | 4          | 82          | 84          | 77          | 81          | 99          | 97          | 96          |
| İsviçre       | 19         | 86          | 73          | 81          | 73          | 72          | 71          | 72          |
| İngiltere     | 30         | 374         | 275         | 276         | 294         | 300         | 297         | 290         |
| Yugoslavya    | 2          | 161         | 314         | 315         | 297         | 317         | 337         | 350         |
| <b>TOPLAM</b> | <b>246</b> | <b>3758</b> | <b>3641</b> | <b>3716</b> | <b>3750</b> | <b>3804</b> | <b>3913</b> | <b>3911</b> |

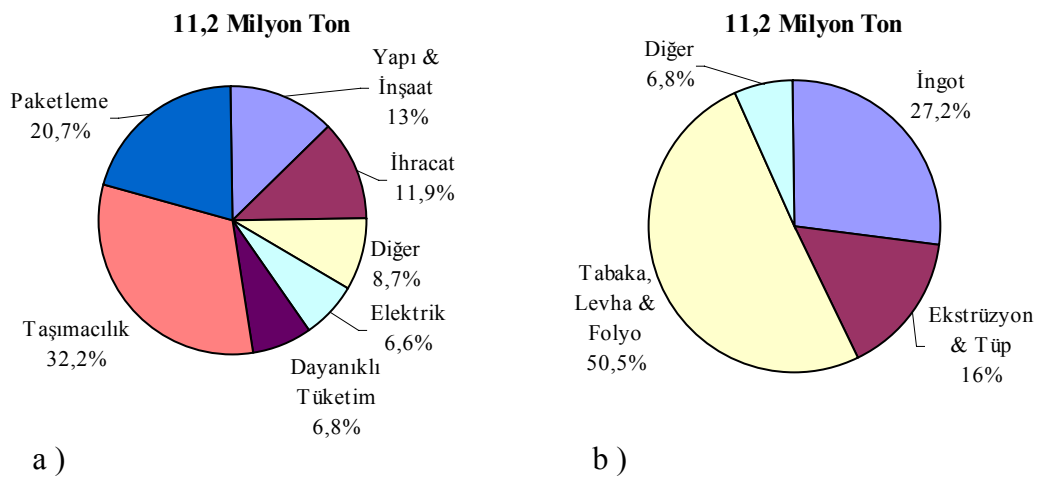
Bu yeni metalin ayrıcalığı olan uygulama alanlarının genişliği dünya genelinde alüminyumunun çeşitliliğinin artmasını sağlayacaktır. Diğer birçok malzemeden farklı olarak endüstriyel genel durum ve ekonomik şartlarla uyum içinde teknolojik yapısal bir desteğe ihtiyaç duyar. Geçmiş yılların üretim ve tüketim verileri açık bir şekilde hafif alaşımlardaki gelişmeler ve uygulamalar endüstriyel gelişmelerle yakından alakalıdır. Bu nedenle alüminyum; ilerlemeleri daha sonra gelişmekteki ülkelere yayan Kuzey Amerika ve Avrupanın gelişmiş ülkelerinde ilerleme kaydetmiştir. Tüm bunların ötesinde en uygun şartlar, sağlanacak enerji desteğiyle yakından ilişkilidir [3].

Önemli endüstrileşmiş ülkeler için Şekil 2.2 ekonominin çeşitli sektörlerinde alüminyum ve alaşımlarının tüketiminin ortalama dağılımını göstermektedir. İnşaat ve ulaşım endüstrisi açıkça önemli ayrıcalıklar göstermektedir. İnşaat ve ulaşım

sektörünün ardından makina mühendisliği, evsel uygulamalar, elektrik mühendisliği, paketleme uygulamaları ve genel mühendislik alanları gelmektedir. Şekil 2.3 de ise Amerika pazarında ana ürün ve ana pazar alanlarına bağlı tüketim oranları görülmektedir.



Şekil 2.2. Endüstrileşmiş ülkelerde son kullanıma bağlı olarak alüminyum tüketiminin dağılımı [3].



Şekil 2.3. Amerikan pazarında alüminyum ürünlerin (a) ana Pazar alanları ve (b) ana ürünlere bağlı dağılımı (1999 yılı verilerine dayanmaktadır), [2,14].

Tablo 2.3’de başlıca gelişmiş ekonomilerdeki kişi başına alüminyum tüketimi görülmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi alüminyum tüketimi ve ulusal ekonomik gelişim arasında bir ilişki mevcuttur. Alüminyum tüketiminde Amerika Birleşik Devleti başı çekmekte fakat sıralamada orta seviyelerdeki Avrupa ülkeleriyle birlikte bulunan Japonya da dikkate değer bir büyüme göstermiştir.

**Tablo 2.3.** 1960 yılından bu yana endüstrileşmiş ülkelerde kişi başına alüminyum tüketimi (kg olarak), [3].

| Yıl        | 1960 | 1970 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fransa     | 4,9  | 8,9  | 13,6 | 11,8 | 12,4 | 12,3 | 11,8 | 12,3 | 14,0 | 14,2 | 16,6 | 17,6 | 17,7 |
| İtalya     | 2,9  | 7,5  | 14,1 | 12,7 | 12,6 | 13,3 | 14,2 | 14,6 | 15,5 | 17,7 | 19,8 | 20,4 | 20,9 |
| Japonya    | 2,0  | 11,2 | 20,4 | 18,2 | 18,8 | 20,4 | 21,0 | 20,6 | 18,0 | 22,3 | 28,0 | 29,5 | 30,9 |
| İngiltere  | 7,8  | 11,1 | 9,2  | 9,8  | 9,6  | 10,3 | 11,2 | 10,5 | 10,7 | 11,5 | 11,1 | 10,7 | 11,1 |
| Amerika    | 10,8 | 20,4 | 25,8 | 25,8 | 22,9 | 25,6 | 26,6 | 26,5 | 26,3 | 27,4 | 27,5 | 25,8 | 26,9 |
| B. Almanya | 7,2  | 13,7 | 22,0 | 20,4 | 19,7 | 21,9 | 22,6 | 23,8 | 25,2 | 25,9 | 26,1 | 27,4 | 30,1 |

## 2.2. Alüminyum Üretimi

### 2.2.1. Primer (Birincil) ve Secondary (İkincil) Alüminyum Üretimi

Kimyasal reaktivitesinden ötürü alüminyum doğalda metalik halde bulunmaz, fakat bir kaç yüz farklı bileşimi yer kabuğunun %7,5’i gibi önemli bir miktarını oluşturur.

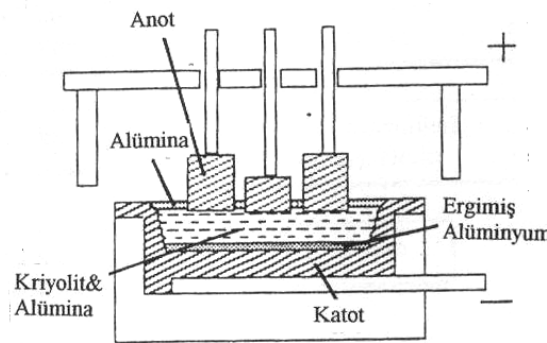
Boksit alüminyum üretiminin en önemli mineralidir ve ismini ilk defa 1821’de saptandığı Fransa’nın güneyindeki Les Baux’dan almıştır. Boksit aynı zamanda demir ve silisyum oksitleri de içerir. Fakat alüminyum metalinin üretiminde ekonomik bir kaynak olacak zenginlikte alüminyum oksit veya alumina içerir. Boksit yeryüzünde oldukça geniş bir yayılım gösterir. Ancak en geniş kaynaklar, tropik ve alt tropik kuşaklarda bulunmaktadır.

En önemli boksit kaynakları olarak günümüzde Avustralya, Jamaika, Guana, Endonezya, Brezilya, Çin ve Rusya'daki yataklar işlenmekte; alüminyum endüstrisinde kullanılan boksitin %80'i bu kaynaklardan gelmektedir.

Avrupa'daki önemli üreticiler Yunanistan, Yugoslavya, Fransa ve Macaristan olup, dünya toplamının yaklaşık %14'ünü oluşturmaktadırlar. Alüminyum, boksit içinde ve kaynağın bulunduğu bölgeye bağlı olarak, mono-hidrat oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) veya tri-hidrat oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) olarak bulunur. Avrupa boksitleri, Avustralya ve tropik bölgelerinden farklı olarak genellikle mono-hidrat tipindedir.

Alüminyum günümüzde hala, ilk endüstriyel üretiminin başlarında geliştirilen proses ile boksitten üretilmektedir. Bu metot iki farklı safhaya ayrılır; birincisi boksitten alümina üretimi için Bayer Prosesi, ikincisi ise bundan alüminyum üretimi için Hall-Heroult Prosesi'dir. Miktersal karşılaştırma yapıldığında; 1 ton alüminyum üretimi için 2 ton alümina, 2 ton alümina üretmek için ise 4 ton boksite ihtiyaç vardır.

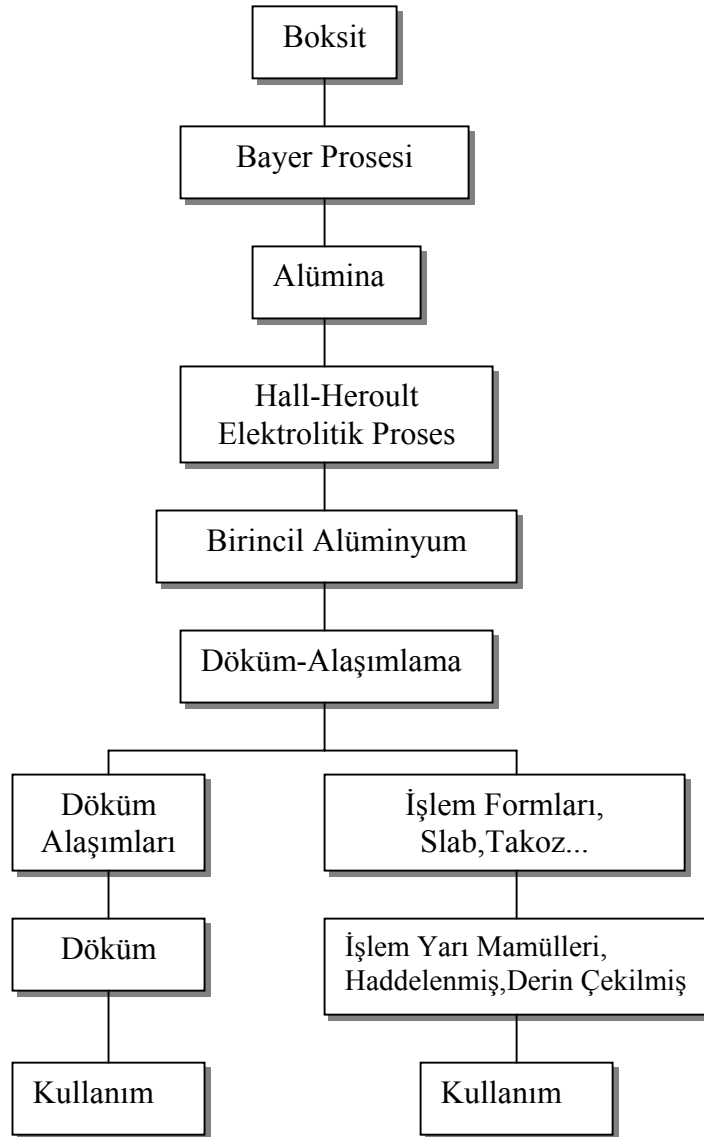
Alüminanın yüksek ergime sıcaklığından ( $2000^\circ\text{C}$  nin biraz üzerinde) kaynaklanan üretim güçlüğünü aşmak için; alümina ergitilmiş kriyolit ile karıştırılır ve daha sonra bu çözelti elektroliz edilir (Şekil 2.4). DC akım uygulandığında çözülmüş alümina, alüminyum ve oksijene ayrılır. Sıvı metal, astarı negatif kutup (katod) olarak oluşturulmuş fırının altında toplanır. Pozitif kutup (anot), ergimiş banyoya batırılan karbon bir bloktur ve etrafında açığa çıkan oksijen tarafından yavaşça yakılır. Karbon, böyle yüksek sıcaklıklarda ergimiş banyo atağına ve hatta sıvı alüminyum atağına doğal olarak direnç gösterebilen tek elektrik iletkenidir. Fırın astarı 3 yıl ile 5 yıl arasında sürekli elektrolize dayanabilecek yapıdadır.



Şekil 2.4. Elektrolitik alüminyum fırını [3].

Gerekli miktar alümina günde bir kaç seferde fırına ilave edilir. Fırının alt kısmında toplanan sıvı alüminyum ise günde iki veya üç kez çekilir.

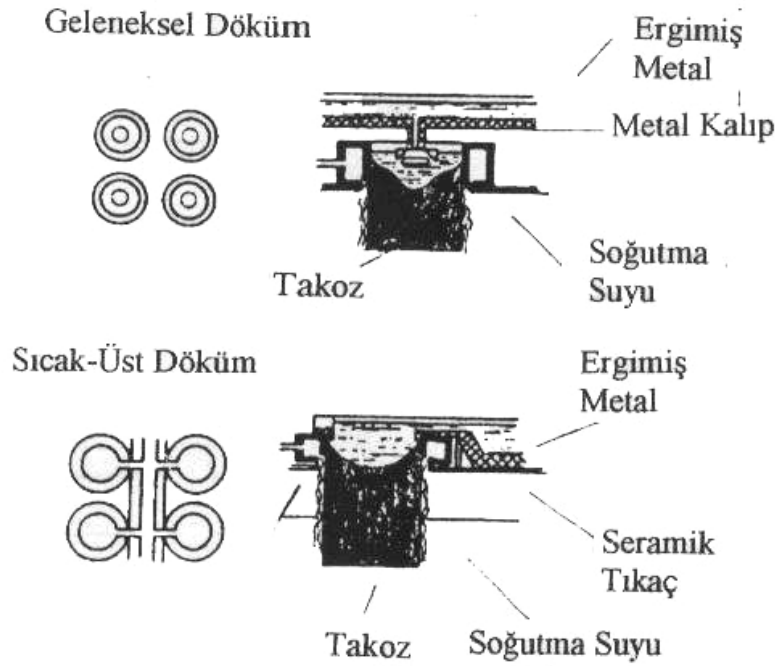
Nihai alaşımlamadan sonra kullanılacak olan ekstrüzyon takozları, hadde slabları gibi birincil döküm alaşımları (Şekil 2.5) için saf birincil alüminyum bu yöntemle üretilir. Takoz ve slablar en alışımlı işlem formlarıdır ve genellikle bir yarı sürekli su soğutmalı döküm prosesiyle üretilir. Bu prosesler mikrokristalin tane boyutunu, optimum metalurjik özellikleri ve kimyasal kompozisyon homojenitesini sağlayacak hızlı soğuma etkisini sağlarlar.



Şekil 2.5. Birincil alüminyum üretim adımları [3].

Aynı zamanda yüksek verim ve ürün için geniş boyut seçimini sağlar. Şekil 2.6 alüminyum ve alüminyum alaşımlı ingotlar için yarı-sürekli dökümün prensiplerini göstermektedir.

Bunun yanı sıra sürekli döküm tekniği de mevcuttur. Orjinalde çoğunlukla çubuk üretimi sistemi olan Properzi sistemine adapte edilmiştir. Diğer sürekli üretim uygulamaları ise Hunter-Douglass, Hunter Eng., Hazelett, Pechiney and Alusuisse Caster gibi bir çok üretim mühendislik firmaları tarafından yapılmıştır.

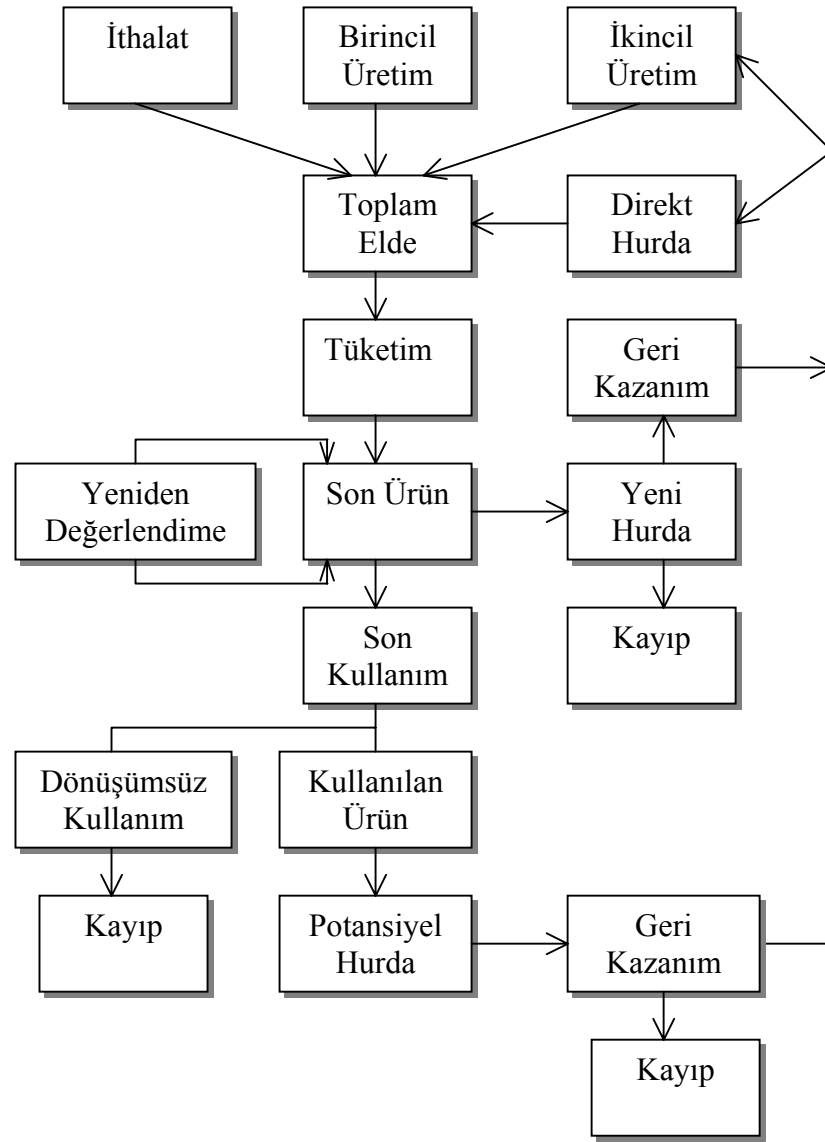


**Şekil 2.6.** Yarı-sürekli su soğutmalı alüminyum ve alüminyum alaşımlı billet ve slab üretimi şeması [3].

Ek B.Tablo B.1.'de görüleceği gibi, birincil alüminyum üretimi hemen hemen bir çok ülkede her bölgede kurulmuştur. Elektroliz ile üretilen birincil metalden farklı olarak, ikincil metal (ikincil ergitme) alüminyum endüstrisinde; “yeni hurda” olarak adlandırılan ve üretim işlemleri sırasında oluşan çok çeşitli artıklarından yeniden ergitme yoluyla ya da “eski hurda” olarak bilinen kullanım ömrünü yitirmiş alüminyum ürünlerinin yeniden değerlendirilmesiyle elde edilir (Şekil 2.7).

Alüminyum çok kolayca geri kazanılabilir ve bu özelliğinin yüksek verimlilikte ve iyi dizayn edilmiş proseslerle doğru işlenmesi diğer hafif metaller içerisinde önemli bir element olarak öne çıkmasını sağlamaktadır. Tablo 2.4’ de görüldüğü gibi birincil alüminyum üretimine göre 1/20 oranında enerji gerektirmektedir.





**Şekil 2.7.** Geri kazanım ve yeniden değerlendirme yöntemiyle alüminyum üretiminin akış diyagramı [3].

**Tablo 2.4.** Temel bazı metaller için birincil ve ikincil kaynaklardan üretim için termal enerji gereksinimleri [3].

|                  | Birincil, (kwh/t) | İkincil, (kwh/t) | Kazanç, (kwh/t) |
|------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| <b>Titanyum</b>  | 126.000           | 52.000           | 74.000          |
| <b>Magnezyum</b> | 90.000            | 2.000            | 88.000          |
| <b>Demir</b>     | 4.300             | 1.000            | 3.300           |
| <b>Bakır</b>     | 13.500            | 1.700            | 11.800          |
| <b>Alüminyum</b> | 52.000            | 2.000            | 50.000          |

“İkincil” terimini kullanırken dikkat edilmesi gereken önemli nokta bu terimin kaliteyi değil sadece malzeme orjinini belirtmesidir. Gerçekte ham ikincil metalin; yüksek kaliteli yarı mamül üretimine çok uygun alaşımının yanı sıra, geniş kompozisyon aralıklarını kapsamaları, onların özellikle basınçlı döküm için ideal kaynak olmalarını sağlamaktadır.

Tablo 2.5.’deki tarihsel istatistikler; özellikle Tablo 2.2’de görülen birincil alüminyum üreticileri ile karşılaştırıldığında, tüm alüminyum endüstrisi açısından ikincil metalin ne denli önem taşıdığının anlaşılması açısından yararlıdır.

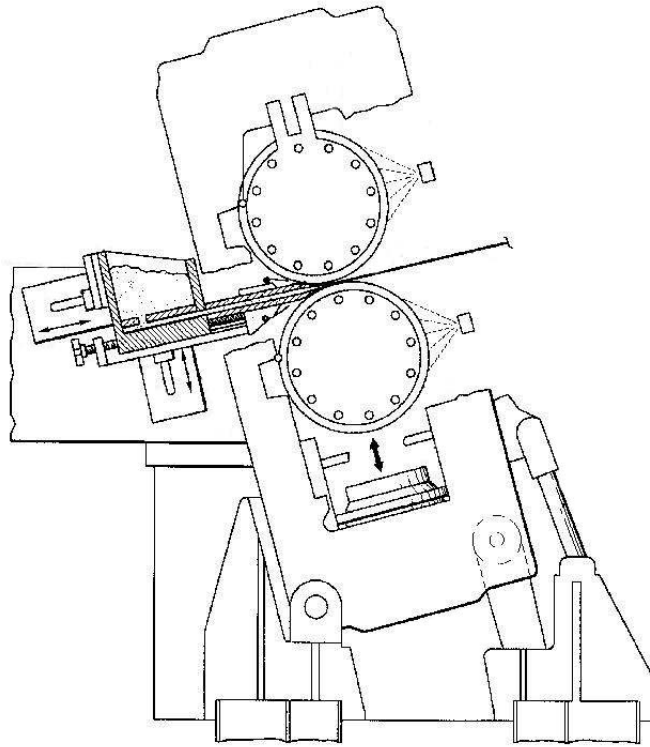
**Tablo 2.5.** 1950 yılından bu yana Avrupa ikincil alüminyum üretimi (1000 ton), [3].

|               | 1950       | 1960       | 1970       | 1980        | 1981        | 1982        | 1983        | 1984        | 1985        | 1986        | 1987        | 1988        | 1989        | 1990        |
|---------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Avusturya     | -          | 3          | 7          | 14          | 13          | 13          | 16          | 21          | 21          | 25          | 27          | 29          | 34          | 36          |
| Belçika       | 2          | 3          | 2          | -           | -           | -           | 1           | 2           | 2           | 2           | 3           | 3           | 3           | 3           |
| Danimarka     | 1          | 3          | 7          | 11          | 11          | 11          | 13          | 9           | 11          | 14          | 13          | 14          | 12          | 11          |
| Finlandiya    | -          | -          | 3          | 9           | 9           | 9           | 13          | 17          | 21          | 21          | 26          | 30          | 30          | 24          |
| Fransa        | 24         | 44         | 87         | 170         | 170         | 154         | 166         | 174         | 170         | 178         | 195         | 225         | 233         | 215         |
| Yunanistan    | -          | -          | -          | -           | -           | -           | 2           | 2           | 5           | 3           | 4           | 6           | 6           | 9           |
| Hollanda      | 1          | 6          | 7          | 54          | 50          | 50          | 58          | 60          | 83          | 97          | 101         | 116         | 130         | 145         |
| İtalya        | 15         | 42         | 154        | 266         | 250         | 242         | 278         | 283         | 282         | 301         | 335         | 378         | 390         | 350         |
| Norveç        | 2          | 2          | 7          | 7           | 3           | 3           | 1           | 2           | 1           | 1           | 2           | 2           | 2           | 7           |
| Portekiz      | -          | -          | -          | 3           | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           | 3           | 2           | 3           | 4           | 2           |
| İspanya       | -          | -          | 27         | 38          | 34          | 36          | 37          | 41          | 42          | 48          | 70          | 85          | 78          | 79          |
| İsveç         | 1          | 3          | 20         | 24          | 25          | 27          | 28          | 31          | 30          | 33          | 34          | 32          | 33          | 28          |
| İsviçre       | 2          | 7          | 15         | 20          | 20          | 19          | 21          | 23          | 26          | 25          | 25          | 28          | 32          | 34          |
| İngiltere     | 81         | 111        | 201        | 150         | 140         | 108         | 123         | 137         | 122         | 110         | 111         | 200         | 220         | 201         |
| B. Almanya    | 56         | 136        | 258        | 405         | 397         | 406         | 425         | 442         | 457         | 482         | 501         | 531         | 537         | 540         |
| Yugoslavya    | -          | -          | -          | 23          | 24          | 26          | 25          | 34          | 45          | 46          | 238         | 47          | 48          | 50          |
| Diğerleri     | 8          | 9          | 18         | 50          | -           | -           | -           | 29          | 37          | 35          | 31          | 119         | -           | 34          |
| <b>TOPLAM</b> | <b>193</b> | <b>369</b> | <b>810</b> | <b>1241</b> | <b>1148</b> | <b>1106</b> | <b>1209</b> | <b>1309</b> | <b>1357</b> | <b>1424</b> | <b>1518</b> | <b>1848</b> | <b>1792</b> | <b>1768</b> |

### 2.2.2. İkiz Merdane Döküm Yöntemi (Twin-Roll Casting, Trc)

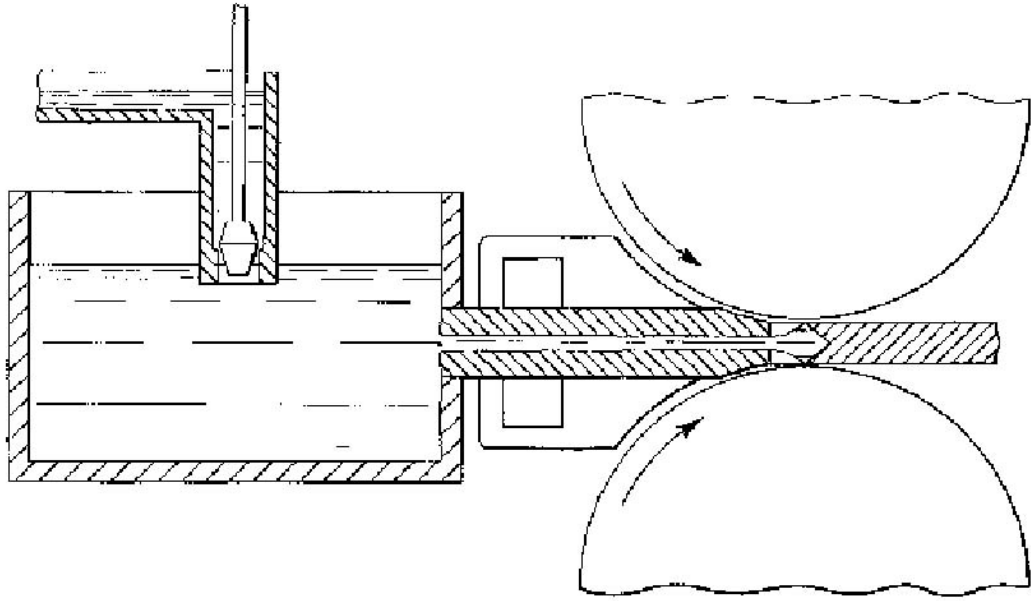
Merdane ile döküm, eriyik metalden levha döküm yöntemleri olan Hazelett ve blok döküm yöntemleri prensiplerine dayanan bir döküm teknolojisidir. Bu teknoloji 19. yüzyılda icat edilmiş olup, ilk ticari uygulaması yaklaşık yüzyıl sonra 1956 tarihinde Hunter Engineering Inc. tarafından geliştirilmiştir [9,14,15].

Merdane dökümünde, ergimiş metal ters yönlerde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasındaki boşluğa beslenir. Sıvı metal merdanelerle temas eder, katılaşır ve gittikçe artan bir kalınlık azalmasına maruz kalarak merdaneler arasındaki boşlukta ilerler . Bu döküm yönteminin doğası gereği, katılaşmış levha ile merdaneler arasında temas noktasındaki katılaşmadan kaynaklanan çekilmeye rağmen, levha ile merdaneler arasındaki pozitif temas devam etmekte; bu nedenle de ısı transferi de mevcudiyetini devam ettirmektedir. Merdaneler arasındaki ilk temas bölgesinin ilerisinde katılaşmış levhada bir miktar sıcak haddeleme etkisi yer almakta ve nihayetinde soğumaya hazır levha merdanelerin çıkış kısmında gergi altında çıkmaktadır [9,14,15]. Şekil 2.8.'de Fata-Hunter dizaynı bir Twin-Roll Caster görülmektedir.



Şekil 2.8. Twin-Roll Caster yandan görünüşü [15].

Katılaşma, dökme levhanın merdanelerle temas eden alt ve üst yüzeylerinde başlar ve döküm işleminin ilerleyen aşamalarında döküm yüzeylerine normal düzlemde devam eder. Şekil 2.9’da merdanelerle temas noktasının detay görüntüsü verilmektedir.



**Şekil 2.9.** Twin-Roll Caster detay görüntüsü [15].

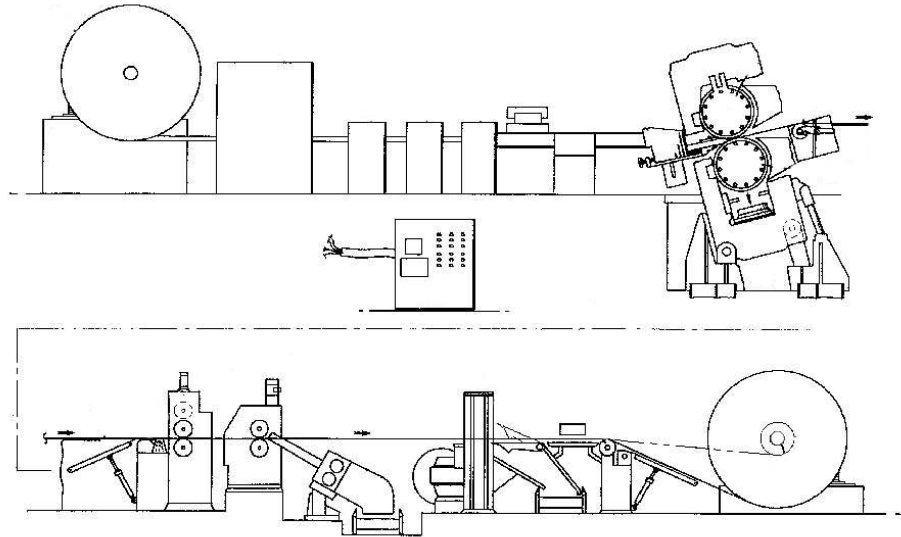
Dökme levha sertliğı kalınlık boyunca değışkenlik gösterir. Üst ve alt yüzeyler merkeze oranla daha serttir. Genellikle dökme malzemenin çıkış kısmındaki sıcaklığı yaklaşık 300°C civarındadır. Dökme levha malzeme fiziksel özellikleri %15-20 oranlarında soğuk haddelenmiş bir sıcak hadde malzemesi mertebelerindedir.

TRC prosesiyle üretilmiş dökme levhalar oldukça küçük tane boyutuna sahiptir. Öte yandan dökme levhada ilerleyen proses kademelerinde tane büyümesiyle karşılaşılabilmektedir. H.Westengen ve K.Nes, Fe ve Mn gibi elementlerin çökmesinden kaynaklanan tane büyümesi probleminde kaçınmak için uygun termo-mekanik proses uygulamalarının (temper-tavlama), problemin çözümünde faydalı olabileceğini belirtmektedir. Dökme levhaya soğuk haddeleme öncesi homojenizasyon uygulanması tane büyümesi problemini hafıfletir. Aynı zamanda

küçük taneli bir yapı elde edebilmek için nispeten fazla miktarlarda tane küçültücüye ihtiyaç vardır.

Bir merdaneli döküm işletmesi aşağıdaki ana ekipmanlara sahiptir: Şekil 2.10'da bir Twin-Roll Casting hattı görülmektedir.

1. Ergitme fırını(ları)
2. Tutma fırını(ları)
3. Degazer ünitesi
4. Tane küçültücü besleme istasyonu
5. Eriyik metal filtrasyon ünitesi
6. Eriyik metal seviye kontrol sistemi
7. Merdaneli döküm sistemi



Şekil 2.10. Twin-Roll Caster detay görüntüsü [15].

### 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE SINIFLANDIRILMASI

#### 3.1. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum özellikleri ve bu özelliklerinin bileşiminden ötürü tüm metaller arasında kendine has bir konuma yerleşmiştir.

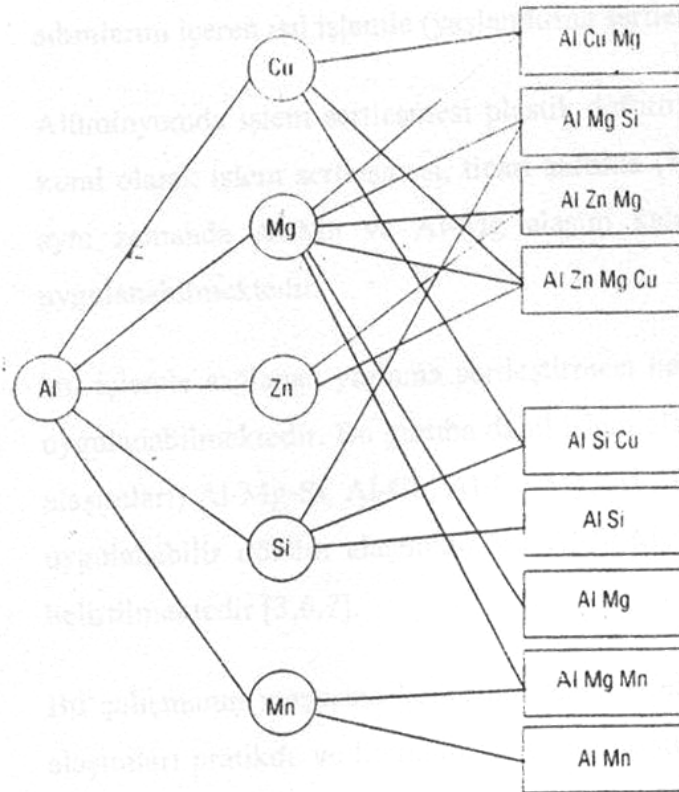
Alüminyumun, hafifliği, korozyon direnci, iyi yüzey görünümü, dayanıklılığı, termal özellikleri, elektrik iletkenliği vb özellikleri çok iyi bilinmektedir. Bu avantajlı özelliklerin bütünleşik olarak bir arada bulunması, tüm diğer metaller arasında alüminyumun üst sıralara yerleşmesini sağlamıştır.

Alüminyumun dokuz önemli özelliği aşağıda sıralanmıştır [7]. Alüminyuma ait tüm bu özellikler hadde, ekstrüzyon ve döküm uygulamalarında kullanımında seçilme sebebini oluşturur.

- Hafiflik,
- Yüksek derecede doğal korozyon direnci,
- Yüksek mukavemet – kütle oranı (Spesifik mukavemet),
- Yüksek yansıtma özelliği,
- Gümüşü görünüm,
- Mükemmel işlenebilirliği,
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik,
- Ani yüklemelere karşı yüksek elastiklik,
- Düşük sıcaklıkta tokluk.

Saf alüminyum yumuşak ve sünektir. Belirli bir seviyede mekanik özellikler istenen ana kullanım alanları söz konusu olduğunda bu özellik saf bir metalin sağlayabileceği belirli sınırlar içerisinde kalmaktadır. Bu sebeple hem fiziksel hem de mekanik, işlenebilirlik vb. özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla diğer metallerle alaşımlandırılır [3].

Bir çok metalik element alüminyum ile alaşım yapmaktadır. Ancak bunların bir kısmı ticari olarak kullanılabilen alaşımlardır. En genel kullanılan alaşım elementleri Cu, Si, Zn, Mg ve Mn'dir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bu elementler Al'nin ana özelliklerini geliştirmek amacıyla yalnız başlarına veya çeşitli kombinasyonlarla ilave edilirler [3,6,7].



**Şekil 3.1.** Alüminyumun alaşım elementleriyle çeşitli kombinasyonlarda yapılan alaşımlarının şematik gösterimi [3,6]

Diğer elementler (krom, manganez, zirkonyum, vanadyum vb.); ince tane yapısı, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı, ana empürite elementlerine karşı blok etkisi sağlamak, vb. özel yapısal özellikleri sağlamak amacıyla kullanılır [3,6].

Alüminyuma ilave edilen element, cinsi ve miktarı alaşım tanımlamada kullanılan ilk kriterdir. Ancak alüminyum kimyasal kompozisyonun yanında diğer kriterlere göre de sınıflandırılabilir.

Alüminyum alaşımları en genel anlamda döküm alaşımları ve işlem alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Döküm alaşımları ile işlem alaşımları arasındaki en önemli fark; döküm alaşımları, alüminyum döküm parçalarının üretiminde kullanılır, işlem alaşımları ise haddeleme, ekstrüzyon, döverek şekillendirme, derin çekme vb. plastik işlemler için uygun alaşımlardır.

İkinci ayırım alaşımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan metalurjik işlemlere bağlıdır. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri; işle sertleştirilmesi (plastik deformasyon) veya çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma adımlarını içeren ısıtıl işlemle (yaşlandırma sertleştirilmesi) sağlanabilir.

Alüminyumda işlem sertleşmesi plastik deformasyon sayesinde sağlanmaktadır. Bir kural olarak işlem sertleşmesi, ticari saflıkta (% 99.0, 99.5, 99.8, ...) alüminyum ve aynı zamanda Al-Mn ve Al-Mg alaşım kategorilerine sahip işlem alaşımlarına uygulanabilmektedir.

Isıl işlemle sağlanan yaşlandırma sertleştirilmesi hem işlem hem de döküm alaşımlarına uygulanabilmektedir. Bu gruba dahil işlem alaşımları (ısıtıl işlem uygulanabilir işlem alaşımları) Al-Mg-Si, Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu'dur. Isıl işlem uygulanabilir döküm alaşımları ise Al-Si-Mg ve Al-Si-Cu grubu alaşımlar olarak belirtilmektedir [3,6,7].

Bu çalışmanın araştırma konusunu teşkil eden alaşımlar olan 1235, 3003 ve 5457 alaşımları pratikte ve literatürde de işlem alaşımları olarak bilinmektedir. Bu sebeple ilerideki bölümlerde döküm alaşımlarından bahsedilmeyip, işlem alaşımları hakkında bilgi verilecektir.



### 3.2. İsimlendirme Kriterleri ve Standartları

Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi alüminyum esaslı malzemeler genellikle aşağıda görüldüğü gibi iki guruba ayrılırlar;

- Döküm alaşımları: Döküm parçalarının üretimi için
- İşlem alaşımları: Hadde, ekstrüzyon ve dövme ürünleri üretimi için

Bundan bağımsız diğer bir sınıflandırma ise alaşımları metalurjik sertleştirme karakteristiklerine göre, ısıtılma işlemi duyarlı alaşımları diğerlerinden ayırmaktadır. Bu ayırım ürün ve sertleştirme işlemi metoduna bağlıdır. Bu iki ayırım özelliği de ticari alüminyumun safiyeti, alaşım elementlerinin türü ve alaşımdaki oranına bağlı olarak temelde kimyasal kompozisyona bağlıdır.

Bu temel klasifikasyon faktörleri birincil alüminyum alaşımlarının ve onların ilgili işlem ve durumlarını sınıflandıran ulusal ve uluslararası standartlarda kullanılır.

Alüminyum alaşımlarının kompozisyonlarının tanımlanması için iki temel isimlendirme kriteri vardır. Bu kriterlerden bir veya diğeri standartlarda kullanılır.:

- Numerik sınıflandırma
- Alfa numerik sınıflandırma

Birinci kriter gere göre alaşım kompozisyonları anlamlı biçimde düzenlenmiş rakamlarla tanımlanır. En önemli kodlama sistemleri olan; Ulusal Standart Enstitüsü (ANSI) tarafından adapte edilen Amerikan Alüminyum Birliği (AA), İngiliz Standart Enstitüsü (BSI) ve Alman Standart Enstitüsü (DIN) bu klasifikasyon metoduna göre sınıflandırmışlardır [3,7].

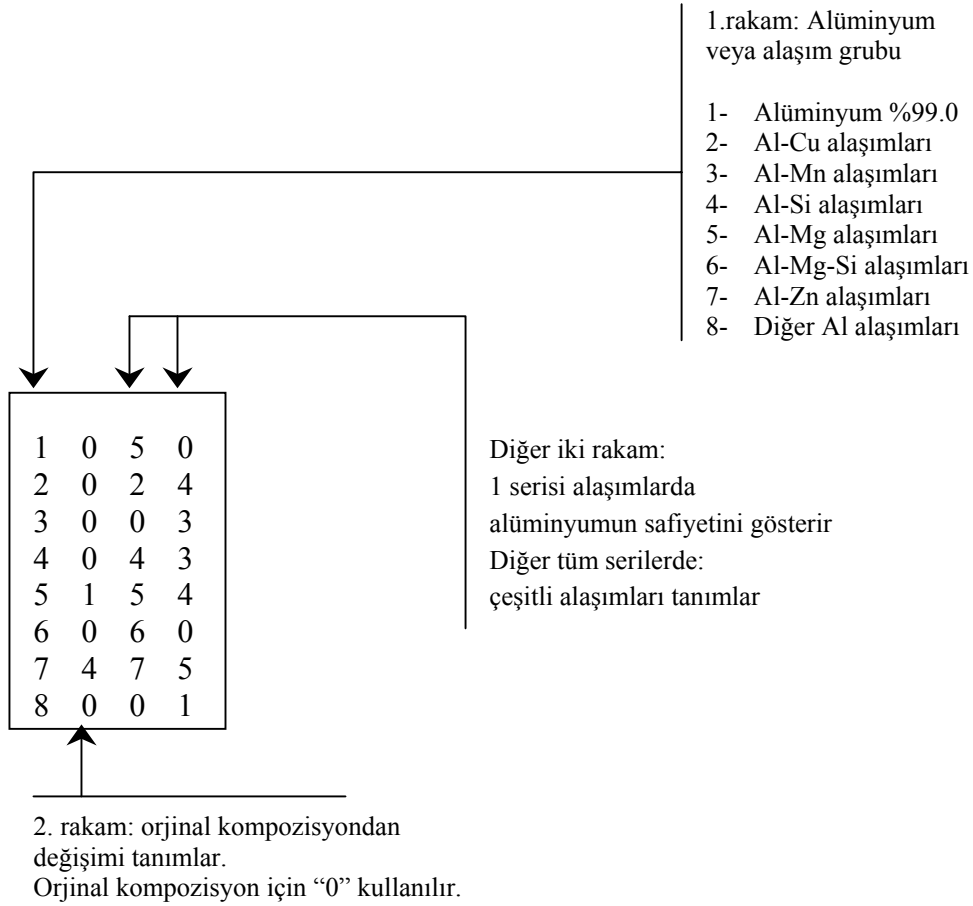
Alfa numerik sistemde ise her alaşım kompozisyonu harf grupları ve rakamlardan oluşan ve ikiye bölünmüş kod notasyonu ile tanımlanır. İlk harf temel metali gösterir (Alüminyum alaşımının olması durumunda bu harf A veya kimyasal sembolü Al veya AL) genellikle bir sonraki alaşım türünü (döküm veya işlem alaşımı) gösterir. Harf grubunu takip eden ikinci grup ana alaşım elementini ve alaşımdaki oranını gösterir.

En önemli Avrupa standartları (Alman DIN, Fransız AFNOR, İtalyan UNI, İsviçre VSM) genellikle bu alfa numerik kod notasyonunu kullanır. ISO (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu) gibi uluslar arası organizasyonlar ve AECMA (Avrupa Uçak Malzemeleri Üreticileri Birliği) de bu notasyonu kullanmaktadır.

Malzemelerin ısıt işlemleri geçmişini ve metalurjik durumunun belirlenmesinde hala birçok kodlama sistemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte, günümüzdeki gelişmeler belirsiz seri ve numaralar ve temel ısıt işlemleri operasyonlarının kısaltmalarını kullanan tanımlama metotlarını bırakma, harf ve rakamların belirli kombinasyonlarını içeren sistemler lehinde gelişmektedir [3,7].

Son yıllarda önemli endüstrileşmiş ülkeler Amerikan Alüminyum Birliği tarafından geliştirilmiş, basit, uluslararası dört rakamlı basit notasyon sistemini kullanmayı benimsemişlerdir. Ek B. Tablo B.1’de AA standartlarına göre alaşım grupları ve kimyasal bileşimleri görülmektedir.

Bu sistem rakamlar üzerine kurulmuş bir sistemdir. Bu sebeple numerik isimlendirme sistemi olarak bilinir. Şekil 3.2’de bu sistemin kodlama prensipleri gösterilmektedir. Aslında ısıt işleme uygun alaşımlar yapısal uygulamalar için tercih edilirler ve bazı uygulamalar için gerekli olan yüksek mukavemet seviyelerine ulaşabilme kapasitesine sahiptirler.



**Şekil 3.2.** AA'nın işlem alaşımları için isimlendirme kriteri [3].

Ek C. Tablo C.1'de alüminyum ve alüminyum alaşımları ile ilgili önemli ulusal ve uluslararası standardizasyon organizasyonlarının isimleri verilmektedir [3].

### 3.3. Kondüsyon Tanımları

Herhangi bir alaşımın fiziksel özelliklerini tam olarak tanımlamak için çeşitli temperleri (kondüsyon) ve temper kodlarını iyi bilmek oldukça önemlidir. Tam bir tanımlama için, uygulanan üretim işlemleri ve uygulamalarını ifade eden temper tanımları kullanılmaktadır. Bu temper tanımlama sistemi hem işlem alaşımları hem de döküm alaşımlarında kullanılmaktadır.

Temel temperler harf notasyonu ile belirtilir. Tam bir tanım için harflerle birlikte bir veya daha fazla rakam notasyonu da kullanılır. Bu rakamlar, ürün kalitesini etkileyen karmaşık temel operasyon akışını belirtmekte kullanılır [6,7].

### 3.3.1. Temel Kondüsyon Tanımları

**F:** Bu harf malzemenin üretildiği temperde olduğunu gösterir. Bu temper gösteriminde malzemenin muhtemel herhangi bir temper durumunu sağlamak amacıyla termal durumunun kontrol edilmediği yalnızca şekillendirme ve üretim işlemlerinin uygulandığını belirtilir. Aynı zamanda bu gösterim malzemenin işlem sertleşmesi durumunun da herhangi bir kontrol dahilinde olmadığına işaret eder.

F notasyonu ürünün sertlik, çekme ve akma mukavemeti, yüzey sertliği vb. özelliklerini göstermez.

**O:** Bu temper gösterimi işlem alaşımlarının tamamıyla yeniden kristalleştirildiğini ve mukavemetinin belirli seviyelere indirildiği anlamına gelir. Uygulanan operasyon sonucunda malzemenin % uzama özelliği dolayısıyla şekillendirilebilirliğinde artış sağlanır. Bu özellik ürünlerin özellikle derin çekme için elverişli bir duruma ulaşmalarını sağlar. Tavlama aynı zamanda ürüne boyutsal stabilite de sağlar.

Bu temper gösterimi işlem alaşımlarının yanı sıra, dökme alüminyuma ve dökme alüminyum alaşımlarına da uygulanır.

**H:** “H” harfi sadece deformasyonla sertleştirilebilen işlem alaşımlarında kullanılır. Deformasyon sertleşmesini sağlayan işlem kondüsyonu modifiye etmek amacıyla akabinde bir termal işlem kademesi de içerebilir. H gösterimini daima iki veya daha fazla rakam takip eder.

- H Kondüsyonunun ilk Rakamı: “H” temper gösterimi aşağıdaki gibi üç farklı grup ve temperi belirtir.

1. Yalnızca deformasyon sertleşmesi, H1
2. Deformasyonla sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış, H2
3. Deformasyonla sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş, H3

H1 gösterimi işlem sertleşmesine uğramış malzemenin deformasyon sertleşmesinden başka bir ısıl işleme tabii tutulmadığını belirtir. Deformasyonla sertleştirilmiş malzeme kısmi yumuşatma amacıyla ısıl işleme maruz bırakılmış (H2) olabilir. H2

temperi olarak tanımlanan kondüsyonu, eşdeğeri olan H1 temperiyle aynı çekme mukavemetine sahip olmasına karşın daha yüksek bir yüzde uzamaya sahiptir.

Deformasyonla sertleştirilmiş ve akabinde düşük sıcaklıkta stabilizasyon ısıl işlemine tabii tutulmuş ürünler için H3 gösterimi kullanılır. Bazı durumlarda stabilizasyon etkisi ürünün kullanımı sırasında uygulanan sıcaklık sırasında da gözlenebilmektedir. Ancak bu işlemin oda sıcaklığında yaşlanma ile yumuşama eğiliminde olan malzemelere uygulanması gereklidir.

- H Kondüsyonunun İkinci Rakamı: İkinci numerik ek sertlik skalasını gösterir. Yüksek oranda deformasyona tabi tutulmuş (soğuk işlemle yaklaşık %75 oranında redüksiyona uğratılmış) malzeme için H18 kullanılır ve *tam-sert* olarak adlandırılır. H19 temperi H18 den daha fazla bir deformasyonu belirtir. “9” rakamı “8” rakamıyla tanımlanan temperden minimum 10 MPa daha yüksek mukavemeti gösterir. H16, H14, H12 temperleri daha düşük miktarlarda soğuk işlem uygulandığını ifade eder ve *3/4 sert*, *1/2 sert* ve *1/4 sert* olarak adlandırılır.

- H Kondüsyonunun Üçüncü Rakamı: Bazen iki rakamlı temper notasyonlarında belirtilen değerlerden ufak farklar içeren temper değerlerini göstermek için 9’a kadar olan rakamlar da kullanılır. Minimumu çekme mukavemetleri eşdeğeri olan iki rakamlı temperlere yakındır.

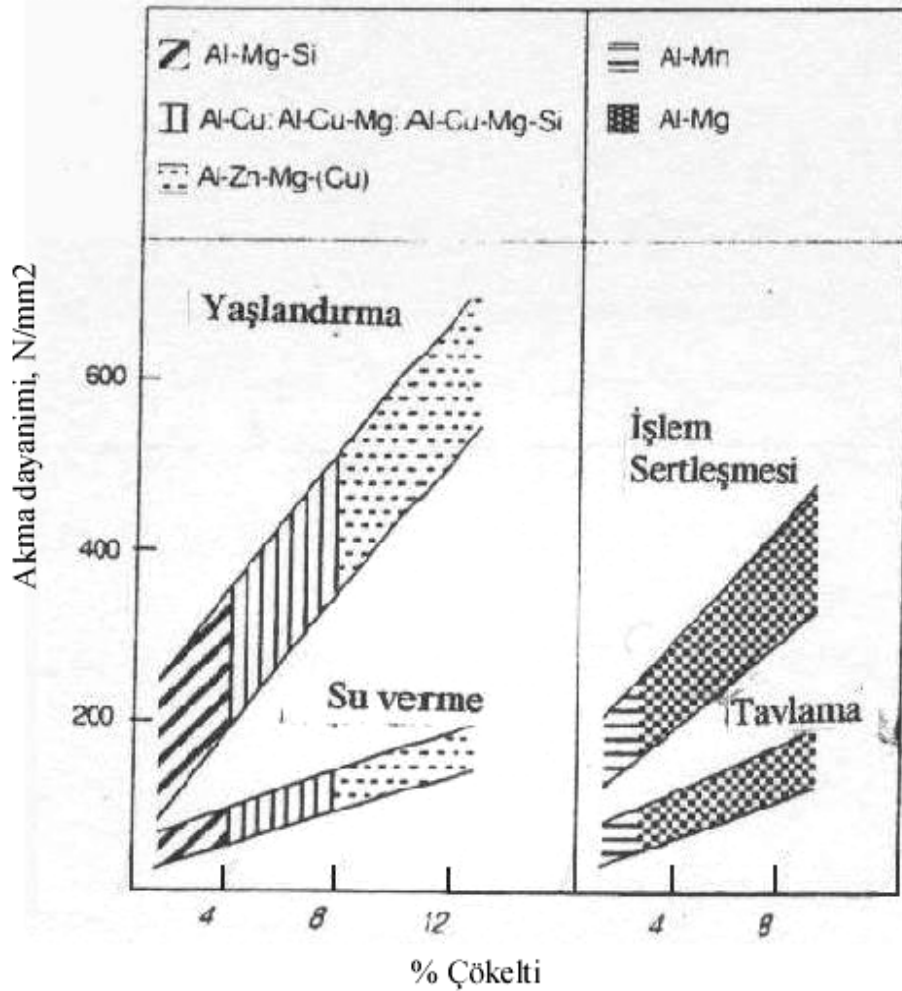
**W:** “W” harfi ısıl işlem uygulanabilir alaşımların stabil olmayan temper uygulamalarında kullanılır. Alaşımın çözeltiye alma ısıl işleminden sonra hızlıca oda sıcaklığına soğutulduğu yaşlandırma işlemi oldukça hızlıdır. Tam bir tanımlama için “W” harfini dakika olarak zaman süre takip eder.

**T:** “T” harfi stabil temper durumlarını (F ve H temperlerinden farklı olarak) gösterir. Bu temper grubu bir ısıl işlemle kondüsyon kazandırılmış malzemeleri tanımlar. Özel temper durumunu tam olarak tanımlamak için “T” harfini iki veya üç rakam takip eder.

### 3.4. İşlem Alaşımları

“İşlem” alaşımı tanımlaması; levha, folyo, tabaka, ekstrüzyon, tüp, dövme, çubuk ve tel gibi şekil verilebilir ana alüminyum alaşımlarını tanımlar. Uygulanan deformasyon ve termal işlemler alaşım ve ürüne göre karakteristik olarak, dökme ingot yapısını; tam kristalleşmiş bir yapıdan fiberleşmiş bir yapıya doğru – mekanik işlem görmüş – bir yapıya çevirir. Elde edilen yapı malzemenin; mukavemet, korozyon direnci ve diğer özelliklerini değiştirir [6].

Alaşımlama elementlerinin alüminyumun özelliklerine etkisi yalnızca alaşım elementinin türüne ve miktarına değil, aynı zamanda alüminyumla bileşimine ve mikroyapı ile etkileşimine bağlıdır.



Şekil 3.3. Temel işlem alaşımlarının kimyasal kompozisyonu, ısıtılma işlem ve mekanik mukavemet özellikleri arasındaki ilişki [3]

Genelde alaşım elementinin miktarı Şekil 3.3’de görüldüğü gibi oldukça açıktır. Alaşım elementinin ağırlıkça yüzdesi arttıkça alaşımın sertleşme kapasitesi artmaktadır. Aynı şemada yaşlandırma sertleşmesinin işlem sertleştirmesinden daha etkili olduğu görülmektedir [3,6].

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm mekanik yapılarını tesbit etmek amacıyla, döküm levhalarından uygun ölçülerde döküm yönüne paralel çıkarılan örneklerden çekme testi yapılmıştır. Döküm mikro yapılarının tayini amacıyla ise soğuk bakalite alınarak ya da alınmadan metalografik yöntemlerle hazırlanan numuneler koloidal silica ile parlatılarak ve %1'lik HF ve Barkers çözeltileriyle dağlanarak, mikro dağlama ve makro dağlama örnekleri optik ışık mikroskobu, stereo mikroskop, SEM ve TEM'de incelenerek, döküm tane yapısı, çökelti yapısı, morfolojisi ve dağılımı, EDS analizleri yapılarak da çökelti partiküllerinin kimyasal içerikleri tesbit edilmiştir. Dökme levha örneklerinden 1235 alaşımının termo-mekanik işlemler sonucunda gösterdiği tane gelişimi davranışı incelenmiştir.

##### 4.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada üç ana alüminyum alaşım grubunu (1xxx, 3xxx ve 5xxx) temsilen endüstriyel ölçekte Fata Hunter Speed Caster® lisanslı döküm makinalarında dökülmüş; AA 1235, AA3003, AA5754 örnekler kullanılmıştır. Bu alaşımların kimyasal bileşim standartları Tablo 3.1'de verilmiştir. Numunelerin yüzde kimyasal bileşimleri ise aşağıda verilmiştir:

###### 1.Alaşım: 1235

| Fe     | Si     | Cu     | Mn     | Mg     | Al     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| %0,414 | %0,150 | %0,002 | %0,007 | %0,006 | %99,36 |

###### 2.Alaşım: 3003

| Fe     | Si     | Cu     | Mn     | Mg     | Al     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| %0,691 | %0,205 | %0,092 | %1,020 | %0,007 | %97,92 |

###### 3.Alaşım: 5754

| Fe     | Si     | Cu     | Mn     | Mg     | Al     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| %0,284 | %0,125 | %0,027 | %0,103 | %2,549 | %96,82 |



## **4.2. Kullanılan Cihazlar**

Döküm örnekleri ve termo-mekanik işlemler uygulanan örnekler geleneksel metalografik numune hazırlama yöntemleriyle hazırlanmış ve koloidal silika ile parlatılmışlardır. Makro inceleme numuneleri Barker's çözeltisiyle dağlanmış, Olympus SZ-ET Stereo mikroskobu ile incelenmiştir. Mikro inceleme numuneleri ise %0,5 HF çözeltisiyle dağlanmış ve Olympus PME3 ışık mikroskobu ile incelenmiştir.

Mukavemet değerleri ASTM E 646 standartlarına göre hazırlanan numunelerin Zwick 3212-02 çekme cihazında test edilmesiyle elde edilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri ve EDS analizleri ise, JEOL JSM 5600 elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Dökme levhaların yüzey ve merkez kesitlerinden hazırlanan folyo numuneleri Tenupol 5 twin-jet cihazında parlatılarak JEOL JEM 100C taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.

## **4.3. Deney Sonuçları ve İrdelenmesi**

Bu bölümde incelenen üç alüminyum alaşımının sırasıyla mekanik özellikleri, makro ve mikro yapı karakterizasyon sonuçları verilmiş ve elde edilen deney sonuçlarının literatürle karşılaştırılarak irdelenmesi yapılmıştır.

### **4.3.1. Mekanik Özelliklerin Tesbiti**

Twin-roll döküm prosesiyle üretilen metal, katılaşmadan hemen önce merdaneler arasında deformasyona uğramaktadır. Deformasyon miktarı %15 ile %50 arasında olabilmektedir [7]. Sıcak metal ve yüksek pürüzlülüğe sahip merdaneler, katılaşmanın tamamlandığı merdanelerin çıkış kısmında sıcak haddelemenin gerçekleşmesine neden olur. Merdanelerin çıkış kısmında katılaşmış metal sıcaklığı yaklaşık  $\leq 300^{\circ}\text{C}$  seviyelerindedir. Bu sebeple ılık haddeleme terimini kullanmak daha doğru olacaktır. Bu şartlar altındaki merdane – levha ara yüzeyinde yüksek miktarlarda sürtünme kuvveti doğar. Bahsedilen bu sürtünme kuvveti merdane ile levha arasındaki temas yayı boyunca bazı bölgelerde dökülen metalin akma mukavemetinin bir kaç katı büyüklüğünde büyük basınçlara neden olur [10].

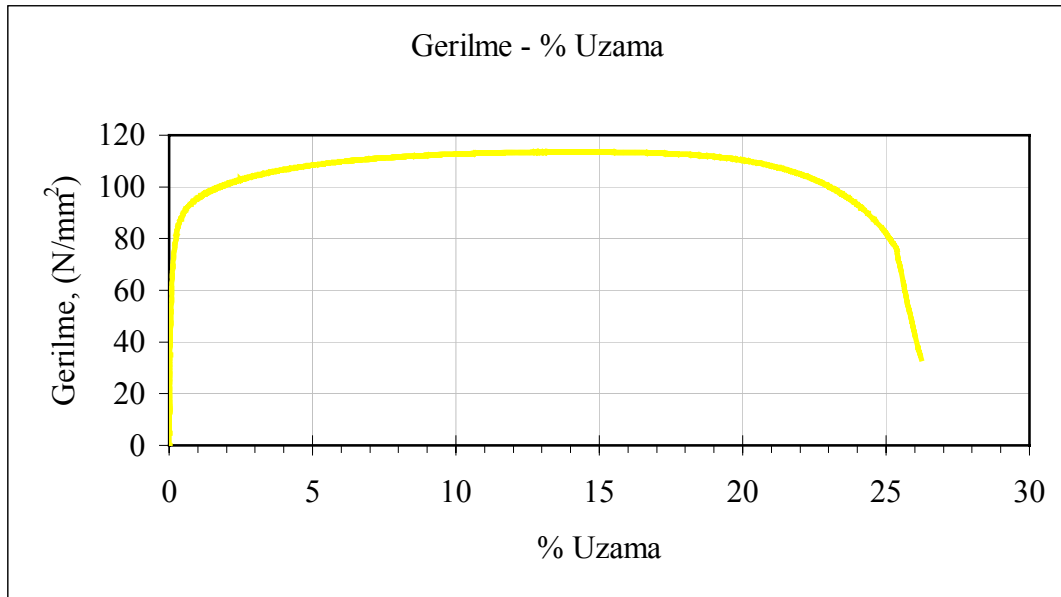
Döküm numunelerinden, döküm yönüne paralel olarak ASTM E 646 standardına göre hazırlanmış numunelerden yapılan çekme testleri bu teoriyi destekler yöndedir. Tablo 4.1’de üç alaşım için O temper mukavemet değerleri ve ölçüm yapılan örneklerin çekme mukavemet değerleri verilmiştir. Bu tabloda da görüldüğü gibi döküm numuneleri O temper olmayıp katılaşıma sırasında maruz kaldığı deformasyon nedeniyle çeyrek sert (H12) kondüsyonundadır.

**Tablo 4.1.** 1235, 3003 ve 5754 alaşımı için O kondüsyon mukavemet değerleri ve döküm numuneleri çekme deney sonuçları.

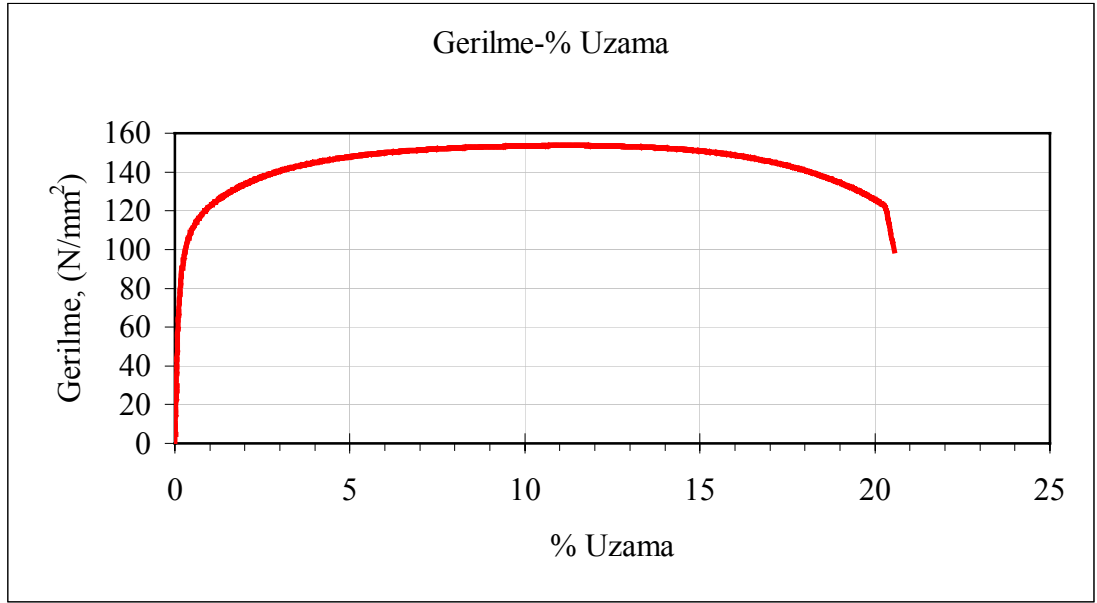
| Alaşım, Numune | O Temper için $\sigma_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Döküm Numunesi<br>$\sigma_c$ sonuçları<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Döküm Numunesi<br>% Uzaman sonuçları |
|----------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1235           | ~ 75                                             | 113,4                                                          | 26,4                                 |
| 3003           | ~ 110                                            | 153,5                                                          | 20,5                                 |
| 5754           | ~ 180                                            | 208,4                                                          | 17,6                                 |

Şekil 4.1-4.3’de numunelerin çekme gerilmesi - % uzama grafikleri verilmektedir. Bu eğrilerden elde edilen mekanik özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi alaşım miktarı arttıkça (5754>3003>1235) beklendiği gibi mukavemet artmakta, uzama kabiliyeti azalmaktadır.

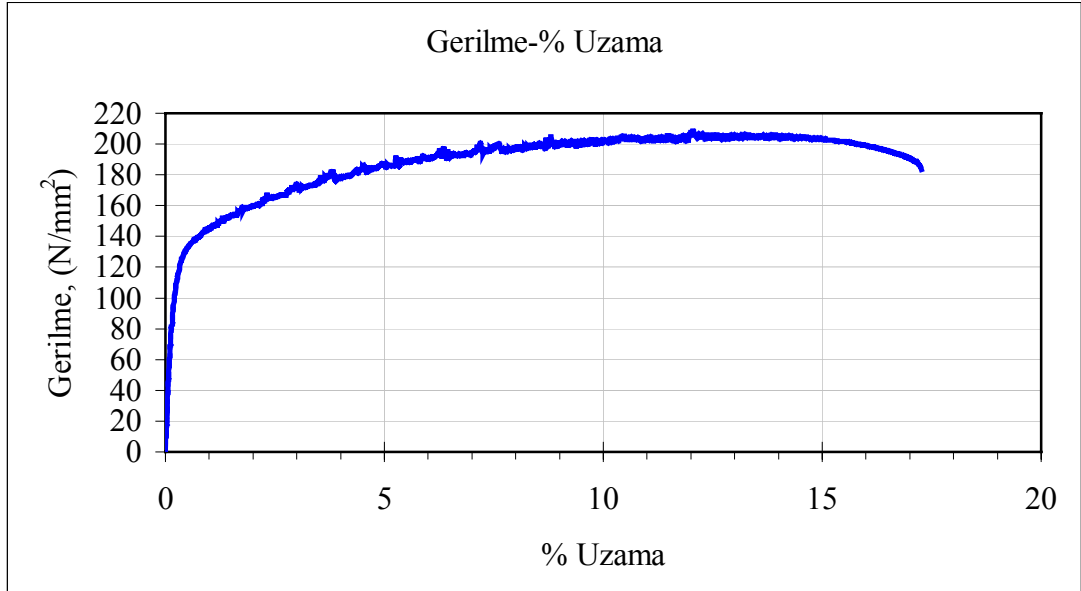


**Şekil 4.1.** 1235 alaşımı numunesi çekme diyagramı (çekme mukavemeti 113,4 N/mm<sup>2</sup>, %e = 26,4).

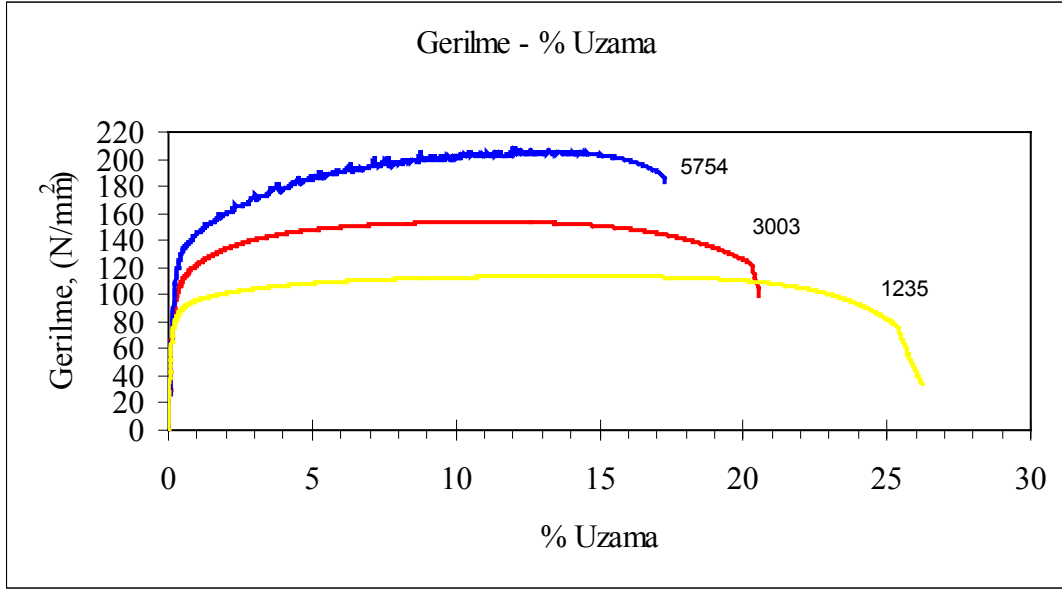


Şekil 4.2. 3003 alaşımı numunesi çekme diyagramı (çekme mukavemeti 153,5 N/mm<sup>2</sup>, %e = 20,5).

Öte yandan diğerlerinden farklı olarak 5754 numunesinde süreksiz akma görülmektedir. Şekil 4.3 - 4.5’de açıkça görüldüğü gibi dikkat çekici bir üst ve alt akma noktası göstermeksizin testere dişleri gibi (serrated) girinti ve çıkıntılı bir çekme gerilimi-% deformasyon grafiği gözlenmektedir.

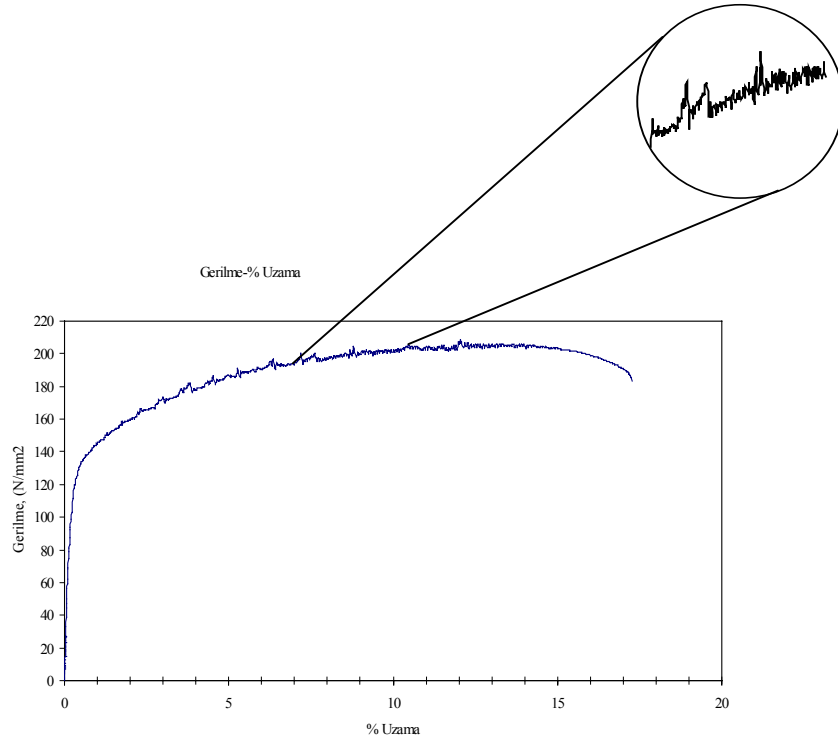


Şekil 4.3. 5754 alaşımı numunesi çekme diyagramı (çekme mukavemeti 208,4 N/mm<sup>2</sup>, %e = 17,6).



Şekil 4.4. 1235-3003 ve 5754 alaşımı numunesi çekme mukavemetleri ve % uzamalarının karşılaştırılması.

5754 alaşımlarında görülen bu durum çökelti atomlarıyla dislokasyonların etkileşiminden kaynaklanmaktadır. 5754 çekme numuneleri yüzeyinde gözlenen lüders bantları da bunun bir göstergesidir. Malzemenin bu davranışı *Portevin-LeChatelier* etkisi olarak bilinen deformasyon yaşlanması nedeniyle olmaktadır [11].



Şekil 4.5. 5754 alaşımı numunesinde gözlenen süreksiz akma davranışı.

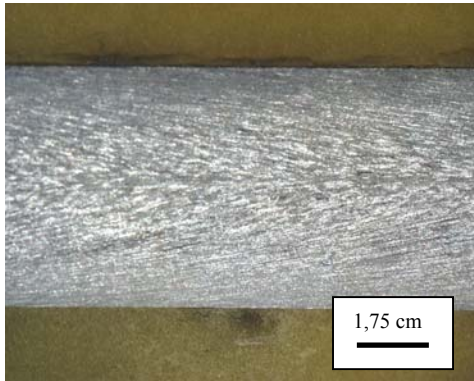
### 4.3.2. Makro Yapı Karakterizasyonu

Makro yapı tayini amacıyla, döküm yönüne paralel ve dik yönlerde metalografik yöntemlerle hazırlanan numuneler koloidal silika ile parlatılarak Barker's çözeltisinde dağlanmıştır. Daha sonra bu numuneler stereo mikroskopta incelenerek, döküm tane yapısı, boyutu ve tane yönelimleri incelenmiştir.

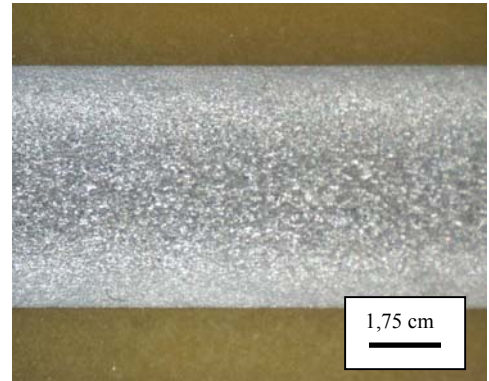
#### 4.3.2.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Boyuna kesit numunelerinin resimlerinden de (Şekil 4.6 - 4.11) görüldüğü gibi iki farklı tane yapısı gözlenmektedir. Yüzey bölgesinde yönelme göstermeyen ince bir tane yapısı mevcuttur. Boyuna kesit resimleri enine kesit resimleriyle birlikte incelendiğinde yüzeydeki tane yapısının eş eksenli olduğu gözlenmektedir.

Diğer tane yapısı ise kolonsal tanelerdir. Şekil 4.6, 4.8 ve 4.10' da görüldüğü gibi bu taneler döküm yönünde uzamış ve kesit merkez ekseninin her iki yanında döküm eksenine belirli bir açıyla yönelmiş ve merkez bölgesinde bir araya gelmişlerdir.

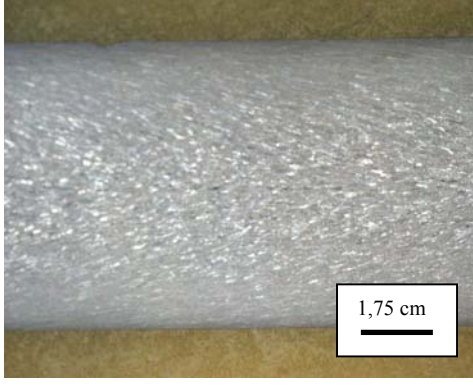


**Şekil 4.6.** 1235 alaşımı boyuna kesit tane yapısı (X1,75).

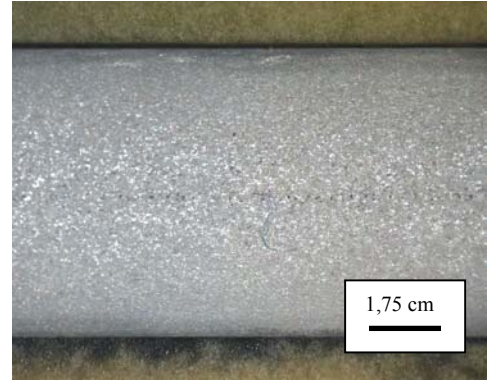


**Şekil 4.7.** 1235 alaşımı enine kesit tane yapısı (X1,75).

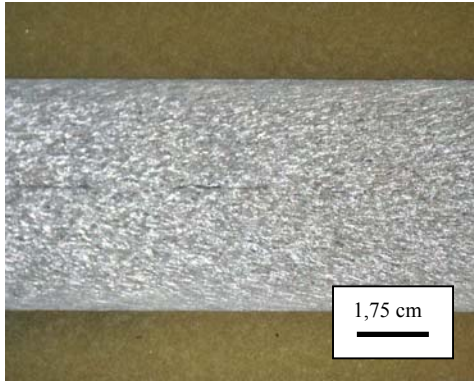
Şekil 4.7, 4.9 ve 4.11'de görüldüğü gibi yüzey taneleri levha merkezine göre çok daha ince yapıdır. Bu durum iki farklı teoriyle açıklanmaktadır. Bir teoriye göre katılaşma sıvı metalin pürüzlü merdane yüzeyinde çekirdeklenmeyle başlamaktadır. Metal kalıpta katılaşmada olduğu gibi bu bölgelerde eş eksenli ve çok ince boyutlu taneler oluşmaktadır [4,9].



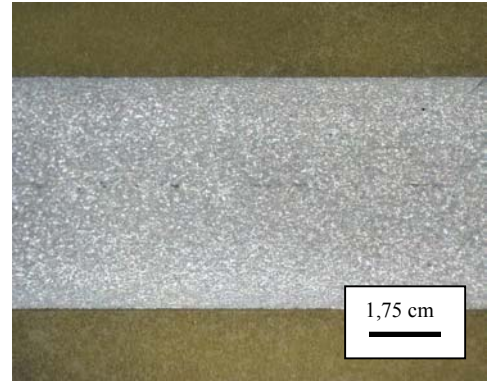
**Şekil 4.8.** 3003 alaşıımı boyuna kesit tane yapısı (X1,75).



**Şekil 4.9.** 3003 alaşıımı enine kesit tane yapısı (X1,75).



**Şekil 4.10.** 5754 alaşıımı boyuna kesit tane yapısı (X1,75).



**Şekil 4.11.** 5754 alaşıımı enine kesit tane yapısı (X1,75).

Diğer teoriye göre Twin-roll döküm prosesiyle üretilen metal, katılaşmadan hemen önce merdaneler arasında %15 ile %50 arasında oranlarda deformasyona uğramaktadır. Merdane – levha ara yüzeyinde gerçekleşen sıcak deformasyon yüzey tabakasının yeniden kristalleşmesine neden olmakta, böylece dökme levha yüzeyinde sınırlı bir tabaka da ince taneli ve eş eksenli bir tane yapısı elde edilmektedir [10,12].

Döküm malzemesinin metalografik yapısında döküm yönüyle yaklaşık 45° açıda uzanmış taneler gözlenmektedir. Bu durumun muhtemel sebebi TRC prosesi sırasında oluşan sürtünme şartları altında meydana gelen deformasyonun şiddetli kayma bileşeninin sonucu olabilir [16, 18].

#### **4.3.3. Mikro Yapı Karakterizasyonu**

Mikro yapı karakterizasyonunda kullanılan tüm numuneler dökme levhanın tam ortasından çıkarılmıştır. Daha sonra silindirik soğuk kalıp ölçülerine göre bor yağı soğutmalı döner diskli kesicide ebatlandırıldıktan sonra soğuk kalıplanmış ve zımparalama kademelerinden sonra 3 µm partikül boyutlu parlatma çözeltisi ardından 1 µm partikül boyutlu kolloidal silika ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler %1'lik HF çözeltisinde herbiri 10 saniye bekletilerek dağlanmış ve mikroskopik incelemeye hazır hale getirilmişlerdir.

Yüzey mikro yapı incelemeleri için hazırlanan numuneler ise sadece 3 µm partikül boyutlu parlatma çözeltisi ardından kolloidal silika ile parlatılarak hazırlanmış, akabinde yine %1'lik HF çözeltisinde 10 saniye bekletilerek dağlanmıştır. Yapılan kalınlık ölçümlerinde parlatma sırasında yüzeyden yaklaşık 5-7 µm'luk bir tabakanın kaldırıldığı tesbit edilmiştir.

##### **4.3.3.1. Optik Mikroskop İncelemeleri**

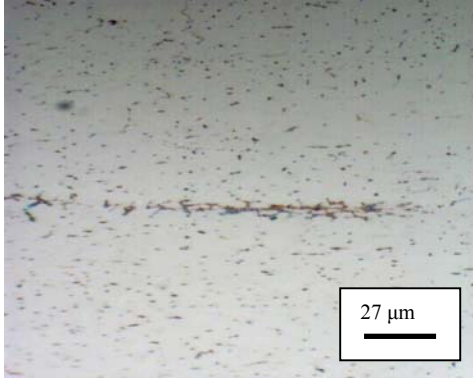
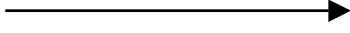
Işık mikroskobu incelemeleri, incelenen numune kesidine bağlı olarak üç ana gruba ayrılmıştır:

- Döküm yönüne paralel kesit (longitudinal) incelemesi
- Döküm yönüne dik kesit (transverse) incelemesi
- Numune yüzeyinin incelenmesi

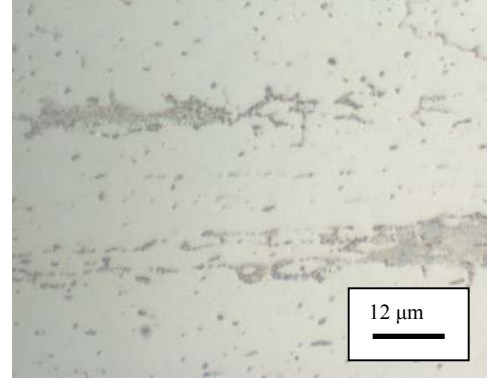
##### **4.3.3.2. Boyuna (Longitudinal) Kesit İncelemeleri**

Boyuna kesit incelemelerinde dört farklı çökelti yapısı gözlenmiştir. Bunlar; çizgisel merkez hattı segregasyonu, kanal tipi merkez hattı segregasyonu (MHS), patiküler segregasyon, dağınık segregasyondur. Alaşıma bağlı gözlenen segregasyon yapıları Şekil 4.12 – 17'de verilmiştir.

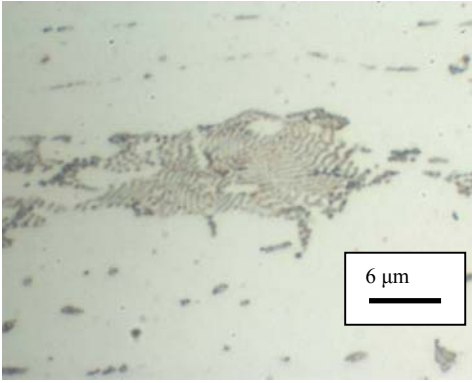
Döküm yönü



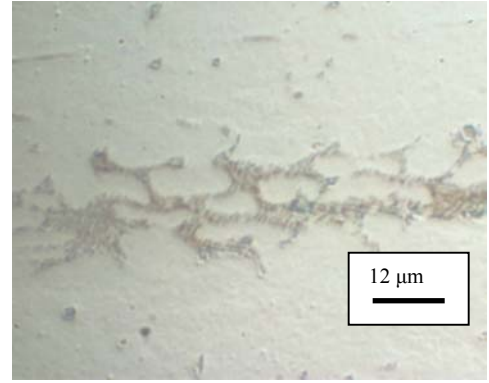
**Şekil 4.12.** 1235 alaşıımı boyuna kesit MHS görüntüsü (X200).



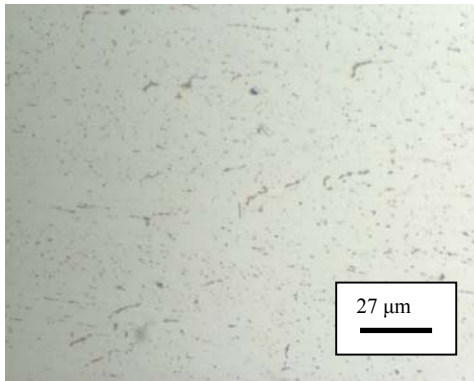
**Şekil 4.13.** 1235 alaşıımı boyuna kesit mikro yapısında kanal segregasyonu (X500).



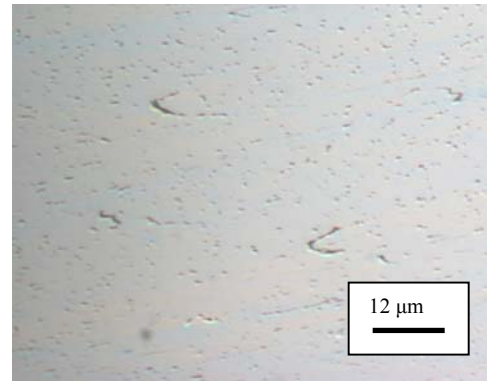
**Şekil 4.14.** 1235 alaşıımı boyuna kesit mikro yapısında lameler MHS görüntüsü (X1000).



**Şekil 4.15.** 1235 alaşıımı boyuna kesit mikro yapısında merkez hattı segregasyonu dendirit kolları (X500).



**Şekil 4.16.** 1235 alaşımında merkez - yüzey arasında dağınık segregasyon yapısı (X200).



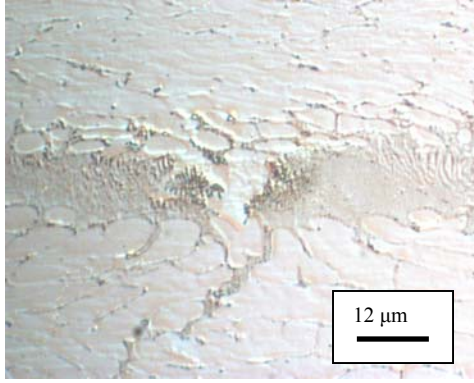
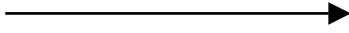
**Şekil 4.17.** 1235 alaşımında dağınık segregasyon bölgesinde “V” formulu partiküller (X500).



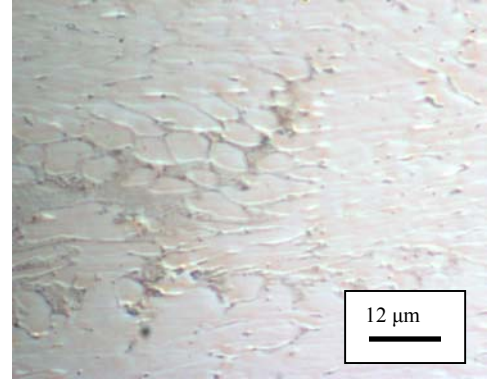
1235 numunelerinde gözlenen segregasyon yapısı tamamen lameler yapıya sahiptir. Genel olarak bu alaşımlarda, ötektik katılaşmış (lameler) segregasyon yapısı merkezde bir hat şeklinde (Şekil 4.12) veya literatürde tanımlandığı gibi kanal görünümü (Şekil 4.13) şeklinde bulunmaktadır [9,10,13].

Ayrıca Şekil 4.16 ve 4.17’de görüldüğü gibi merkez hattı ve yüzey arasında kalan bölgede dağınık, ince boyutlu segregasyon yapısı ve bu dağınık segregasyon bölgesinde döküm yönüne doğru yönelmiş “V” formunda ince partiküller de mevcuttur.

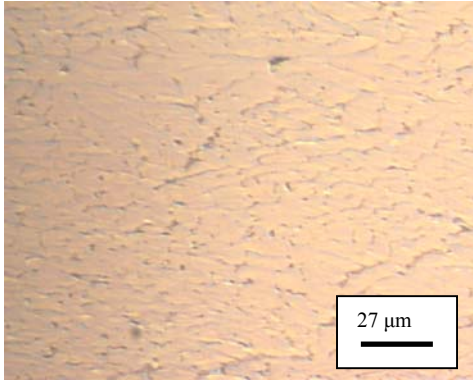
Döküm yönü



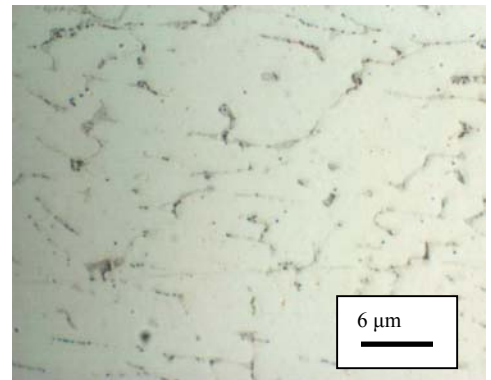
**Şekil 4.18.** 3003 alaşımı boyuna kesitinde numunesi lameler segregasyon görüntü (X500).



**Şekil 4.19.** 3003 alaşımı boyuna kesiti merkezinde ötektik ağ yapısı (X500).



**Şekil 4.20.** 3003 alaşımı boyuna kesit merkez-yüzey arasında segregasyon ağı (X200).



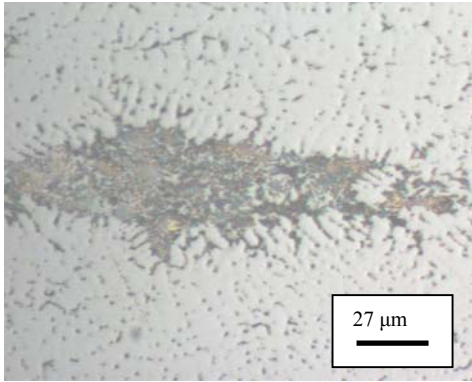
**Şekil 4.21.** 3003 alaşımı boyuna kesit merkez-yüzey arasında segregasyon ağı (X1000).

Şekil 4.18 ve 4.21’de görüldüğü gibi 3003 alaşımlarında da merkez hattı gözlenmektedir. Fakat 3003’de görülen MHS yapısı çok daha kabadır. Ayrıca gerek MHS bölgesinde, gerekse numune merkezi ile yüzeyi arasında (Şekil 4.20,4.21) tüm

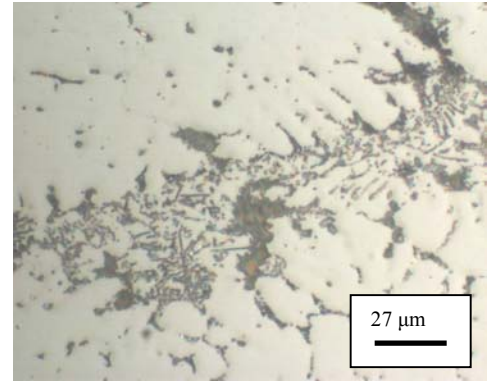
kesit boyunca uzanan segregasyon ağı mevcuttur ve 1235 alaşımında olduğu gibi 3003 alaşımında gözlenen segregasyon yapısı da lamelerdir.

Şekil 4.22 – 4.27’den de görülebileceği gibi 5754 alaşımı örneklerinde 1235 alaşımında olduğu gibi kanal yapısı veya 3003’lerde olduğu gibi çökelti ağı yapısı mevcut değildir. Şekil 4.24, 4.25 ve 4.27’de açıkça görüleceği gibi tam merkez hattında kalın ve uzun MHS yapısı mevcuttur.

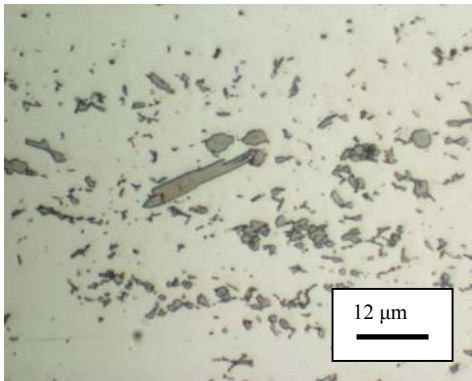
Döküm yönü



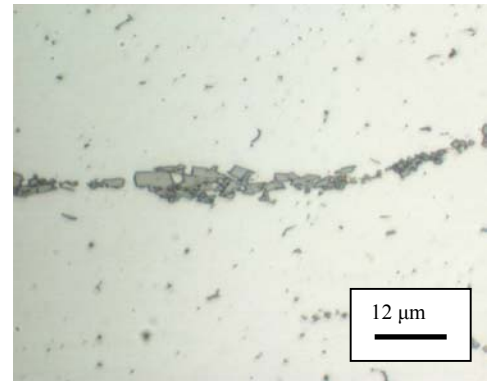
**Şekil 4.22.** 5754 alaşımı boyuna kesitinde kaba MHS yapısı (X200).



**Şekil 4.23.** 5754 alaşımı boyuna kesitinde kaba ve iğnemsî partikülerden oluşan merkez hattı segregasyonu (X200).

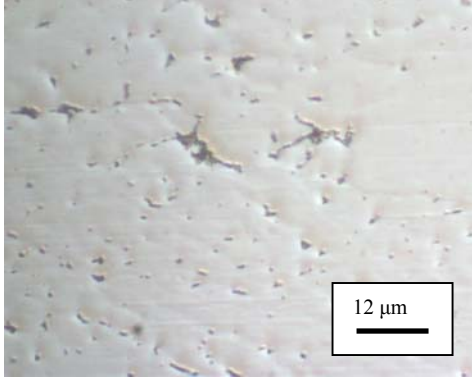


**Şekil 4.24.** 5754 alaşımı kesit örneğinde dörtgen ve fleykler halinde kaba partiküler mhs yapısı (X500).

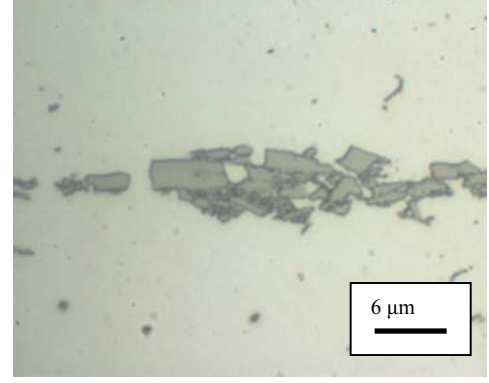


**Şekil 4.25.** 5754 alaşımı boyuna kesitinde kaba partikülerden oluşan merkez hattı segregasyonu (X500).

5754 alaşımında saptanan MHS yapısı lamelerden çok partiküler olması dolayısıyla da diğer alaşım örneklerinden farklıdır.



**Şekil 4.26.** 5754 alaşımanın boyuna kesitinde merkez-yüzey bölgesinde ince ve yoğun olmayan çökelti yapısı (X500).



**Şekil 4.27.** 5754 alaşımanın merkez hattında kırılmış, yüzeye paralel sıralanmış partiküller (X1000).

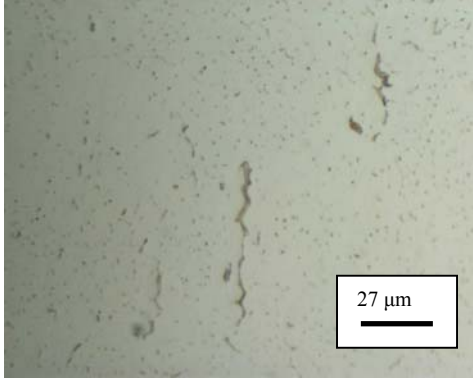
Bu partiküller Şekil 4.24 ve 4.25’de olduğu gibi çokgen veya yuvarlak şekilli, Şekil 4.27’de görüldüğü gibi kaba, kırılmış parçalar halinde veya Şekil 4.23’de görüleceği gibi iğnesel yapıda olabilmektedir.

#### 4.3.3.3. Enine (Transverse) Kesit İncelemeleri

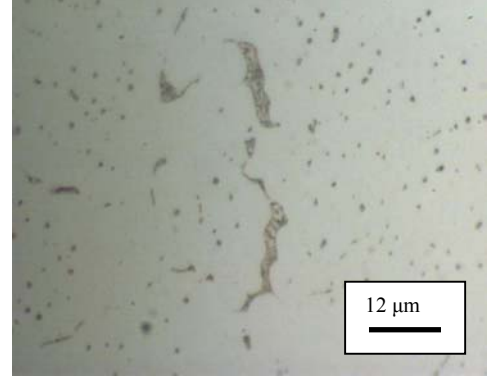
Enine kesit incelemelerinde de boyuna kesit incelemelerinde olduğu gibi numunelerin merkez hatları ile merkez – yüzey arası bölgelerdeki segregasyon yapıları incelenmiştir. Genel olarak boyuna kesit numunelerinde elde edilenlere benzer bulgular elde edilmiştir. Yani numunelerin merkez hatlarında alaşıma bağlı olarak yoğun ve kaba bir segregasyon, merkez – yüzey arasında ise yine alaşıma bağlı olarak karakteristik çökelti şekilleri ve dağılımlarına rastlanmıştır.

1235 alaşımında boyuna kesitte gözlenen kanal morfolojisi (Şekil 4.28) mevcuttur. 1235 örneklerinde 5754 numunelerinde (Şekil 4.38, 4.39) olduğu gibi boy/en oranı yüksek, diğer bir deyişle uzun segregasyon yapıları yerini daha küresel, boy/en oranı küçük, ince dağınık segregasyon yapılarına bırakmıştır (Şekil 4.29 – 4.31). Özellikle 3003 alaşımı numunelerinde (Şekil 4.32 – 4.33) merkezde nisbeten düzenli olarak dağılmış, boy/en oranı  $\sim 1$ , yani hemen hemen dairesel, eş eksenli segregasyon yapısı oldukça belirgindir.

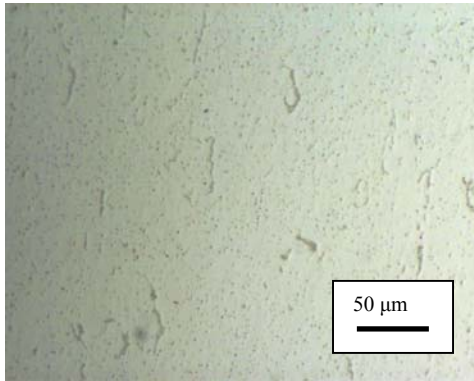
Fakat Şekil 4.38 – 4.43 görüldüğü gibi 5754 alaşımı için bu açıdan pek bir değişim olmamıştır. Enine kesitte de boyuna kesitte olduğu gibi uzun çubuksu veya çokgen, yuvarlak şekilli partiküller yapıda bulunmaktadır. Merkez – yüzey arası bölgedeki yapıda ise boyuna kesitte olduğu gibi düzensiz dağılmış, ince çökelti partikülleri bulunmaktadır.



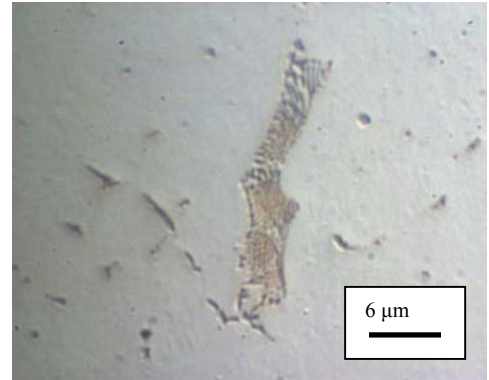
**Şekil 4.28.** 1235 enine kesit numunesi merkez-bölgesinde ince ve kısa çizgisel çökelti yapısı (X200).



**Şekil 4.29.** 1235 alaşımı enine kesit numunesinde lameler mhs (X500).



**Şekil 4.30.** 1235 enine kesitinde merkez-yüzey arası bölgede ince ve yoğun olmayan çökelti yapısı (X100).

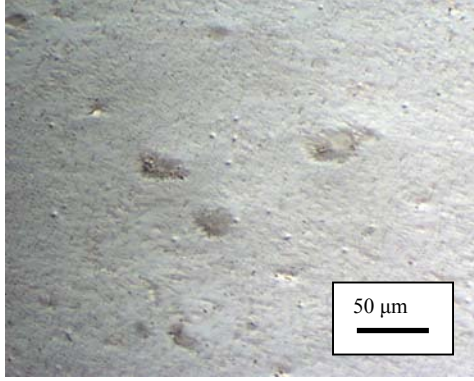


**Şekil 4.31.** Enine kesit 1235 numunesinde lameler çökelti yapısı (X1000).

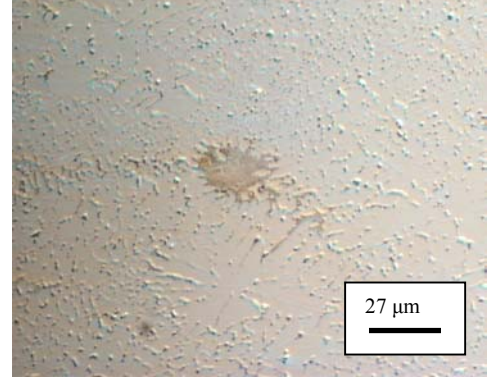
Boyuna kesitten farklı olarak 1235 alaşımı enine kesit numunelerinde çok daha kısa ve ince bir segregasyon yapısı görülmektedir (Şekil 4.28-29-30-31). Bir diğer fark da dendiritik katılaşma yapısındadır. Şekil 4.12’de merkez hattı segregasyonunda boyuna kesitte gözlenen belirgin dendrit kolları, Şekil 4.28-29-31 enine kesti incelemelerinde gözlenmemiştir.



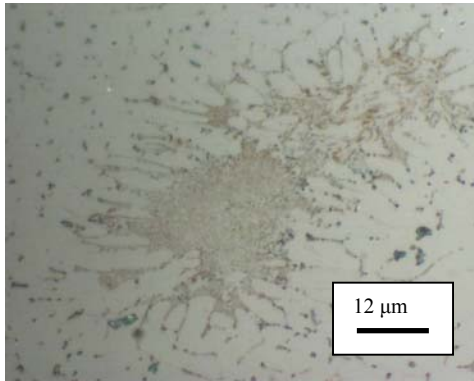
3003 alaşımının enine kesit resimlerinden de (şekil 4.32- 4.35) görüleceği gibi 3003 numunelerinde merkezde yoğunlaşmış, eş eksenli segregasyonlar mevcuttur. Enine kesit örneklerinde partiküler çökelmeden çok lameler ve dendiritik katılaşma gözlenmektedir (şekil 4.34 – 4.35). Ayrıca şekil 4.36 ve 4.37’den de görülebileceği gibi, merkez – yüzey arası bölgede belirgin segregasyon ağları mevcuttur.



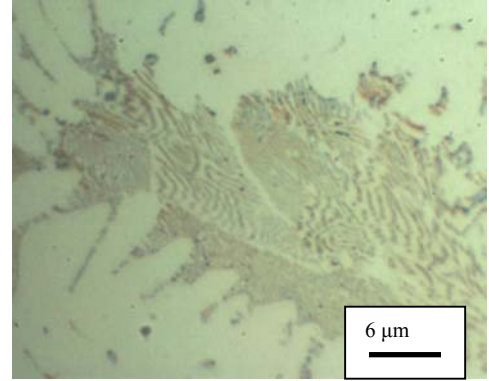
**şekil 4.32.** 3003 alaşımı enine kesit merkezinde eş eksenli, düzenli dağılmış segregasyon kmesi (X100).



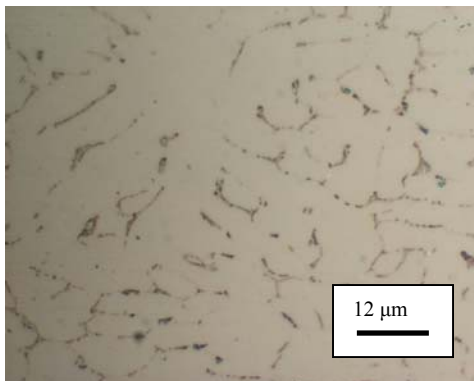
**şekil 4.33.** Enine kesit 3003 alaşımında eş eksenli segregasyon (X200).



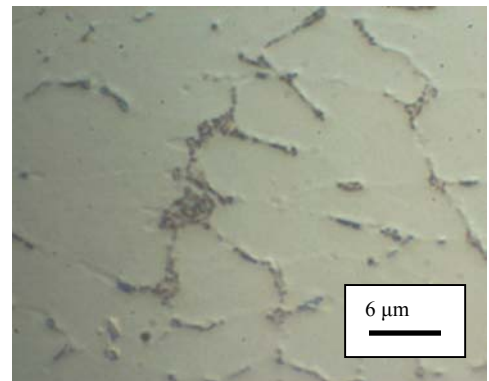
**şekil 4.34.** 3003 alaşımında enine kesit merkezinde dendiritik segregasyon yapısı (X500).



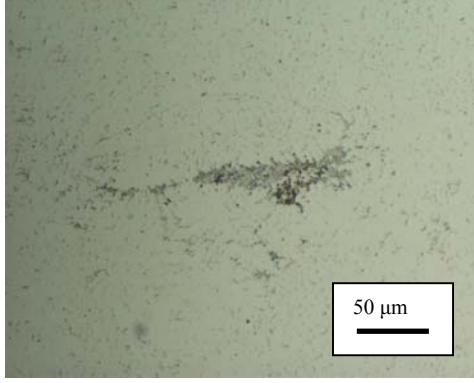
**şekil 4.35.** 3003 alaşımında lameler segregasyon kesit görünümü (X1000).



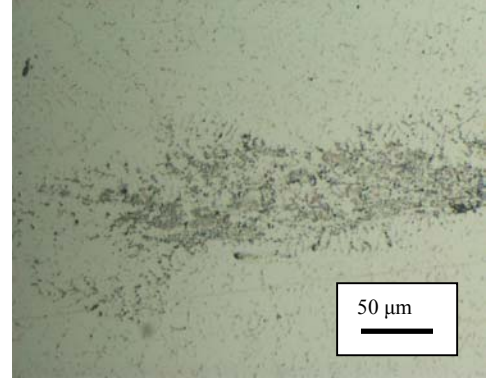
**şekil 4.36.** 3003 alaşımı kesitinde merkez-yzey arası bölgede segregasyon ağı (X500).



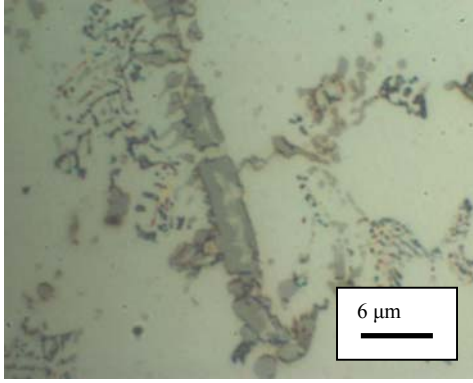
**şekil 4.37.** Merkez-yüzey arasındaki segregasyon ağı yapısı (X1000).



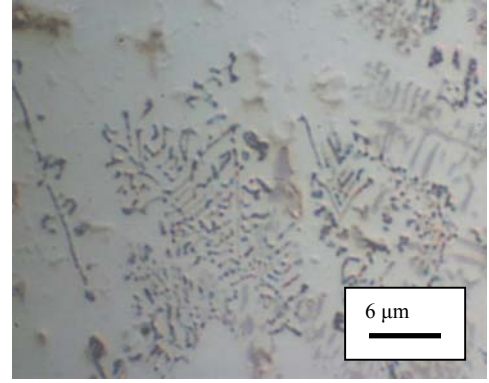
**Şekil 4.38.** 5754 alaşımı enine kesit merkezinde MHS (X100).



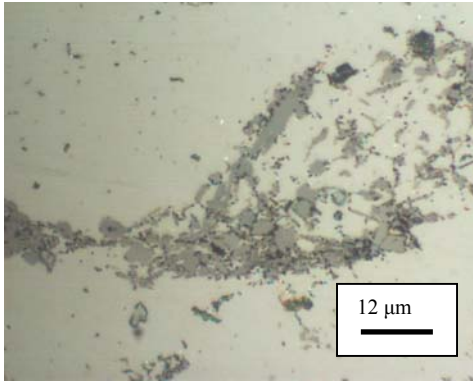
**Şekil 4.39.** 5754 alaşımı kesitinde yoğun segregasyon yapısı (X100).



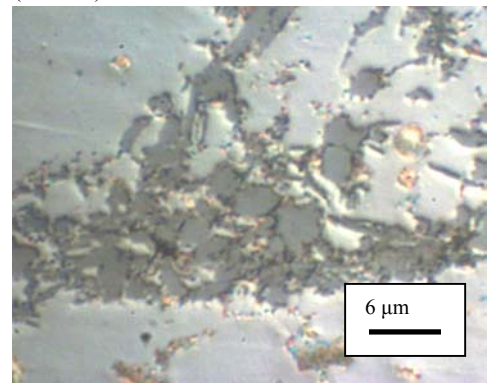
**Şekil 4.40.** 5754 alaşımı enine kesitinde merkez bölgesinde çubuksu segregasyon partikülü (X1000).



**Şekil 4.41.** 5754 alaşımı enine kesitinde lameler katılmış segregasyon yapısı (X1000).



**Şekil 4.42.** 5754 alaşımı enine kesitinde merkezde yoğun partiküler MHS (X500).



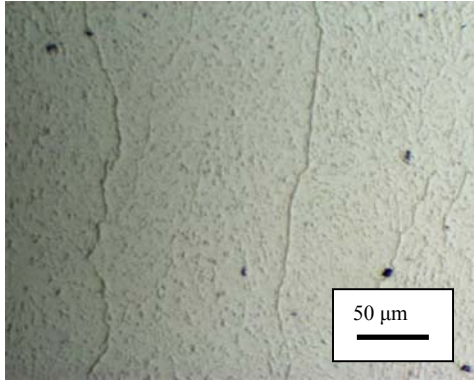
**Şekil 4.43.** 5754 alaşımı Merkez hattında segregasyon partikülleri (X1000).

5754 numuneleri enine kestinde de boyuna kesitte olduğu gibi oldukça yoğun, kaba MHS yapıları gözlenmiştir. Şekil 4.40, 4.42 ve 4.43’de gerek çubuksu, gerekse çokgen morfolojiye sahip kaba segregasyon partikülleri açıkça görülmektedir. Katılma aralıkları sırasıyla sırasıyla 3, 11, 20 °C olan 1235, 3003, 5754 alaşımlarında segregasyon eğiliminin de bu sıraya paralel olarak kötüleştiği saptanmıştır. Alaşım yapısına, daha açık bir ifadeyle, alaşımın katılma aralığının artmasına bağlı olarak segregasyon eğiliminin arttığı, oluşan segregasyon yapısının boyutsal olarak kabalaştığı literatürde de belirtilmektedir.

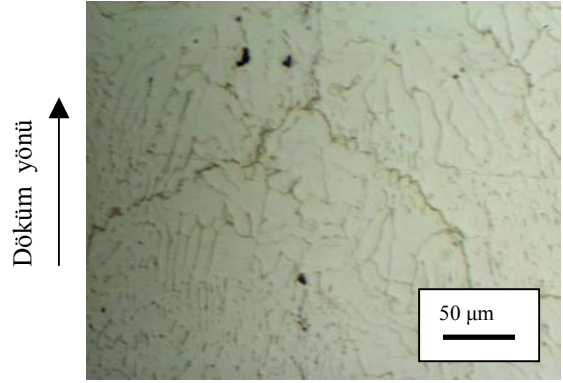
#### 4.3.3.4. Yüzey Kesiti İncelemeleri

Yüzey kesiti incelemelerinde; malzemelerin özellikle merkez kesitlerinde olduğu kadar şiddetli olmasa da yüzeylerinde de segregasyon yapılarının bulunduğunu tesbit edilmiştir. Yüzeyde saptanan segregasyon yapıları yine, merkez hattı segregasyonu gibi alaşımdan alaşıma yoğunluk ve morfolojik farklılıklar göstermektedir.

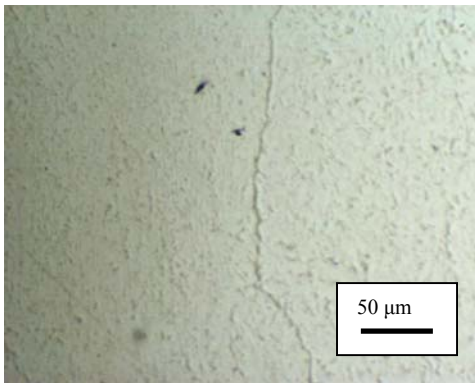
Şekil 4.44 ve 4.46’da görüldüğü gibi 1235 ve 3003 numunelerinde yüzeyde tüp veya fiber olarak tanımlanabilecek çökelti yapısı mevcuttur. Şekil 4.45 ve 4.47’de ise aynı zamanda bu numunelerde segregasyon ağ yapısının da mevcut olduğu görülmektedir.



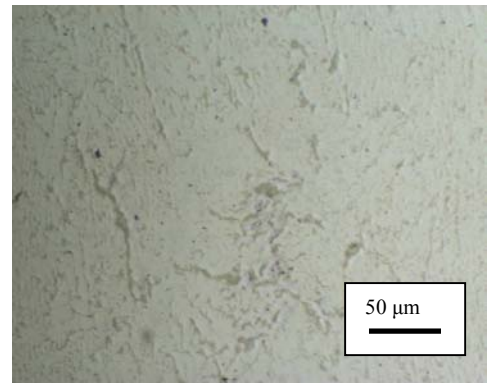
**Şekil 4.44.** 1235 alaşımı yüzeyinde döküm yönüne paralel segregasyon lifleri (X100).



**Şekil 4.45.** 1235 alaşımı yüzeyinde ağ şeklinde kaplamış yüzey segregasyonu (X100).

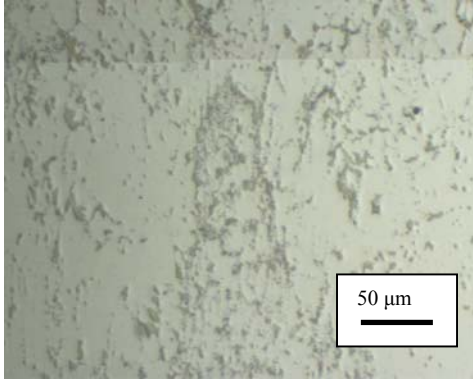


**Şekil 4.46.** 3003 alaşımı yüzeyinde döküm yönüne paralel segregasyon lifi ve etrafında ince ağ yapısı (X100).

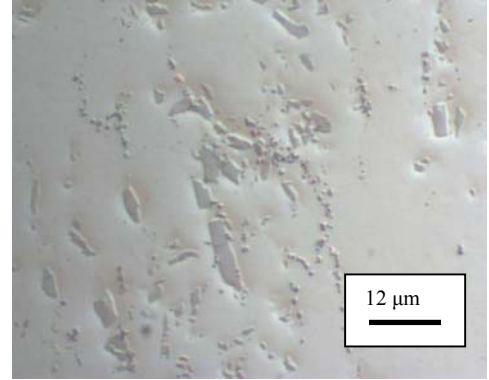


**Şekil 4.47.** 3003 alaşımı yüzeyinde ağ segregasyon yapısı (X100).

5754 alaşımında segregasyon yapısı yüzeyde Şekil 4.48 ve 4.49’da görüldüğü gibi kaba partiküller içeren bantlar halinde mevcudiyetini muhafaza etmektedir.



**Şekil 4.48.** 5754 alaşımında yüzeyde kaba, tüm yüzeye dağılmış segregasyon yapısı (X100).



**Şekil 4.49.** 5754 alaşımında merkez hattında çökelmiş partiküller (X500).

1245 numunesi boyuna ve enine kesit incelemelerinde segregasyon yoğunluğunun düşük olduğu gözlenmesine rağmen, yüzeyinde yoğun bir segregasyon yapısının mevcut olduğu görülmektedir.

3003 alaşımı kesitlerinde belirlenen fiber ve ağ yapılı segregasyon oluşumlarının yüzeyde de olduğu gözlemlenmiştir.

5754 alaşımında da kesitlerinde olduğu gibi yoğun, kaba, partiküler segregasyon yapısı bulunduğu saptanmıştır.



#### 4.3.3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

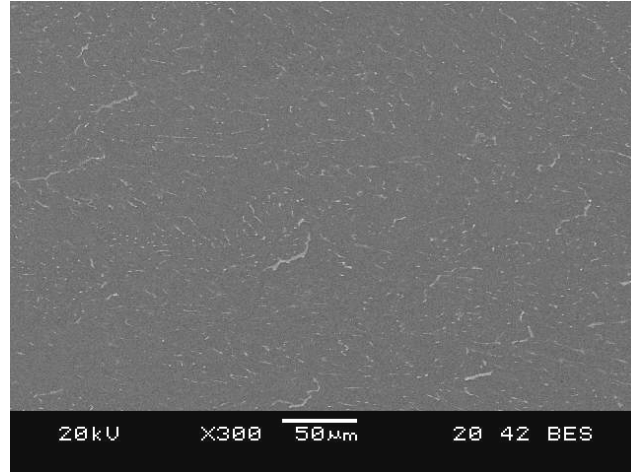
Optik mikroskopta yapılan incelemelerde ulaşılabilen en yüksek büyütme X1000 dir. Bu sebeple daha detay inceleme yapmak, partikül boyutlarını ölçmek ve bazı segregasyon bölgelerinde EDS analizi yapmak amacıyla; numuneler SEM’de incelenmiştir.

SEM incelemelerinde numunelere herhangi bir kaplama uygulanmamıştır. İncelemelerde standart olarak 20 kV hızlandırma voltajı kullanılmış, çalışma mesafesi 20mm olarak seçilmiş, görüntülerin resmedilmesinde gerek ikincil elektron, gerekse saçılmış elektron dedektörleri kullanılmıştır.

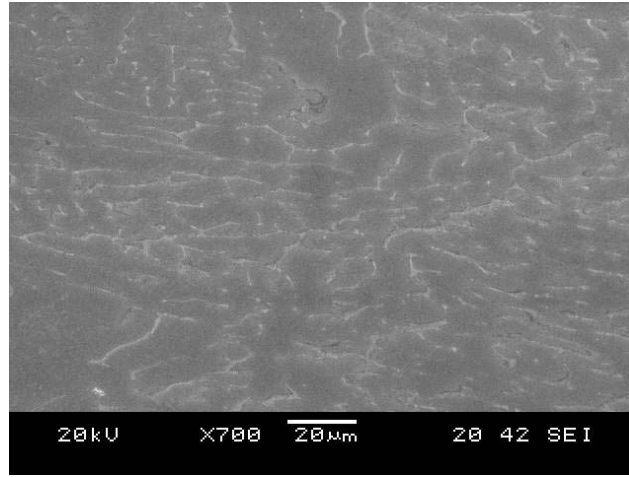
Numunelerin seçilen bölgelerinden partiküllerin elementel içeriklerini ve dağılımlarını tesbitetmek amacıyla EDS analizleri yapılmıştır (Şekil 4.54-4.56, 4.60-4.62, 4.68-4.70).

#### 4.3.3.6. Boyuna (Longitudinal) Kesit İncelemeleri

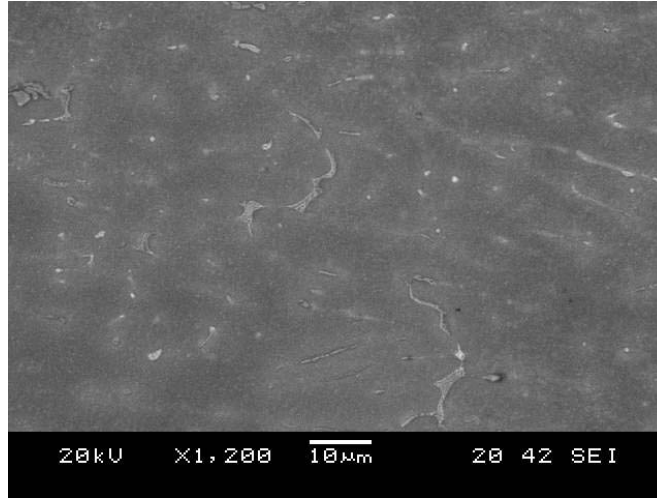
Boyuna kesit taramalı elektron mikroskobu incelemeleri de optik mikroskop incelemelerini destekler yöndedir. 1235 alaşımlarında çok ince, dağınık bir segregasyon yapısı gözlenmektedir (Şekil 4.50 – 4.53).



Şekil 4.50. 1235 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon dağılımı.



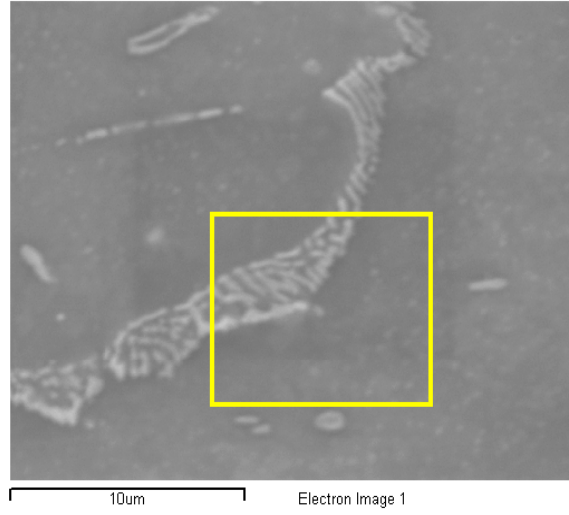
Şekil 4.51. 1235 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon dağılımı.



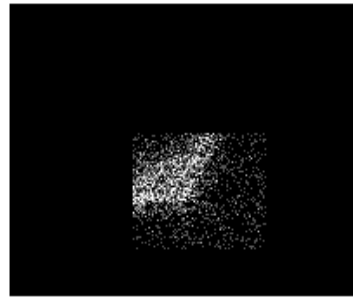
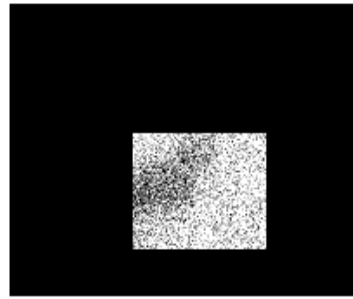
Şekil 4.52. 1235 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon dağılımı.



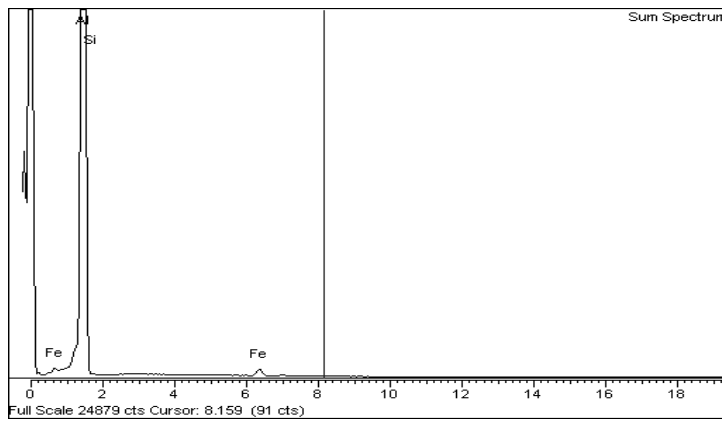
Şekil 4.53. 1235 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon yapısı.



Şekil 4.54. 1235 alaşımında EDS analizi yapılan bölge.



Şekil 4.55. 1235 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin elementel dağılımını gösteren harita.

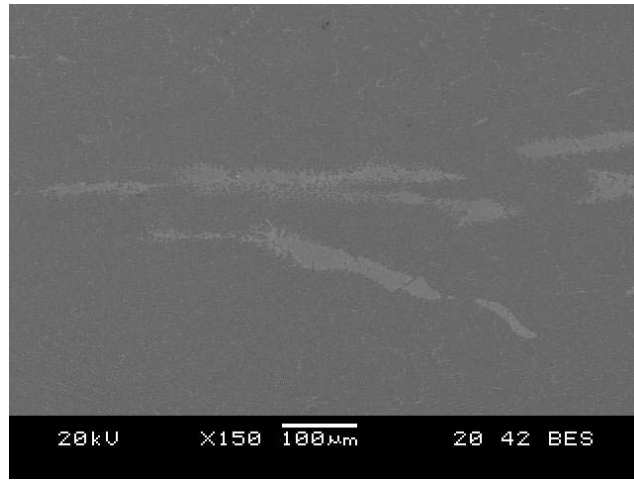


| Element | Ağırlıkça % |
|---------|-------------|
| Al      | 96,94       |
| Si      | 0,24        |
| Fe      | 2,83        |

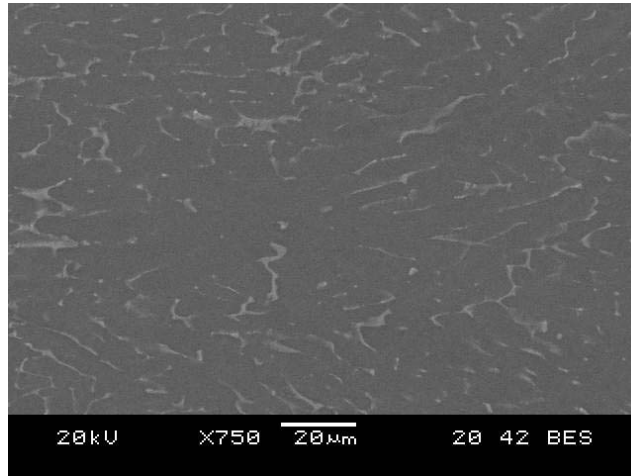
Şekil 4.56. 1235 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin spektrumu.

Şekil 4.56'daki EDS spektrumundan ve Şekil 4.55'de elementel dağılım haritasından da görüleceği gibi segregasyon yapısı Fe ve Si den oluşmaktadır

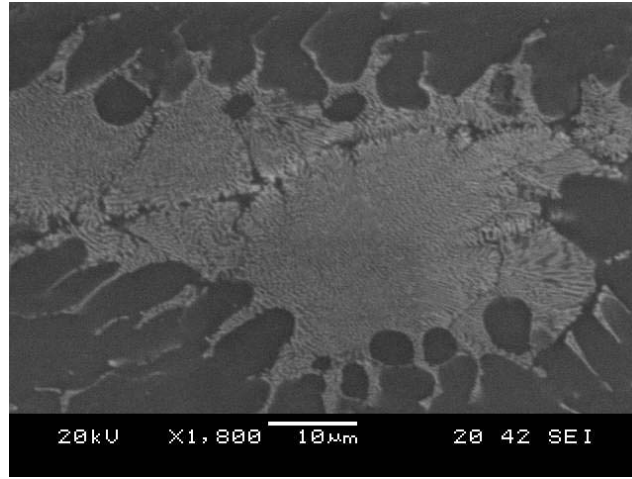
3003 alaşımlarında Şekil 4.57'de görüldüğü gibi merkezde döküm yönüne paralel merkez hattı gözlenmektedir. Bunun yanısıra yüzey – merkez arası bölgelerde segregasyon ağı ve lameler segregasyon yapısı açıkça görülmektedir (Şekil 4.58, 4.59, 4.63).



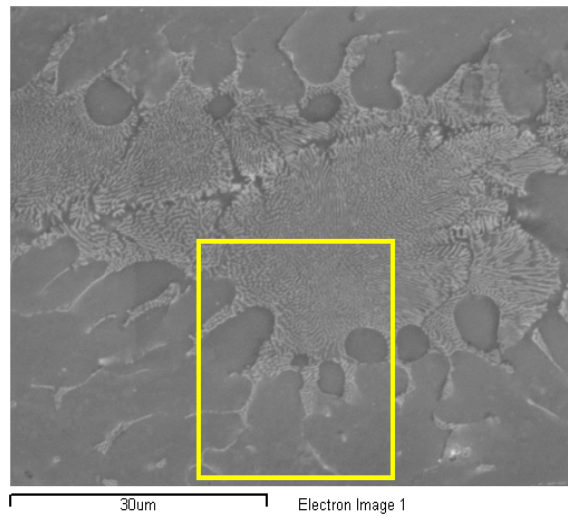
Şekil 4.57. 3003 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon yapısı.



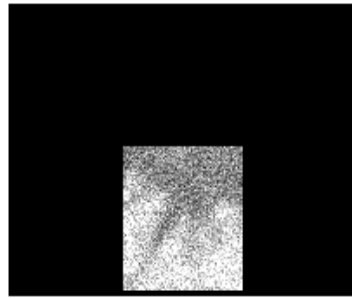
Şekil 4.58. 3003 alaşımında boyuna kesit numunesinde segregasyon ağı.



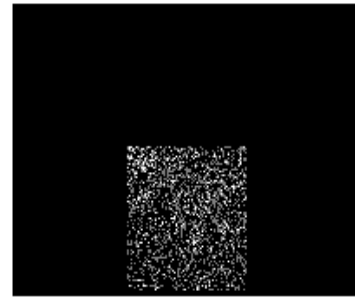
Şekil 4.59. 3003 alaşımda boyuna kesit numunesinde MHS yapısı.



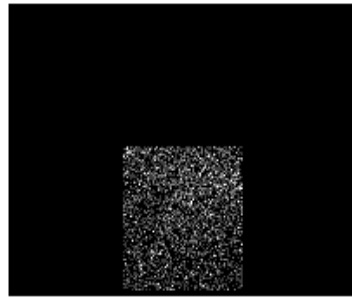
Şekil 4.60. 3003 alaşımda EDS analizi yapılan bölge.



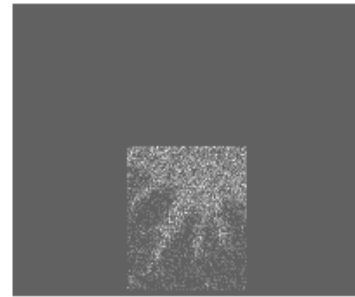
Aluminum Ka1



Silicon Ka1

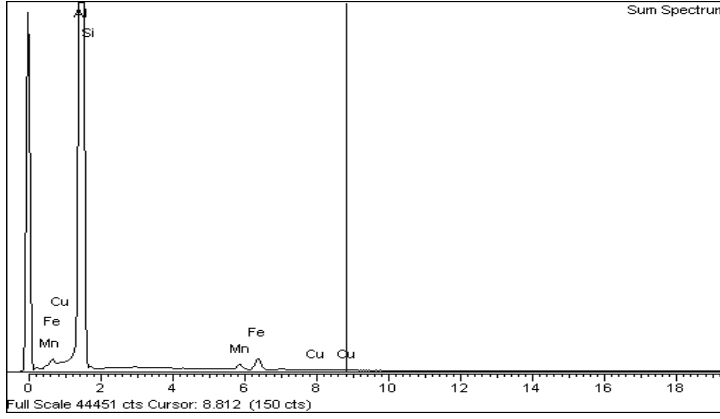


Manganese Ka1



Iron Ka1

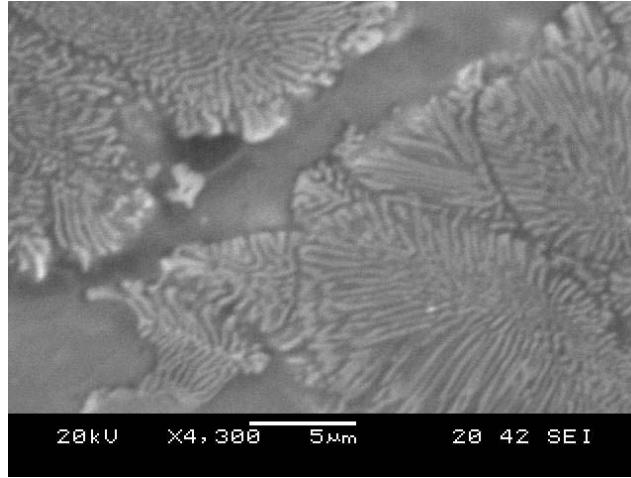
Şekil 4.61. 3003 alaşımda EDS analizi yapılan bölgenin elementel dağılımını gösteren harita.



| Element | Ağırlıkça % |
|---------|-------------|
| Al      | 93,74       |
| Si      | 0,13        |
| Mn      | 1,84        |
| Fe      | 4,02        |
| Cu      | 0,27        |

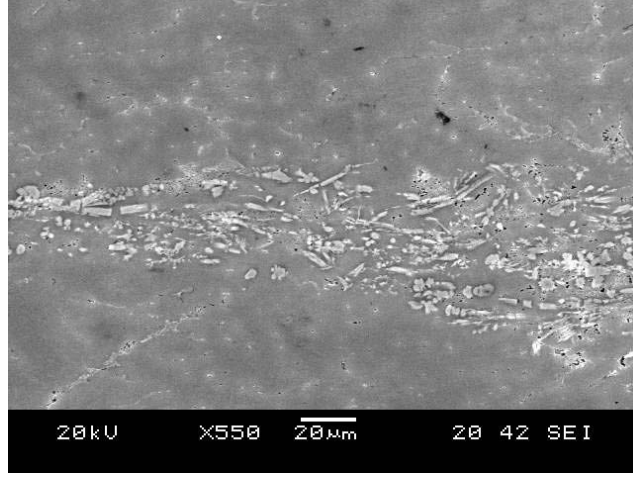
**Şekil 4.62.** 3003 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin spektrumu.

3003 alaşımında Şekil 4.61 ve 4.62’de görüldüğü gibi çökelti partikülleri 1235 alaşımından farklı olarak Fe, Si yanında bir miktar Mn’de içermektedir.

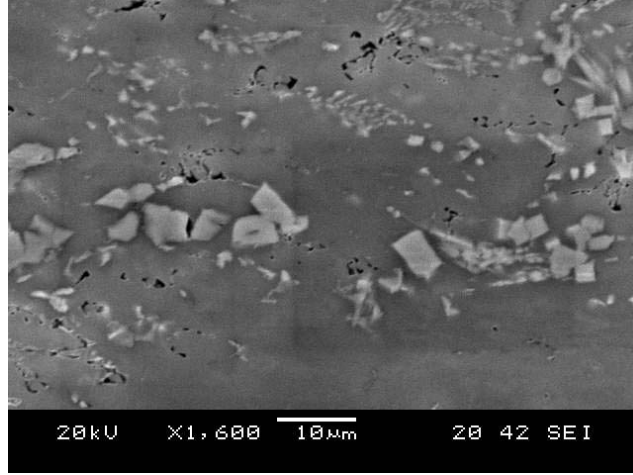


**Şekil 4.63.** 3003 alaşımında boyuna kesit numunesinde lameler MHS yapısı.

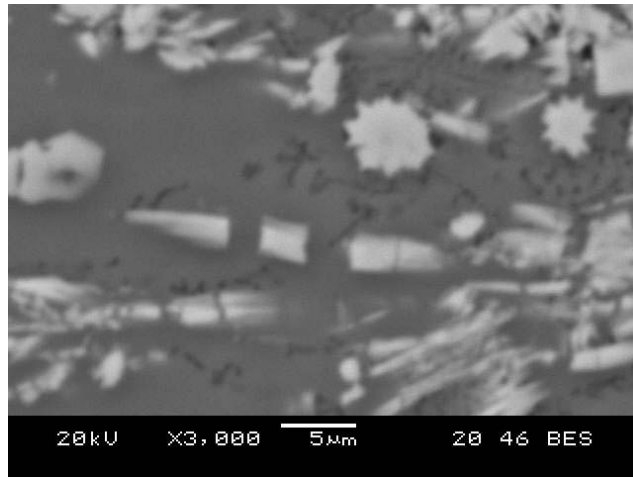
5754 alaşımında kaba partiküller içeren bantlar halinde segregasyon yapıları bulunmaktadır. İğnesel ve çokgen geometrideki partiküller ve boyutları Şekil 4.64 – 4.66’de görülmektedir.



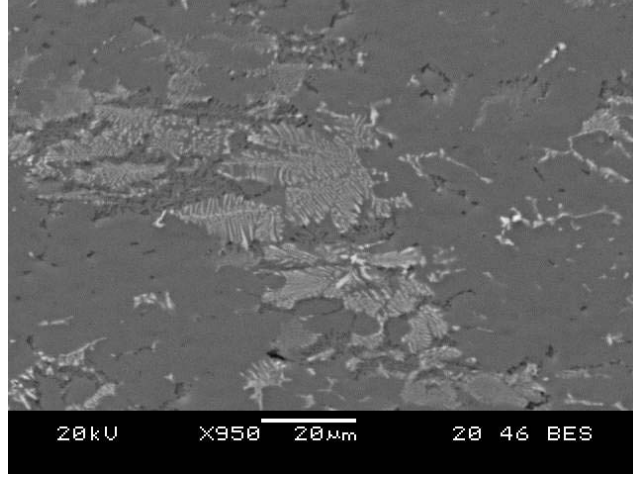
Şekil 4.64. 5754 alaşımda boyuna kesit numunesinde MHS yapısı.



Şekil 4.65. 5754 alaşımda boyuna kesit numunesinde MHS yapısı ve partiküller.



Şekil 4.66. 5754 alaşımda boyuna kesit numunesinde partiküler MHS yapısı.

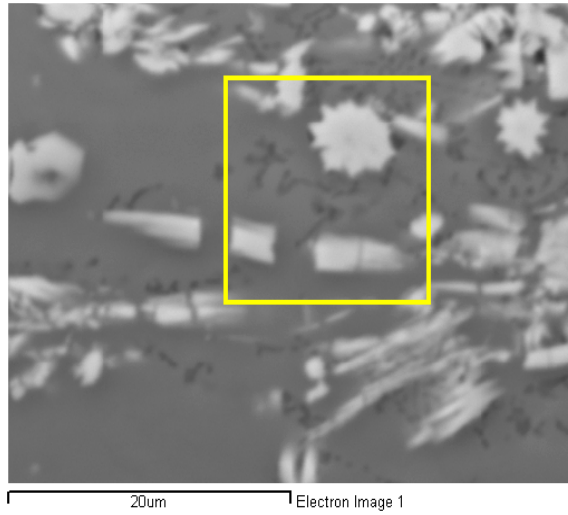


**Şekil 4.67.** 5754 alaşımda boyuna kesit numunesinde bölgesel lameler segregasyon.

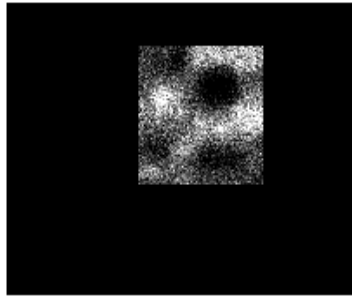
5754 alaşımlarında 1235 ve 3003 numunelerinden farklı olarak boyutları 10-15 $\mu$ m olan çökelti partikülleri görülmektedir. Bu partiküller çoğunlukla iğnesel yapıda olup, bir kısmının yapı içerisinde mekanik etkiyle bir kaç parçaya ayrılmış olduğu görülmektedir. Partiküller arasında sınırlı miktarlarda da olsa lameler segregasyon yapısı da mevcuttur (Şekil 4.67).

5754 alaşımının Şekil 4.68’de görülen bölgesin EDS analizi sonuçları elementel haritalama sonuçları, çökeltilerinin ağırlıkla Fe ve Si’den oluştuğu Şekil 4.69’da görülmektedir.

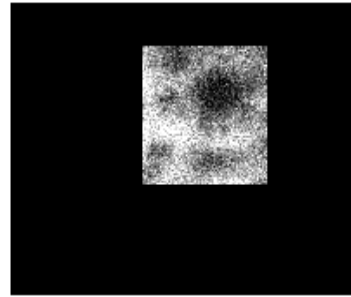




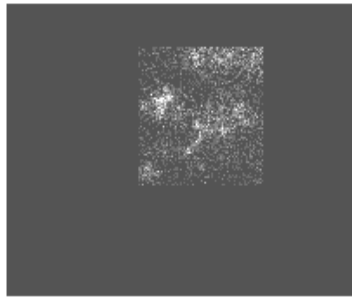
Şekil 4.68. 5754 alaşımında EDS analizi yapılan bölge.



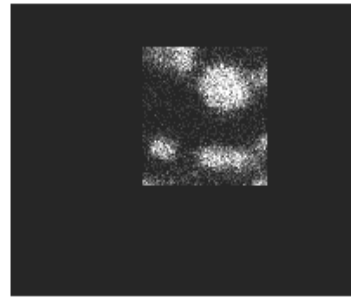
Magnesium Ka1\_2



Aluminum Ka1

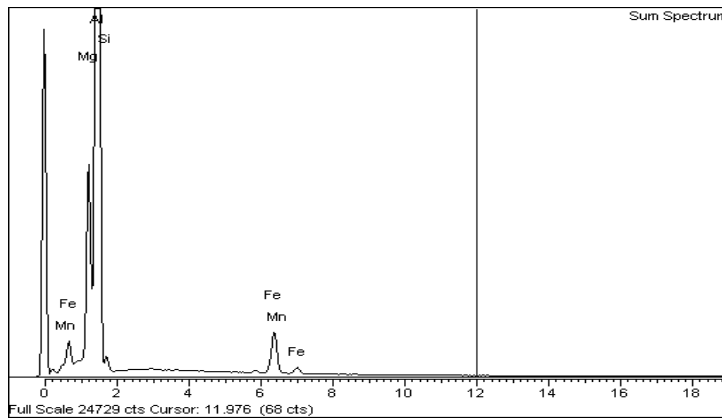


Silicon Ka1



Iron Ka1

Şekil 4.69. 5754 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin elementel dağılımını gösteren harita.

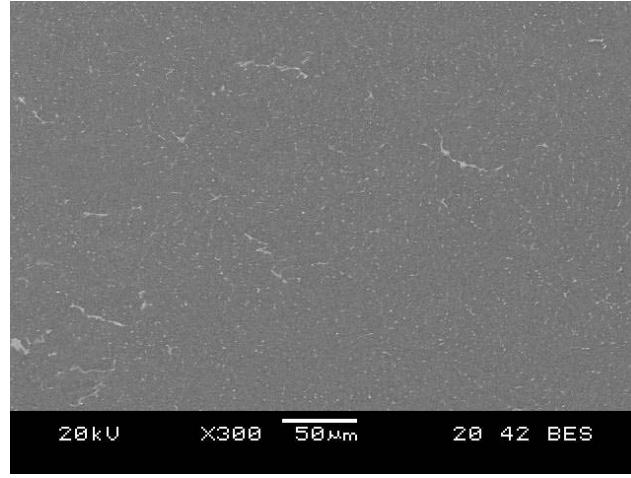


| Element | Ağırlıkça % |
|---------|-------------|
| Mg      | 8,37        |
| Al      | 79,76       |
| Si      | 1,45        |
| Mn      | 0,45        |
| Fe      | 9,97        |

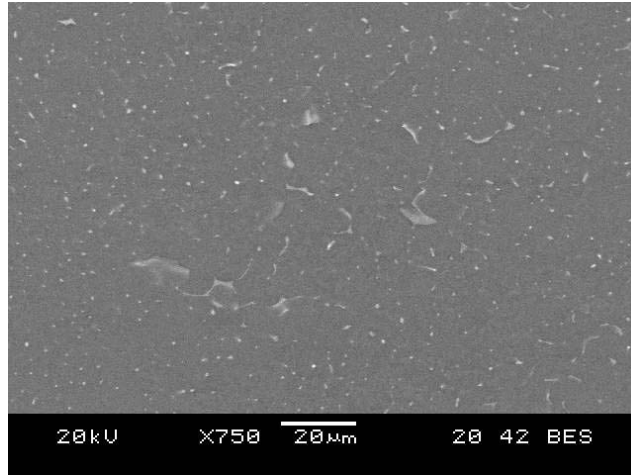
Şekil 4.70. 5754 alaşımında EDS analizi yapılan bölgenin spektrumu.

#### 4.3.3.7. Enine (Transverse) Kesit İncelemeleri

1235 alaşımları numuneleri enine kesit incelemeleri, bu kesitte de çok ince bir segregasyon dağılımı olduğunu göstermektedir. Optik mikroskobu ve SEM boyuna kesit incelemeleri de göz önüne alındığında bu alaşım grubunda segregasyon yapısının oldukça ince boyutlu ve dağınık olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.71, 4.72).

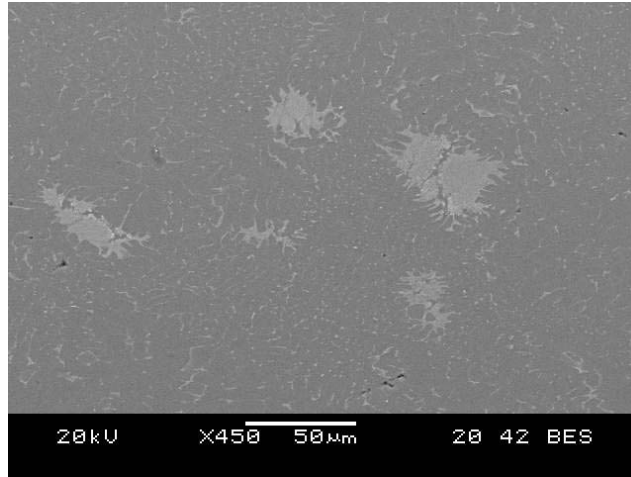


Şekil 4.71. 1235 enine kesit numunesinde ince segregasyon yapısı.

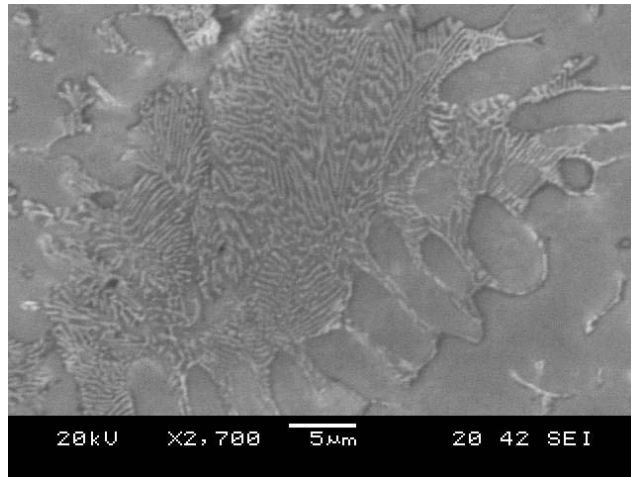


Şekil 4.72. 1235 enine kesit numunesinde segregasyon yapısı.

3003 alaşımı numunesi enine kesit incelemeleri, boyuna kesit incelemeleriyle birlikte değerlendirildiğinde; şekil 4.73 ve 4.74’de enine kesitte numune merkezinde dairesel gözlenen lameller, boyuna kesitte uzun lameller halinde gözlenmektedir. Bu 3003 alaşımlarında merkezde gözlenen ağır segregasyon tipinin fiberimsi, malzeme merkezinde döküm yönüne paralel konumlanmış tpklerden oluştuğunu göstermektedir.

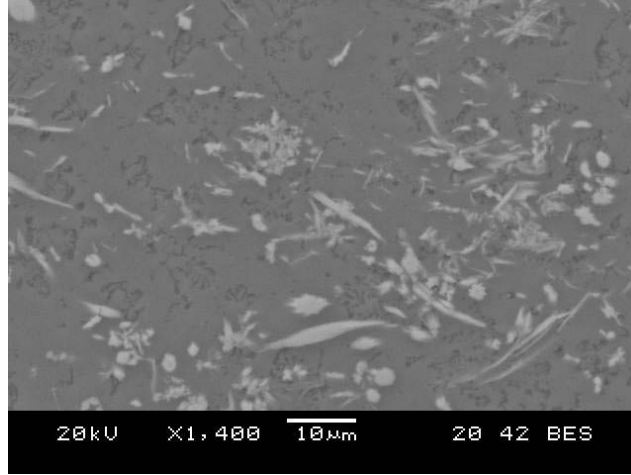


şekil 4.73. 3003 enine kesit numunesinde MHS yapısı.

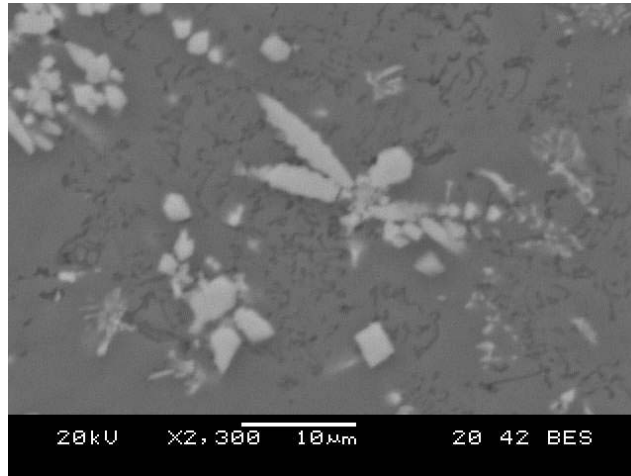


şekil 4.74. 3003 enine kesit numunesinde lameler MHS yapısı ve dendirit kolları.

Tüm alaşımların optik mikroskop ve SEM incelemeleri göz önüne alındığında 5754 alaşımının en ağır segragasyon yapısına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.75 – 4.76). Bu alaşım gurubunda çökelti partikülleri döküm numunesi merkez hattında dağınık olarak bulunmaktadır. Partiküller çoğunlukla iğnesel ve bunların etrafında dağınık kübik çökeltiler halinde yapıda bulunmaktadır.



**Şekil 4.75.** 5754 enine kesit numunesinde partiküler MHS yapısı.



**Şekil 4.76.** 5754 enine kesit numunesinde partiküler MHS yapısı.

Numunelerin yüzeyindeki – hatta merkezindeki – çökelti partiküllerinin kırılıp birkaç parçaya ayrılmış olmaları, katılaşma sırasında deformasyon ögesinin malzeme kesiti boyunca etkin olduğunu göstermektedir.

#### 4.3.3.8. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) İncelemeleri

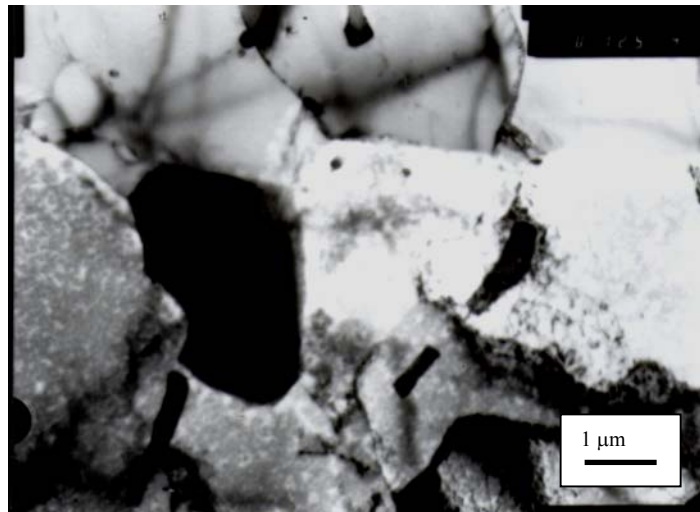
Dökme levhalarının yüzey ve merkez kesitlerinden hazırlanan örnekler yüzey ve merkez kesitlerinden bor yağı soğutmalı elmas disk yardımıyla kesildikten sonra zımparalanarak folyo numuneleri elde edilmiştir. Bu folyo numuneleri daha sonra -15, -25 °C aralığında tutulan, %25 Nitrik asit ve %75 Metanol çözeltisinde, Tenupol 5 twin-jet cihazında parlatılarak JEOL JEM 100C taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri JEOL JSM 5600 elektron mikroskobu ile yapılmıştır.

TEM çalışmalarında özellikle yüzey numunelerinde ama aynı zamanda merkez kesit numunelerinde de, kısmen toparlanmış, düşük açılı tane sınırlarından oluşan bir tabakanın varlığı tesbit edilmiştir.

Öte yandan TEM analizleri, düzgün şekillenmiş hücre yapısı, iğnesel ve nispeten eş eksenli partiküllerin bulunduğu bazı bölgelerde düzenlenmiş dislokasyon yapılarının varlığını göstermektedir.

#### 4.3.3.9. Yüzey Düzlemi Mikro Yapı İncelemeleri

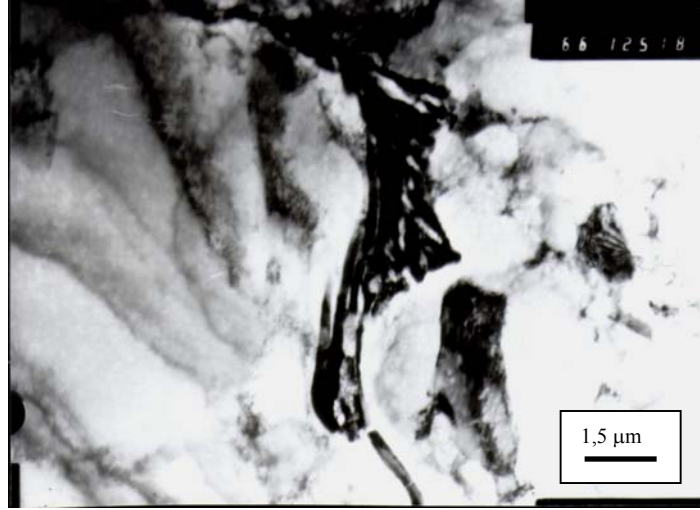
TEM incelemelerinde hem yüzey hem de merkez düzlemi incelemelerinde tane sınırlarında yığılmış ya da tane içlerinde yarı-düzenli halde yoğun dislokasyon yapıları gözlenmektedir. Nispeten daha saf olan 1235 alaşımı numunelerinde ise dislokasyonların çoğunlukla tane sınırlarında yığıldığı, fakat alt tane yapılarının varlığı tesbit edilmiştir (Şekil 4.77 – 4.80).



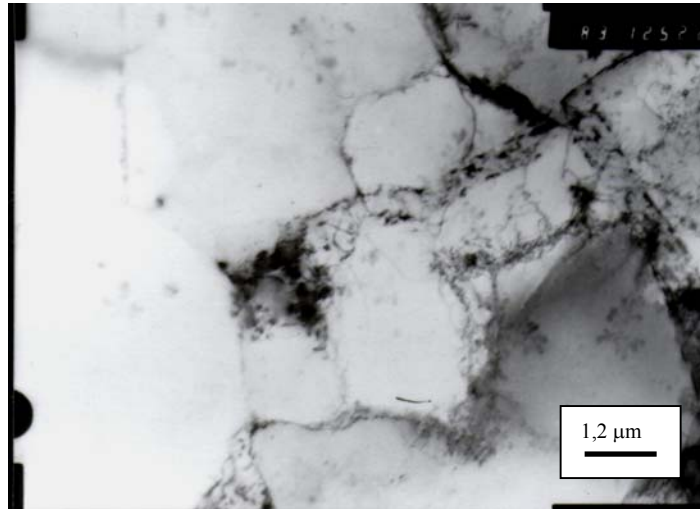
Şekil 4.77. 1235 alaşımında yüzey numunesinde tane yapısı ve çökelti partikülleri.

#### 4.3.3.10. Merkez Düzlemi Mikro Yapı İncelemeleri

Merkez düzlemi TEM incelemelerinde yüzey incelemelerinde olduğu gibi tane sınırlarında dislokasyon yığınları ve alt taneler görülmektedir (Şekil 4.86). Ayrıca 1235 alaşımı yapısında, partiküler çökelti yapılarından çok, nisbeten küçük lameler çökelti yapılarına rastlanmıştır (Şekil 4.85).



Şekil 4.85. 1235 alaşımında merkez düzlemi numunesinde taneler arasında lameler segregasyon.

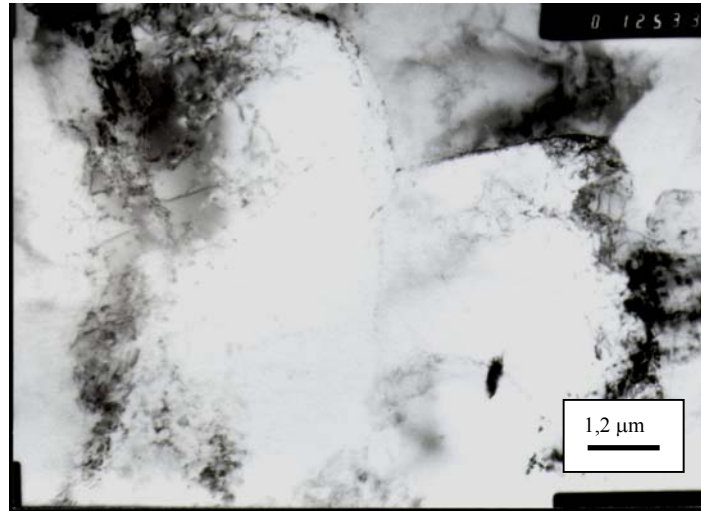


Şekil 4.86. 1235 alaşımında merkez düzlemi numunesinde alt tane sınırları ve alt tane sınırlarındaki dislokasyon yığınları.

Şekil 4.87’de görüldüğü gibi 3003 alaşımı numunesinde küçük patiküllerle, dendiritik düzensiz şekillerde çökelti yapıları saptanmıştır. Öte yandan tane sınırlarında dislokasyon yığılmaları yine yüzey numunelerinde olduğu gibi merkez kesiti örneklerinde de görülmektedir (Şekil 4.88).



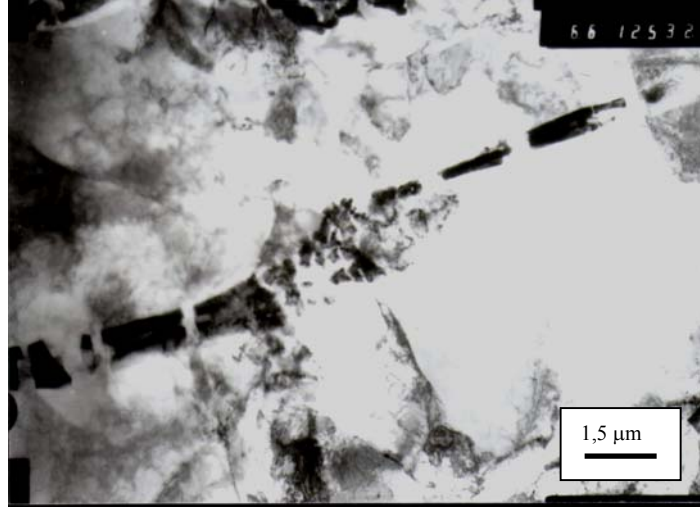
**Şekil 4.87.** 3003 alaşımında merkez düzlemi numunesinde taneler arasında lameler segregasyon yapısı.



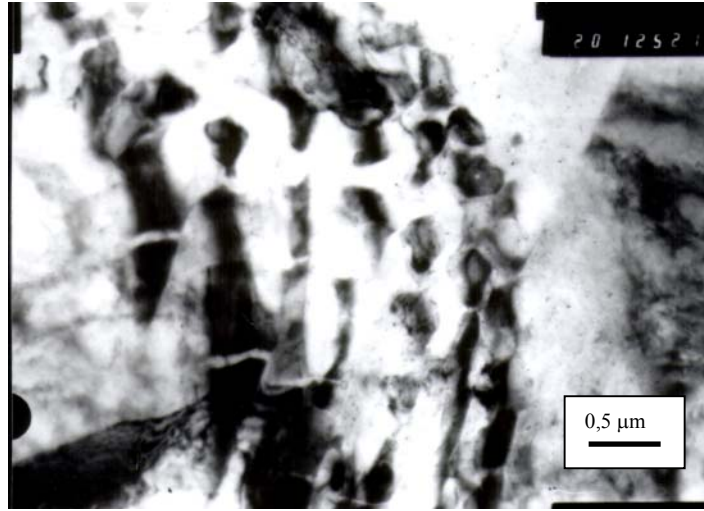
**Şekil 4.88.** 3003 alaşımında merkez düzlemi numunesinde tane sınırları ve tane sınırlarındaki dislokasyon yığınları, alt taneler.

En yüksek alaşım içeriğine sahip olan 5754 alaşımı numunelerinde ise kaba, iğnesel ve boy/kalınlık oranına bağlı olarak çoğunlukla kırılmış patiküllerle birlikte görülmektedir (Şekil 4.89 - .4.91).

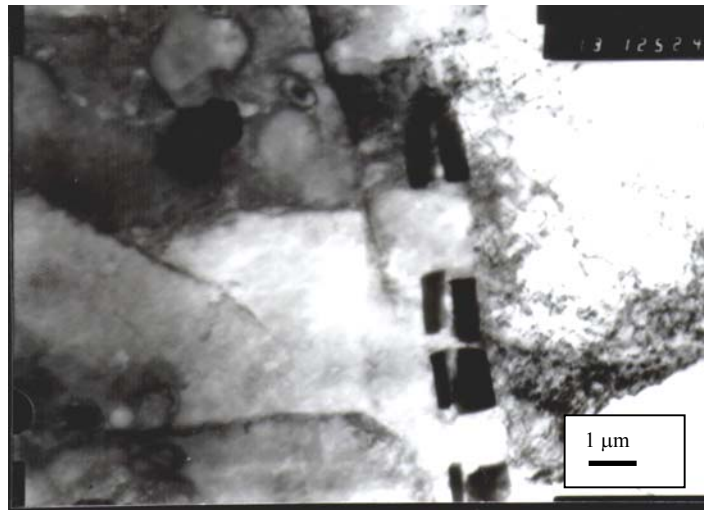




**Şekil 4.89.** 5754 alaşımında merkez düzlemi numunesinde iğnesel çökelti partikülleri.



**Şekil 4.90.** 5754 alaşımında merkez düzlemi numunesinde kırılmış partiküller.



**Şekil 4.91.** 5754 alaşımında merkez düzlemi numunesinde enine boyuna kırılmış partiküller.



Sürekli levha döküm teknolojisiyle üretilmiş ticari alüminyum alaşımlarının en karakteristik özelliği; yüksek soğuma hızları nedeniyle alaşım elementlerinin çoğunun içerisinde bulunduğu aşırı doymuş katı çözelti oluşumudur. Bu sebeple sürekli levha döküm yöntemiyle üretilmiş ticari alüminyum alaşımlarında alaşım bileşenlerinden oluşan patiküller dikkate değer şekilde DC (Direct Casting) ile üretilmiş alaşımlardan farklılık gösterir.

Diğer bir fark büyük partiküller ve soğuk haddelemeden sonraki tavlama işlemi sırasında geri çözünen aşırı doymuş katı çözeltilerdir. Ticari alüminyum alaşımlarındaki ikincil faz partiküllerinin yeniden kristalleşme esnasında çok önemli rol oynadıkları iyi bilinmektedir.

Deformasyon sırasında büyük ikincil faz partikülleri bileşen elementlerinin yeniden kristalleşmede çekirdeklenme merkezlerini oluşturduğu bölgesel deformasyon kuşakları boyunca çekirdeklendirici ajanları olarak davranırlar. Ancak aynı zamanda çok küçük partiküllerin tavlama işlemi sırasında çökmesi, yeniden düzenlenme ve tane büyümesini engelleyen alt tane sınırlarında oluşan hızlı çökme etkisine neden olabilir. Bu sebeple geçtiğimiz yıllarda ticari alüminyum alaşımlarında böyle bir oluşumu ve rekristalizasyon mekanizmasını etkileyen diğer parametrelerle ilişkisini tam olarak saptamak amacıyla çok fazla miktarda deney ve teorik çalışma yapılmıştır [16,17,19,20].

Çökelti partiküllerinin ürün kalitesini etkileyeceği aşıkardır. Yapıda bulunan bu safsızlıkların malzeme plastik akışını, dolayısıyla plastik şekillendirme kabiliyetini, aynı zamanda malzemenin yeniden kristalleşme karakterini olumsuz etkilediği literatürde belirtilmektedir. Bu açıdan segregasyon yapısının giderilebilmesi amacıyla TRC prosesinin katılma karakteristiğinin iyi anlaşılması ve bunu sağlayıcı uygun pratiklerin geliştirilmesi teknolojik açıdan büyük öneme sahiptir.

#### **4.3.4. Termo-Meknik İşlemlerin Tane Gelişimine Etkisi**

Termo-mekanik işlemlerin mikro yapıya etkisini tayin etmek amacıyla alaşım elementlerinin etkisini göz ardı etmek için bu çalışmaya konu olan alaşım gruplarından en saf olan 1235 alaşımı seçilmiştir.

Dökme levha örneklerinin her birine döküm kalınlığında ve %45 deformasyon içeren hadde işleminden sonra 560°C-8st tavlı uygulanmıştır. Levha örnekleri 560°C'ye 6 saatte ısıtılmış, bu sıcaklıkta 8 saat bekletilmiş ve oda sıcaklığına fırında soğutulmuş,

böylece toplam tav süresi 32 saat olmuştur. Termo-mekanik işlemlerin tane gelişimine etkisini saptamak amacıyla iki ana işlem kademesi uygulanmıştır;

- Döküm kalınlığı: 450°C, 475°C, 500°C, 525°C ve 560°C tavlari,
- Döküm kalınlığındaki malzemeye %45 soğuk deformasyon uygulanmasından sonra: 450°C, 475°C, 500°C, 525°C ve 560°C tavlari uygulanmıştır.

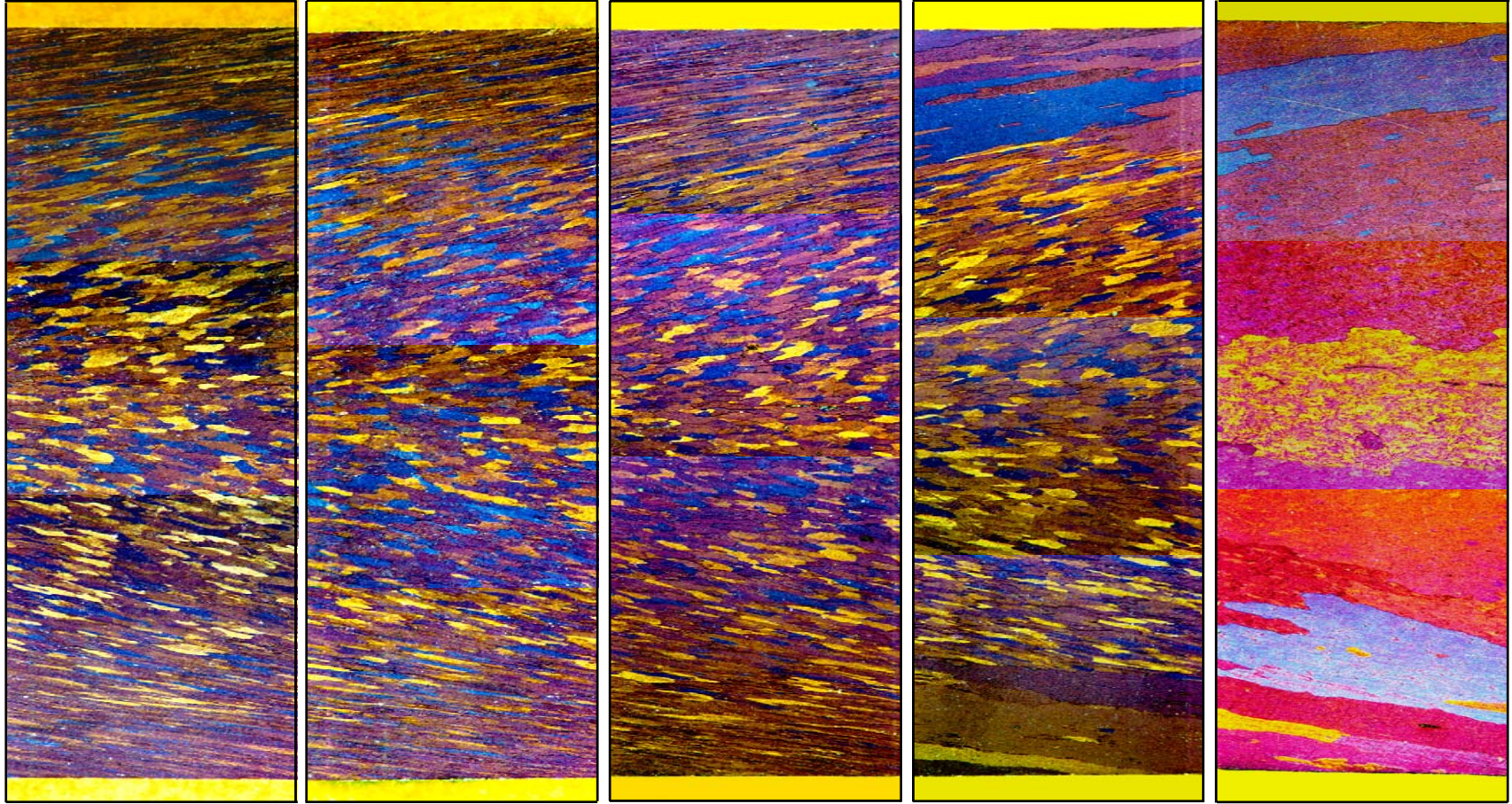
Homojenleştirme tavında tane yapısında meydana gelen değişimlerin incelenmesinde; laboratuvar tipi tav fırınına yeterli sayıda numune konmuş ve bu numuneler ısıtma sırasında bahsi geçen deney sıcaklıklarına ulaşıldığında, bu sıcaklıkta 1 saat bekletildikten sonra fırın dışına alınarak atmosferik ortamda oda sıcaklığına soğutulmuşlardır. Bu şekilde her bir dökme levhanın döküm kalınlığında veya bir hadde pasosundan sonra homojen tavlendiğinde tane yapısında gözlenen değişimlerin gelişimi izlenmeye çalışılmış

#### **4.3.4.1. Döküm Kalınlığında Isıl İşlemin Etkisi**

Döküm kalınlığındaki homojenizasyon ısıtma işlemi sırasında mikro yapı değişimi Şekil 4.92'de görülmektedir.

1235 alaşımlı levhada da yüzeyde döküm işlemi sırasında büyük ölçüde toparlanmış bir yapı bulunmaktadır. Deformasyon etkisi, tanelerin şekillerinden anlaşılabileceği gibi, levha yüzey bölgesi dışında çok zayıf olup merkez düzlemde taneler deformasyonsuz yani tamamen eş-eksenlidir.

Homojenleştirme tavında 500°C'ye kadar tane yapısında hiçbir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.92.a,b,c). 525°C'de ise yüzeydeki taneler büyümeye başlamaktadır (Şekil 4.92.d). Büyüme faaliyetinin yüzeyde başlaması buradaki tanelerin çok ince ve yüksek tane sınırı enerjisi nedeniyle büyüme isteğinin çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Homojen tavin tamamlanmasından sonra (560°C-8st) merkezdeki tanelerin de büyüdüğü ve ortaya tüm kesitte iri taneli bir yapının çıktığı görülmektedir (Şekil 4.92.e). 1235 alaşımlı levhanın tane yapısında homojenleştirme tavi ile meydana gelen değişimler tane büyümesi mekanizmaları nedeniyle oluşmaktadır.



**Şekil 4.92.** 6mm kalınlığındaki 1235 alaşımlı dökme levhada 560°C-8st homojenleştirme tavının değişik aşamalarında meydana gelen değişimler. (a) 450°C, (b) 475°C, (c) 500°C, (d) 525°C ve (e) 560°C-8st.

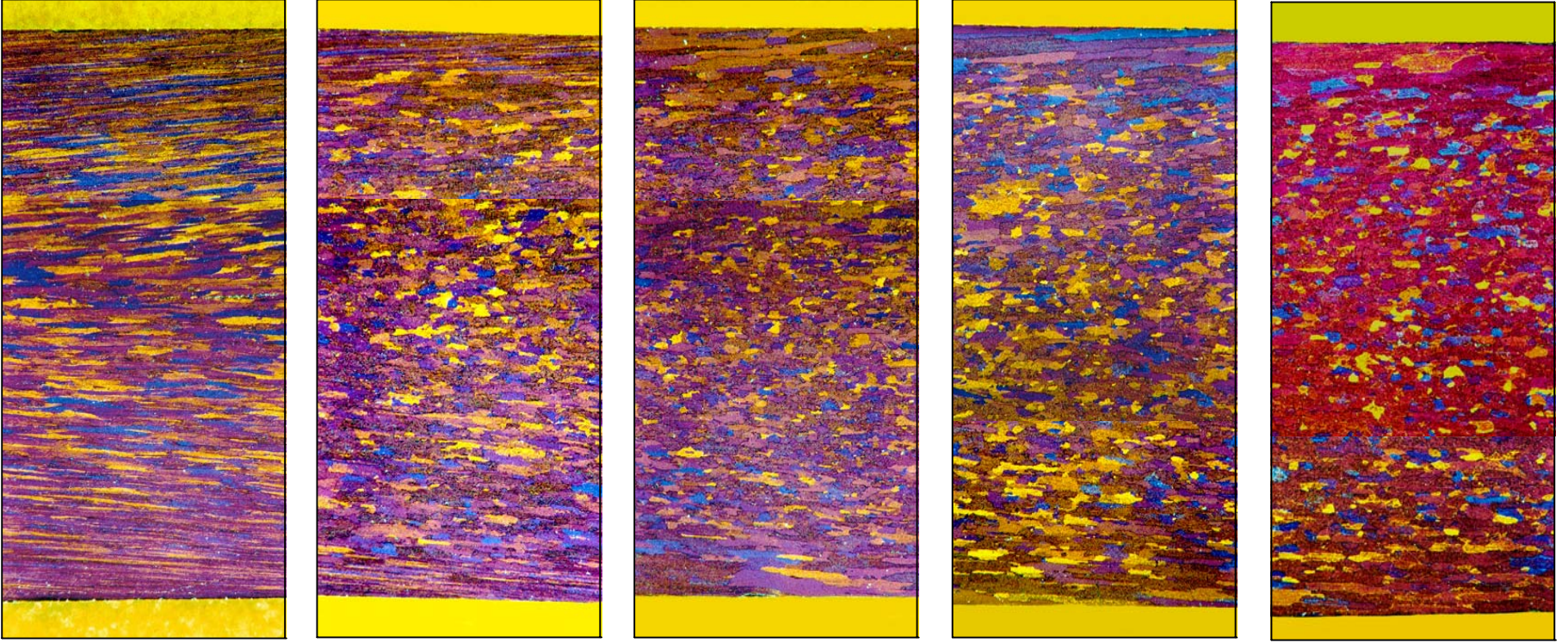
#### **4.3.4.2. Döküm Kalınlığında %45 Soğuk Deformasyon Sonrası Isıl İşlemin Etkisi**

1235 alaşımlı dökme levha %45 hadde deformasyonu uygulandıktan sonra yapılan homojenleştirme ısıtma işlemi sırasında mikro yapı değişimi Şekil 4.93’de verilmiştir.

Tav işlemi öncesinde döküm yapısı üzerinde %45 oranında uygulanan hadde işleminin yarattığı deformasyon izleri görülmektedir. Taneler döküm halinde olduğundan daha uzun, ince ve hadde yönünde yönelmiştir.

%45 hadde deformasyonundan sonra tavlanan levhada tane yapısı doğrudan döküm kalınlığında tavlana kiyasla çok daha düşük bir sıcaklıkta yenilenmektedir (Şekil 4.93.b). 375°C’de henüz bir değişiklik görülmezken (Şekil 4.93.a) 400°C’den itibaren levha içinde hadde işlemi ile incelmış ve uzamış taneler üzerinde yeniden kristalleşme ile ince ve eş-eksenli taneler oluşmaktadır (Şekil 4.93.b). Yeni oluşan taneleri yüzeye doğru eş-eksenli morfolojiden uzaklaşmaktadır. Bu durumun yüzeydeki bileşik partiküllerinin dağılımının yönelmişliğinden ötürü tane sınırı hareket hızının anizotropik olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 450°C’de tüm kesitte yeniden kristalleşmenin büyük ölçüde tamamlandığı görülmektedir (Şekil 4.93.c). 525°C’deki levha kesit görüntüsü yüzeydeki taneler dışında çok farklı değildir (Şekil 4.93.d). Yüzeydeki taneler ise daha iri görünmektedir. Homojenleştirme tavi tamamlandığında ortaya yüzeyde nispeten iri içerde ise daha ince taneli bir yapı çıkmaktadır (Şekil 4.93.d).





**Şekil 4.93.** 6mm kalınlığındaki 1235 alaşımlı dökme levhada %45 hadde pasosundan sonra uygulanan 560°C-8st homojenleştirme tavının değişik aşamalarında meydana gelen değişimler. (a) 375°C, (b) 400°C, (c) 450°C, (d) 525°C ve (e) 560°C-8st.

Soğuk haddelemeden sonra yeniden kristalleştirilmiş levha, merkezine göre levha kenarlarına yakın bölgelerde çok daha büyük taneler içeren oldukça heterojen yapıya sahiptir. TRC teknolojisiyle üretilen levhanın kenarlarına yakın bölgelerde matrisin aşırı doymuş katı içerik açısından oldukça zengin olduğu düşünülmekte, bu yüzden yavaş yeniden kristalleşme kinetiğine ve yeniden kristalleşmiş yapıda tane yapısının büyümesine neden olan, katı çözelti etkisi ve küçük partiküllerin çözülmesinden oldukça fazla söz edilmektedir. [16,17,20]

## 5. GENEL SONUÇLAR

Sürekli döküm teknolojisiyle üretilmiş 1235, 3003 ve 5754 standartlarındaki alüminyum alaşımlarının metalurjik yapılarının incelendiği bu çalışmada aşağıdaki genel sonuçlar bulunmuştur:

1. Alaşım miktarı arttıkça (5754>3003>1235) mukavemet artmakta, uzama kabiliyeti azalmaktadır. Dökme levha, katılaşma sırasında deformasyona uğrayarak; O kondüsyonda olmayıp katılaşma sırasında maruz kaldığı deformasyon nedeniyle çeyrek sert (H12) kondüsyonunun özelliklerini kazanmaktadır.
2. Çekme deneyinde 1235 ve 3003 alaşımlarından farklı olarak 5754 alaşımında plastik deformasyon sırasında süreksiz akma görülmektedir. Malzemenin bu davranışı *Portevin-LeChatelier* etkisi olarak bilinen, çökelti atomlarıyla dislokasyonların etkileşiminden kaynaklanan deformasyon yaşlanması nedeniyle olmaktadır. Çekme numuneleri yüzeyinde gözlenen lüders bantları da bunun bir göstergesidir.
3. Döküm yapısında iki farklı tane yapısı gözlenmektedir. Yüzey bölgesinde yönlenme göstermeyen ince bir tane yapısı, hemen altında ise yönlenmiş ve uzamış tane yapısı mevcuttur. Boyuna kesit makro yapıları enine kesit makro yapıları ile birlikte incelendiğinde, yüzeydeki tane yapısının eş eksenli olduğu gözlenmektedir. Kolonsal taneler ise döküm yönünde uzamış ve kesit merkez ekseninin her iki yanında döküm yönüne belirli bir açıyla yönlenmiş ve merkez bölgesinde bir araya gelmişlerdir.
4. Katılaşma aralıkları sırasıyla 3, 11, 20 °C olan 1235, 3003, 5754 alaşımlarında segregasyon eğiliminin de bu sıraya paralel olarak kötüleşmekte olduğu yapılan metalografik çalışmalar sonucunda tesbit edilmiştir.
5. İncelenen alaşımlarda alaşım elementi miktarına bağlı olmak kaydıyla segregasyon yapısı değişmektedir.

- 1235 alaşımlarında lameler ve ince merkez hattı ya da kanal tipi segregasyon yapısı hakimdir.
- 3003 alaşımlarında ise lameler, kalın segregasyon yapısının yanında, dökme levha yüzeyi ve merkezi arasında segregasyon ağı yapısı tüm kesite yayılmıştır. Enine kesit ve boyuna kesit incelemeleri 3003 alaşımında merkez hattının fiberler halinde yapıda mevcut olduğunu göstermektedir.
- 5754 alaşımlarında çok daha kaba ve partiküler bir merkez hattı yapısının varlığı yapılan incelemelerde belirlenmiştir. Boyuna ve enine kesit incelemeleri segregasyon yapısının bantlar şeklinde olduğunu göstermektedir.

6. SEM incelemeleri matriste ve tane sınırlarında dağılmış büyük çökelti partiküllerinin varlığını göstermektedir. Bu partiküller küçük ve nispeten eş eksenli partiküllerle birlikte dendritik düzensiz şekillerde görülmektedir.

7. TEM analizleri ise düzgün şekillenmiş hücre yapısı ve eş eksenli partiküllerin bulunduğu bazı bölgelerde düzenlenmiş dislokasyon yapıları göstermektedir.

8. 1235 alaşımının homojenleştirme ısı işlemi sırasında mikro yapı değişiminin yüzeyden yeniden kristalleşmiş taneler oluşumuyla başladığı ve daha sonra merkezdeki tanelerin yeniden kristalleştiği, homojenizasyon üst sıcaklığına ulaşıldığında ise tüm kesit boyunca tane büyümesinin olduğu saptanmıştır.

9. 1235 alaşımında %45 soğuk işlem yapıldıktan sonra homojenleştirme ısı işlemi sırasında mikro yapı değişiminin daha düşük sıcaklıkta (400°C) ve merkezde başlayıp, yüzeye doğru yeniden kristalleşmenin devam ettiği ve artan sıcaklıklarda – döküm kalınlığında homojenizasyon ısı işlemi uygulanan örnek kadar şiddetli olmasada – yüzeyde sınırlı bir tabakada tane büyümesi olduğu belirlenmiştir.



## **KAYNAKLAR :**

- [1] Altan Mehmet, Haziran 1998, Alüminyumun Tarihsel Gelişimi ve İşçiler, Türk Henkel Dergisi, sayı: 161, 3-5
- [2] Robert E. Sanders, Jr., February 2001, Technology Innovation in Aluminum Products, JOM, 21-25
- [3] Conserva Mario, Donzelli Giancarlo, Trippodo Rodolfo, 1992, Aluminium and Its Applications, Edimet, Brescia
- [4] Yun M., Lokyer S., Hunt J.D., 2000, Twin roll casting of aluminium alloys, Materials Science & Engineering A, Elsevier Science S.A., 116-123
- [5] Lockyer S.A., Yun M., Hunt J.D., Edmonds D.V., 1996, Microstructural Defects in Thin Roll Cast Aluminium Alloys, Materials Science Forum Vol. 217-222, 1996 Transtec Publications, Switzerland, 367-372
- [6] Hatch Jhon E., 1984, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, American Society For Metals, Metal Park Ohio
- [7] Singh R. V., 2000, Aluminium – Rolling (Process, Principles & Application), The Minerals, Metals & Materials Society, Pennsylvania
- [8] Polmear I.J., 1995, Light Alloys Metallurgy of the light metals, Arnold, London
- [9] Daaland. O., Espedal A. B., Nedreberg M. L., Alvestad I., 1997, Thin gauge Twin-Roll Casting, Process Capabilities and Product Quality, Light Metals 1997 TMS, 745-752
- [10] Iricibar R., Jin I., 1989, Rolling Aspect of Roll Casting, Continuous Casting of Non-Ferrous Metals and Alloys, The Minerals, Metals & Materials Society
- [11] Dieter George E., 1984, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, Singapore
- [12] Birol Y., Okumuş E., Akkurt A.S., Romanowski C., 2001, The Response of Twin Roll Cast Aluminum Strips to Thermo-Mechanical Processing, Light Metals 2001, The Minerals, Metals & Materials Society
- [13] Jin I., Morris L.R., 1988, Centre Line Segregation in Twin Roll Cast, Continuous Casting of Non-Ferrous Metals and Alloys, The Minerals, Metals & Materials Society
- [14] Randy Beals, Rao Duvvuri, Shaun Hamer, Bruno Tatatglio, Probhakar Vangala, Chris Romanowski, 1995, Recent Innovations Advanced Casting Technology, TMS Annual Meeting

- [15] Patent number: 5,518,064, Christopher A. Romanowski, Thin Gauge Roll Casting Method, <http://www.womplex.patents.ibm.com/>
- [16] E.S. Puchi, M. Staia, C. Villalobos, A. Pineiro, 1995, Cold-Rolling and Annealing of a Commercial Twin Roll Cast Al-Fe-Si Alloy, Light Metals 1995
- [17] M. Verdier, M. Janecek, Y. Brechet, P. Guyot, 1998, Microstructural Evolution During Recovery in Al-2,5%Mg Alloys, Materials Science and Engineering 1998
- [18] Bjørn Andersen, J.E. Tibbals, 1989, Analysis of Deformation During Twin-Roll Casting, Continuous Casting of Non-Ferrous Metals and Alloys 1989
- [19] E. Kovacs-Csetenyi, A. Griger, T. Turmezey, V. Suchanek, 1990, Change of Structure and Some Mechanical Properties During Processing of AlMn(Fe,Si) Alloys, Key Engineering Materials, 1990, Vols. 44&45, Switzerland, 271-284
- [20] E. Kovacs-Csetenyi, K. Banizs, N. Kalev, 1990, Annealing Behaviour of A Cold Rolled Strip A199,2 Sheet, Key Engineering Materials, 1990, Vols. 44&45, Switzerland, 181-188

## EK A

**Tablo A.1.** Dünya genelinde yıllık birincil alüminyum üretimi [3].

| Yıl  | Ton Üretim | Yıl  | Kilo ton Üretim |
|------|------------|------|-----------------|
| 1865 | 1,1        | 1931 | 219,5           |
| 1869 | 1,5        | 1932 | 153,7           |
| 1872 | 1,8        | 1933 | 142,0           |
| 1878 | 2,0        | 1934 | 170,8           |
| 1882 | 2,0        | 1935 | 259,6           |
| 1884 | 2,1        | 1936 | 365,5           |
| 1885 | 14,0       | 1937 | 491,3           |
| 1886 | 16,0       | 1938 | 581,3           |
| 1887 | 26,0       | 1939 | 703,7           |
| 1888 | 39,0       | 1940 | 780,4           |
| 1889 | 71,0       |      |                 |
| 1890 | 180,0      | 1941 | 1029,2          |
|      |            | 1942 | 1384,8          |
| 1891 | 330,0      | 1943 | 1932,6          |
| 1892 | 480,0      | 1944 | 1696,6          |
| 1893 | 720,0      | 1945 | 823,0           |
| 1894 | 1240,0     | 1946 | 775,0           |
| 1895 | 1430,      | 1947 | 1141,0          |
| 1896 | 1800,0     | 1948 | 1210,0          |
| 1897 | 340,0      | 1948 | 1280,0          |

|      |                        |      |         |
|------|------------------------|------|---------|
| 1898 | 4100,0                 | 1950 | 1506,9  |
| 1899 | 6000,0                 |      |         |
| 1900 | 6690,0                 | 1951 | 1807,6  |
|      |                        | 1952 | 2032,3  |
|      |                        |      |         |
|      |                        | 1953 | 2453,9  |
|      |                        | 1954 | 2820,4  |
|      |                        | 1955 | 3104,7  |
|      |                        | 1956 | 3332,7  |
|      |                        | 1957 | 3389,4  |
|      |                        | 1958 | 3546,7  |
|      |                        | 1959 | 4085,9  |
|      |                        | 1960 | 4537,2  |
|      | <b>Kilo ton Üretim</b> |      |         |
| 1901 | 7,5                    | 1961 | 4587,4  |
| 1902 | 7,8                    | 1962 | 4983,9  |
| 1903 | 8,2                    | 1963 | 5400,8  |
| 1904 | 9,3                    | 1964 | 6054,9  |
| 1905 | 11,5                   | 1965 | 6586,1  |
| 1906 | 14,5                   | 1966 | 7208,7  |
| 1907 | 20,0                   | 1967 | 7933,1  |
| 1908 | 18,5                   | 1968 | 8515,0  |
| 1909 | 31,0                   | 1969 | 9459,3  |
| 1910 | 44,0                   | 1970 | 10302,0 |
|      |                        |      |         |
| 1911 | 46,0                   | 1971 | 11001,0 |

|      |       |      |         |
|------|-------|------|---------|
| 1912 | 63,0  | 1972 | 11744,2 |
| 1913 | 65,0  | 1973 | 12837,3 |
| 1914 | 84,0  | 1974 | 13953,8 |
| 1915 | 82,0  | 1975 | 12838,3 |
| 1916 | 115,0 | 1976 | 13214,3 |
| 1917 | 156,0 | 1977 | 14338,7 |
| 1918 | 180,0 | 1978 | 14768,5 |
| 1919 | 158,0 | 1979 | 15191,3 |
| 1920 | 127,1 | 1980 | 16086,3 |
|      |       |      |         |
| 1921 | 74,6  | 1981 | 15729,8 |
| 1922 | 91,8  | 1982 | 14003,6 |
| 1923 | 138,0 | 1983 | 14383,9 |
| 1924 | 169,3 | 1984 | 16025,6 |
| 1925 | 181,2 | 1985 | 15617,6 |
| 1926 | 195,8 | 1986 | 15666,8 |
| 1927 | 219,6 | 1987 | 16466,0 |
| 1928 | 256,0 | 1988 | 17530,4 |
| 1929 | 280,8 | 1989 | 18086,2 |
| 1930 | 269,7 | 1990 | 18022,0 |

## EK B

**Tablo B.1.** Önemli bazı ulusal ve uluslararası standardizasyon organizasyonları [3].

| <b>Uluslar Arası Organizasyonlar</b>                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Association Européenne des Constructeurs de Matériel Aérospatial AECMA, 88 bd. Malesherbes F-75008 France                                                                                                                    | European Aluminium Association EAA<br>Königsallee 30-Postfach 1207, D-4000 Düsseldorf                                                                                                                                                                                     |
| International Organization for Standardization ISO, 1. Rue de Varembe 1211 Genf 20 Switzerland                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Ulusal Organizasyonlar</b>                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Australia<br>Aluminium Development Council, A D C Centre, 99, Elizabeth Street AUS-Sidney, N. S. W. 2000                                                                                                                     | Austria<br>Österreichisches Normungsinstitut ÖNORM<br>Leopoldgasse 4-Postfach 130, A-1012 Wien 2<br>Fachverband der Metallindustrie, Österreichs, Bauernmarkt 13-A-1022 Wien 1                                                                                            |
| Belgium<br>Institu Belge de Normalisation NBN, Av. De la Brabançonne, 29, B-1040 Bruxelles                                                                                                                                   | Canada<br>Canadian Standart Association CSA, 77, Spencer Street, Ottawa 3, Ontario                                                                                                                                                                                        |
| France<br>Assocation Française de Normalisation AFNOR, Tour Europe, Cedex 7, F-92080 Paris La Défense<br>Fédération des Chambre Syndicales des Mineraux et des Métaux Non Ferreux FCSM, 30, Avenue de Messine, F-75008 Paris | Germany<br>Deutsches Institut für Normung DIN, Burggrafenstraße 4-10 Postfach 1107, D-1000 Berlin 30<br>Vereinigung Deutscher Schmelzhütten VDS, Graf-Adolf Straße 18, D-4000 Düsseldorf 1<br>Aluminium-Zentrale e. V., Königsallee 30 Postfach 1207, D-4000 Düsseldorf 1 |
| Japan<br>Japanese Standart Association JIS, 1-24 Akaska 5, Minateku, J-Tokyo 107<br>Japan Light Metals Association JLMA, Nihonbashi Asahiseimei Building 2, Nihonbashi Tori 2-chome, Chuo-ku J-Tokyo 103                     | Great Britain<br>British Standards Institution BSI, 2 Park Street, GB-Birmingham B15 1TN                                                                                                                                                                                  |
| Italy<br>Ente Nazionale Italiano Unificazione (UNI), Via Battistotti Sassi- 11-20133 Milano<br>Assomet, Via De Togni, 18-20123 Milano                                                                                        | Norway<br>Norges Standardiseringforbund NIS, Haakon VII'sgater N-Oslo 1                                                                                                                                                                                                   |
| Holland<br>Nederlands Normalisatie Instituut NEN, Polakweg 5 Postbus 5810, NL-2280 HV Rijswijk ZH                                                                                                                            | Spain<br>Instituto Nacional de Racionalizacion y Normalizacion UNE, Serrano 150, E-Madrid 6                                                                                                                                                                               |

|                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Sweden</p> <p>Standardiseringskommisionem i Sverige,<br/>Tegnergatan 11 Box 3 295, S-103 66 Stockolm</p> | <p>Switzerland</p> <p>Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller (VSM), Kirshenweg 4, CH-8032 Zürich</p> <p>Interessengemeinschaft der Schweiz, Aluminium Hutten, Walz und Presswerke, Postfach, CH-8048 Zürich</p> <p>Verein Schweizerischer Aluminium Industrieller, Dufourstrasse 31, CH-8008 Zürich</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>USSR</p> <p>State Committee for Standardization GOST,<br/>Lenin-Prospekt 9, SU-117049 Moscow</p>         | <p>USA</p> <p>American National Standards Institute ANSI, 1430 Broadway – New York, N.Y. 10018</p> <p>American Society of Mechanical Engineers ASME, 345 East 47th St.-New York, N.Y. 10017</p> <p>American Society for Testing and Materials ASTM, 1916 Race Street-Philadelphia, PA 19103</p> <p>American Welding Society AWS, 2501 N.W. 7th. St.-Miami, FLA 33125</p> <p>National Aeronautics and Space Administration NASA, Technology Utilization Office, Code KT-Washington D.C. 20546</p> <p>Society of Automotive Engineers Inc. SAE, 400 Commonwealth Drive-Warrendale, PA 15096</p> <p>The Aluminum Association Inc. AA, 818 Connecticut Avenue NW-Washington D.C. 20006</p> |

## EK C

**Tablo C.1.** AA standartlarına göre bazı alaşım grupları ve kimyasal bileşimleri [6].

| Alaşım      |       | Si        | Fe   | Cu       | Mn   | Mg   | Cr   | Ni | Zn   | Ga   | V    | Diger Elementler  | Ti   | Diger   |        | Minimum Alüminyum |
|-------------|-------|-----------|------|----------|------|------|------|----|------|------|------|-------------------|------|---------|--------|-------------------|
|             |       |           |      |          |      |      |      |    |      |      |      |                   |      | Herbiri | Toplam |                   |
| 1000 Serisi | 1050  | 0.25      | 0.40 | 0.05     | 0.05 | 0.05 | -    | -  | 0.05 | -    | 0.05 | -                 | 0.03 | 0.03    | -      | 99.50             |
|             | 1050A | 0.25      | 0.40 | 0.05     | 0.05 | 0.05 | -    | -  | 0.07 | -    | -    | -                 | 0.05 | 0.03    | -      | 99.50             |
|             | 1070  | 0.20      | 0.25 | 0.04     | 0.03 | 0.03 | -    | -  | 0.04 | -    | 0.05 | -                 | 0.03 | 0.03    | -      | 99.70             |
|             | 1070A | 0.20      | 0.25 | 0.03     | 0.03 | 0.03 | -    | -  | 0.07 | -    | -    | -                 | 0.03 | 0.03    | -      | 99.70             |
|             | 1080  | 0.15      | 0.15 | 0.03     | 0.02 | 0.02 | -    | -  | 0.03 | 0.03 | 0.05 | -                 | 0.02 | 0.02    | -      | 99.80             |
|             | 1080A | 0.15      | 0.15 | 0.03     | 0.02 | 0.02 | -    | -  | 0.06 | 0.03 | -    | -                 | 0.02 | 0.02    | -      | 99.80             |
|             | 1100  | 0.95Si+Fe | -    | 0.05-0.2 | 0.05 | -    | -    | -  | 0.10 | -    | -    | -                 | -    | 0.05    | 0.15   | 99.00             |
|             | 1200  | 1.0Si+Fe  | -    | 0.05     | 0.05 | -    | -    | -  | 0.10 | -    | -    | -                 | 0.05 | 0.05    | 0.15   | 99.00             |
|             | 1250  | 0.20      | 0.40 | 0.10     | 0.01 | 0.01 | 0.01 | -  | 0.05 | -    | -    | 0.02V+Ti          | -    | 0.03    | -      | 99.50             |
|             | 1350  | 0.10      | 0.40 | 0.05     | 0.01 | -    | 0.01 | -  | 0.05 | 0.03 | -    | 0.05B<br>0.02V+Ti | -    | 0.03    | 0.10   | 99.50             |



**Tablo C.1.** Devamı.

| Alaşım         |      | Si      | Fe   | Cu        | Mn      | Mg      | Cr       | Ni   | Zn   | Ga   | V    | Diğer<br>Elementler | Ti   | Diğer   |        |
|----------------|------|---------|------|-----------|---------|---------|----------|------|------|------|------|---------------------|------|---------|--------|
|                |      |         |      |           |         |         |          |      |      |      |      |                     |      | Herbiri | Toplam |
| 3000<br>Serisi | 3003 | 0.6     | 0.7  | 0.05-0.2  | 1.0-1.5 | -       | -        | -    | 0.10 | -    | -    | -                   | -    | 0.05    | 0.15   |
|                | 3103 | 0.50    | 0.7  | 0.10      | 0.9-1.5 | 0.30    | 0.10     | -    | 0.20 | -    | -    | 0.10Zr+Ti           | -    | 0.05    | 0.15   |
|                | 3004 | 0.30    | 0.7  | 0.25      | 1.0-1.5 | 0.8-1.3 | -        | -    | 0.25 | -    | -    | -                   | -    | 0.05    | 0.15   |
|                | 3104 | 0.6     | 0.8  | 0.05-0.25 | 0.8-1.4 | 0.8-1.3 | -        | -    | 0.25 | 0.05 | 0.05 | -                   | 0.10 | 0.05    | 0.15   |
|                | 3005 | 0.6     | 0.7  | 0.30      | 1.0-1.5 | 0.2-0.6 | 0.10     | -    | 0.25 | -    | -    | -                   | 0.10 | 0.05    | 0.15   |
|                | 3105 | 0.6     | 0.7  | 0.30      | 0.3-0.8 | 0.2-0.8 | 0.20     | -    | 0.40 | -    | -    | -                   | 0.10 | 0.05    | 0.15   |
|                | 3008 | 0.40    | 0.7  | 0.10      | 1.2-1.8 | 0.01    | 0.05     | 0.05 | 0.05 | -    | -    | 0.10-0.50Zr         | 0.10 | 0.05    | 0.15   |
|                | 3009 | 1.0-1.8 | 0.7  | 0.10      | 1.2-1.8 | 0.01    | 0.05     | 0.05 | 0.05 | -    | -    | 0.10Zr              | 0.10 | 0.05    | 0.15   |
|                | 3010 | 0.10    | 0.20 | 0.03      | 0.2-0.9 | -       | 0.05-0.4 | -    | 0.05 | -    | 0.05 | 0.03-0.05           | 0.10 | -       | -      |

**Tablo C.1.** Devamı.

| Alaşım      |       | Si   | Fe   | Cu   | Mn        | Mg      | Cr        | Ni   | Zn   | Ga | V | Diğer Elementler | Ti   | Diğer   |        |
|-------------|-------|------|------|------|-----------|---------|-----------|------|------|----|---|------------------|------|---------|--------|
|             |       |      |      |      |           |         |           |      |      |    |   |                  |      | Herbiri | Toplam |
| 5000 Serisi | 5005  | 0.30 | 0.7  | 0.20 | 0.20      | 0.5-1.1 | 0.10      | -    | 0.25 | -  | - | -                | -    | 0.05    | 0.15   |
|             | 5050  | 0.40 | 0.7  | 0.20 | 0.10      | 1.1-1.8 | 0.10      | -    | 0.25 | -  | - | -                | -    | 0.05    | 0.15   |
|             | 5050A | 0.40 | 0.7  | 0.20 | 0.30      | 1.1-1.8 | 0.10      | -    | 0.25 | -  | - | -                | -    | 0.05    | 0.15   |
|             | 5150  | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.03      | 1.3-1.7 | -         | -    | 0.10 | -  | - | -                | 0.06 | 0.03    | 0.10   |
|             | 5251  | 0.40 | 0.50 | 0.15 | 0.10-0.5  | 1.7-2.4 | 0.15      | -    | 0.15 | -  | - | -                | 0.15 | 0.05    | 0.15   |
|             | 5052  | 0.25 | 0.40 | 0.10 | 0.10      | 2.2-2.8 | 0.15-0.35 | -    | 0.10 | -  | - | -                | -    | 0.05    | 0.15   |
|             | 5154  | 0.25 | 0.40 | 0.10 | 0.10      | 3.1-3.9 | 0.15-0.35 | -    | 0.20 | -  | - | -                | 0.20 | 0.05    | 0.15   |
|             | 5154A | 0.50 | 0.50 | 0.10 | 0.10-0.5  | 3.1-3.9 | 0.25      | -    | 0.20 | -  | - | 0.10-0.50Mn+Cr   | 0.20 | 0.05    | 0.15   |
|             | 5154B | 0.35 | 0.45 | 0.05 | 0.15-0.45 | 3.2-3.8 | 0.10      | 0.01 | 0.15 | -  | - | -                | 0.15 | 0.05    | 0.15   |
|             | 5454  | 0.25 | 0.40 | 0.10 | 0.5-1.0   | 2.4-3.0 | 0.05-0.20 | -    | 0.25 | -  | - | -                | 0.20 | 0.05    | 0.15   |
|             | 5754  | 0.40 | 0.40 | 0.10 | 0.50      | 2.6-3.6 | 0.30      | -    | 0.20 | -  | - | 0.1-0.6Mn+Cr     | 0.15 | 0.05    | 0.15   |
|             | 5056  | 0.30 | 0.40 | 0.10 | 0.05-0.20 | 4.5-5.6 | 0.05-0.2  | -    | 0.10 | -  | - | -                | -    | 0.05    | 0.15   |
|             | 5056A | 0.40 | 0.50 | 0.10 | 0.1-0.6   | 4.5-5.6 | 0.20      | -    | 0.20 | -  | - | 0.1-0.6Mn+Cr     | 0.20 | 0.05    | 0.15   |

## **ÖZGEÇMİŞ**

27 Mayıs 1976 yılında Sakarya / Adapazarı'nda doğdum. İlk, orta ve lise tahsilimi aynı ilde tamamladıktan sonra, 1994 yılında İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başlayıp, 1998 yılında lisans eğitimimi tamamlayıp aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime başladım. 1999 yılında ASSAN Alüminyum'da çalışmaya başladım. Halen aynı firmada, soğuk haddeleme ve tav mühendisi olarak görev yapmaktayım

Ertuğrul OKUMUŞ