

INVESTIGATION OF CONTINUOUS CASTING METHOD IN ALUMINUM WROUGHT ALLOYS ALÜMİNYUM İŞLEM ALAŞIMLARINDA SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ

Seracettin AKDI^{1a}, Havva DEMİRPOLAT^{2b}

^a AKDI MÜHENDİSLİK, Konya, Türkiye, E-posta: info@akdimuhendislik.com

^b Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, E-posta: hdemirpolat@selcuk.edu.tr

Özet

Alüminyum alaşımların çelikten sonra en çok kullanılan ikinci metal alaşım grubudur. Yüksek özgül mukavemet, kolay şekil alma, iyi elektrik iletkenliği ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. ASTM standartlarına göre alüminyum alaşımları döküm ve işlem alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Döküm alaşımları; faz diyagramında ötektik noktalara yakındır, iyi akışkanlığa sahiptir ve dökülebilirliği kolaydır. İşlem alaşımları; oldukça düşük alaşım elementleri içerdikleri için ötektik noktalara uzaktır, klasik yöntemler ile üretilemezler bundan dolayı ani soğutulan sürekli döküm yöntemi ile ingot veya biyetler dökülerek üretilir. Bu şekilde üretilen ürünler genellikle direk kullanılamazlar. Dökülen bu ingot veya biyetler; ekstrüzyon, dövme veya hadde gibi işleminden geçtikten sonra kullanıma hazır hale gelirler.

Bu çalışmada alüminyum sürekli döküm sürecinin çeşitleri ve ilkeleri araştırılmıştır. Sürekli döküm sürecinde uyulması gereken esaslar, kalıp tasarımları, sıvı metal rafinasyonu ve katılaşma esasları incelenmiştir. Çalışmanın sonunda örnek bir biyet makro yapısı hazırlanmış ve incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: sürekli döküm, DC döküm, Biyet, işlem alaşımları

Abstract

It is the second most used metal alloy group of aluminum alloys after steel. It has a wide range of applications due to its high specific strength, easy forming, good electrical conductivity and high corrosion resistance. According to ASTM standards, aluminum alloys are divided into two main groups as casting and process alloys. Casting alloys; It is close to eutectic points in the phase diagram, has good fluidity and is easy to pour. Process alloys; Since they contain very low alloying elements, they are far from eutectic points, they cannot be produced by conventional methods. Therefore, they are produced by pouring ingots or billets by instant cooling continuous casting method. Products produced in this way cannot be used directly. Spilled ingots or billets; After extrusion, forging or rolling, they become ready for use.

In this study, the types and principles of aluminum continuous casting process were investigated. The principles of continuous casting process, mold design, liquid metal refining and solidification principles were examined. At the

end of the study, a sample billet macro structure was prepared and examined.

Keywords: Continuous Casting, DC Casting, Billet, Wrought Alloys

1. Giriş

Alüminyum en çok kullanılan ikinci metaldir. Ticari olarak keşfedileli henüz 200 yıldan az olmasına rağmen özellikle 2. dünya savaşından sonra çok hızlı endüstrilemiştir. Dünya üzerinde en çok bulunan 3. element olan alüminyumun metalik halde elde edilmesi oldukça zahmetlidir. Ticari olarak alüminyum üretimi Boksit (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2) cevherinden zenginleştirilerek elektroliz yöntemi ile elde edilir.[1, 2] çizelge'1 de tipik bir boksit cevheri kimyasal bileşeni ve çizelge 2'de minerolojik analizi yer almaktadır.

Çizelge 1 tipik boksit kimyasal bileşimi [1]

Bileşen	%(Ağırlıkça)
Al_2O_3	30-60
Fe_2O_3	1-30
SiO_2	< 0.5-10
TiO_2	< 0.5-10
Organik karbon	0.02-0.40
P_2O_5	0.02-1.0
CaO	0.1-2.0
V_2O_5	0.01-0.10
ZnO	0.002-0.10
Ga_2O_3	0.004-0.013
Cr_2O_3	0.003-0.30
S	0.02-0.10
F	0.01-0.10
Hg (ppb)	50-1000

Çizelge 2 tipik boksit minerolojik analizi. [1]

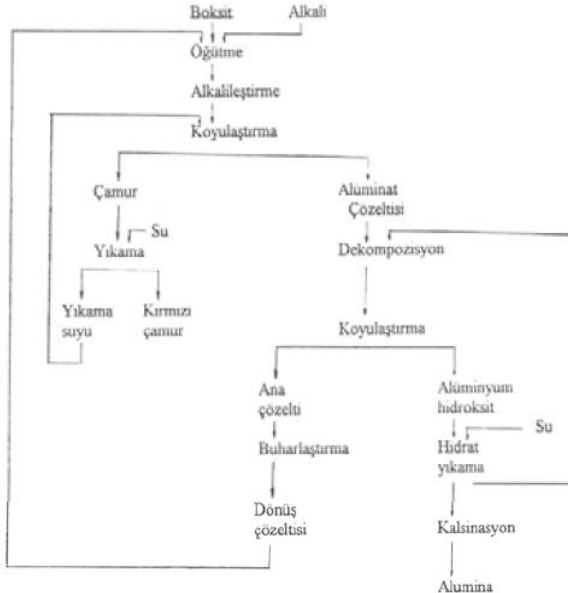
Ana element	Mineral	Kimyasal formül	Kistik çözünme sıcaklığı (°C)	Çalışma basıncı (atm)
Alüminyum	Gibbsit	Al(OH) ₃ ya da Al ₂ O ₃ ·3H ₂ O	150	~8
	Böhmit	AlOOH ya da Al ₂ O ₃ ·H ₂ O	250	~54
	Diaspor	AlOOH ya da Al ₂ O ₃ ·H ₂ O	> 260	~60
Silisyum	Kuarz	SiO ₂	250	~54
	Kalolin	Al ₂ Si ₂ O ₇ (OH) ₄ ya da Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	150	~8
Demir	Hematit	Fe ₂ O ₃		
	Gotit	FeO ya da Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O		
Titanyum	Anatas	TiO ₂	250	~54
	Rutil	TiO ₂		

Boksit mineralinde alüminyum metali oksit halindedir. Çeşitli madencilik süreçlerinden geçen mineral zenginleştirilerek otoklav ve elektroliz süreçlerinden sonra metalik külçe elde edilir.

Birincil alüminyum üretimi, birbirinden bağımsız 4 süreçten oluşur:

1. Boksit madenciliği
2. Boksit cevherlerinden Bayer Prosesi ile alümina üretimi,
3. Alüminadan “ergimis tuz elektrolizi (Hall-Herault Prosesi)” ile metalik alüminyum üretimi,
4. Enerji üretimi ya da temini.[3]

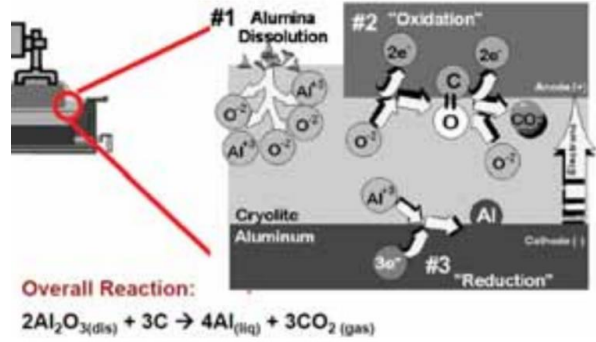
Alüminyum elektroliz süreci olarak bilinene ve tuz çözeltisinden alüminyumun elde edildiği proses en çok enerjinin harcandığı kısımdır. Alüminyum metal keşfedildiği günden bugüne kadar sürekli elektroliz enerji girdisini düşürmek için araştırmalar ve çalışmalar yapılmış ancak halen günümüzde dahi enerji problemi devam etmektedir. Bayer prosesinin şematik gösterimi şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1 Bayer süreci şematik gösterimi.[4]

Bayer sürecinde oluşan endüstriyel atık olan kırmızı çamur oldukça baziktir. Bu atık yüksek bazik karakterdedir. Mineral zenginleştirilmesinin ardından yapılan elektroliz sürecinde metalik alüminyum üretimi tamamlanmaktadır.

Elektroliz denklemi ve şematik gösterimi şekil 2’de yer almaktadır. aşağıdaki gibidir.



Şekil 2 alüminyum elektroliz şematik görünüm[3]

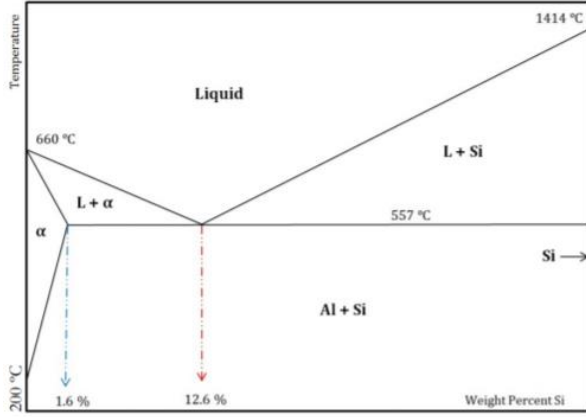
2. Alüminyum Sürekli Döküm

Bayer süreci sonunda elde edilen alümina (Al₂O₃) elektroliz sonucunda külçe halinde üretilmektedir. Üretilen külçeler alaşımlı ingotlar olarak veya saf halde ticarileşebilmektedir. ASTM standartlarına göre alüminyum alaşımları iki ana gruba ayrılmaktadır. Birinci grup döküm alaşımları olarak adlandırılır. Bunlar faz diyagramında (Al-Si, Al-Cu, Al-Mg...) öteklik noktaya yakın alaşımlar vardır. Bu alaşımlar; kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm veya yüksek basınçlı döküm gibi klasik yöntemle iş parçası üretilen alaşımlardır. İkinci grup ise işlem alaşımı olarak adlandırılmaktadır. Bu grup alaşımlar düşük alaşım elementleri ihtiva ettiği için klasik yöntemler ile üretilemezler. Bu grup alaşımlar sürekli döküm yöntemleri ile üretilirler. İşlem alaşımları döküm alaşımlarına göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Ekstrüzyon, hadde veya dövme yöntemi ile iş parçası üretilmektedir. ASTM standartlarına göre alüminyum alaşımlarının gruplandırılması çizelge 3’de yer almaktadır. İşlem alaşımları 4 hane döküm alaşımları ise 3 hane olarak kodlanmaktadır.

Çizelge 3 ASTM standardına göre alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.

İşlem alaşımları		Döküm alaşımları	
Kod	Alaşım elementi	Kod	Alaşım elementi
1XXX	Al>%99 (Fe ve Si)	1XX	Al>%99
2XXX	Cu içerir	2XX	Cu içerir
3XXX	Mn içerir	3XX	Si (Cu-Mg) içerir
4XXX	Si (Cu-Mg) içerir	4XX	Si içerir
5XXX	Mg ve Mn içerir	5XX	Mg içerir
6XXX	Si, Mg ve Mn içerir	6XX	kullanılmaz
7XXX	Zn-Mg içerir	7XX	Zn-Mg içerir
8XXX	Li içerir	8XX	Sn içerir
9XXX	Kullanım yok		

İşlem alaşımları faz diyagramında öteklik noktadan uzak oldukları için klasik yöntemler ile dökülemezler. Katı sıvı geçiş bölgesi geniştir. Şekil 2’de Al-Si faz diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2 Al-Si faz diyagramı [5]

%Si oranı 1.6 aralığında olduğunda en geniş katılaşma sıcaklık aralığına sahiptir. Bu aralık %Si oranı 12.6 ya geldiğinde o olmaktadır. Sıvı metal aniden katılaştağında dentrit kollar arasında boşluk oluşabilmektedir. İşlem aşimlarında Si harici alaşım elementlerinde (Mg, Mn, Fe, Cu...) bulunuyor olması faz diyagramındaki katı sıvı aralığını değıştirmektedir. Al-Si faz diyagramında %Si oranı 1,6'dan daha az olduğunda α faz dönüşümü ile çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi gerçekleşmektedir. Bundan dolayı %1,5 ile %5 arası Si içeren alaşım lar ticari olarak kullanılmamaktadır. 4XXX serisi alüminyum lar standart olarak belirlenmiş olsa da çok fazla üretimi bulunmamaktadır. Si haricinde Mg gibi yüksek alaşım elementi içeren alaşım lar bu konunun dışındadır.

3. Sürekli Döküm Teknolojileri

Alüminyum sürekli döküm teknolojileri gelişmekte olan bir alandır. Temel prensip sıvı haldeki alüminyum alaşımının ani soğutma yapılan bir kalıptan geçirilerek katılaşmasıdır. Hem katılaşmanın gerçekleştiğı kalıp hızlı soğutulur hem de katılaşan alüminyum üzerine su püskürtülerek metal üzerinden ısıl akış sağlanır. Sistemler aralıksız döküm yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bazı alüminyum sürekli döküm sistemleri şunlardır:

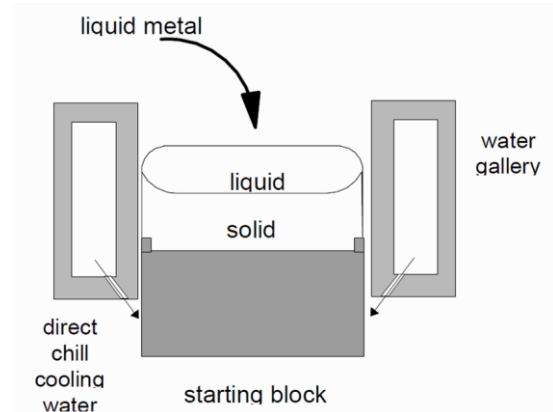
1. Dikey sürekli döküm biyet üretimi
2. Yatay sürekli döküm biyet üretimi
3. Hazelett ikiz bant söküm yöntemi
4. İkiz merdane döküm yöntemi

Sıvı alüminyumun aniden soğutularak dökülmesi ile ilgili uygulama teknikleri oldukça fazladır ve gelişmektedir. İhtiyaca göre teknikler geliştirilmektedir.

Ekstrüzyon dövme hammaddesi yerine sürekli döküm dövme hammaddesi ile ilgili yapılan çalışmalardan olumlu sonuçlar alınmıştır.[6] men ürü özellikleri gelişmekte hem de maliyetler %40 a kadar azalmaktadır.

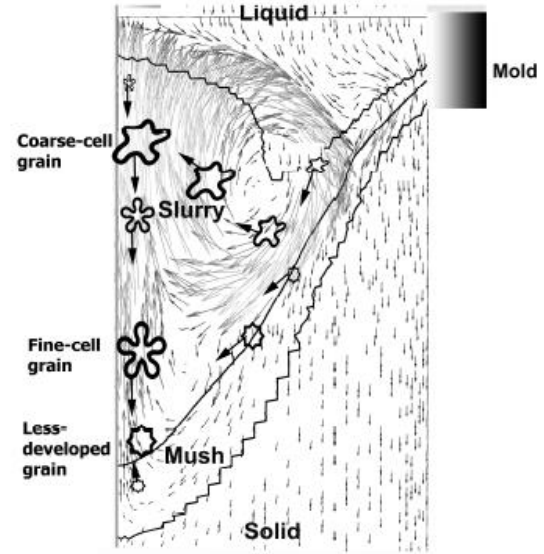
Sıvı halden katı hale geçerek süreli profil halinde üretilen alüminyum yapının şematik gösterimi şekil 3'de yer almaktadır. Sıvı metal ani soğutma ile katı hale geçmektedir. Ani soğutma yapabilmek için su kullanılmaktadır. Suyun sıvı alüminyum ile teması patlama sebebi olduğu için sistem tasarımlarında su ve sıvı alüminyum arasında kalıp perdesi vardır. Alüminyum sürekli döküm sürecinde kalıp tasarımı, soğutucu etkisi, sıvı metal sıcaklığı, döküm hızı, iş parçası ebatları ve alaşım kalitesinin nihai malzeme üzerinde çok önemli etkileri vardır. Katılaşmanın sağlandığı sıvı metal çukurunun kalıptan ne kadar uzakta oluştuğı çok önemlidir. Oluşan bu yapı ters konik haldedir ve katılaşma dışardan içeriye doğru gerçekleştiğı için bu koninin uç kısmı sürekli

katılaşma eğilimindedir. Profilin hareketinin tersi yönünde ilerlemektedir.[7]



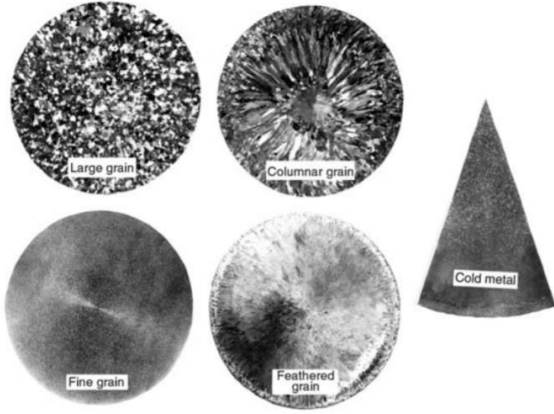
Şekil 3 alüminyum sürekli döküm sistemlerinde katılaşmanın şematik gösterimi.[7]

Katılaşma koniğinde sıvı metal sıcaklığı ve soğuma hızına bağlı olarak segregasyonlar oluşmaktadır. Ayrıca sıvı metal içerisindeki Cu, Mg ve Si gibi elementlerde katılaşma konisinin yapısını etkilemektedir. Şekil 4'de katılaşma mekanizmasının ve segregasyon oluşumunun şematik gösterimi yer almaktadır. [8]



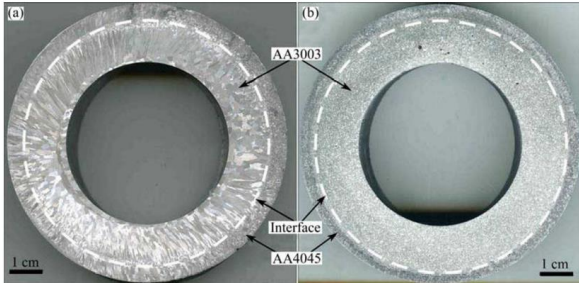
Şekil 4 sürekli döküm katılaşma şematik gösterim [8]

Sürekli döküm yöntemi ile yapılan üretimlerde profil kesit yapısında makro tane oluşumu şekil 5' ki gibidir. Alaşım yapısı ve soğuma hızına bağlı olarak segregasyon haricinde bir de makro yapıda tane irileşmeleri gözlemlenmektedir. Bu problemi çözebilmek için döküm tandişine Ti ve/veya B ilavesi yapılmaktadır. Bu ilave katılaşmadan hemen önce yapılması gerekir ve oran olarak %0,3-0,5 arasına olması uygundur. Bu Ti/B alaşım a çubuk halinde döküm hızına paralel olarak ilave edilmektedir. Potaya yapılan ilaveler alaşım elementlerinin yoğunluğundan dolayı istenen faydayı sağlamayabilir. [9]



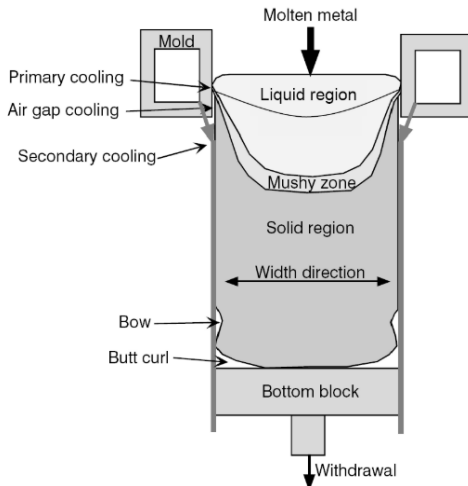
Şekil 5 alüminyum sürekli döküm biyet kesit tane yapıları[9]

Segregasyonu ve tane irileşmesini önlemek için döküm azından hemen önce manyetik karıştırıcı konulmaktadır. AA 3003 alaşımı içi boş profil olarak yatay sürekli döküm ile üretilmiştir.[10] Bu sistemde üretilen profillerin kesit yapıları şekil 6 da karşılaştırılmıştır.



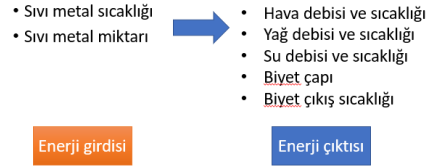
Şekil 6 AA 3003 alaşımında manyetik karıştırma etkisinin makro kesit yapısı üzerindeki etkisi[10]

Sürekli döküm kalıplarında birbirinden farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Hottop ve airtop gibi teknolojiler ile sürekli döküm yapılmaktadır. Daha yeni bir teknoloji olan airtop yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sistemde kalıp olarak grafit kullanılır. Grafit; ısıyı iyi iletme, gözenekli yapı ve döküm sıcaklıklarına dayanmasından dolayı tercih edilir. Şekil 7 de sürekli döküm sistemi şematik görünümü yer almaktadır. Grafit kalıba yağ ve gaz girişi vardır. İlk soğuma gaz (asal gaz veya atmosfer) ile yapılmaktadır

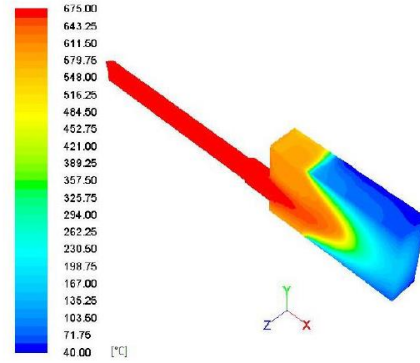


Şekil 7 sürekli döküm şematik görünüm [11]

Sürekli döküm ile ilgili bazı modelleme sistemleri ve programları geliştirilmiştir. Bunlar ile döküm prosesi modellenerek üretim parametreleri belirlenmektedir. Simülasyon girdisi olarak zaman bağılı sıvı metal geçişi, sıvı metal sıcaklığı, kalıp geometrisi, yağ ve gaz girdisi su debisi, su sıcaklığı ve çıkan biyet sıcaklığı verilmektedir. Bu verilere göre döküm parametreleri belirlenebilir. Şekil 8'de parametre bilgileri ve şekil 9'da örnek bir simülasyon çalışması yer almaktadır.



Şekil 8 simülasyon parametre bilgileri



Şekil 9 yatay sürekli döküm simülasyonu [12]

4. Sonuç

Bu çalışma sonucunda:

- İşlem aşamalarının hepsi sürekli döküm yöntemleri ile üretilmektedir. Elektroliz ile elde edilen birincil alüminyum alaşımlandırılarak sürekli döküm ile üretilir.
- Sürekli döküm prosesinde katılaşma koniğinin yapısı biyet kalitesinin belirler. Bu koniğin yapısı alaşım türü ve üretim parametreleri ile doğrudan bağlantılıdır.
- Döküm öncesinde tane inceltme ve makro segregasyonları azaltmak için TiB ilavesi yapılır. Ayrıca manyetik karıştırma sistemleri ilave denebilir.
- Alüminyum sürekli döküm sürecinde grafit kalıplar kullanılmaktadır ve bu kalıplara ısı enerjisini çekmek için gaz ve su soğutma sistemleri kullanılmaktadır.
- Simülasyon çalışmaları ile üretim parametreleri belirlenebilmektedir. Bun için verilen enerji ve alınan enerji eşitliği ilkesinden yararlanır. Öncelikle girdi enerjisi olarak sıvı metal sıcaklığı ve miktarı belirlenir daha sonra verilen enerjiyi çekebilmek için biyet çapına göre gaz ve su miktarı birim zamanda ölçülür. Çıkan biyetin son sıcaklığı simülasyon parametresi ve üretim parametresinin doğrulaması durumundadır.

Kaynaklar

- [1] E. CAR, TMMOB Metalurji ve malzeme mühendisleri odası 153 (2009).
- [2] N. Yapici, H. GÜNEYLİ, H. Karakilçık, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 30 (2015) 55-64.
- [3] E. CAR, TMMOB Metalurji ve malzeme mühendisleri odası 156 (2010).
- [4] S. ŞAHİN, MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ 6 (2000).
- [5] M. ZAMANI, Al-Si Cast Alloys Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Elevated Temperature, Department of Materials and Manufacturing, SCHOOL OF ENGINEERING, JÖNKÖPING UNIVERSITY, Jönköping, Sweden, 2015.
- [6] Y. Birol, O. Ilgaz, S. Akdi, E. Unuvar, Advanced Materials Research 939 (2014) 299-304.
- [7] P.D.Y. BİROL, ALUMINIUM TECHNOLOGIES-week5., alüminyum teknolojileri, İzmir TÜRKİYE, dokuz eylül üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölümü, 2015.
- [8] D.G. Eskin, L. Katgerman, Materials Science Forum 630 (2009) 193-199.
- [9] P.K. Saha, Aluminum_Extrusion_Technology, Materials Park, Ohio 44073-0002, ASM International, 200.
- [10] L. Wu, H.-j. Kang, Z.-n. Chen, N. Liu, T.-m. Wang, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 25 (2015) 2675-2685.
- [11] M. Lalpoor, Study of Cold Cracking during DC-casting of High Strength Aluminum Alloys, Materials Science and Engineering, vol PhD thesis, Delft University of Technology, Netherlands, 2010.
- [12] G. Garðarsson, Modeling and Analysis of a Horizontal Direct Chill Casting Process, Faculty of Industrial, - Mechanical Engineering and Computer Science, vol Master's thesis, University of Iceland, Reykjavik, 2012.