

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMİNİN $AlSi_5Mg$
ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes YILDIZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ÖZEL

Ocak 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SIKIŞTIRMA DÖKÜM YÖNTEMİNİN $AlSi_5Mg$
ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı

**: METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 07/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Ahmet ÖZEL
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
S. Can KURNAZ
Üye**

**Prof. Dr.
Uğur ÖZSARAÇ
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Enes YILDIZ

07/01/2019.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım için tüm laboratuvar imkanlarını bana sağlayan Liberec Teknik Üniversitesi ve çalışanlarına, anlayış ve yardımlarını esirgemeyen ayrıca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Dr. Öğr. Üyesi Jiří MACHUTA'ya teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca benim yanımda olan, destekleyen ve inanan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
DÖKÜM TEKNOLOJİSİ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Döküm Yöntemleri	4
BÖLÜM 2.	
SIKIŞTIRMA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ	9
2.1. Sıkıştırma Döküm.....	9
2.1.1. Doğrudan sıkıştırma döküm.....	10
2.1.2. Dolaylı sıkıştırma döküm	10
2.2. Sıkıştırma Döküm Süreci.....	16
2.3. Ana İşlem Parametreleri.....	18
2.3.1. Sıkıştırma döküm tekniği içeren işlem parametrelerinin ve değişkenlerin listesi	18
2.3.2. Proses parametrelerinin etkileri	19
2.3.2.1. Metal döküm sıcaklığı	19
2.3.2.2. Kalıp sıcaklığı	19
2.3.2.3. Eriyik kalitesi ve miktarı	20

2.3.2.4. Basınç uygulama sıcaklığı	20
2.3.2.5. Özel basınç seviyesi ve süresi	20
2.3.2.6. Piston hızı	21
2.3.2.7. Kalıp kaplama ve yağlama	21
2.4. Sıkıştırma Olası Döküm Kusurları	21
2.5. Sıkıştırma Dökümün Uygulama Alanları	22
 BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
3.1. Al-Si-Mg Alaşımlar	28
3.1.1. AlSi ₅ Mg özellikleri.....	30
3.2. Alüminyum alaşımlarında faydalı elementlerin etkisi.....	32
3.3. Alüminyum alaşımlarında zararlı elementlerin etkisi.....	33
3.4. AlSi ₅ Mg ingotlar.....	33
3.5. AlSi ₅ Mg alaşımlarının dökümü ve analiz için kesimi.....	36
 BÖLÜM 4.	
DENEYSEL SONUÇLAR	42
4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analiz Sonuçları ...	42
4.2. Mekanik Analiz Sonuçları	57
 BÖLÜM 5.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
5.1. Genel Sonuçlar	58
5.2. Öneriler	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Döküm sistemi	2
Şekil 1.2.	Döküm yöntemi	5
Şekil 1.3.	Harcanan kalıp	6
Şekil 1.4.	Kalıcı kalıp.....	6
Şekil 2.1.	Doğrudan sıkıştırma döküm işlemi operasyonları: (a) Kalıp boşluğuna dökme; (b) basınç altında katılaşma; ve (c) kalıptan çıkarma.....	11
Şekil 2.2.	Sıkıştırma döküm işleminin doğrudan ve dolaylı modlarını gösteren şematik diyagram.....	11
Şekil 2.3.	Metal akışını gösteren şekil: (a) geleneksel kalıp dökümü; (b) dolaylı sıkıştırma döküm işlemi	12
Şekil 2.4.	Sıkıştırma döküm sınıflandırmalarını gösteren blok şeması.....	13
Şekil 2.5.	Sıkıştırma dökümde kullanılan malzemeler	14
Şekil 2.6.	Sıkıştırma dökümde yer alan işlem adımları	17
Şekil 2.7.	Sıkıştırma dökümün şematik kurulumu	18
Şekil 3.1.	Sıkıştırma döküm için metal döküm kalıbının şeması (1. Şekil kalıp elemanı (Piston), 2. Baz metal plaka, 3. Hareketli metal plaka, 4. Döküm kalıp, 5. Ejektör, 6. Kılavuz elemanları, 7. Direnç ısıtma kalıbı ile blok, 8. İtici)	26
Şekil 3.2.	Döküm kalıbı	26
Şekil 3.3.	Isı kalıp döküm gövdesi	27
Şekil 3.4.	Kalıbın 4 farklı noktasından zamana bağlı olarak ısı miktarları ve ısınma süreleri	28
Şekil 3.5.	Al-Si-Mg sistemindeki normal fazlarda bireysel fazların alanları.....	29
Şekil 3.6.	Al-Si-Mg sisteminin (sol) mikroyapısı, Al-Mg-Si sisteminin mikroyapısı (sağ)	29

Şekil 3.7.	Tipik AlSi ₅ Mg alaşımının SEM fotoğrafları.....	33
Şekil 3.8.	Tipik AlSi ₅ Mg alaşımının EDS analizi.....	34
Şekil 3.9.	Tipik AlSi ₅ Mg alaşımının EDS analizi.....	34
Şekil 3.10.	Tipik AlSi ₅ Mg alaşımının dot-map analiz görüntüleri	35
Şekil 3.11.	Hidrolik pres CBA 300/63	35
Şekil 3.12.	Alüminyum ingotlar	36
Şekil 3.13.	Kalıptaki tahliye penceresi.....	37
Şekil 3.14.	Döküm parçasının katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılması	38
Şekil 3.15.	0 MPa (yer çekimi etkisi) basınç uygulanan parça ve kesimi.....	38
Şekil 3.16.	0 MPa basınç uygulanan parçanın kesim sonrası iç kısmı.....	39
Şekil 3.17.	150 MPa basınç uygulanan döküm parçası ve kesim sonrası iç kısmı.....	39
Şekil 3.18.	250 MPa basınç uygulanan parça ve kesim sonrası iç kısmı	40
Şekil 3.19.	Kesme cihazı.....	40
Şekil 3.20.	Mekaniz analiz testleri için hazırlanmış numuneler	41
Şekil 4.1.	Basınç uygulanmayan numunenin SEM görüntüleri (Büyütme oranları sırasıyla 100X-250X-500X-1000X)	42
Şekil 4.2.	150 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüleri (Büyütme oranları sırasıyla 100X-250X-500X-1000X)	43
Şekil 4.3.	150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	44
Şekil 4.4.	150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	45
Şekil 4.5.	Basınç uygulanmayan numunenin dot-Map analiz sonuçları	46
Şekil 4.6.	150 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüsü.....	47
Şekil 4.7.	150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	48
Şekil 4.8.	150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	48
Şekil 4.9.	150 MPa basınç uygulanan numunenin dot-Map analiz sonuçları	49
Şekil 4.10.	a), b), c), d) 250 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüleri (Büyütme oranları sırasıyla 100X-250X-500X-1000X)...	50
Şekil 4.11.	250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	51
Şekil 4.12.	250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	51
Şekil 4.13.	250 MPa basınç uygulanan numunenin dot-Map analiz sonuçları	52
Şekil 4.14.	250 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüsü.....	53

Şekil 4.15.	250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	53
Şekil 4.16.	250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi.....	54
Şekil 4.17.	250 MPa basınç uygulanan numunenin dot-Map analiz sonuçları	54



TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Döküm yöntemleri, kalıp ve metal detayları.....	8
Tablo 2.1.	Sıkıştırma dökümün diğer yöntemlerle karşılaştırılması.....	16
Tablo 3.1.	AlSi ₅ Mg alaşımın kimyasal bileşimi.....	30
Tablo 3.2.	Döküm yöntemlerine bağlı olarak AlSi ₅ Mg alaşımının mekanik özelliklerinin değerleri.....	31
Tablo 3.3.	AlSi ₅ Mg Alaşımının Kullanılan Özellikleri.....	31
Tablo 3.4.	Isıl İşlem Değerleri - Yapay ve Doğal Yaşlandırma.....	31
Tablo 4.1.	Döküm esnasında sıvı metal ve kalıbın sıcaklıkları.....	42
Tablo 4.2.	Numunelerin elde edilen mekanik özellikleri.....	55

ÖZET

Anahtar kelimeler : Al-Si-Mg alaşımları, Sıkıştırma Döküm, AlSi₅Mg alaşımı

Bu çalışmada, sıkıştırma döküm yönteminin AlSi₅Mg alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde sıcaklık ve basınç olmak üzere iki farklı parametre kullanılmıştır. Basınç değerleri sırasıyla 0 MPa, 150 MPa ve 250 MPa iken kalıbımızın sıcaklık değerleri 150°C, 174°C ve 181°C'dir. Deneyler sırasında basınç ve sıcaklık değerleri sürekli olarak takip edilmiş ve kaydedilmiştir.

Sıkıştırma döküm, basınçlı döküme benzer olmakla beraber farklı işlem basamaklarına sahiptir. En büyük farklılık kalıbın döküm öncesi ve döküm işlemi boyunca belirli bir sıcaklıkta olmasıdır. Ayrıca sıkıştırma döküm prosesinde her alaşım dökülememektedir.

Numunelerin SEM, EDS, dot-map analizleri yapılmış, mekanik özellikleri ise çekme deneyi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yüksek basınç uygulanan numunelerde daha gözeneksiz mikroyapı, pürüzsüz yüzey ve iyi mekanik değerler elde edilmiştir. Akma ve çekme mukavemetleri basınçla doğru orantılı olarak artmıştır.

INVESTIGATION OF THE EFFECT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AlSi₅Mg OF SQUEEZE CASTING METHOD

SUMMARY

Keywords : Al-Si-Mg alloys, Squeeze casting, AlSi₅Mg alloy

In this study, the effect of squeeze casting method on microstructure and mechanical properties of AlSi₅Mg alloy was investigated. Two different parameters were used temperature and pressure. While the pressure values are 0 MPa, 150 MPa and 250 MPa respectively, the temperature values of our mold are 150°C, 174°C and 181°C. During the tests, pressure and temperature values were continuously monitored and recorded.

Squeeze casting is similar to a pressure die but has different process steps. The biggest difference is that the mold is pre-cast and during the casting process that has certain temperature. Also each alloy cannot be cast in the squeeze casting process.

SEM, EDS, dot-map analyzes of the samples were made and mechanical properties were performed by tensile testing. As a result, more non-porous microstructure, smooth surface and good mechanical values were obtained in high pressure applied samples. Yield and tensile strengths increased in direct proportion with pressure.

BÖLÜM 1. DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

1.1. Giriş

Döküm, sıvı metalin uygun bir şekilde, dökülmek istenen şeklin negatifini içeren bir kalıba döküldüğü bir üretim yöntemidir. Daha sonra sıvı metal katılaşır ve soğuyan kalıptan döküm parçası çıkarılır. Döküm işlemi, çoğunlukla diğer yöntemlerle yapmanın zor ya da ekonomik olmayacağı karmaşık şekiller için yaygın olarak kullanılır.

Döküm işlemleri binlerce yıldır bilinmekte ve uygulanmaktadır. Eski çağlarda alçı kalıba döküm ile kum kalıba döküm yöntemlerinin yanısıra, özellikle günümüzde hassas döküm olarak bilinen kayıp mum dökümü, bronz heykel, değerli mücevherler, silahlar ve çeşitli aletler için yaygın bir şekilde kullanılmıştır.

Modern döküm süreci iki ana kategoriye ayrılmıştır; tek kullanımlık harcanan kalıplara döküm ve çok kullanımlık kalıcı kalıplara döküm. Bundan başka döküm yöntemleri, kum veya metal gibi kalıp malzemesi ile yer çekimi, vakum veya düşük basınç gibi dökme yöntemleri ile de ayrılır.

Metal döküm işlemlerinde aşağıdaki terminolojiler kullanılmaktadır.

Kalıp: Kalıp boşluğunu oluşturmak için kullanılan son dökümün yaklaşık kopyası.

Kalıp malzemesi: Kalıbın etrafını saran ve daha sonra döküm malzemesinin döküleceği boşluğu elde etmek için kullanılan malzeme.

Derece: Kalıplama malzemesini tutan katı ahşap veya metal çerçeve.

Üst derece: Kalıbın üst yarısı

Alt derece: Kalıbın alt kısmı

Maça: Maçalar, dökülecek parça içindeki boşluk elde edilmesi amacı ile kalıp içerisine yerleştirilen ve kalıbın diğer yerlerine göre daha fazla sıvı metal ile temas halinde oldukları için daha yüksek mekanik özellik ve daha yüksek sıcaklığa dayanım gösterecek tarzda kum ve bağlayıcı karışımı ile hazırlanan kum kütlelerdir.

Kalıp boşluğu: İstenen şekil ve boyutta ürün elde edilebilmek için tasarlanmış ve sıvı metalin gönderildiği, üretilmek istenen parçanın şeklindeki boşluktur.

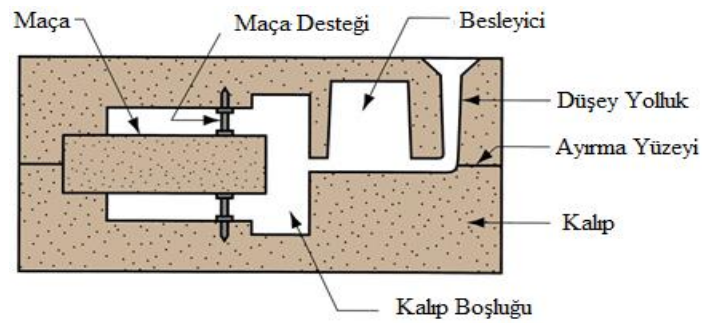
Besleyici: Katılaşma sırasında büzülme en aza indirmek için kalıp içerisinde oluşturulan sıvı metal deposu.

Yolluk Sistemi: Sıvı metali kalıp boşluklarına ileten kanalların ağı.

Yolluk: Sıvı metali döküm potasından kalıp boşluğuna ulaştırmaya yarayan kanallar.

Havalandırma delikleri: Döküm işlemi sırasında oluşan gazlar çıkışı için yapılmış ilave kanallar.

Kesme hattı veya ayırma yüzeyi: Alt ve üst dereceyi birbirinden ayıran bölüm yüzeyi [1]. Şekil 1.1.'de kum kalıptaki bazı döküm terminolojilerini gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Döküm sistemi [2]

Döküm işleminin birçok avantajı vardır. Çeşitli parçaların üretiminde, bazı durumlarda yalnızca dökümden faydalanmak yeterli olmasına rağmen, bazı durumlarda da kaynak, dövme, plastik şekil verme ve talaşlı imalat gibi üretim yöntemlerinden de faydalanmak gerekmektedir, üretim de her tekniğin yeri ayrıdır. Her yöntemin üstün olduğu ve tercih edildiği üretim kademeleri mevcuttur.

Döküm yolu ile üretimin tercih edilmesini gerektiren hususlar ve dökümün üstünlüklerine değinildiğinde; içten ve dıştan çok karışık şekilli parçalar dökülebilir. Böylece, bazı üretim yöntemleri azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir, dökme demirler gibi bazı metaller sadece döküm yolu ile üretilirler, üretim basitleştirilebilir. Döküm yolu ile parçalar tek bir işlem ile üretilirken, diğer usullerde bazı parçaların birleştirilmesi gerekir, çok sayıda ve hızlı üretim yapılabilir, diğer usullerle yapımı zor ve ekonomik bakımdan uygun olmayan büyük ve ağır parçalar dökülebilir, dökümlerin bazı mühendislik özellikler daha iyi elde edilebilir. Örnek olarak: Dökme demirde işlenebilme ve titreşime karşı koyma kabiliyeti yüksektir, dökümde özellikler her yönde aynıdır, bazı hafif metal alaşımlarında mukavemet ve hafiflik ancak dökümle sağlanır, aşınmaya karşı daha iyi özellikler dökümle elde edilebilir, döküm ekonomik avantaj sağlar.

Öncelikle, metal döküm yöntemi seri üretim için ekonomik bir yöntemdir. Pratik olarak ergitilebilen her malzeme dökülebilir. Sıvı metal, yolluk sisteminden döküm boşluğuna akar. Bu nedenle herhangi bir karmaşık şekil kolayca üretilir. Yöntem ile küçük gram mertebesinde 200 ton ağırlığındaki büyük boyutlu parçalara kadar her boyutta döküm üretimi yapılabilir. Makine parçaları, gemi pervanesi vb. gibi ağır ekipmanlar, döküm yöntemi ile kolayca üretilir. Gaz türbinleri için sürünme dirençleri yüksek olan metal esaslı alaşımlar ve işlenmesi zor olan metal ve alaşımlar da sadece döküm yolu ile üretilir.

Bu avantajların yanı sıra çeşitli dezavantajları da vardır. Çok ince kesitlerin elde edilmesi güçtür, az sayıda parça üretimi için genellikle ekonomik değildir, aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemleri (örneğin dövme) ile elde edilmiş olanı, dayanım bakımından genellikle daha üstündür, genellikle hassas boyut toleranslarının ve iyi yüzeyin kalitelerinin sağlanması güçtür ve çevre dostu bir imalat yöntemi değildir [3].

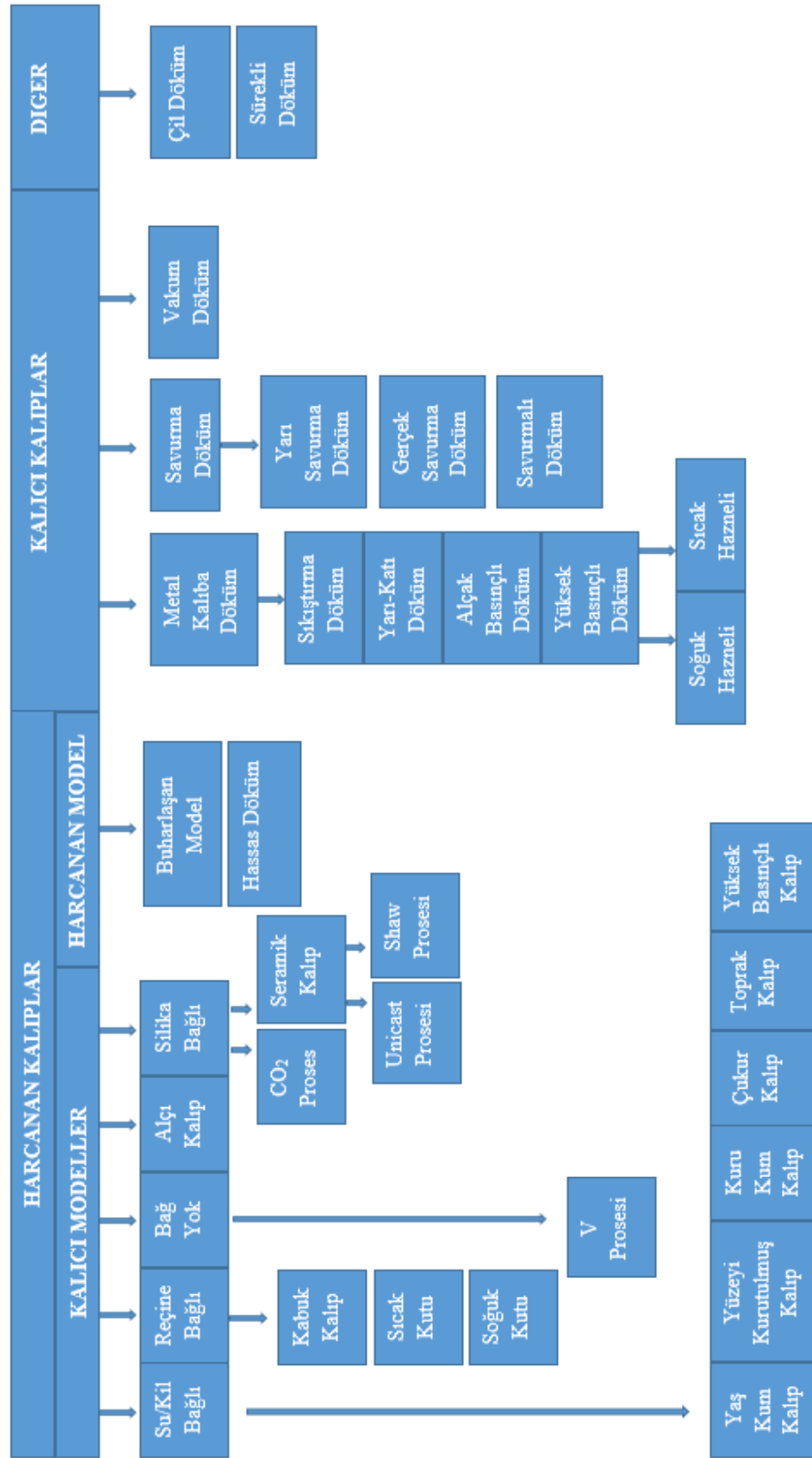
1.2. Döküm Yöntemleri

Döküm yöntemlerini kalıplama tekniklerine göre sınıflandırırsak; Harcanan kalıba döküm ve kalıcı kalıplara döküm şeklinde iki gruba ayırabiliriz.

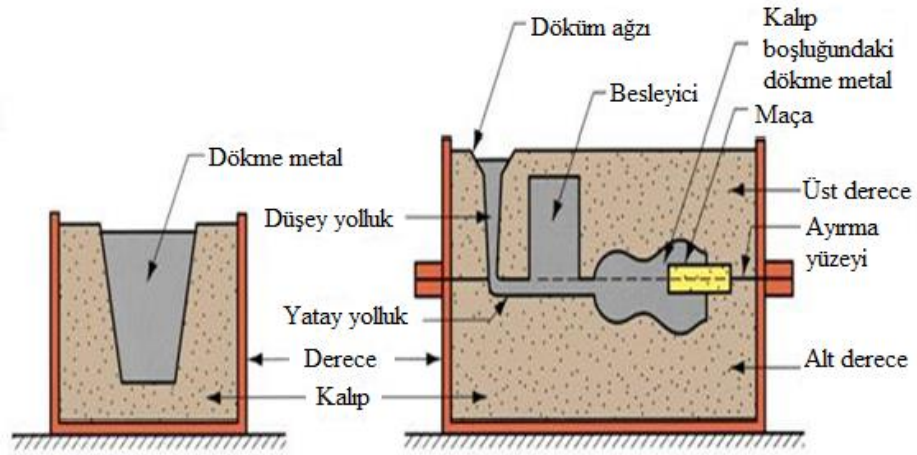
Harcanan kalıp yöntemleri; katılaşma sonrası döküm parçayı çıkarmak için bozulması gereken bir kalıp kullanır. Kalıp malzemeleri: kum, alçı ve benzer malzemeler, ayrıca bağlayıcılarıdır.

Kalıcı kalıp yöntemleri; çok sayıda döküm üretmek için tekrar tekrar kullanılacak bir kalıcı kalıp kullanır. Metalden (veya nadiren) seramik bir refrakter malzemeden yapılır.

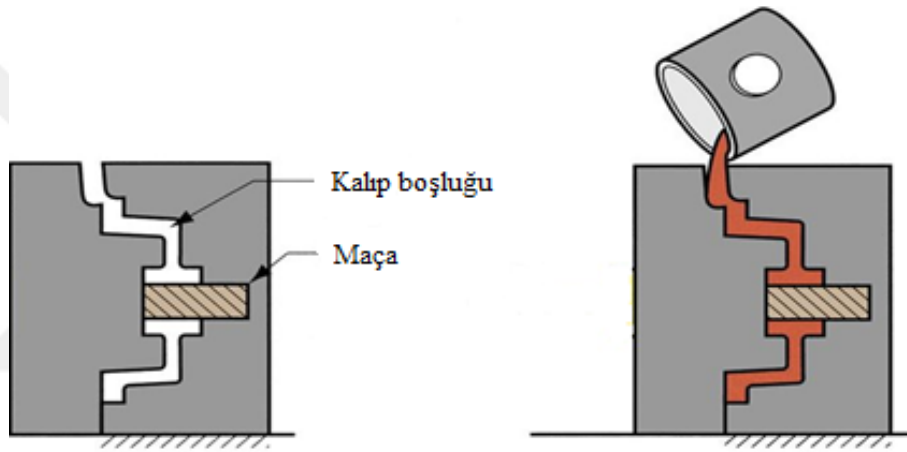
Şekil 1.2.'de döküm yöntemleri kalıplama tekniklerine göre detaylı olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 1.2. Döküm yöntemleri [3]



Şekil 1.3. Harcanan kalıp [3]



Şekil 1.4. Kalıcı kalıp [3]

Kum kalıba döküm esnek ve ucuz bir işlemdir. Kalıp malzemesi olarak kum kullanılır. Bağlayıcılık özelliği ve kalıp mukavemetini artırmak için küçük miktarlarda diğer malzemelerle karıştırılan kum taneleri, istenen döküm şeklindeki bir kalıp etrafına sarılır. Bu yöntemle çok çeşitli boyut ve ayrıntıları içeren döküm ürünleri üretilebilir. Yöntemde her döküm için yeni bir kalıp yapılır ve metalin kalıba dolması için yerçekimi kullanılır [3].

Kalıcı kalıba döküm, Bu yöntemde çok sayıda döküm üretmek için tekrar tekrar kullanılabilen bir kalıcı kalıp kullanılır. Metalden (veya nadiren) seramik bir refrakter malzemeden yapılırlar. Yalnızca yerçekimi kuvveti kullanılarak iki veya daha fazla parçaya sahip kalıp boşluğuna sıvı metal doldurulur. Katılaşmadan sonra kalıp açılır

ve döküm parçası çıkarılır. Kalıp tekrar birleştirilir ve döngü tekrarlanır. Kalıplar ya metal ya da grafitir ve dolayısıyla kalıcı kalıba döküm yöntemleri daha düşük erime noktasına sahip demir dışı metaller ve alaşımlarla sınırlandırılmıştır.

Basınçlı döküm, sıvı metalin metal kalıplara basınçla gönderildiği ve katılaşma sırasında basınç altında tutulduğu için sıradan kalıcı dökümlerden farklıdır. Dökümlerin çoğu düşük ergime sıcaklığından dolayı, demirdışı metallerden ve alaşımlardan yapılır ancak önemli miktarlarda demir dökümleri de basınçlı döküm ile üretilmektedir. Basınçlı döküm için uygun özel çinko, bakır ve alüminyum bazlı alaşımlar geliştirilmiş ve bu sayede işlemin çok yaygın kullanılmasına katkıda bulunulmuştur. Döküm kalıpları genellikle sertleştirilmiş takım çeliğinden imal edildiğinden, yapmak pahalıdır. Buna ek olarak, kalıp bölümleri dökümün çıkmasını sağlayan pimleri içermelidir.

Kalıbın yalnızca bir kez ve mum modellerin kullanıldığı döküm işlemine "kayıp mum" veya "hassas döküm" denir. Bu yöntemde, balmumu veya plastiklerden bir model oluşturulur. Daha sonra bunlar bir salkıma monte edilerek, bir seramik tankına daldırılır ve balmumu salkımının etrafı seramik kabuk ile kaplanır. Elde edilen kalıplar kurutulup pişirildikten sonra balmumunun eriyerek uzaklaştığı kalıp boşluklarına döküm yapılır. Metal soğutulduğunda, kalıp malzemesi titreşimli çekiçlerle veya kabuklar kırılarak çıkarılır. Diğer dökümlerde olduğu gibi yolluklar ve besleyiciler kesilir [4].

Tablo 1.1.'de görüleceği üzere sıvı metalin kalıba giriş şekli ve kalıba giren metalin durumuna göre de gruplandırma yapılabilir.

Tablo 1.1. Döküm yöntemleri, kalıp ve metal detayları [4]

Döküm Yöntemleri	Kalıp Malzemesi	Sıvı Metalin Kalıba Giriş Şekli	Metalin Durumu	Kalıp Boşluğunun Durumu
Kum Kalıba Döküm	Kum (Su, kimyasallar ve bağlayıcılar içeren kil)	Yer çekimi	100 % sıvı	Hava
Kalıcı Kalıba Döküm	Metal	Yer çekimi	100 % sıvı	Hava
Metal Kalıba Döküm	Metal	Basınç	100 % sıvı	Hava
Hassas Döküm	Seramik	Yer çekimi	100 % sıvı	Hava
Dolu Kalıba Döküm	Kum	Yer Çekimi	100 % sıvı	Strafor PMMA
Sıkıştırma Döküm Thicocasting ve Rheocasting	Metal	Basınç	50 % sıvı-katı dengeli	Hava
İngot döküm	Metal	Yer çekimi	100 % sıvı	Hava

Sıvı metali dövme olarak da bilinen sıkıştırma döküm, erimiş metalin, hidrolik bir presin plakaları arasına yerleştirilen kapalı kalıplar içerisinde basınç altında katıldığı bir işlemdir. Sıkıştırma dökümü, sıvı metalin önceden ısıtılmış bir yağlanmış kalıba dökülmesini ve metal katılaşırken dövülmesini içerir. Dövme kuvveti, metal katılaşmaya başladıktan kısa bir süre sonra uygulanır ve tüm döküm katılaşana kadar korunur. Dökümde basınç kullanımı, kapalı kalıp dövme işleminde olduğu gibi yapılır. Uygulanan basınç ile gözeneksiz, ince taneli döküm yapısı elde edilir.

Sıkıştırma döküm yöntemi ilk olarak 1960 yılında ABD'de tanıtılmıştır ve o zamandan beri yaygın kabul gören bir tekniktir [4].

BÖLÜM 2. SIKIŞTIRMA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

2.1. Sıkıştırma Döküm

Döküm parçalar, her biri çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahip olan çok farklı farklı yöntemler ile üretilmektedir. Yüksek basınçlı döküm gibi geleneksel döküm işlemlerinin ana dezavantajı, ürünlerin mekanik özelliklerini, bütünlüğünü ve güvenilirliğini azaltan gaz ve büzülme gözenekleri gibi kusurların oluşmasıdır. Sıkıştırma döküm, yüksek basınçlı dökümlerde görülen bu eksiklikleri gidermek için düşünülmüş ve kaliteli döküm parçaları üretmek için geliştirilmiş yüksek potansiyele sahip modern döküm işlemlerinden biridir. Döküm ve dövme işlemlerinin bir kombinasyonu olarak kabul edilebilen bu işlemde, katılaşma sırasında sıvı metale yüksek bir basınç uygulanır. Bu harici basınç, katılaşmanın sonuna kadar eriyik üzerinde tutulur. Kuzey Amerika Döküm Birliği (NADCA), sıvı metalin en düşük türbülans hızı ile kalıba girişini sağlamak, ve çözelti ısıl işlemi olmaksızın yüksek kaliteli dökümler üretmek için, sıvı metale basınç uygulanan bir döküm işlemi olarak sıkıştırma dökümü tanımlamaktadır [5].

Genel olarak, sıkıştırma döküm üretimi, mükemmel yüzey kalitesi ile bilinir ve neredeyse gözeneksizdir. Çeşitli şekil ve boyutlarda üretilebilirler. Bu yöntem ile bu parçaların mekanik özellikleri, basınç veya yer çekimi ile yapılan dökümlerden önemli ölçüde özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamıştır. Araştırmacılara göre akma dayanımı %10-15, uzama ve yorulma mukavemeti %50-80 oranında artmıştır. Sıkıştırma döküm ile imal edilmiş bileşenlerin daha iyi kaynaklanabilirlik ve daha iyi özelliklerde olduğu ileri sürülmektedir. Buna ek olarak, sıkıştırma döküm yönteminde, herhangi bir besleme sistemi, çekinti veya büzülme telafi edici üniteler kullanmaksızın gerçekleştirilebildiğinden, geri dönüşüm için neredeyse hiç besleyici döngüsüne sahip olmadığından verim oldukça yüksektir [6].

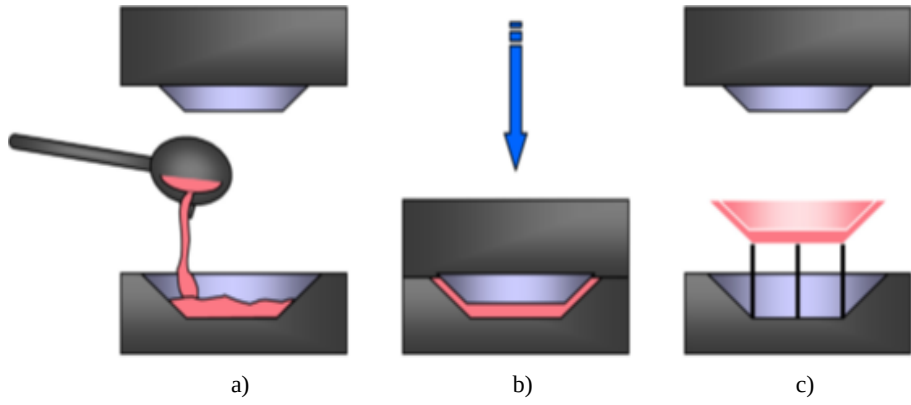
İki tip sıkıştırma döküm işlemi vardır; doğrudan ve dolaylı sıkıştırma döküm yöntemleri. Her iki işlem türünde de, sıvı metal, minimum türbülans ile kalıp boşluğuna dökülür ve kapatılan kalıplar içinde çok yüksek basınç altında (tipik olarak 100 MPa'nın üzerinde) katılaştırılır.

2.1.1. Doğrudan sıkıştırma döküm

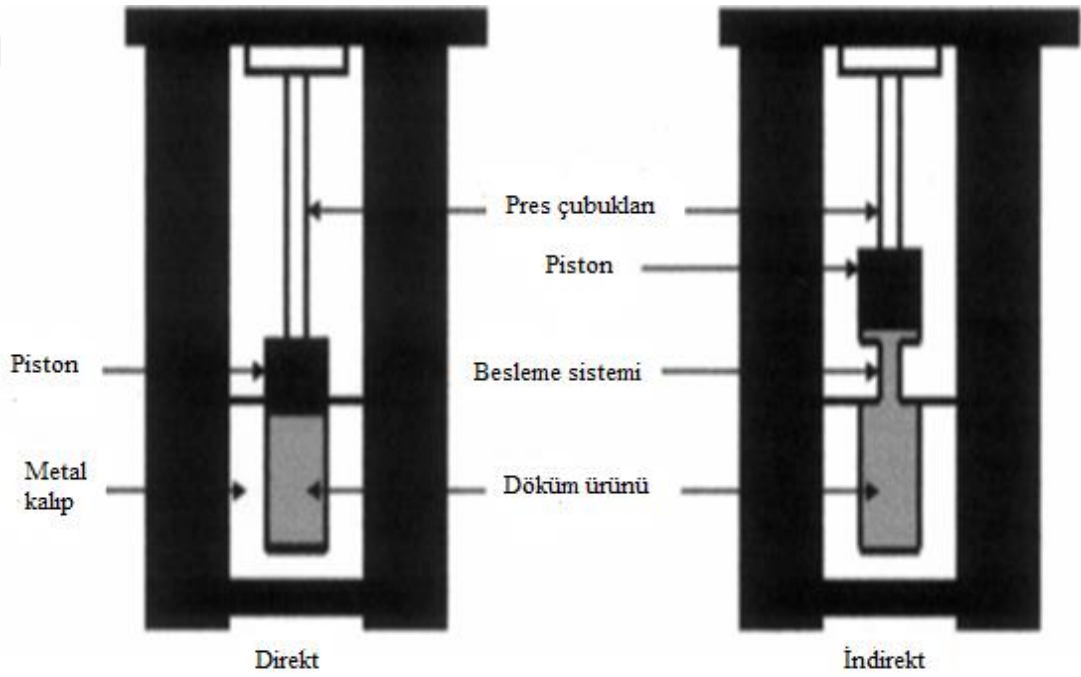
Doğrudan sıkıştırma döküm (DSC) sıvı metal dövme olarak adlandırılır. Doğrudan sıkıştırma işlemi, sıvı metalin önceden ısıtılmış, yağlanmış bir kalıba dökülmesinden ve katılaşıırken metalin şekillendirilmesinden oluşur. Basınç, metal katılaşmaya başladıktan kısa bir süre sonra uygulanır ve tüm döküm katılaşmaya kadar korunur [7].

2.1.2. Dolaylı sıkıştırma döküm

Doğrudan sıkıştırma döküm genellikle dikey bir makinede (bir dövme presine benzer şekilde) yapılırken, dolaylı sıkıştırma döküm (ISC), hem dikey hem de yatay makineleri kullanır ve geleneksel yüksek basınçlı dökümlere daha yakındır. “Yatay Dikey Sıkıştırılmalı Döküm” (HVSC) işlemi gibi dolaylı bir sıkıştırma döküm işlemi sırasında, erimiş magnezyum (tercihen kapalı bir tüp içinde) nispeten düşük hızda (genellikle 0,5 m/s'nin altında) kalıp boşluğuna enjekte edilir. Kalıp boşluğundaki sıvı metal piston tarafından uygulanan yüksek basınç altında katılaşıp. Şekil 2.1.'de doğrudan sıkıştırma döküm işlemi aşamaları, Şekil 2.2.'de, geleneksel döküm ve dolaylı sıkıştırma döküm yöntemleri karşılaştırılmaktadır. ISC prosesinde azaltılmış enjeksiyon hızı, kalıp boşluğunun düzlemsel olarak doldurulmasını ve böylece dökümlerdeki sıkışmış gazların ortadan kaldırılmasını sağlar [8].

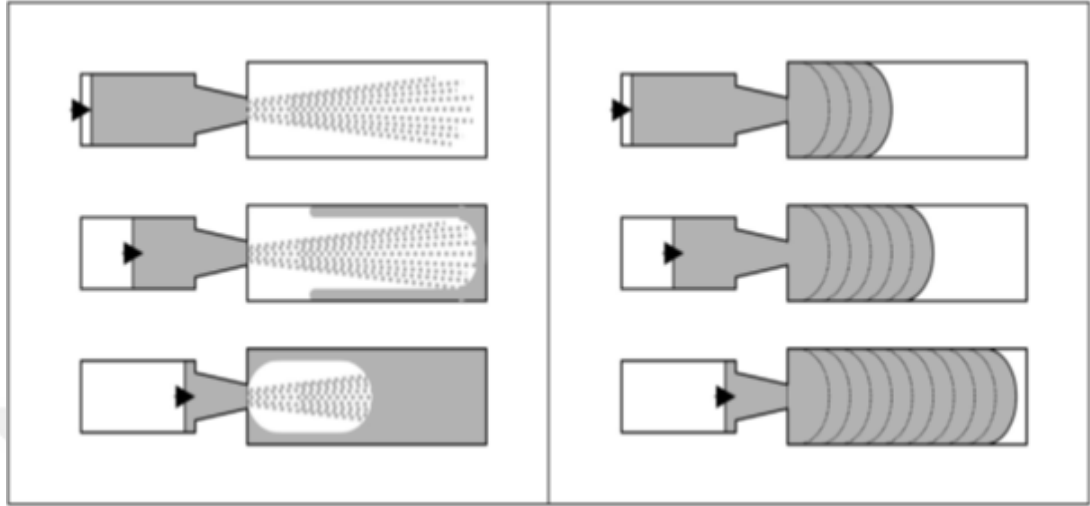


Şekil 2.1. Doğrudan sıkıştırma döküm işlemi aşamaları: (a) Kalıp boşluğuna dökme ; (b) basınç altında katılaşma; ve (c) kalıptan çıkarma [9]

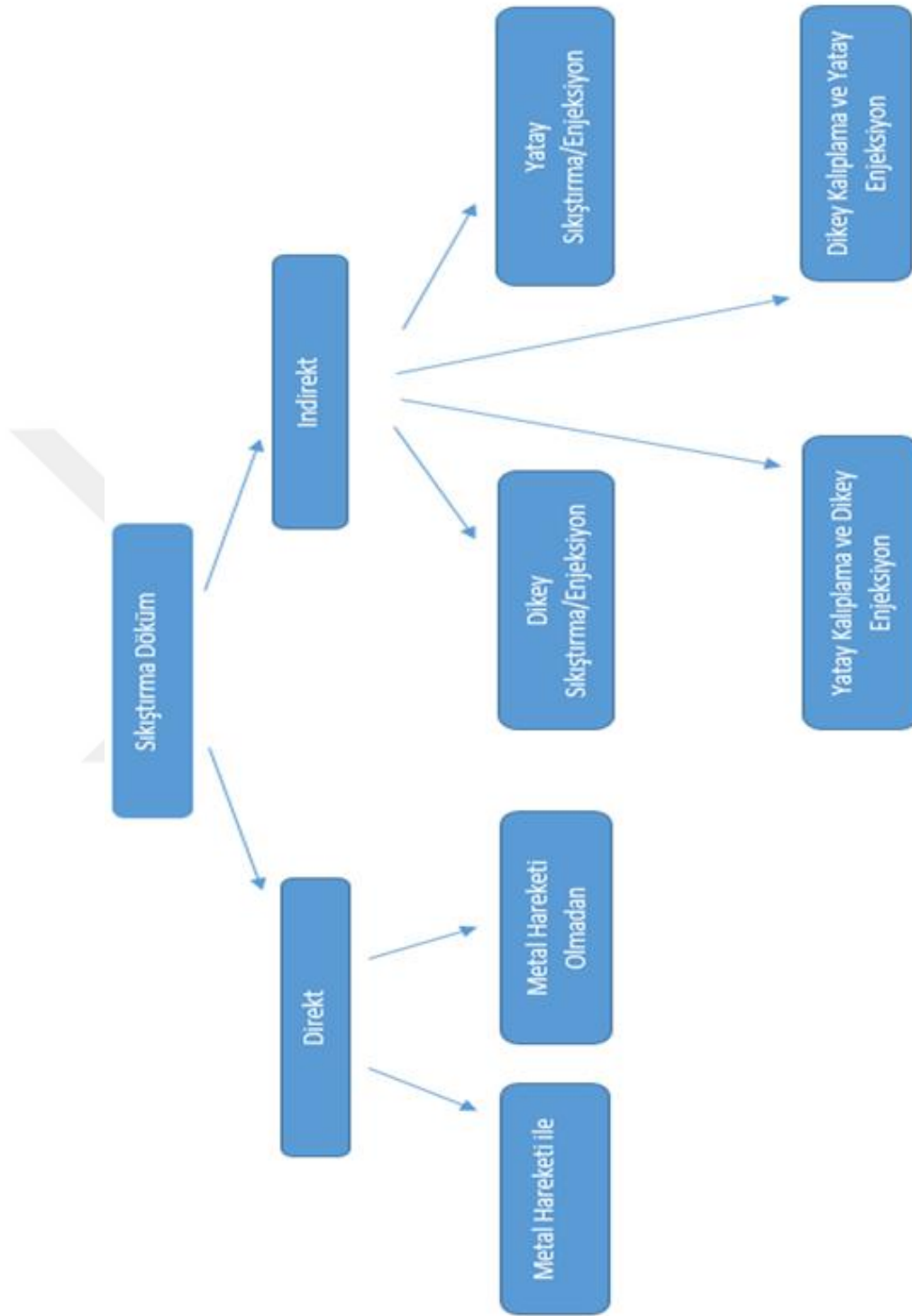


Şekil 2.2. Sıkıştırma döküm işleminin doğrudan ve dolaylı yöntemlerini gösteren şematik diyagram [10]

Şekil 2.3.'de ise metal akışının geleneksel kalıp dökümü yöntemi ile dolaylı sıkıştırma yöntemi arasındaki fark gösterilmiştir.

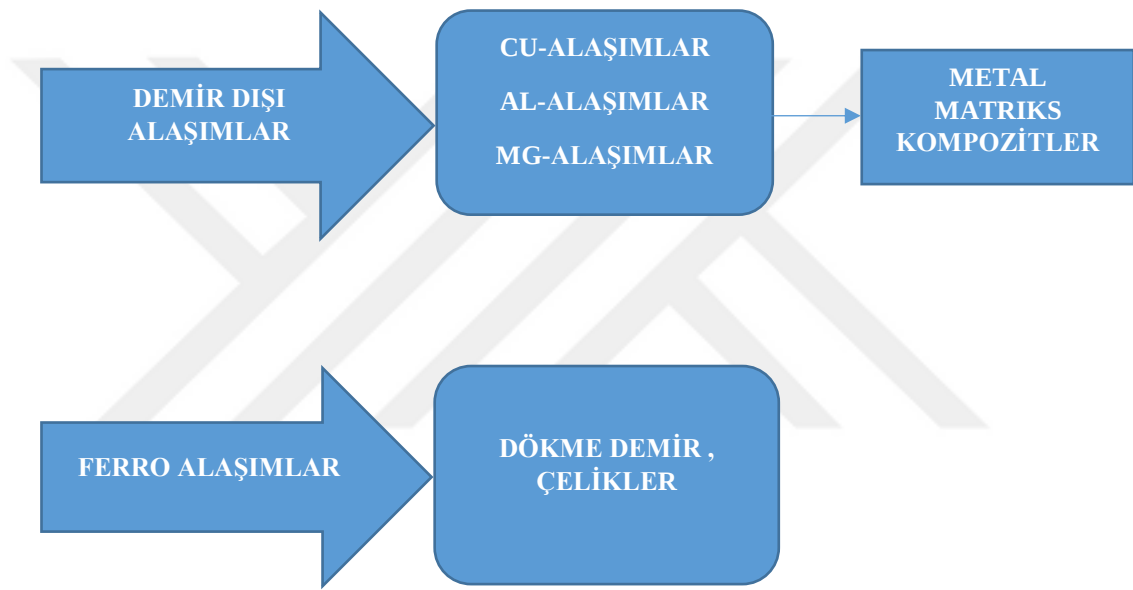


Şekil 2.3 Metal akışını gösteren şekil: (a) geleneksel kalıp dökümü; ve (b) dolaylı sıkıştırma döküm işlemi [9]



Şekil 2.4. Sıkıştırma döküm sınıflandırmalarını gösteren blok şeması [9]

Magnezyum, alüminyum ve bu iki metal ile alaşımlı metaller genellikle ergime sıcaklıkları ve çeşitli kullanım alanlarına sahip olmaları nedeniyle sıkıştırma döküm yönteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların dışında birçok farklı metal de kullanılabilir. Ancak cıva gibi metalin oda sıcaklığında sıvı olduğu durumlar veya plütonyum gibi tehlikeli radyoaktif elementlerin dışında, ergime noktası yüksek olan metallerde bu proses için uygun değildir. Bunun nedeni yüksek sıcaklıktaki sıvı metalin kalıba zarar vermesidir. Bunun dışında düşük veya orta derece ergime sıcaklığına sahip her metal bu proses için kullanılabilir [10].



Şekil 2.5. Sıkıştırma dökümde kullanılan kalıp malzemeleri [10]

Katılaşma sırasında erimiş metal üzerine basınç uygulanması aşağıdaki etkilere neden olabilir:

1. Erime noktasındaki değişim: Çoğu metal ve alaşımın erime noktası (sıvılaşma sıcaklığı) basınç altında artar. Artış Clausius–Clapeyron denklemini karşılar. Bu özellik, eriyik sıcaklığı ve basınç uygulamasının zamanlaması doğru bir şekilde kontrol edildiğinde, basınç uygulanarak eriyik içinde ani büyük alt soğutma oluşturmak için kullanılabilir.

2. Katılma oranının değiştirilmesi: Döküm işlemlerinin çoğunda, kalıp ve dökümün katılmış dış kabuğu arasında döküldükten kısa bir süre sonra bir hava boşluğu oluşur. Bu, kabuğun aynı anda büzülmesine ve kalıbın genişlemesine bağlıdır. Hava boşluğu oluşumu ısı iletim mekanizmasını iletmeden konveksiyona ve radyasyona değiştirir ve ısı transfer oranında önemli bir azalmaya neden olur ve sonuç olarak soğutma hızını azaltır. Sıkıştırma dökümde, dökümdeki uygulanan basınç nedeniyle hava boşluğu oluşumu ortadan kaldırılır ve bu nedenle ısı transferi ve soğutma hızı önemli ölçüde artar. Daha yüksek soğutma hızı, özellikle yukarıda belirtildiği gibi büyük bir alt soğutma ile birleştinde, yapıda ve mekanik olarak önemli iyileştirmelere neden olabilir.

3. Yapısal değişiklikler: Uygulanan basınç, eriyiğın soğuma hızını ve alt soğutmasını etkileyerek yapısal değişikliklere neden olur. Bu yapısal değişiklikler arasında dendrit kol aralığı (DAS) azalması, yapısal özelliklerin daha homojen dağılımı ve intermetalik fazların arıtılması ve modifikasyonu yer alır. Bu faktörler, sıkıştırma döküm bileşenlerinin mekanik özelliklerinde iyileşmeye neden olur.

4. Gaz ve büzülme gözeneklerinin azaltılması: Eriyikteki gaz çözünürlüğünün uygulanan bir basınç altında arttığı gösterilmiştir. Bu gaz kabarcık çekirdeklenmeyi daha zor hale getirir. Bir dökümün katılaştırılması sırasında harici bir basıncın uygulanmasının farklı besleme mekanizmalarını harekete geçirdiği ve büzülme gözenekliliğinin oluşumunu engellediği de iyi bilinmektedir. Sonuç olarak, yeterince yüksek bir basınç kullanılırsa, hem gaz hem de büzülme gözeneklerinin oluşumu tamamen ortadan kaldırılabilir.

Yukarıdaki değişikliklerin bir sonucu olarak, sıkıştırılmış döküm bileşenleri geleneksel olanlara kıyasla üstün mekanik, mikro ve makro yapısal özelliklere sahip olabilir. Bu görevin anahtarı, işlem değişkenlerinin kontrol edilmesidir. Dökümlerin kalitesini etkileyen en önemli parametreler, uygulanan basınç, eriyik sıcaklığı ve kalıp ön ısıtma sıcaklığı yoğunluğudur [5].

Tablo 2.1.'de diğer yöntemlerle sıkıştırma dökümünün karşılaştırmasını göstermektedir. Rakamlar kalite sırasını anlatmaktadır. Buna göre 4 numara en iyi kaliteyi gösterirken iken 1 numara kötü ve zayıf özellikleri temsil eder.

Tablo 2.1. Sıkıştırma dökümün diğer yöntemlerle karşılaştırılması [11]

	Düşük Basınçlı Döküm	Yüksek Basınçlı Döküm	Vakum Döküm	Thixo - moulding	Yarı Katı Form	Sıkıştırma Döküm
Oluşum Süresi	2	3	2	4	1	3
Son Yüzey	2	4	2	4	4	4
Gaz Boşlukları	3	1	3	3	3	4
Büzülme Gözenekleri	1	1	1	4	4	4
Isıl İşlenebilirlik	4	1	4	4	4	4
Kaynaklanabilirlik	4	1	4	4	4	4

Sıkıştırma döküm işleminin birçok avantajı ve dezavantajı vardır.

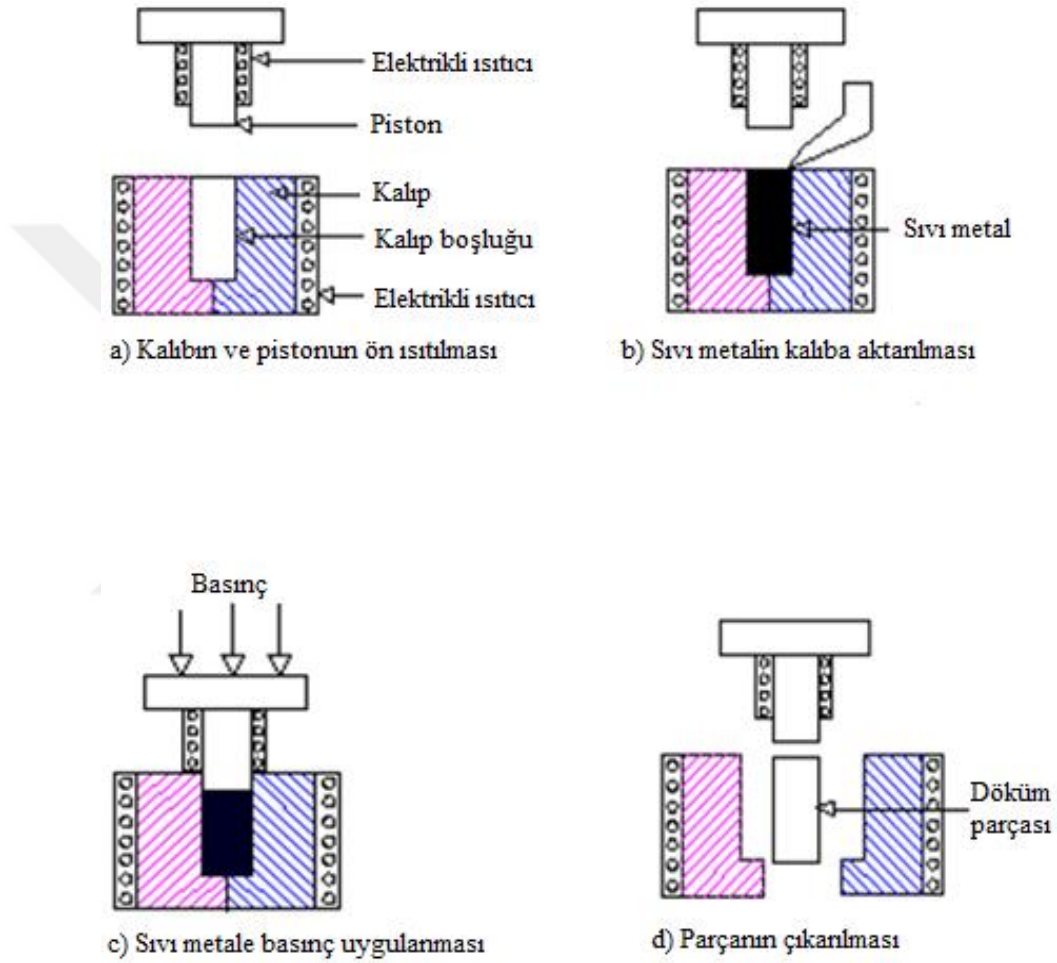
Diğer üretim yöntemlerinden daha geniş bir şekil ve bileşen yelpazesi sunar. Döküm parçası ya az işlem gerektirir ya da hiçbir işlem gerektirmez. Sıkıştırma döküm işleminin üretimleri, düşük seviyede gözeneklilik, iyi yüzey dokusu ve daha yüksek mukavemetli bileşenlere sahip ince mikro yapılara sahiptir. Ayrıca atık malzeme yoktur, malzemenin %100 kullanımı vardır. Ancak karmaşık takım maliyetleri nedeniyle maliyetler çok yüksektir. Özel bileşenler için takım maliyeti olarak esneklik yoktur. Aşamalar ve süreç çok önemlidir ve iyi kontrol edilmelidir çünkü maliyetleri arttırabilir. Yüksek maliyetler, ekipman yatırımını haklı çıkarmak için yüksek üretim hacimlerinin gerekli olduğu anlamına gelir [12].

2.2. Sıkıştırma Döküm Süreci

Sıkıştırma döküm işlemi aşağıdaki adımları içerir ve Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.

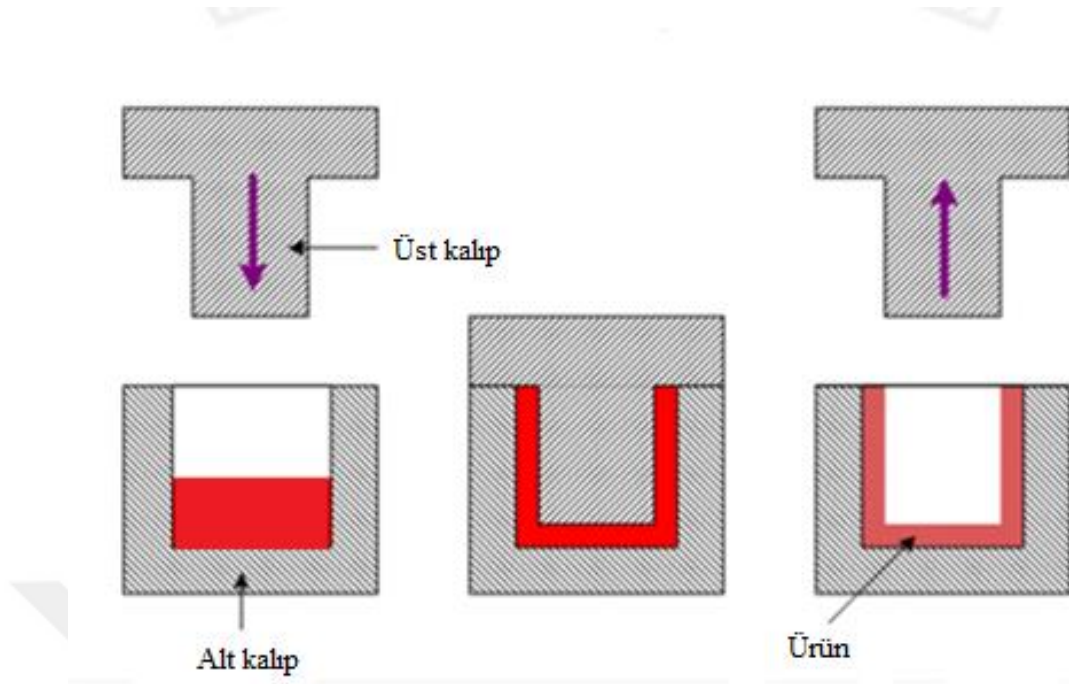
Önceden belirlenmiş bir miktarda sıvı metal, bir hidrolik presin yatağında bulunan önceden ısıtılmış bir kalıp boşluğuna dökülür. Pres, kalıp boşluğunu kapatmak ve sıvı metali basınçlandırmak için aktive edilir. Bu çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilir ve erimiş metalin basınç altında katılaşmasını sağlar. Basınç, metal tamamen katılaşıp

kadar tutulur. Bu sadece ısı akış hızını arttırmaz, aynı zamanda en önemlisi makro/mikro büzülme gözenekliliğini ortadan kaldırabilir. Ayrıca, gaz gözenekliliğinin çekirdeklenmesinin basınca bağımlı olması nedeniyle, sıvı metaldeki çözünmüş gazlara bağlı gözenek oluşumu sınırlandırılmaktadır. Son olarak piston ve bileşen dışarı çıkarılır.



Şekil 2.6 Sıkıştırma dökümde yer alan işlem adımları [13]

Ayrıca, sıvı metal, Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi, basınç altında amaçlanan boşluğu doldurmak için sıvı metal kalıp boşluğuna dökülür. Arzu edildiği takdirde metal matris içine karıştırılmış SiC veya Al_2O_3 fiberleri ile fiber takviyeli döküm işlemi de başarılı bir şekilde sıkıştırılmış döküm yöntemi ile elde edilebilir. Bu yöntem ticari olarak otomobil pistonları üretmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sıkıştırma döküm yöntemi ince veya daha küçük boyutlu parçalarla sınırlıdır.



Şekil 2.7 Sıkıştırma dökümün şematik kurulumu [14]

2.3. Ana İşlem Parametreleri

2.3.1. Sıkıştırma döküm tekniği içeren işlem parametrelerinin ve değişkenlerin listesi

Sıkıştırma döküm yönteminin gelişmesi, otomotiv parçaları için olduğu gibi rekabetçi pazarlarda giderek daha fazla talep edilen karmaşık, hafif alüminyum parçaları üretmek için döküm endüstrisine yeni seçenekler sunacaktır. Bu, alternatif metallere karşı alüminyum için daha düşük ergime sıcaklığı nedeniyle ergime ile ilgili enerji tasarrufu sağlanacaktır. Sıkıştırma döküm yönteminde proses parametreleri çok önemlidir ve aynı zamanda optimize edilmelidir. Bu parametreler, sıvı metal döküm sıcaklığı, eriyik kalitesi ve miktarı, ön ısıtma sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, uygulanan sıkıştırma basıncı, basınçlandırma oranı, basınç uygulama süresidir.

Bu, kaliteli kompozit dökümler elde etmek için sıkıştırma döküm işleminde yer alan farklı değişkenlerin kontrol edilmesine yardımcı olur. Önemli olduğu belirlenen en önemli parametreler kalıp sıcaklığı ve kalıpları doldururken sıvı alüminyum alaşımına uygulanan sıkıştırma basıncını kontrol edilmesidir [15].

2.3.2. Proses parametrelerinin etkileri

2.3.2.1. Metal döküm sıcaklığı

Sıvı metalin kalıp boşluğuna döküldüğü sıcaklık, dökümün kalitesi ve kalıp ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yolluk sistemi kısa olduğundan, diğer döküm yöntemlerine göre daha düşük döküm sıcaklıkları kullanılabilir. Kalıbın dolum detayları öncelikle basınçlandırma ile gerçekleştirilir. Çok düşük bir döküm sıcaklığından kaçınılmalıdır, çünkü düşük sıcaklık, özellikle kalıbın dolması ve soğuk birleşme kusurlarına neden olabilir. Çok yüksek bir döküm sıcaklığı ise, eğer metal piston ve sıcak yırtılma arasında sıkışırsa pistonda problemlere yol açabilir. Kalıp ömrü yüksek döküm sıcaklıklarından olumsuz etkilenir.

Alüminyum alaşımları için, döküm sıcaklığı likidüs sıcaklığının 20°C ve 100°C aralığında değişebilir. Dar katılaşma aralıkları, kalıp çeperiyle temas halinde olduktan hemen sonra katı tabakalar oluşturma eğilimindedir ve bu nedenle bu alaşımlar için daha yüksek bir süper-ısıtma kullanılır.

2.3.2.2. Kalıp sıcaklığı

Kalıp sıcaklığı, çok önemlidir ve kontrol edilmelidir. Çok düşük bir kalıp veya piston sıcaklığı, erken katılaşmaya ve dökümde soğuk birleşme kusurlarına neden olabilir. Çok yüksek bir kalıp sıcaklığı ise, yüzey kusurlarına ve dökümün kalıp ile birleşmesine neden olabilir. Alüminyum alaşımlar için genellikle 300°C'ın üzerindeki sıcaklıklar tavsiye edilmez. Her alaşım ve ürün tasarımı için doğru çalışma sıcaklığı belirlenmelidir.

2.3.2.3. Eriyik kalitesi ve miktarı

Sıvı metalin doğru miktarlarda kalıp boşluğuna dökülmesi işlemi prosesin en önemli adımıdır. Bu problemi çözmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Fazla metal azar azar arttırılarak dökülebilir veya döküm işlemi kritik olmayan bir alanda aşırı

genişlemesine izin verilir. Lynch'in önerdiği bir başka varyasyon da, kalıptaki tam metal miktarını kontrol etmek için bir dengeleyici hidrolik piston ve silindir kullanır. Fazla metal, bileşene bir eklentinin oluşturulmasına izin verilerek yerleştirilir. Boyutların yakın kontrolü için kalıp sistemine bir tahliye sisteminin kullanılması da mümkündür.

2.3.2.4. Basınç uygulama sıcaklığı

Bazı araştırmacılar, uygulanacak en yüksek basınç için en iyi zamanın, metalin sıvılaşıma ve katılaşma sıcaklıkları arasında ortada olduğu zaman olduğunu öne sürmektedir. Ancak bu zaman diliminde sürekli bir katı faz oluşur ve metal akışkanlığının çoğunu kaybeder. Diğer varyasyon, basınç uygulandığında metalin çoğunlukla sıvı olmasıdır. Sıcaklığın kontrolü esas olarak gecikme süresi, yani dökme ve basınç uygulaması arasındaki zaman aralığıdır. Bu süre, eriyik sıcaklığına ve bileşen sıcaklığına bağlı olarak değişecektir. Büyük alüminyum bileşenler için bu gecikme süresi bir dakikaya ulaşabilir.

2.3.2.5. Özel basınç seviyesi ve süresi

Deneyisel kanıtlar, büzülme ve gaz gözenekliliğini ortadan kaldırmak için gerekli minimum basınçların, demir dışı materyallerin çoğunluğu için 30 ila 108 MN/m² aralığında olduğunu göstermektedir. Gerçek basınç seviyeleri alaşım özelliklerine ve bileşen geometrisine bağlıdır. Basınç seviyesini belirleyen faktörler: Alaşımın katılaşma sıcaklığına yakın akış stresi, alaşım tanelerinin büyüme morfolojisi ve alaşımın katılaşma aralığı. Basınç uygulama zamanlaması, alaşım tipi, döküm konfigürasyonu ve ısı transferi koşulları ile belirlenir. Katılaşma tamamlandığında, basınç artık gerekli değildir. Tutma süresinin uzatılması, kalıbın çatlamasına ve dökümün ısı büzülmesine bağlı olarak piston çekilmesine neden olabilir. Maksimum tutma süresi için bir başparmak kuralı, kesit kalınlığının mm'si başına yaklaşık bir saniyedir.

2.3.2.6. Piston hızı

Çoğu pratik amaç için, metal ile temas edildiğinde piston hızı 0,5 m/sn veya daha az olmalıdır. Daha yüksek hızlar, dökümdeki inklüzyonlar veya kalıp parçalarının genişlemesi ve eklemlerde ve ayırma hatlarında kalıp üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Kalıp ve piston arasındaki mesafe büyük olduğunda, metal yüzeye hızlı bir yaklaşım ve ardından daha yavaş bir darbe hızı ile iki hızlı bir hareket kullanılabilir.

2.3.2.7. Kalıp kaplama ve yağlama

Basınçlı dökümlerde kullanılan bazı ayırıcı maddeler, sıkıştırma döküm uygulamalarında makul derecede iyi çalışır. Daha yüksek ısı dirençli bazı özelleştirilmiş kaplamalar da özellikle sıkıştırma döküm için kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir kayganlaştırıcı, su bazlı kolloidal grafitir, kalıp üzerine püskürtülür. 50 mikron altında yapılan kaplamanın/yağlayıcının parçaların yüzeylerinin kirlenmesini, kalıp yüzeyinden sıyrılan kaplama artıkları ile önlenir. Daha zor koşullar için, bir seramik sprey kalıba püskürtülür [16].

2.4. Sıkıştırmada Olası Döküm Kusurları

Sıkıştırma döküm işleminde proses parametrelerinin optimizasyonu şarttır. Bunun yapılmaması, bir dizi döküm hatasına neden olur. Bu süreçte ortaya çıkan yaygın ve önemli döküm hataları oksit kalıntıları, porozite ve boşluklar, kabarma, dökümün kalıp yüzeyi ile yapışması ve soğuk birleşmedir. Soğuk birleşme, erimiş metalin soğuk levha yüzeyi ile tamamen birleşmediğinde ortaya çıkan bir tür birleşme kusurudur. Bu, plakaya paralel olan, genellikle çok küçük bir çatlak benzeri hata oluşturur.

Sıvı metalin oksidasyonu nedeniyle, eriyiğin yüzeyinde oksitler oluşur. Metal transfer sistemindeki inklüzyonları önlemek için filtreler kullanılmalıdır. Türbülans ayrıca kalıp boşluğuna dökülürken de azaltılmalıdır. Bu uygulamada yetersiz uygulanan sıkıştırma basıncı nedeniyle gözeneklilik ve boşluk kusurları gözlenir. Normal olarak sağlam döküm parçaları üretmek için 70 MPa uygulanır. Bu tür hataları önlemek için

tek yöntem, diğer değişkenler optimize edildiğinde basıncı arttırmaktır. Türbülanslı kalıp dolumu sırasında yüzeyin altında tutulan eriyikten gelen hava veya gaz, basıncın bırakılması üzerine döküm yüzeyinde kabarcıklar oluşturur. Eriyiğin gazdan arındırılması, metal taşıma transfer ekipmanının ön ısıtılması ve dökme sıcaklığının azaltılması, bu kusurdan kaçınmanın yöntemleridir. Soğuk birleşme, daha önce katılaşmış katmanlar ile örtüşen erimiş metalden kaynaklanır. Bunu önlemek için metal dökme sıcaklığı veya kalıp sıcaklığı artırılmalıdır. Aslında yeterli kalıp veya piston soğutması ve yağlama olmaksızın işlemin hızlı bir şekilde çevrilmesi nedeniyle, kalıp yüzeyine ince bir kaplama macunu tabakası yapışır. Bu hatayı gidermek için kalıp sıcaklığı ve döküm sıcaklığı azaltılmalıdır [15].

2.5. Sıkıştırma Dökümün Uygulama Alanları

Sıkıştırma döküm, alüminyum kubbe şekilli parçalar, küresel grafitli dökme demir parçalar ve çelik konik dişli gibi parçaların üretiminde ticari olarak başarılı olmuştur. Alüminyum otomotiv tekerlekleri pistonlar ve dişliler pirinç ve bronzdan yapılmıştır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi (HPDC) ile karşılaştırıldığında, uygulanan yüksek basınç ile sıkıştırma döküm işlemi, kalın kesitli magnezyum döküm için umut verici bir çözümdür. Sıkıştırılmış döküm olan diğer parçalar arasında paslanmaz çelik bıçaklar, süper alaşım diskler de bulunur [17].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm makinasının tasarımı, rezistanslı bir ısıtıcı ile sıkıştırma döküm presine dayanmaktadır. Bu amaçla, basınç makinesinin dikey bir sıkıştırma mekanizmasına (dikey basınç odası ve basınç pistonu) sahip özel bir yapısı olmalıdır. Aynı zamanda, makinada bir basınç kontrol cihazı bulunmalıdır. Kuvvetin düzenli olarak artması gerekir. Makine bir hidrolik sürücüye sahiptir. Basınç sıvısı güvenlik yönetmeliklerine uygun olmalıdır. Bu durumda basınç makinesinin kilitleme mekanizması mafsalıdır. Makine kontrol sisteminin doğrulanması, tasarlanan makinenin değişken dinamik parametreleriyle bağlantılı olarak makinenin teknik parametrelerine dayanmaktadır. Sıkıştırma döküm makinesinin önemli bir kısmı sıkıştırma mekanizmasıdır. Bu mekanizma, çok belirgin bir basınçla çok kısa bir sürede kalıp boşluğuna önemli miktarda eriyik akıtmalıdır. Metalin kalıba preslendiği özel basınç “p”, sıkıştırma kuvvetinin büyüklüğü ve basınç odasının iç çapı ile verilir:

$$p = \frac{F_P}{S_P} \quad (3.1)$$

F_P - Çalışma pistonunu türeten basınç kuvveti [N]; S_P - piston yüzeyi (basınç odası alanı) [mm²].

Maksimum presleme kuvvetinin 650 kN ve basınçlı oda çapının 80 mm olması şartıyla, eriyik üzerindeki spesifik basınç yaklaşık 130 MPa'dır. Bu şekilde basınç gücü hesaplanabilir:

$$F_P = S_P \cdot p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \quad (3.2)$$

p - özgül basınç [MPa], D - basınç odaları (piston çapı) [mm].

Delğin maksimum P_{MAX} basıncı:

$$p_{MAX} = \frac{F_{MAX}}{S_P} \quad (3.3)$$

Maksimum basınca bağı olarak, sıkıştırma dökümüne yönelik basınç makinesinin açılış kuvveti F_O 'nun gücü hesaplanır.

$$F_O = p_{MAX} \cdot S_P \quad (3.4)$$

F_O - basınç makinesinin açma gücü [N]

Açılış kuvveti kapanma kuvveti değerini aşmamalıdır:

$$F_U = (1,1 \text{ ila } 1,2) \cdot F_O \quad (3.5)$$

F_U - basınç makinesinin kapanma kuvveti [N]

Kapama kuvveti F_U 'nun büyüklüğü, mekanik birleştirme mekanizmasının olduğu hidrolik silindir F_V 'nin teorik kapanma kuvveti arasındaki transfer bağımlılığı ile verilir:

$$k(x) = \frac{F_U}{F_V} \quad (3.6)$$

F_V - hidrolik silindirin gücü.

Bağlantı mekanizmasının dönüştürülmesi, makine üreticisi için önemli olan mekanizmanın kinetik oranlarından hesaplanır. Kapama mekanizmasının c sertliği, kapanma kuvveti F_U 'nun ve bu kuvvetin neden olduğu toplam deformasyonun x oranıdır [18].

$$c = \frac{F_U}{x} \quad (3.7)$$

x - kapanış mekanizmasının deformasyonu.

Makinenin deklanşör mekanizması, makine sıkma mekanizmasına bağlanır. Sıkıştırılmalı döküm yöntemi için kalıp, yüksek basınçlı kalıplar gibi bazı tasarım konularını içerir ancak yüksek basınç oranlarında bile, eriyiğin kalıp boşluğuna laminar akışını temin etmesi gereken özel bir giriş sistemine sahiptir.

Kalıp, özel olarak ısıl işlem görecektir takım çeliğinden tasarlanmış bir döküm kalıbıdır. Kalıp boşluğunu doldururken laminar akışın seyrine uygun olması gereken, kanal sisteminin tasarımına büyük önem verilmiştir. Çözümün temeli, silindirik dökümlerin dökümü için basınç altında kristalizasyon deneylerini gerçekleştiren FUJII araştırmacısının tecrübesidir ve döküm zamanı ile döküm arasında bir ilişki kurulmuştur:

$$t_{tuh} = K \cdot \left(\frac{V}{S}\right)^2 = K \cdot M^2 \quad (3.8)$$

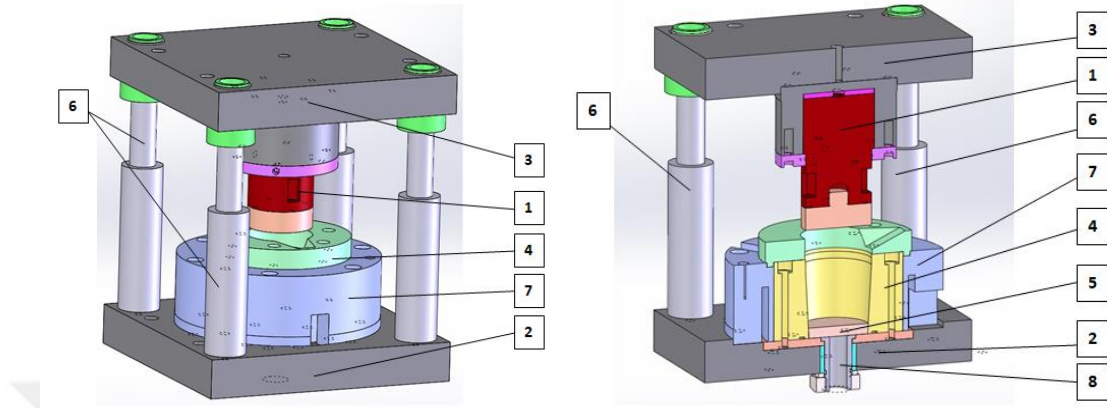
t_{tuh} - döküm zamanı [s]; K - katılaşma katsayısı [$s \cdot cm^{-2}$]; V - döküm hacmi [cm^3]; S - sıcaklığın döküm kalıbına [cm^2] geçtiği döküm alanı; M - döküm modülü [cm].

Dökümün spesifik şekli ve dökümün teknolojik parametreleri için takımdaki giriş sisteminin şekli, belirli test dökümlerinin üretim sonuçlarına göre uyarlanmalıdır. Giriş kanalındaki eriyiğin akış hızı, pistonun hızı ile belirlenir:

$$v_P \cdot S_P = v_K \cdot S_K, \quad (3.9)$$

V_P - çalışma pistonu hızı [$m \cdot s^{-1}$], S_P - piston alanı [m^2], V_K - giriş geçişinde eriyik hızı [$m \cdot s^{-1}$], S_K - giriş kanalı alanı [m^2].

Aşağıdaki şekilde sıkma dökümünün açıklamaları ve mekanik parçaları gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Sıkıştırılmalı döküm için metal döküm kalıbının şeması (1. Şekil kalıp elemanı (Piston), 2. Baz metal plaka, 3. Hareketli metal plaka, 4. Döküm kalıbı, 5. Ejektör, 6. Kılavuz elemanları, 7. Direnç ısıtma kalıbı ile blok, 8. İtici) [19]

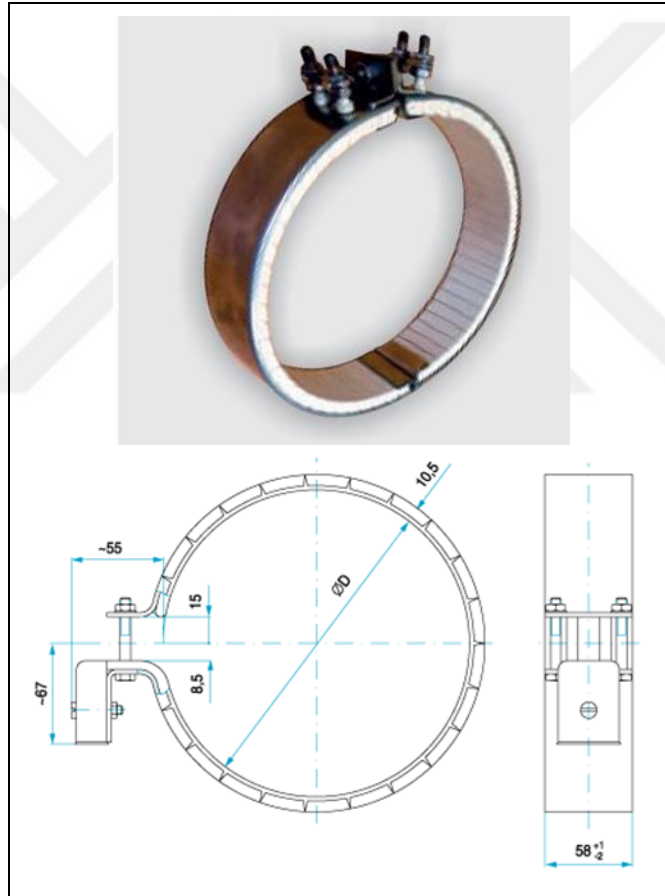


Şekil 3.2. Üretilen aracın parçaları - döküm kalıpları

Takım (deneysel form) takım çeliğinden yapılmıştır. Döküm kalıbının yatay olarak bölünmesi, sabit kısmının tüm hacminde homojen ısıtma için bir cihaz ile sağlanmış olması ve alt kısmında bir döküm ejektörü ile sağlanmış olan konik bir açıklık ve hareketli plaka; kuvvetin izlenmesi için gerinim ölçer, basıncın izlenmesi için kristalleştirici eriyik üzerinde hareket eden oranlar ve kalıbın boşluk kısımları, dökümün duvar kalınlığının farklı bir büyüklüğünü temin etmek için değiştirilebilir bir metal göbektir.

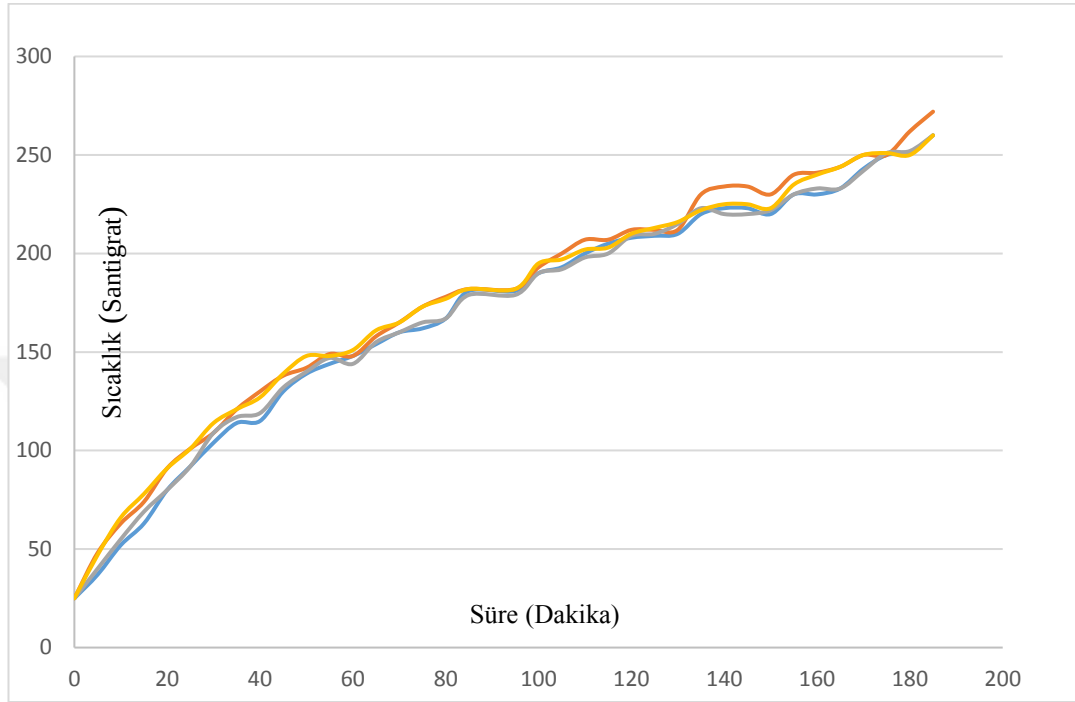
Ana metal plaka tercihen, hareketli plakanın yönlendirilmesi için dört adet simetrik olarak düzenlenmiş dairesel enine kesitli sütunlar ile donatılmıştır. Sabit parça dirençli ısıtma için bir ısıtma cihazı ile donatılabilir.

Silindir şeklinin bir kalıbı kalıbın çevresi etrafında oluşur, bkz. Şekil 3.3.'de ısıtma elemanı seramik parçalardan oluşur. Bağlantı delikleri, ısıtma spirallerini geçirmek için alan oluşturur. Bütün paslanmaz çelik kalıplar ile sıkıştırılmış ve aşağı çekilmiştir. Bu çözüm, ısıtılmış yüzeye büyük ısı çıkışları elde etmenizi ve aktarmanızı sağlar. Vücut mekanik etkilere dayanıklıdır.



Şekil 3.3. Isı kalıp döküm gövdesi [19]

Kalıbın 4 farklı noktasından zamana bağlı olarak ısı miktarları ve ısınma süreleri test edilmiştir. (deney formunda dört algılanan nokta: kalıbın sol üst kısmı, alt sol parça kalıbı, kalıbın sağ üst kısmı, kalıbın sağ alt kısmı)

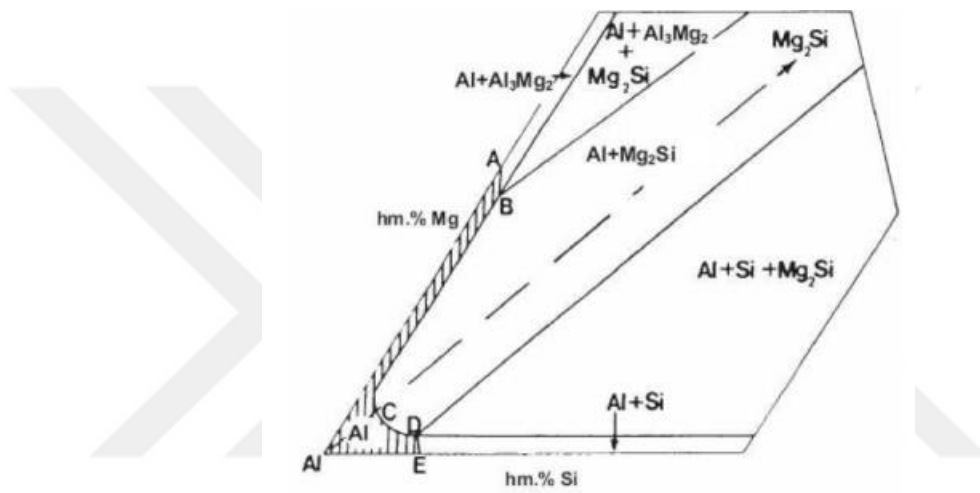


Şekil 3.4. Deney formunun ısıtılmasında sıcaklığın zamana bağlılığı

3.1. Al-Si-Mg Alaşımları

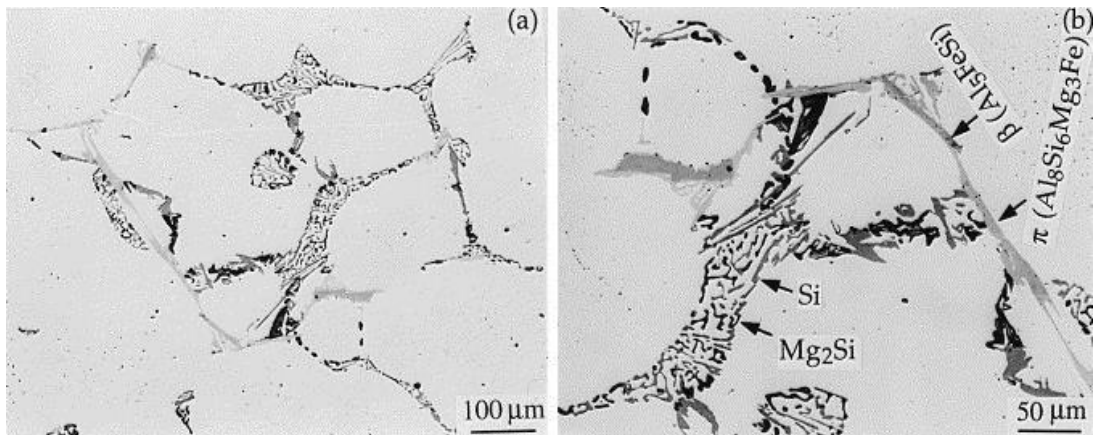
Al-Si-Mg alaşımlı döküm, Amerikan standardı $AlSi_{10}MgMn$ (9.0-%10.5 Si,%0.25-0.45 Mg) alaşımına uyan bir AA 360.0 alaşımdır. Bu alaşımlar iyi döküm ve korozyon direncine sahiptir. Bununla birlikte, mekanik işlenebilirliği daha kötüdür ve mekanik özellikleri Amerikan AA 380.0 alaşımından daha düşüktür. Alman şirketi Rheinfelden GmbH, Anticorodal 50 markası altında $AlSi_5Mg$ döküm alaşımını korozyona karşı dirençli olarak geliştirmiştir. Bu alaşım suni yaşlanma sonrası hava ve deniz suyuna karşı iyi mekanik mukavemet mükemmel direnç gösterir. Ayrıca bu alaşım çok cilalanabilir ve işlenebilir. Alüminyum-silisyum-magnezyum üçlü sistem teknik uygulamada bu kadar tipik değildir, bu yüzden yayınlanmamıştır, ancak alüminyum -magnezyum-silikon üçlü sistem, nispeten daha basit şemalar arasındadır. Katı çözelti (Al) ile dengede, Mg_2Si bileşiği bulunur. Al-Si-Mg sisteminde az miktarda

magnezyum, % 1'in altında sadece Mg_2Si 'nin kimyasal bir bileşimini oluşturma imkanı verir. İntermetalik fazlar (kimyasal bileşikler) problemlere neden olabilir, alaşımların mukavemetini ve uzamasını azaltmak için dökümün heterojenitesine neden olabilir. Katılaşma sırasında bu intermetalik bileşiklerin tanımlanmasına çok dikkat edilmiştir. Ek olarak, deneysel çalışmalar, ara metalik bileşiklerin oluşumunun alaşımın bileşiminden etkilendiğini göstermiştir. Bu bileşiklerin oluşumu ve çözünmesini anlamak çok önemlidir. Mevcut çalışma, fazla Si içeren Al-Mg-Si alaşımı ile kompleks mikroyapı çalışmasına odaklanmıştır.



Şekil 3.5. Al-Si-Mg sistemindeki normal fazlarda bireysel fazların alanları [19]

$AlSi_5Mg$ alaşımının mikro yapısı, bir katı çözelti β ve Mg_2Si çözeltisi ile verilir.



Şekil 3.6. Al-Si-Mg sisteminin (sol) mikroyapısı, Al-Mg-Si sisteminin mikroyapısı (sağ) [19]

AlSi₅Mg alaşımları, mükemmel performansları nedeniyle özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler üzerinde artan talepler, yüksek mukavemetli araştırma ve geliştirmeye yol açmaktadır.

3.1.1 AlSi₅Mg Özellikleri

AlSi₅Mg, Almanya'da geliştirilen bir alaşımdır. (Alüminyum Rheinfelden GmbH Rheinfelden Alloys Satış ve Müşteri Hizmetleri Friedrichstraße 80, 79618 Rheinfelden, Almanya). Alaşım korozyona karşı dayanıklı olmalı ve aynı zamanda iyileştirilebilir olmalıdır.

Kimyasal bileşim Tablo 3.1.'de gösterilmiştir. Bu alaşımın mekanik özellikleri Tablo 3.2.'de gösterilmektedir. Bu değerler AlSi₅Mg alaşımının uzun vadeli özellik araştırmasının bir sonucudur. Değerler EN 1706 Avrupa standardından daha yüksektir. Mekanik özelliklerin değerleri hem kum hem de metal kalıplara dökülmek için belirlenmiştir.

Tablo 3.1. AlSi₅Mg alaşımının kimyasal bileşimi [19]

AlSi ₅ Mg Alaşımının Kimyasal Kompozisyonu							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
5,0 - 6,0	0,15	0,02	0,10	0,4 - 0,8	0,10	0,05 - 0,20	kalan

Tablo 3.2. Döküm yöntemine bağlı olarak AlSi₅Mg alaşımının mekanik miktarlarının değerleri [19]

AlSi ₅ Mg alaşımının döküm yöntemlerine bağlı olarak mekanik değerleri						
Alaşım	Döküm Metodu	Yöntem	Gerilme Direnci Rp(0,2) [MPa]	Gerilme Direnci Rm [MPa]	Yumuşaklık [%]	Sertlik HBS 5/250/30
AlSi ₅ Mg	Kumtaşı Formu	Dökümden sonra	100-130	140-180	2-4	60-70
	Kumtaşı Formu	Doğal Yaşlandırma	150-180	200-270	4-10	75-90
	Kumtaşı Formu	Yapay Yaşlandırma	220-290	260-320	2-4	95-115
	Metal, Yerçekimsel	Dökümden sonra	120-160	160-200	2-5	60-75
	Metal, Yerçekimsel	Doğal Yaşlandırma	160-190	210-270	5-10	70-90
	Metal, Yerçekimsel	Yapay Yaşlandırma	240-290	260-320	2-7	100-115

Tablo 3.3. AlSi₅Mg Alaşımının Kullanılan Özellikleri [19]

Özellikler	Birim	Değer
Suya karşı direnç	-	Mükemmel
Deniz suyuna karşı direnç	-	Çok iyi
Kaynaklanabilirlik (MIG Methodu ile)	-	Çok iyi
Mekanik işleme	-	Çok iyi
Parlatma	-	Çok iyi
Young Elastik Modül	[MPa]	66 000 - 75 000
Lineer genleşme katsayısı	[K ⁻¹]	23,0.10 ⁻⁶
Termal iletkenlik katsayısı	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	176
Erime noktası	[°C]	550 - 625

Tablo 3.4. Isıl İşlem Değerleri - Yapay ve Doğal Yaşlandırma [19]

AlSi ₅ Mg alaşımının ısıtma işlem değerleri						
Alaşım	Isıl İşlem	İşlem sırasında sıcaklığı	Isıtma Süresi [saat]	Su Sıcaklığı [°C]	Yaşlandırma Sıcaklığı [°C]	Yaşlandırma Süresi [saat]
AlSi ₅ Mg	Yapay Yaşlandırma	520-535	4-8	20	155-160	7 ila 9
	Doğal Yaşlandırma	520-535	4-8	20	15-30	120

3.2. Alüminyum Alaşımlarında Faydalı Elementlerin Etkisi

Silisyum, alfa (Al) katı çözeltilisinin ve korozyon direncinin gücünü artırır. Daha yüksek içerikle saf Si olarak bulunur, böylece kırılabilirlik artar. Kalıplanmış alaşımlar %1'e kadar Si içerir; diğer taraftan, döküm alaşımları %25'e kadar Si içerir. Silisitler daha küçük bir döküm alaşımları grubudur ve alüminyum döküm üretiminin büyük çoğunluğunu temsil eder [19]. En çok sayıda olan grup alt ötektik silüetleridir. Onlar dendritler ötektiktir. Bunlar iyi taşlanabilirler ancak ısıda çatlama eğilimi gösterirler. En iyi döküm özellikleri, ağırlıkça % 11.7'lik bir silisyum içeriği ile ötektik alaşımlara aittir. İkili silümlerde ötektik, katı bir çözeltili ve neredeyse saf silikonun kristallerinin bir karışımıdır. Bu silümler, mükemmel yol tutuşu gibi mükemmel döküm özelliklerini garanti eden dar bir katılma aralığına sahiptir. Ayrıca tüm silyonun en yüksek mukavemetine sahiptirler [20].

Bor, katı çözeltiliden V, Ti, Cr, Mo'nun çökmesi nedeniyle teknik olarak saf alüminyumun elektrik iletkenliğini artırır, yapıyı yumuşatır ve nükleer endüstrideki Al kullanımı açısından nötronları yakalama yeteneğini geliştirir.

Manganez yeniden kristalleşmenin gücünü ve sıcaklığını artırır, tahılı yumuşatır ve sakınleştirici sıcaklığı azaltır.

Nikel, katı halde %0.04'ten daha az bir çözünürlüğe sahiptir. Daha yüksek sıcaklıklarda mukavemet özelliklerini arttırmak, termal genleşme katsayısını düşürmek ve korozyon direncini arttırmak için alaşımlıdır.

Çinko, ısıtıl işlem görmüş alaşımların ana alaşım elementidir.

3.3. Alüminyum Alaşımlarında Zararlı Elementlerin Etkisi

Demir alüminyumda bir kirliliktir. Katıların çözünürlüğü düşüktür (yaklaşık olarak %0.04). Al-Cu alaşımları için Al_7FeCu_2 intermetalik faz, bakır alfa çözeltilisinin ayrışmasına ve dolayısıyla mukavemet azalmasına neden olur, fakat Al-Cu-Ni alaşımları durumunda, mukavemet daha yüksek sıcaklıklarda artar.

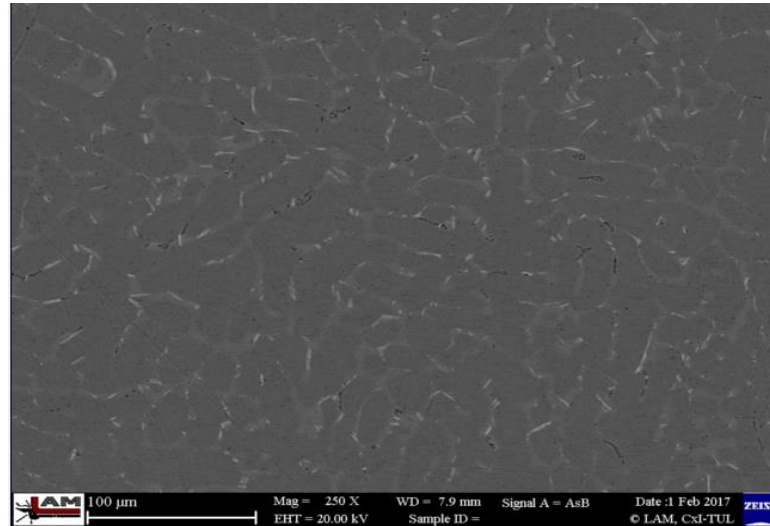
Kurşun, işlenebilirliği arttırmak için eklenir, ancak Al-Cu - Mg alaşımlarının katılaşma sürecinde ayrışmaya bağlı olarak olumsuz bir çatlak olarak ortaya çıkan olumsuz bir unsur olarak kabul edilir.

Bakır korozyon direncini azaltır ve en çok Mg ile alaşımlıdır. Diğer taraftan, sertleşme ile mukavemet özelliklerini artırır.

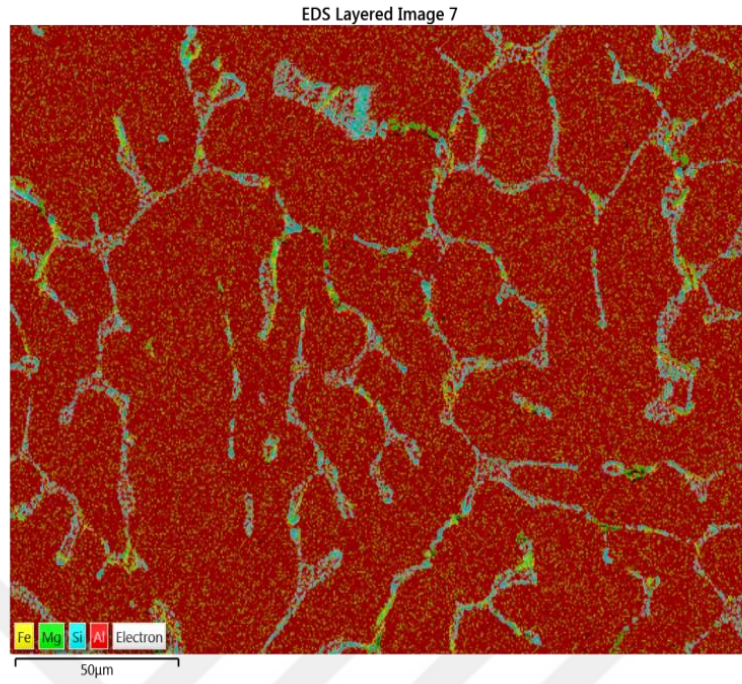
Magnezyum Al-Mg-Si ve Al-Cu-Mg alaşımları için mukavemet özelliklerini artırır. Bununla birlikte, Mg_5Al_3 veya Mg_5Al_8 çökeltileri tane sınırlarında çökeltirirse, alaşımlar kristaller arası kırılmaya ve kristaller arası korozyona karşı hassastır [18].

3.4. AlSi₅Mg İngotlar

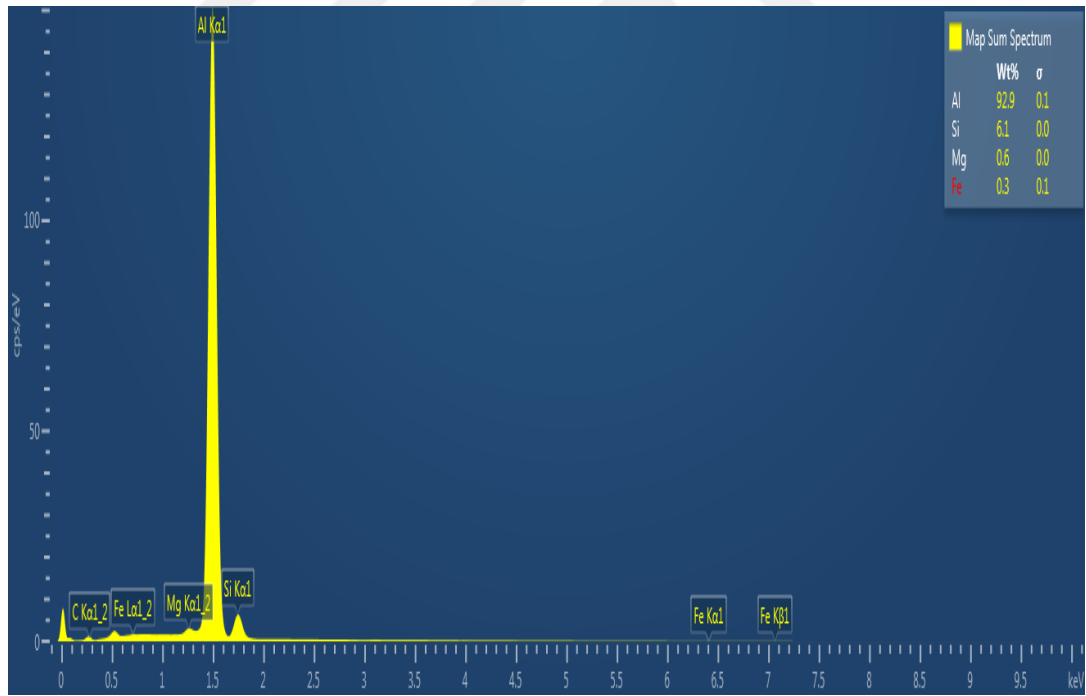
AlSi₅Mg alaşımlar sıkıştırma döküm için en uygun alaşımlardan biridir. Şekil 3.7., 3.8., 3.9. ve 3.10.'da bu alaşıma ait örnek SEM, EDS ve dot-map analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 3.11'de ise deneysel çalışmalarımızın yapıldığı hidrolik pres makinası gösterilmiştir.



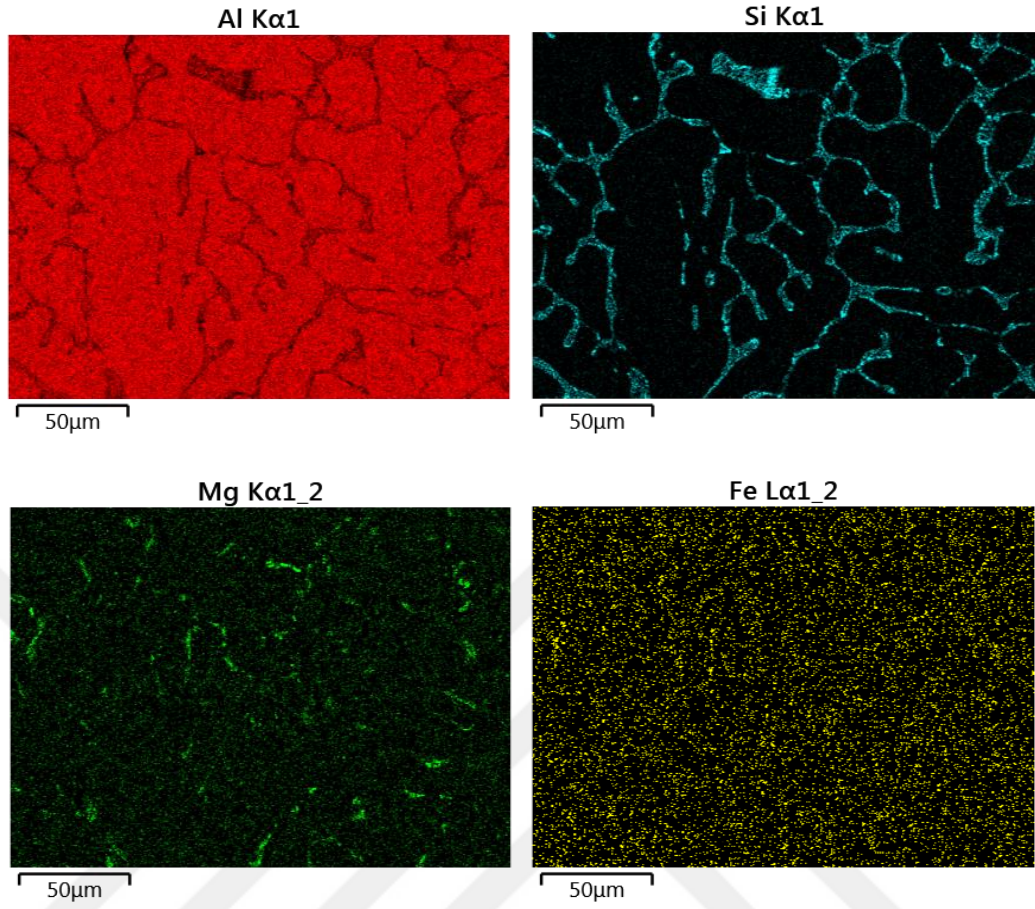
Şekil 3.7. Tipik AlSi₅Mg alaşımının SEM fotoğrafı [19]



Şekil 3.8. Tipik AlSi₅Mg alaşıminın EDS analizi [19]



Şekil 3.9. Tipik AlSi₅Mg alaşıminın EDS analizi [19]



Şekil 3.10. Tipik AlSi₅Mg alaşımının dot-map analiz sonuçları [19]



Şekil 3.11. Hidrolik pres CBA 300/63

Bu hidrolik pres üzerine deneysel bir kalıp monte edilerek ve bu çalışma kısmında deneysel kalıp boşluğunda bir çalışma basıncı sensörü ile donatılacaktır. Deney kalıbının boşluğu, Ø100 mm'nin üst kısmında hafif, 90 mm alt kısmında ve çalışma parçası yüksekliği 120 mm, zımba Ø100 mm ve yüksekliği 100 mm'dir. Cihaz, özel bir giriş kanalı ile donatılmakta, böylece eriyik, girdap yapmak için kalıba girmemektedir, aksine, kalıp boşluğuna eriyik akışı sessizdir ve girdap değildir. Kalıp boşluğuna yaklaşık 0.77 [dm³] bir eriyik dökülmüştür.

3.5. AlSi₅Mg Alaşımlarının Dökümü ve Analiz için Kesimi

AlSi₅Mg ingotlar potaya rahatça sığabilmesi ve istenilen miktarda döküm yapılabilmesi için yaklaşık 4-5 kilogramlık parçalar halinde kesilmiştir. Döküm potasındaki sıcaklık ve kalıbın 2 farklı noktasından (iç dip ve iç yan) sıcaklıklar sürekli olarak kaydedilmiştir. Metal kalıba döküm yapıldıktan sonra, numunenin kalıptan rahatça çıkarılabilmesi ve döküm sırasında kalıba yapışmaması için özel spreyl kullanılmıştır. Kalıba döktüğümüz parçalara sırasıyla 0 MPa, 150 MPa ve 250 MPa basınç uygulayarak 3 farklı parametrede 3 farklı özellikte numuneler elde edilmiştir.



Şekil 3.12. AlSi₅Mg ingotlar

Şekil 3.13.'deki resim sıkıştırma döküm kalıbına ait ufak pencereyi göstermektedir. Bu pencere, eğer olması gerekenden daha fazla ergiyik metalin kalıba dökülmesi durumunda fazla metalin dışarıya tahliye olmasına yardımcı olur.



Şekil 3.13. Kalıptaki tahliye penceresi

Sıvı metalin kalıba dökülmesinden sonra ortam güvenliği kontrol edilir ve şartlar yerine geldiğinde basınç işlemi uygulanmaya başlar. Basınç uygulandığı anda patlama, sıçrama gibi olaylar meydana gelebileceğinden ötürü, bu işlem sırasında cihazın yanında durulmamalıdır. Şekil 3.14.'de döküm parçası katılaştıktan sonra çıkarılmasını göstermektedir. Kalıbın dibinde bulunan dikey yönde hareket edebilen silindir şeklinde bir parça yukarı doğru kuvvet uygulayarak parçanın kalıptan ayrılmasına yardımcı olur.

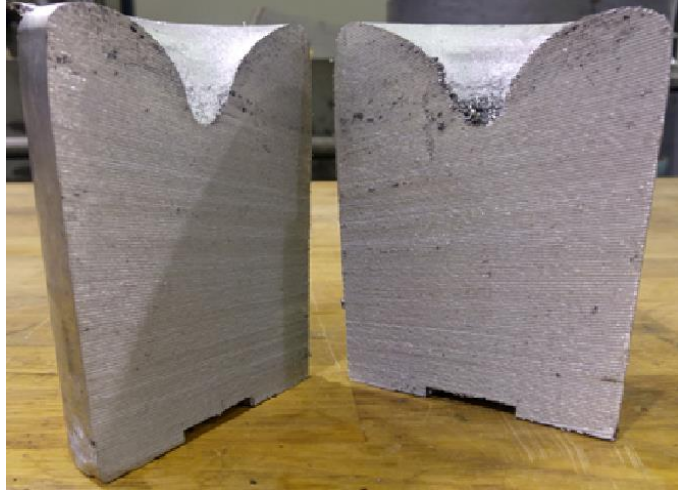


Şekil 3.14. Döküm parçasının katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılması

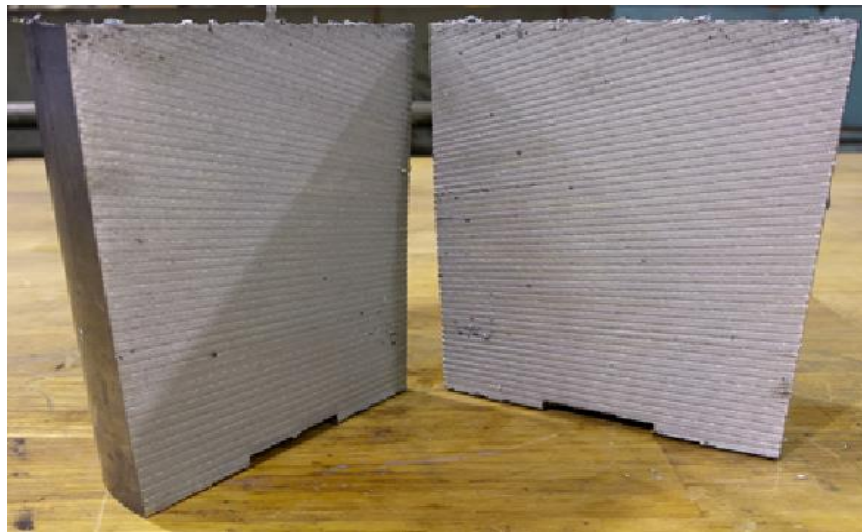
Döküm işlemi sırasında 3 farklı basınç değeri uygulanmıştır. 0 MPa (sadece yer çekimi etkisi), 150 MPa ve 250 MPa basınç uygulanan parçalar kalıptan çıkarılmış ve soğuduktan sonra üzerlerine etikenlendirilmiştir. Daha sonrasında ilk kaba gözle ilk analiz için ortadan kesilmiştir.



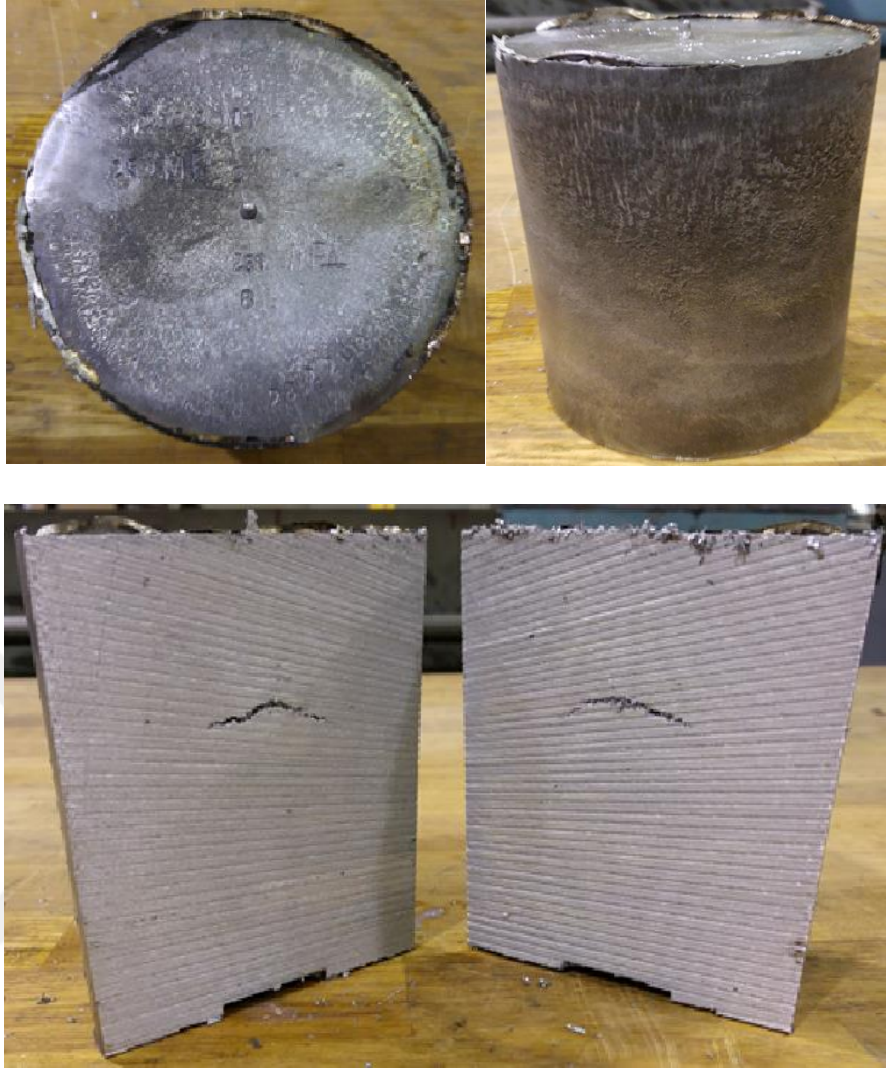
Şekil 3.15. 0 MPa (yer çekimi etkisi) basınç uygulanan parça ve kesimi



Şekil 3.16. 0 MPa basınç uygulanan parçanın kesim sonrası iç kısmı



Şekil 3.17. 150 MPa basınç uygulanan döküm parçası ve kesim sonrası iç kısmı

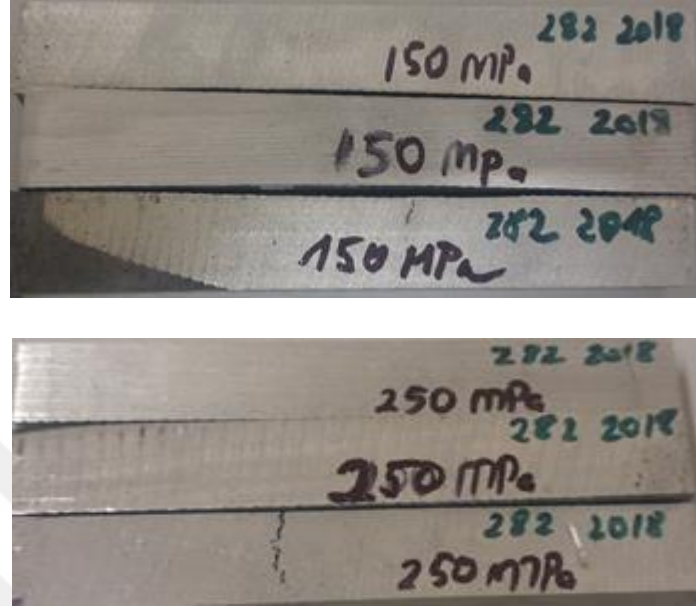


Şekil 3.18. 250 MPa basınç uygulanan parça ve kesim sonrası iç kısmı



Şekil 3.19. Kesme Cihazı

Parçalar ilk kesimle beraber kaba şekilde gözlemlenmiştir. XRD-EDS-SEM analizleri için her numuneden 15x5x5 mm ebatlarında 3 adet parça kesilmiştir.



Şekil 3.20. Analizler için hazırlanmış numuneler

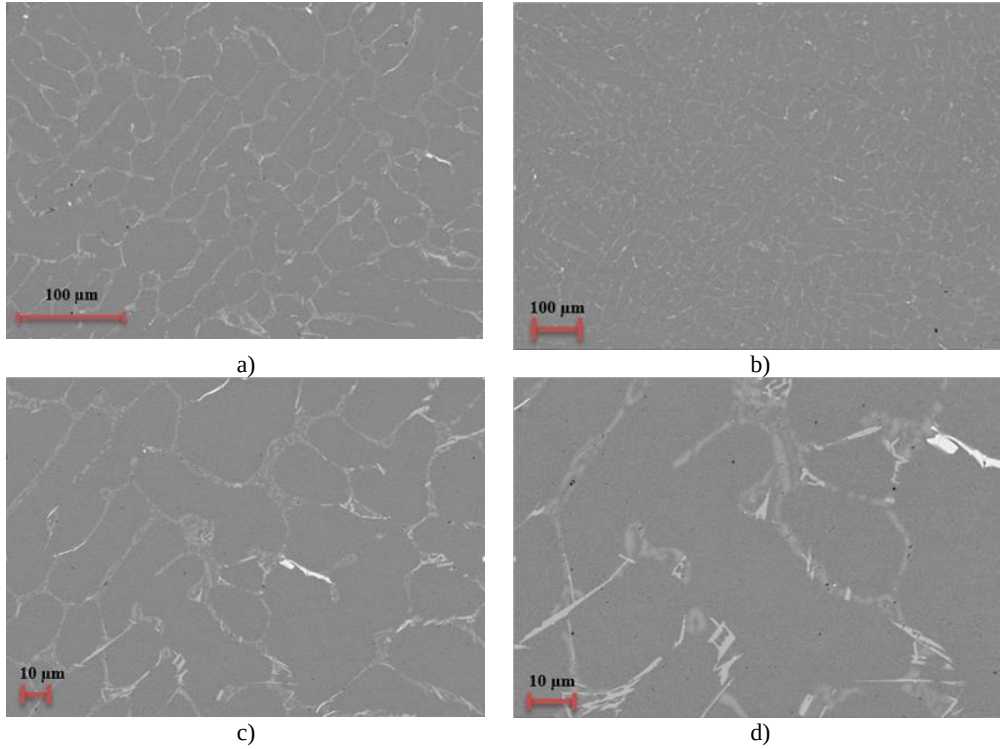
BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen numuneler taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir. Tablo 4.1.'de döküm öncesi kalıbın ve sıvı metalin sıcaklık değerleri verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.1.'deki mikroyapılar, yer çekimi etkisiyle dökülen (0 MPa) döküm parçası yer almaktadır

Table 4.1. Döküm esnasında metal ve kalıbın sıcaklıkları

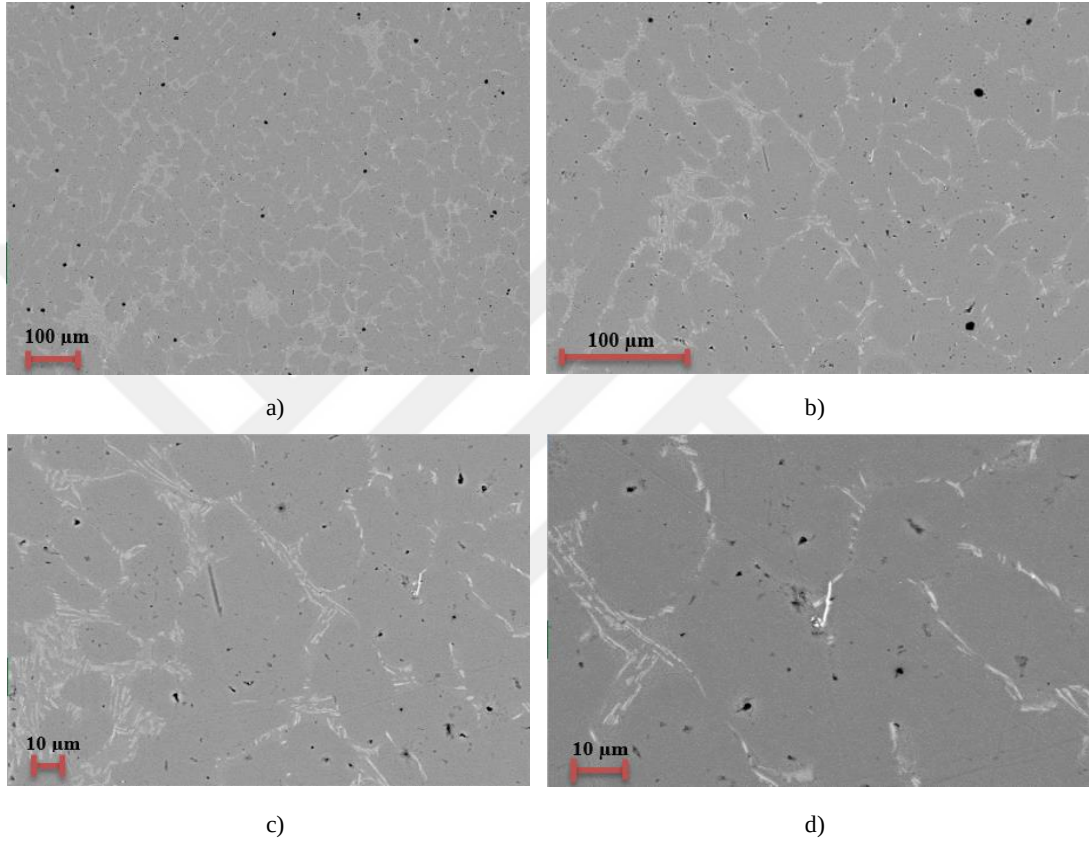
Numune Numarası	Döküm Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
0	655	150
150	683	174
250	683	181



Şekil 4.1. a), b), c) ve d) Basınç uygulanmayan numunenin SEM görüntüleri (Büyütme oranları sırasıyla 100X-250X-500X-1000X)

Mikroyapılar incelendiğinde tane sınırları oldukça belirgin ve fazladır. Homojen bir yapıya sahiptir. Herhangi belirgin bir döküm hatası görülmemektedir.

150 MPa basınç uygulanarak sıkıştırma döküm ile üretilen numunenin SEM analiz görüntüleri aşağıda verilmiştir.

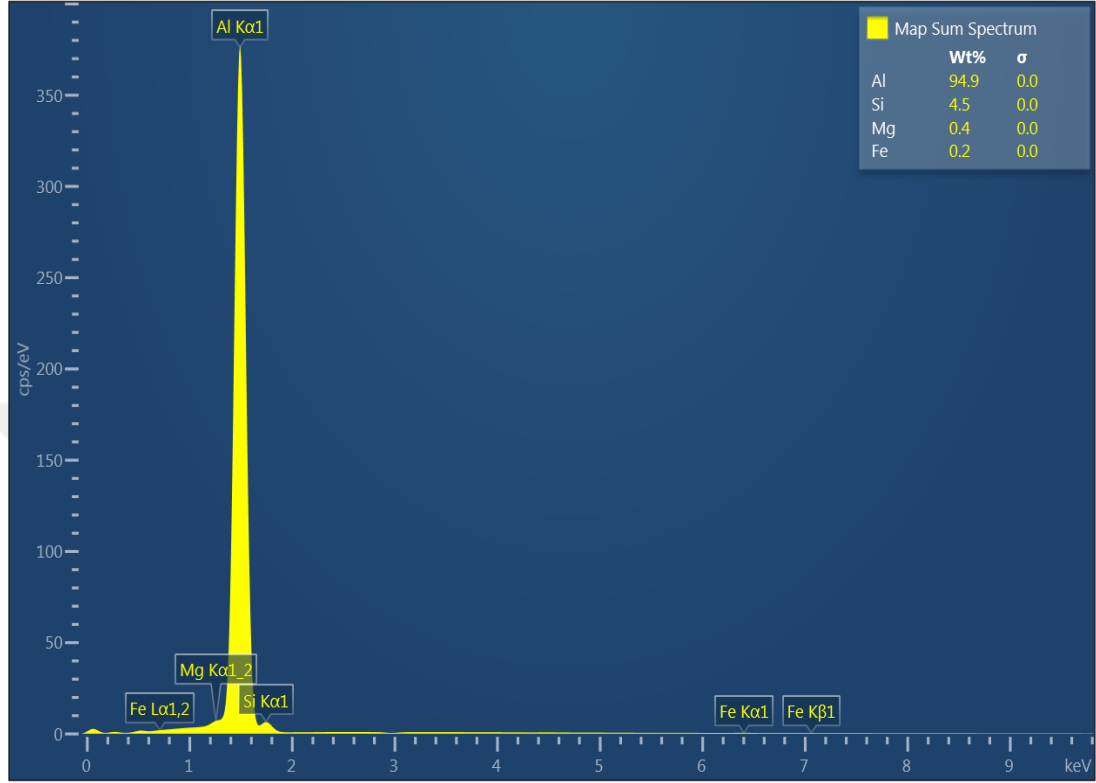


Şekil 4.2. a), b), c) ve d) 150 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüleri (Büyütme oranları sırasıyla 100X-250X-500X-1000X)

Mikroyapılar incelendiği zaman ilk olarak siyah noktalar göze çarpmaktadır. Bunlar döküm parçası içerisine sıkışan hava kabarcıklarıdır. Kalıpta gaz çıkışı için herhangi bir sistem olmamasından dolayı, döküm sırasında basınçla beraber gaz parçacıkları numune içerisine hapsolmektedir.

Basınç uygulanmadan dökülen numune ile karşılaştırıldığında ise tane sınırları basınç nedeniyle yer yer parçalanmıştır.

Numune içerisindeki metallerin ağırlıkça yüzdelerini öğrenmek için EDS analizinden yararlanılmıştır.

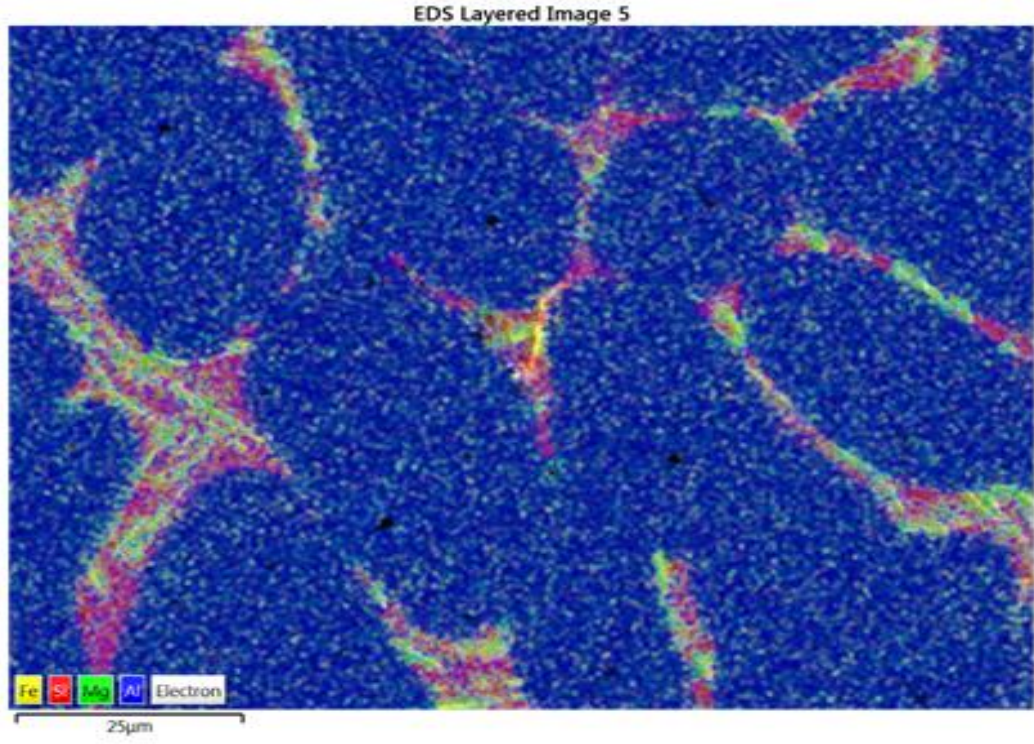


Şekil 4.3. 150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi

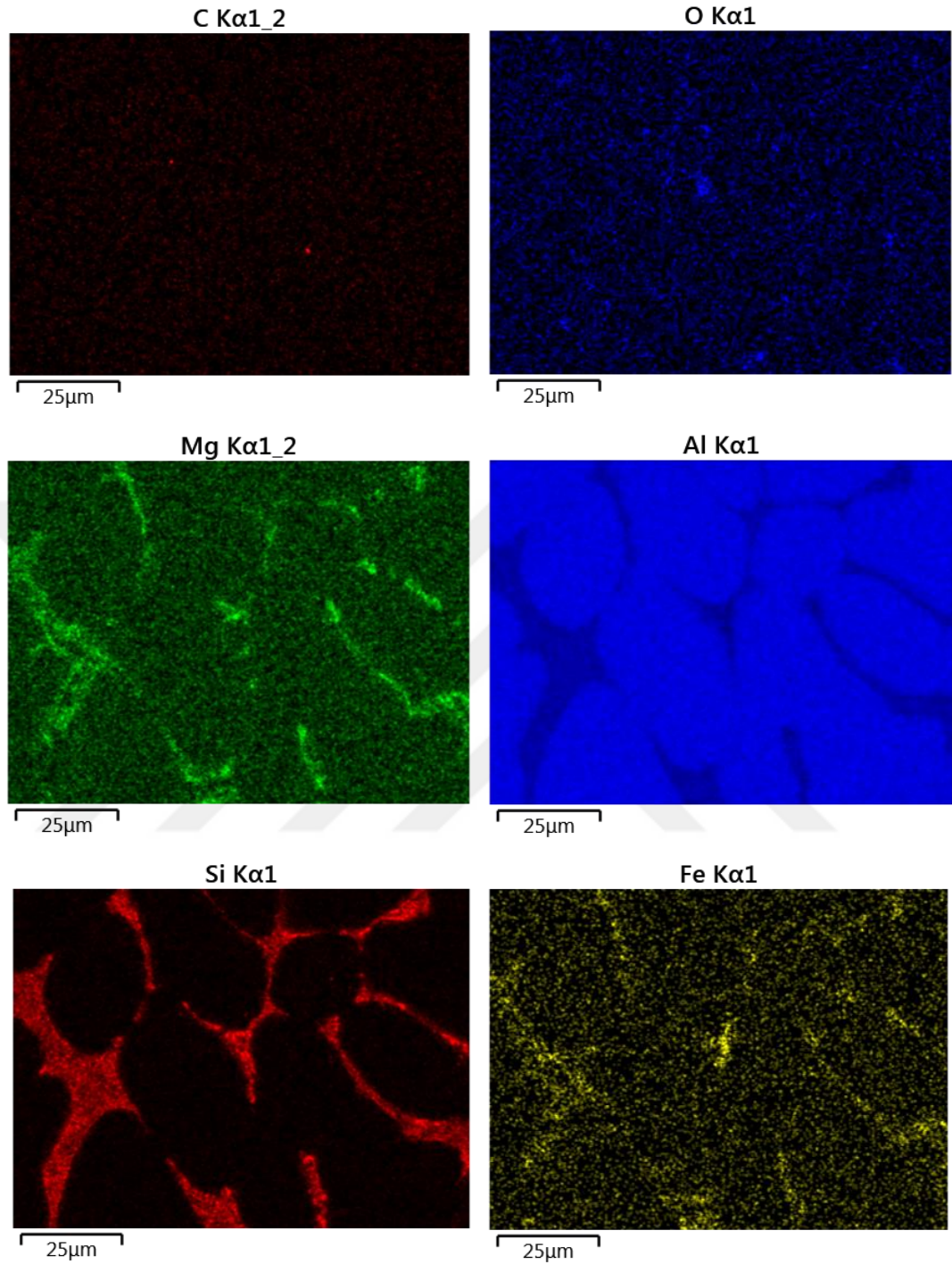
EDS analiz sonuçları beklediğimiz gibi ve olması gereken değerleri vermiştir. En yüksek oran doğal olarak alüminyum olup, silisyum ve magnezyum oranları da ideal seviyededir. Ayrıca farklı fazlarda demir bulunmaktadır.

EDS analizleri numune içerisindeki bileşenlerin dağılımını göstermektedir. Farklı renklendirmeler ile hangi elementin nerelerde olduğunu anlayabiliriz. Ayrıca noktasal dağılım haritaları ile seçtiğimiz bileşeni tek başına numune içerisinde inceleyebiliriz.

Aşağıda 150 MPa basınç ile üretilen numuneye ait EDS ve dot-Map analizleri yer almaktadır.



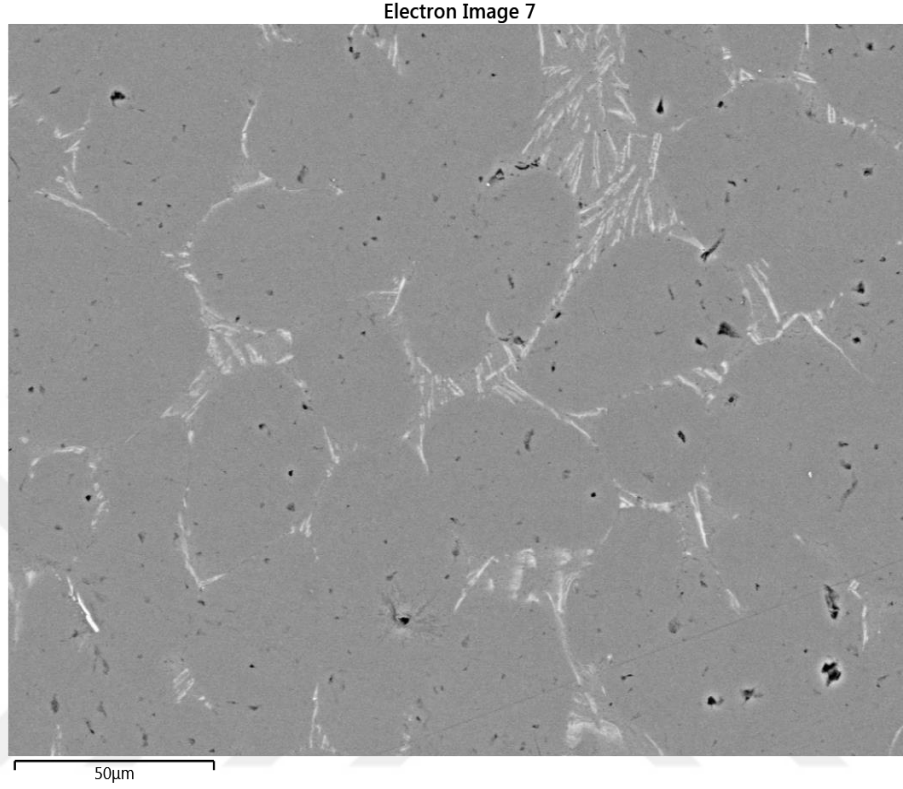
Şekil 4.4. 150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi



Şekil 4.5. Basınç uygulanmayan numunenin dot-Map analiz sonuçları

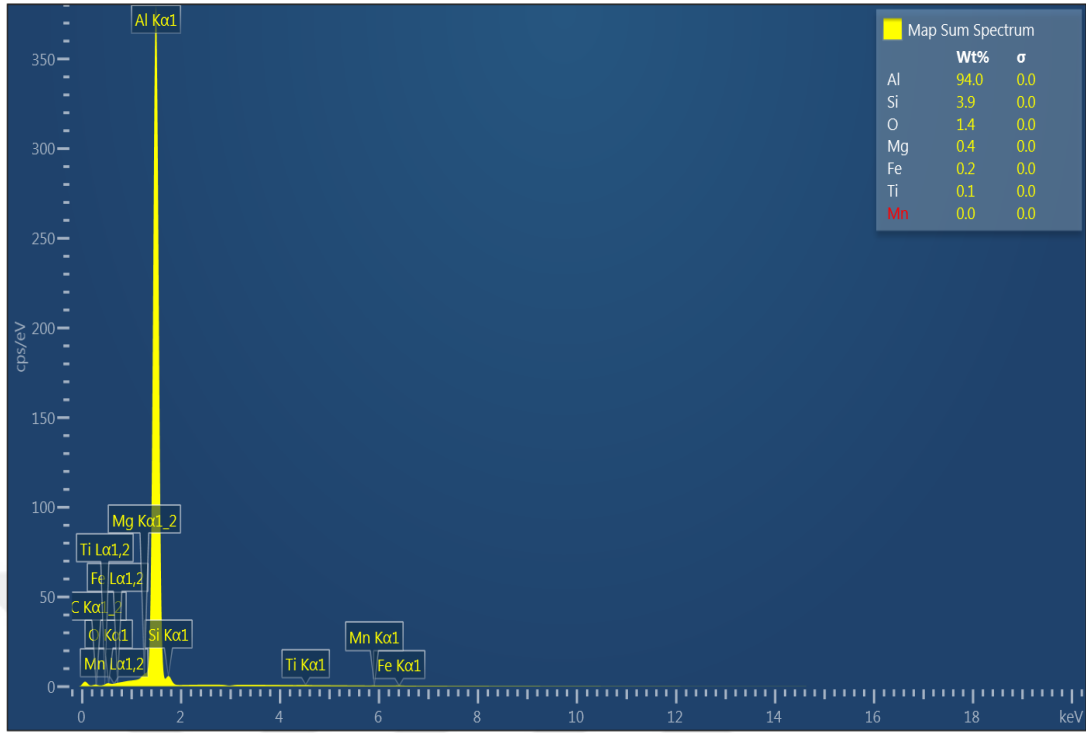
Mikroyapıları incelediğimiz zaman silisyumun tane sınırlarında yoğunlaştığını görmekteyiz. Magnezyum da tane sınırlarında yoğunlaşmasına rağmen diğer bölgelerde de homojen bir şekilde bulunmaktadır. Oksijen ve karbonun da homojen bir şekilde numune içerisinde dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.

Şekil 4.6.'daki mikroyapı görüntüsü aynı numunenin farklı bir bölgesinde çekilen SEM görüntüsüdür.



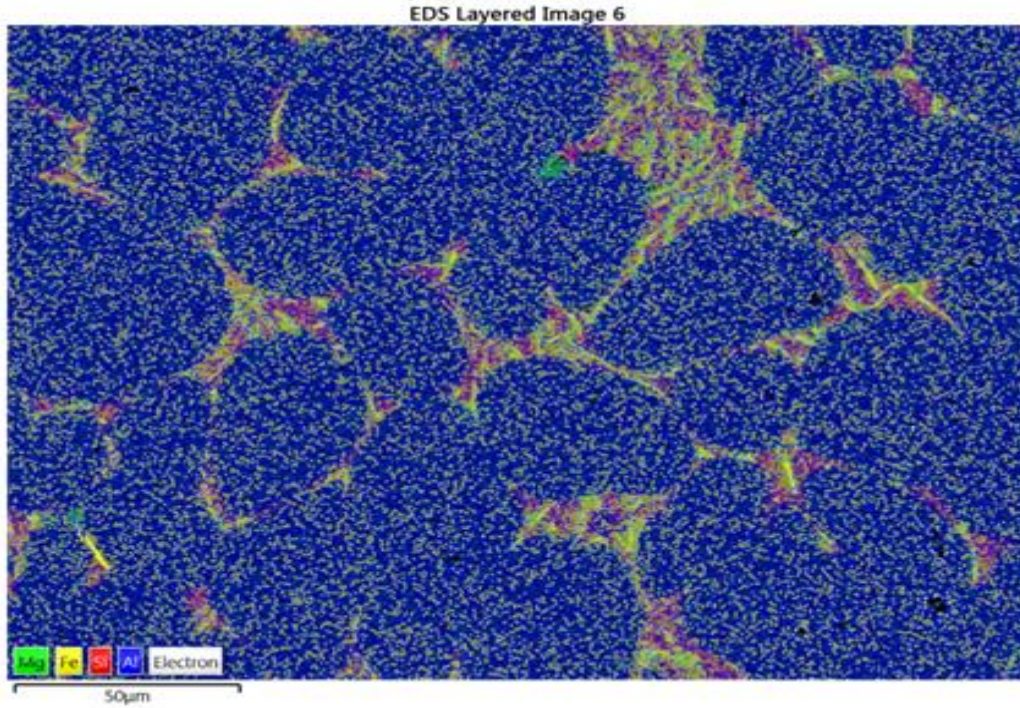
Şekil 4.6. 150 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüsü

Mikroyapı incelendiğinde genel olarak diğerlerine benzer olduğunu anlayabiliriz ve mikroyapıdaki fazların dağılımının homojen olduğu görülmektedir.

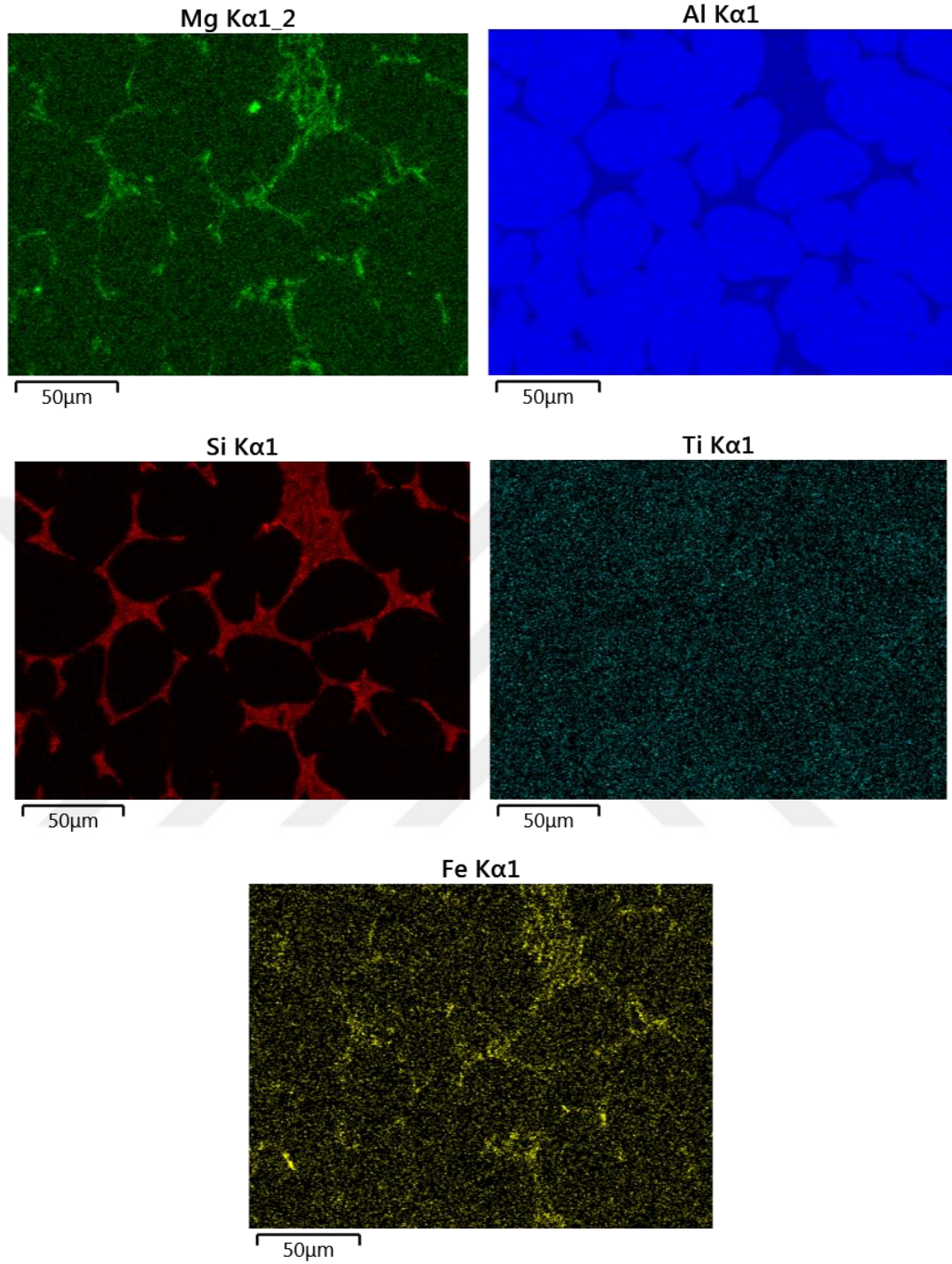


Şekil 4.7. 150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi

EDS analizi incelendiğinde oksijen seviyenin biraz yüksek olduğu görülmektedir.



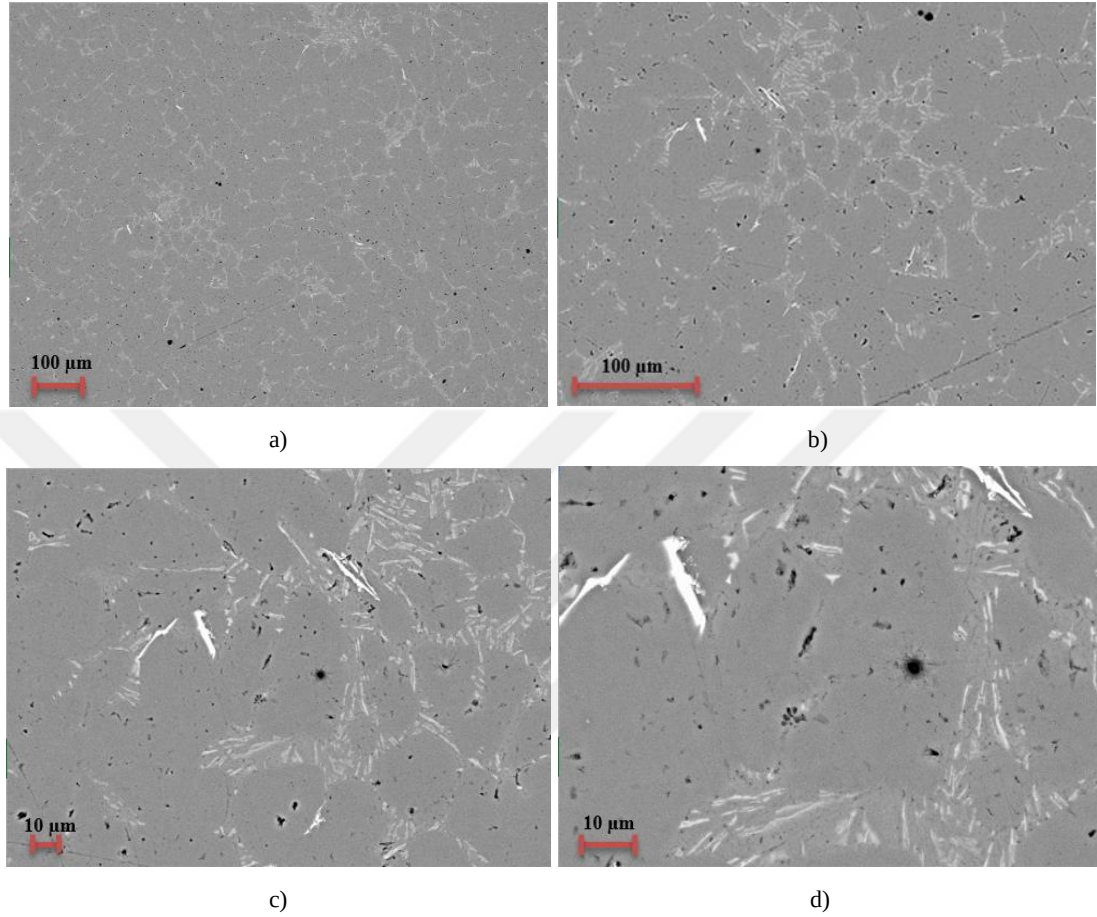
Şekil 4.8. 150 MPa basınç uygulanan numunenin EDS resmi



Şekil 4.9. 150 MPa basınç uygulanan numunenin dot-Map analiz sonuçları

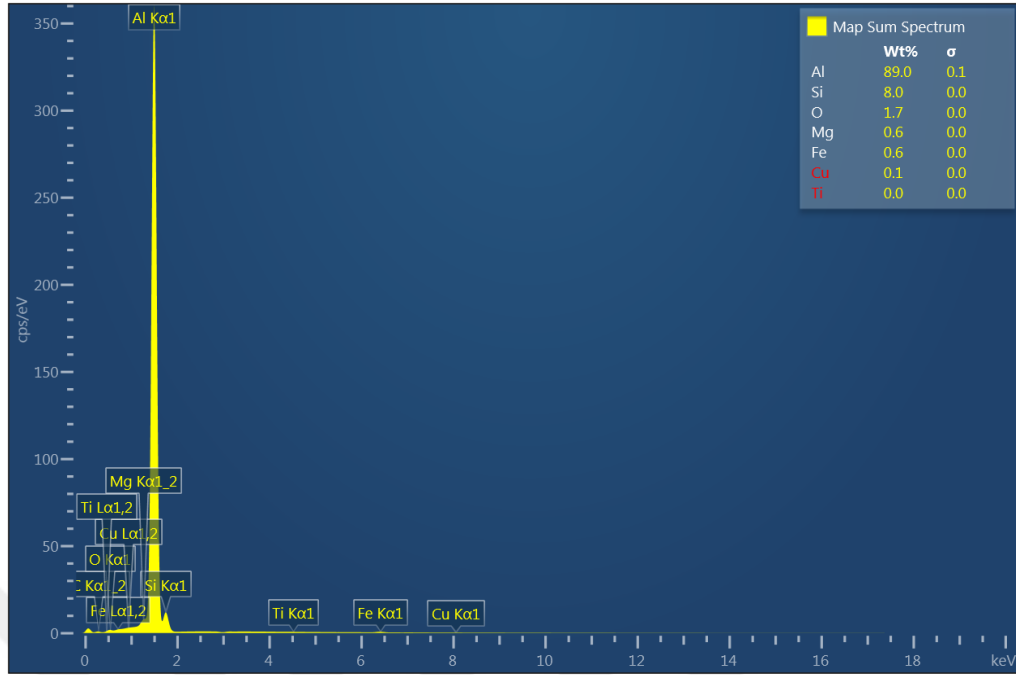
EDS ve noktasal dağılım haritalarında göze çarpan bir farklılık yoktur. Diğer bölgede olduğu gibi silisyum ve magnezyum tane sınırlarında yoğunluk göstermiştir. Çok az miktarda bulunan titanyum ise bölge genelinde homojen bir yayılım göstermiştir.

Şekil 4.10.'da verilen mikroyapılar 250 MPa basınç uygulanarak üretilen numunelere aittir.



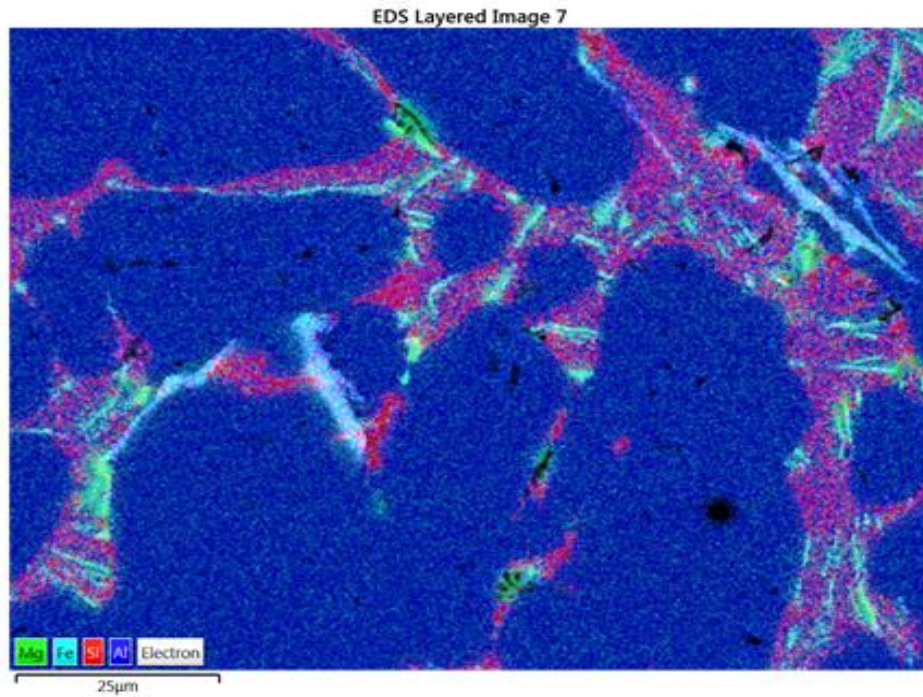
Şekil 4.10. a), b), c), d) 250 MPa basınç uygulanan numunenin SEM görüntüleri (Büyütme oranları sırasıyla 100X-250X-500X-1000X)

Mikroyapılar incelendiğinde tane sınırlarının yavaş yavaş kaybolduğu ve parçalandığı görülmektedir. Ayrıca artan basınçla beraber gaz boşluklarının sayısı ve dağılımı da numune içerisinde artmaktadır.

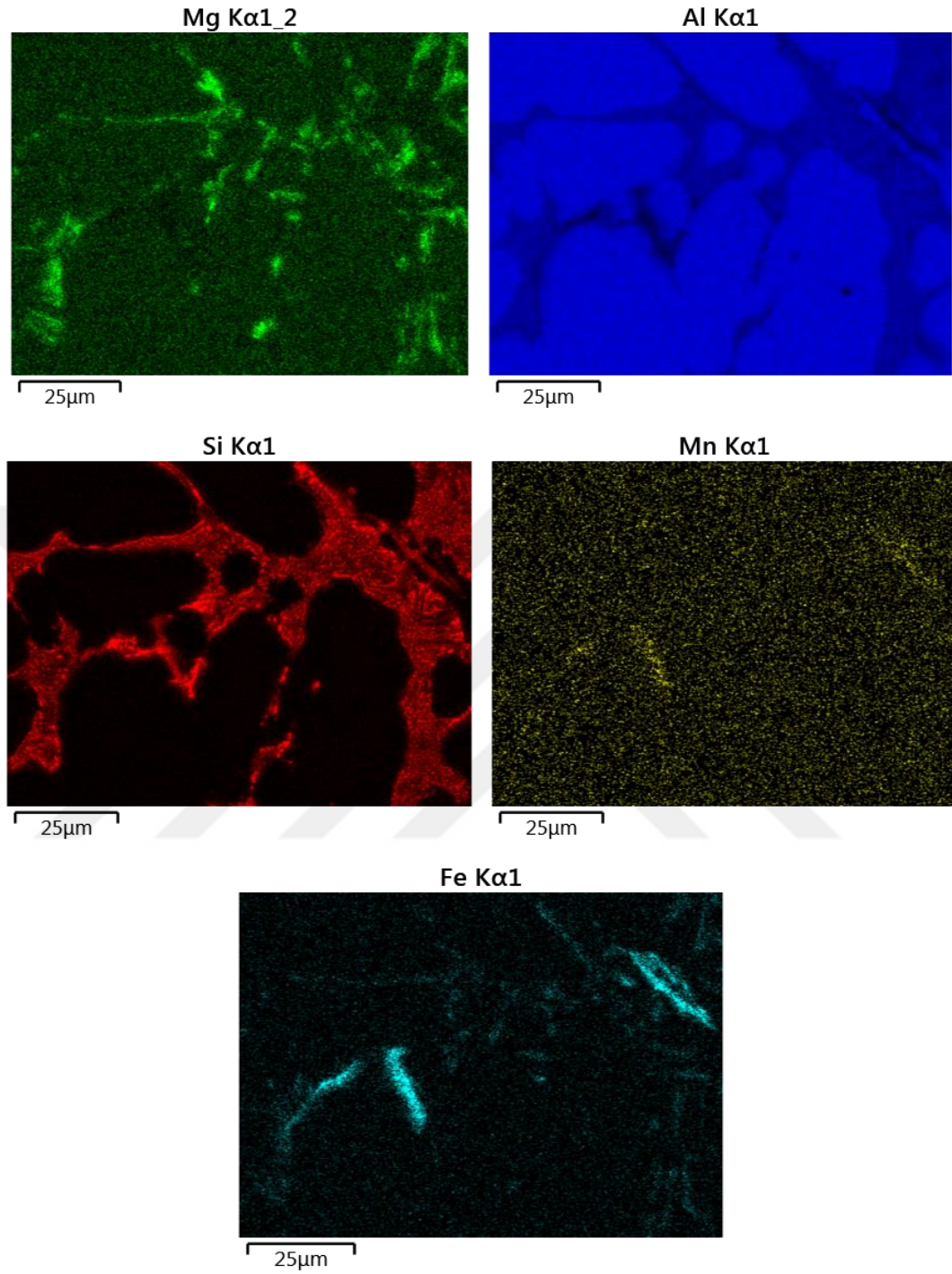


Şekil 4.11. 250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi

Diğer numunelerinin aksine silisyum ve oksijen seviyelerinde ufak bir artış vardır. Bununla beraber alüminyum seviyesi %90'ın altına düşmüştür. Farklı fazlarda demir, magnezyum, titanyum ve bakır görülmektedir.



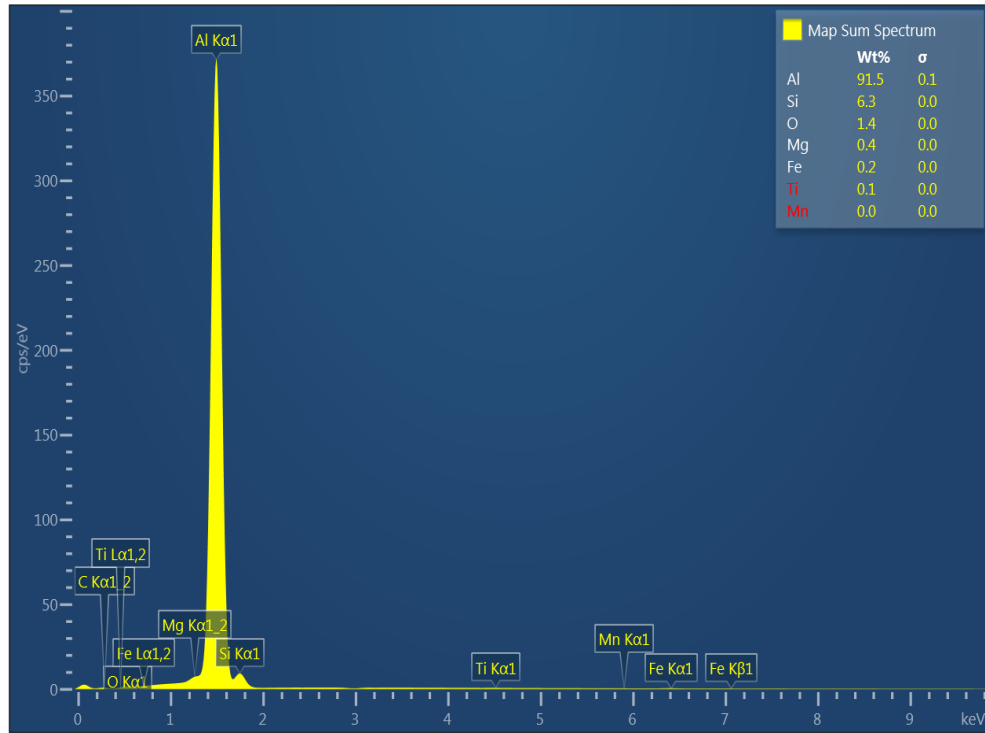
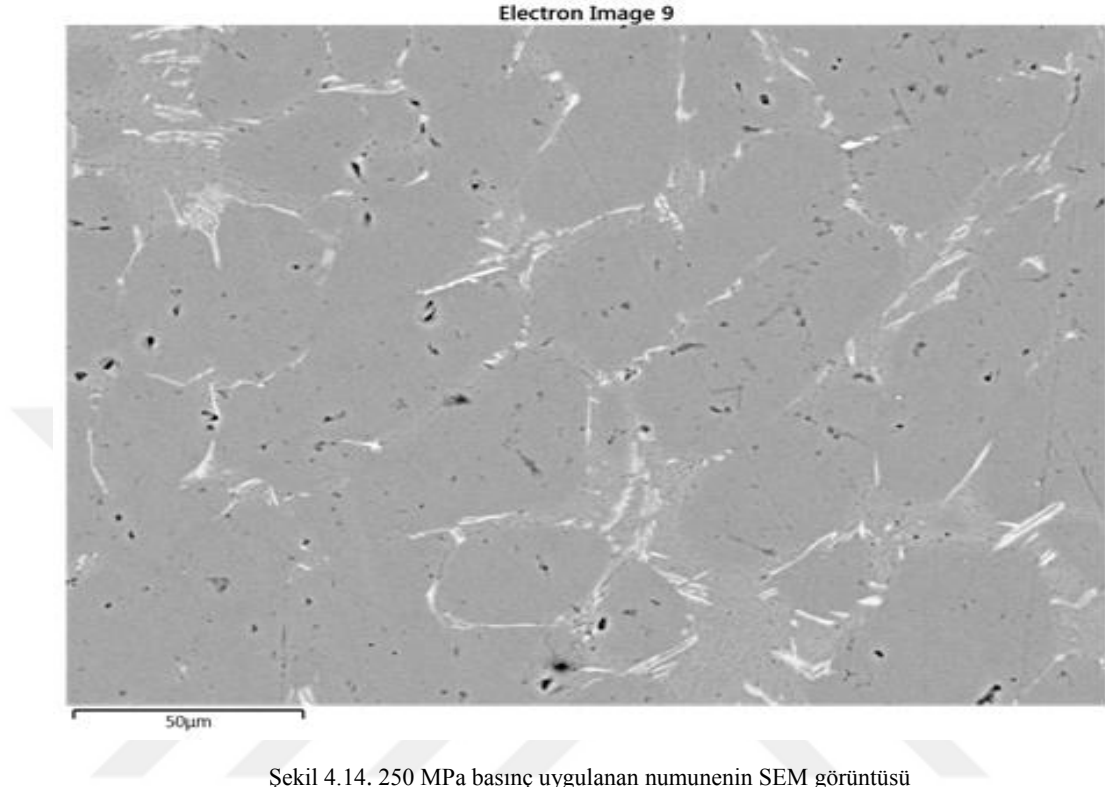
Şekil 4.12. 250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi

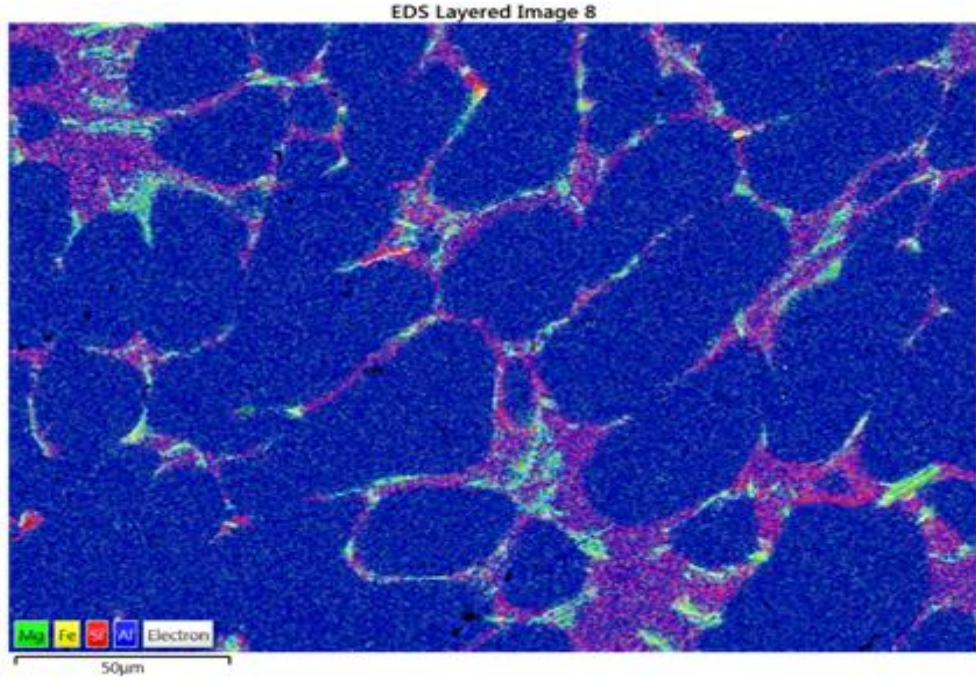


Şekil 4.13. 250 MPa basınç uygulanan numunenin dot-Map analiz sonuçları

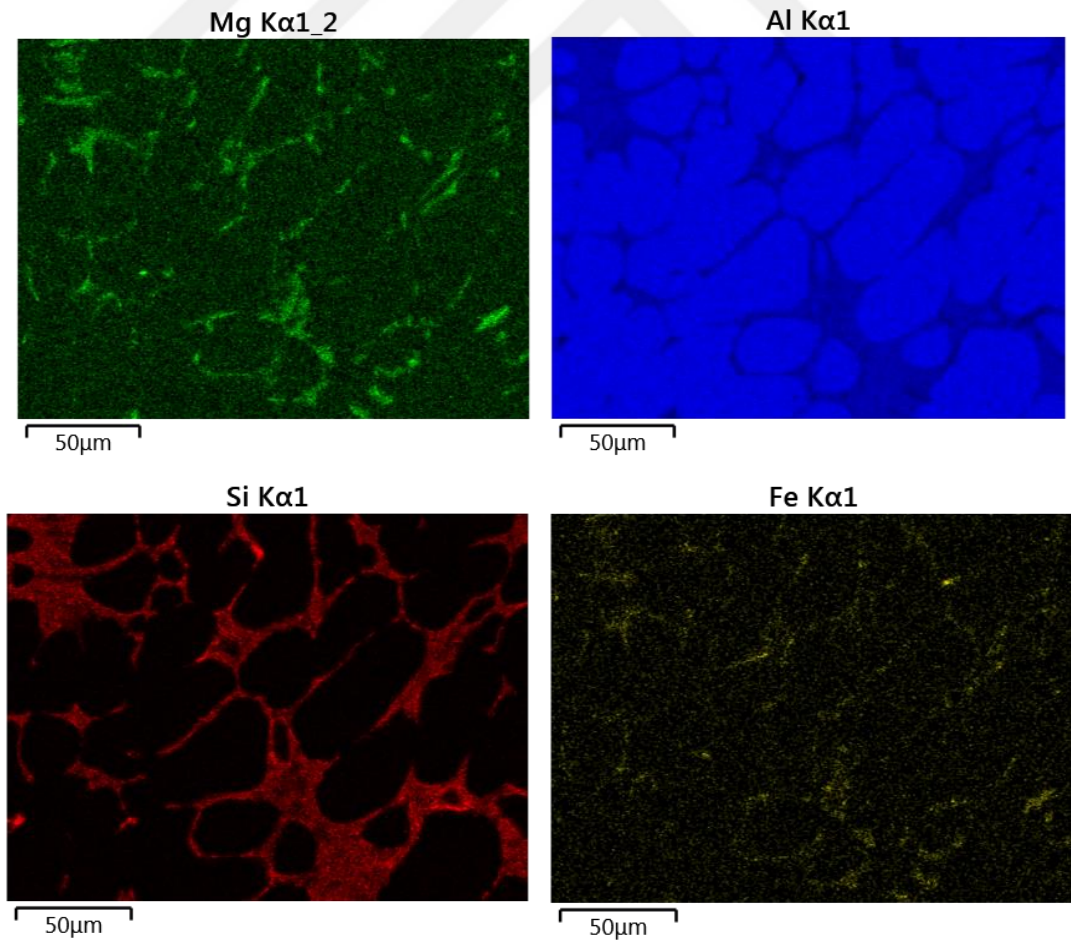
Silisyum ve magnezyumun tane sınırlarında yoğunlaşmasıyla beraber çok az miktarda bulunan mangan homojen bir dağılım göstermektedir. Özellikle mikroyapıda gördüğümüz beyaz renkli döküm hatalı bölgelerde yoğun bir şekilde demir bulunmaktadır.

Şekil 4.14.'deki mikroyapı ve EDS analizleri aynı numunenin farklı bir bölgesinin incelenmesiyle elde edilmiştir.





Şekil 4.16. 250 MPa basınç uygulanan numunenin EDS analizi



Şekil 4.17. 250 MPa basınç uygulanan numunenin dot-Map analiz sonuçları

Diğer numunelerdeki gibi sınırlarda yoğun şekilde bulunan silisyum ve magnezyumla beraber homojen bir yayılım gösteren diğer elementleri görmekteyiz.

4.2. Mekanik Analiz Sonuçları

Elde edilen numuneler çekme cihazında test edilmiş ve Tablo 4.2.'deki değerler bulunmuştur. Tablodaki Rm değerleri çekme mukavemetini Rp ise akma mukavemeti değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.2. Numunelerin elde edilen mekanik özellikleri

Numune	Do (mm)	Akma Mukavemeti Rp0.2 (MPa)	Çekme Mukavemeti Rm (MPa)	Ag %	A50mm %
0 MPa	5,99	100	140	2,92	3
150 MPa	5,99	106,2	188,5	4,02	4,21
250 MPa	5,98	120,8	184,9	4,92	5,02

Döküm işlemi sırasında uygulanan 150 MPa basınç ile akma mukavemeti yaklaşık %6.2, 250 MPa basınç ile %20.8 oranında artmaktadır. Çekme mukavemet oranları ise %32-34 oranında artmaktadır.

Elde edilen mekanik sonuçları genel olarak yorumladığımızda döküm işlemi sırasında uyguladığımız basıncın mekanik özelliklere olumlu yönde etki etkiğini görebiliriz. Artan basınç ile beraber mekanik özelliklerin daha da arttığı görülmektedir.

BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Genel Sonuçlar

Bu tez çalışmasında sıkıştırma döküm yöntemiyle $AlSi_5Mg$ parçalar üretilmiştir. Bağlantı parçaları, aydınlatma, ev aletleri, makine mühendisliği, desen/kalıp yapımı ve kimya endüstrisinde kullanılan bu parçaların mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla çeşitli basınç ve sıcaklıklarda sıkıştırma döküm işlemi uygulanmıştır. Parçalar üretimden sonra incelenmek SEM, EDS, dot-Map analizlerine ve çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda basınç uygulanmayan ilk numunede dentritik yapı daha kalın, tane ve tane sınırları daha büyük ve belirgindir. Herhangi bir döküm hatasına rastlanılmamaktadır.

Diğer numuneler incelendiğinde döküm sırasında uygulanan basınç ile beraber dentritik yapıların incelendiği ve yer yer parçalandığı görülmektedir. Numune yüzeyi ise pürüzsüz ve ek işleme gerek duymayan bir yapıdadır. Ancak ilk numunemizin aksine numuneler içerisinde gaz boşlukları görülmektedir ve artan basınç ile beraber gaz boşluklarının sayısı da artmaktadır. Bunun sebebi döküm kalıbımızda gaz çıkışına ait bir sistemin olmamasıdır. Buna rağmen yüzey ve mekanik değerler artan basınçla iyileşmiştir.

Genel olarak herhangi bir döküm hatasına rastlanmamaktadır. İnceleme ve deneylerimiz beklediğimiz sonuçları vermiş daha iyi mekanik değerler ve numune yüzeyleri elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

1. Sıkıştırma döküm işlemi gerçekleşirken basınç ve sıcaklık sürekli olarak kontrol altında tutulmalı ve incelenmelidir. En ufak bir hata bize, cihazlarımıza veya ürünümüze zarar verebilir. Yüksek basınçla beraber patlama ve sıçrama riskleri olduğundan basınç işlemi uygulanmaya başladığı an güvenli bir yerden takip edilmelidir.
2. Sıkıştırma döküm yöntemi için kullanılacak alaşım doğru seçilmelidir. Yüksek ergime noktasına sahip alaşımlar bu proses için uygun değildir.
3. $AlSi_5Mg$ bu proses için en uygun alaşımlardan biridir. Düşük ergime sıcaklığı ve fiyat/performans oranına sahip olması en önemli avantajlarından biridir. Bunun yanı sıra çeşitli magnezyum alaşımları da dökülebilir.
4. Sıkıştırma döküm yöntemi kurulum maliyeti açısından ekonomik bir yöntem olmadığından üretim planımız buna uygun olmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2003), Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.), Wiley, ISBN 0-471-65653-4.
- [2] Gülmez, T. MAK 351 Manufacturing Procedures, Technical University of Istanbul, Mechanical Faculty.
- [3] Özel, A. Döküm Prensipleri ve Teknolojisi. Sakarya Üniversitesi
- [4] Iva N., Jiri M and I. Novakova. Casting Processing. Pages 6-9. Technical University of Liberec; Liberec 2012.
- [5] Effects of squeeze casting parameters on density, macrostructure and hardness of LM13 alloy, A. Maleki, B. Niroumand *, A. Shafyei ,Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Received 28 November 2005; accepted 25 April 2006.
- [6] Squeeze casting: an overview M.R. Ghomashchi*, A. Vikhrov¹, School of Engineering, University of South Australia, The Levels, SA 5095, Australia, Received 6 May 1998.
- [7] Magnesium casting technology for structural applications Alan A. Luo a,b,* a Department of Materials Science and Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH, USA.
- [8] S. Corbit, R. DasGupta, Squeeze Cast Automotive Applications and Squeeze Cast Aluminum Alloy Properties. SAE Technical Paper 1999- 01-0343, SAE, Warrendale, PA, 1999.
- [9] E.J. Vinarcik, High Integrity Die Casting Processes, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 2003.
- [10] Ghomashchi, Mr and A Vikhrov. Squeeze casting: an overview. Journal of Materials Processing Technology. 1998, (Volume 101, Issues 1-3), Pages 1-9. DOI: 14 April 2000.

- [11] C.V. Cowley, W.R. Thorpe, B.I. Selling, in: IMMA Automotive Materials Conference, Melbourne, 1992.
- [12] ASM Metals Hand Book, 9th edn, Vol 15, Casting, ASM, Metals Park, (1983).
- [13] Squeeze Casting Process: Part One [online]. 2007 [cit. 2017-12-10]. Available from: <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=172>.
- [14] Design for Quality in The Concept Generation Phase of The Product Design Process, Ramanathan Arunachalam, Sayyad Zahid Qamar, Ahmed Said Al Shidhani, Ali Saud Al Musallami and Mohammed Saif Al Hadrami Mechanical and Industrial Engineering Department, Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman.
- [15] Fabrication of fiber reinforced metal matrix composites by squeeze casting technology, T.R. Vijayaram, S. Sulaiman, A.M.S. Hamouda*, M.H.M. Ahmad Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, UPM 43400 Serdang, Selangor Darul Ehsan, Poskod 43400, Malaysia.
- [16] Optimization of The Squeeze Casting Process For Aluminum Alloy Parts, David Schwam, John F.Wallace, Qingming Chang, Yulong Zhu. Case Western Reserve University..
- [17] Maharashtra Institute of Technology, Seminar on Squeeze Casting Process, Prof. G.P.Borikar.
- [18] Ragan, E. et al. Litie kovov pod tlakom. Prešov, 2007.
- [19] Fuji, M. a kol. Aluminium 1985, No. 9 p. 673-678
- [20] Borisov, G.P. Davlenije v upravljeniji litejnymi processami. Kijev, Naukovaja dumka. 1988.

ÖZGEÇMİŞ

Enes Yıldız, 23.01.1992’de Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli’de tamamladı. 2010 yılında Necip Fazıl Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nü 2016 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2017-2018 yılında yüksek lisans eğitiminin 2 dönemini Technical University of Liberec, Çek Cumhuriyeti’nde tamamladı.