Teknik yazı

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA İNKLÜZYON ÇEŞİTLERİ VE ÖNLEYİCİ FAALİYETLER

Mehmet GÜLER Çuhadaroğlu Metal San. ve Pazarlama A.Ş.

ÖZET

Alüminyum alaşımları, son mamul aşamasına kadar birçok prosesten geçmektedir. Malzemenin kalitesini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli parametrelerden biri de inklüzyondur. Bu çalışma, inklüzyon çeşitleri, oluşumu, oluşturduğu hatalar ve önleyici faaliyetlerini anlatan bir derlemedir.

1. GİRİŞ

İnklüzyon, metalik olmayan kalıntı anlamına gelmektedir. Alüminyum alaşımlarında inklüzyonlar iki tipte olabilir. Dışsal ve/veya içsel olarak ikiye ayrılmaktadır. Dışsal inklüzyonlar dış sebeplerden kaynaklanmaktadır. Örneğin: refrakter partikülleri, alüminyum oksit, silisyum oksit, silisyum karbür; bunlar aşınma ve fırın malzemelerinin erozyon sonucu oluşmaktadır. Bu parçacıklar ayrı ayrı bulunmaktadır ve boyutları 1µm'den birkaç mm'e kadar olabilmektedir. İçsel inklüzyonlar ergitme sırasında kimyasal reaksiyon sonucu oluşmakta ya da bilinçli olarak eriyiğe katılmaktadır. Bunlar ya flakslama için yada tane inceltmek için katılmaktadır. Bu inklüzyonlar katı ya da sıvı halde bulunabilir [1].

Ergimiş alüminyum alaşımlarında çok sayıda değişik tür katı kalıntı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır [2]:

- Oksitler (Al_2O_3, MgO)
- Spineller ($MgO.Al_2O_3$, $SrO.Al_2O_3$)
- Borürler (TiB_2, VB_2, ZrB_2)
- Karbürler (Al_3C_4, TiC)
- İntermetalikler ($MnAl_3$, $FeAl_3$, AlSiFeMn fazları) (ince dağılmış olarak istenirler ve kaba birincil fazlar olarak bulunduklarında kalıntı olarak değerlendirilirler)
- Nitrürler (AlN)
- Yüksek sıcaklıkta ergiyen kalıntılar

2. İNKLÜZYONLAR

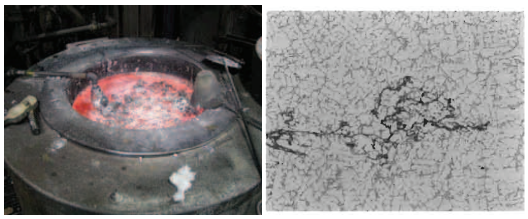
Ergimiş alüminyum içerisinde ki inklüzyonlar ve oksitler nihai olarak DC döküm sisteminde katılaştıktan sonra alüminyum içerisine hapsolursa, billetlerin daha sonra ki aşamalarda işlenmesi sırasında prosesi olumsuz etkileyecektir. İşlenmesi sırasında oluşabilecek çeşitli hatalar [2];

- Ekstrüzyon sırasında üründe oluşabilecek yırtıklar
- Ekstrüzyon sırasında ürünün yüzeyinde oluşacak izler ve damarlanmalar
- Ekstrüzyon kalıbının çabuk aşınması
- Ekstrüzyon ürünlerinde işlenebilme kabiliyetinin azalması

Oksit Filmleri: Yüksek sıcaklık ergimiş alüminyumun oksijene karşı afinitesi yüksektir. Ortamda ki hava ile temas eden ergimiş alüminyum oksijen ile reaksiyona girer ve bir oksit film tabakası (Al_2O_3) oluşturur. Bu katman zamanla daha koyu hale gelmektedir. Üç farklı faz dönüşüme uğrayan alüminyum oksit, önce amorf yapıda olup ince film şeklinde iken, γ-Al_2O_3 ve daha sonra korundum olarak bilinen α-Al_2O_3'e dönüşür.

OKSİTLER	ŞEKLİ	YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	BOYUTU (µm)	ERGİME SICAKLIĞI (°C)
$MgAl_2O_4$	Partikül, film	3,6	0,1-100;10-5000	2825
Al_2O_3	Partikül, film	3,97	0,3-30; 10-5000	2047
MgO	Partikül, film	3,58	0,1-5; 10-5000	2115
SiO_2	Partikül	2,66	0,5-30	1650
CaO	Partikül	3,37	<5	2630

Tablo 1: Çeşitli oksitlerin şekil, yoğunluk, boyut ve ergime sıcaklığı tablosu [3]

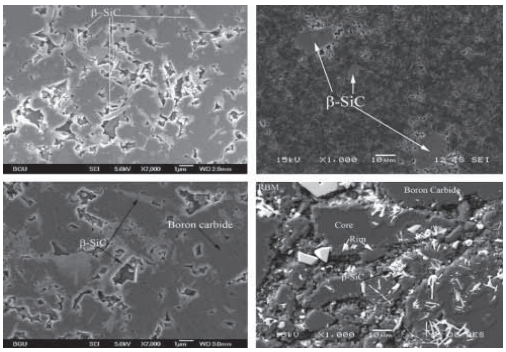


Resim 1: Oksitlenmiş pota ve mikroyapıya karışmış oksit [3]

Karbürler: Birincil alüminyum üretiminde alüminyum karbür (Al_4C_3) alüminanın indirgenmesi sırasında C anot ve katotların çözelti içerisinde temas halinde bulunmasından kaynaklanabilmektedir. Ayrıca daha sonraki proseslerde ergimiş alüminyum herhangi bir karbon içeriğiyle teması halinde reaksiyona girip karbür oluşturabilmektedir.

KARBÜRLER	ŞEKLİ	YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	BOYUTU (µm)	ERGİME SICAKLIĞI (°C)
Al_4C_3	Partikül	2,36	0,5-25	2100
SiC	Partikül	3,22	0,5-5	2540

Tablo 2: Çeşitli karbürlerin şekil, yoğunluk, boyut ve ergime sıcaklığı tablosu [3]



Resim 2: Bazı karbürlerin SEM görüntüsü [3]

Refrakter Malzemeler: Alüminyum ile temas halinde bulunan refrakter malzeme partikülleri fırın duvarından koparak inklüzyon oluşturabilir.

Klorürler: Klorür inklüzyonlar($MgCl_2$, NaCl, $CaCl_2$) özel tür inklüzyonlardır ergimiş alüminyum içerisinde sıvı halde bulunurlar.

KLORÜRLER	ŞEKLİ	YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	BOYUTU (µm)	ERGİME SICAKLIĞI (°C)
$MgCl_2$, NaCl, $CaCl_2$	Sıvı	1,9-3,0	0,5-1	700-1000

Tablo 3: Çeşitli klorürlerin şekil, yoğunluk, boyut ve ergime sıcaklığı tablosu [3]

Flaks Tuzu: Klorürler gibi, flaks tuzları da sıvı inklüzyon şeklinde bulunmaktadır. Bu inklüzyonlar ergimiş alüminyumu temizlemek amaçlı eklenen fazla flakslardan gelmektedir.

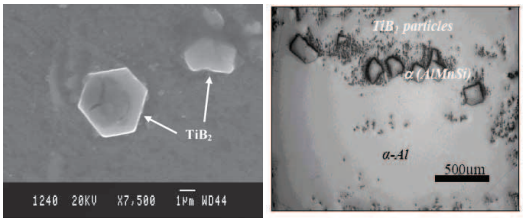
Bilinçi Olarak Eklenen İnklüzyonlar: Titanyum borit (TiB_2) bilinçli olarak mekanik özellikleri geliştirmek için ergimiş alüminyuma eklenen tane incelticidir.

Daha Seyrek Olarak Bulunan İnklüzyonlar: Alüminyum alaşımlarında şu inklüzyonlarda bulunabilmektedir. İğnemsi alümina (Al_2O_3), nitritler (AlN), floridler (Na_3AlF_6, NaF, CaF_2), alüminyum borürler (AlB_2, AlB_{12}), boron karbür (Al_4C_4B).

Ayrıca yolluk üzerinde ki çatlaklara yama yapmak için kullanılan kemik külü (Ca_3 $(PO_4)_2$) ergimiş alüminyum içerisinde inklüzyon olarak bulunabilmektedir.

KARBÜRLER	ŞEKLİ	YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	BOYUTU (µm)	ERGİME SICAKLIĞI (°C)
TiB_2	Partikül	4,5	1-30	2790
AlB_2	Partikül	3,19	0,1-3	2160

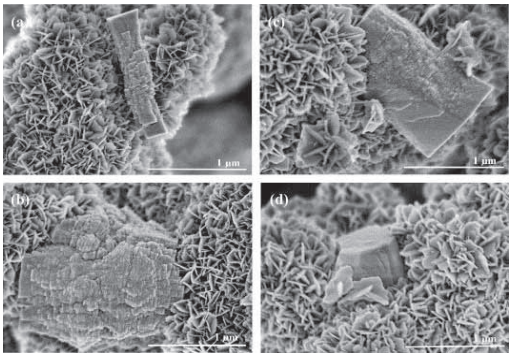
Tablo 4: Çeşitli borürlerin şekil, yoğunluk, boyut ve ergime sıcaklığı tablosu [3]



Resim 3: TiB_2 SEM görüntüleri [3]

KARBÜRLER	ŞEKLİ	YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	BOYUTU (µm)	ERGİME SICAKLIĞI (°C)
AlN	Partikül, film	3,26	10-50	227

Tablo 5: Çeşitli nitrürlerin şekil, yoğunluk, boyut ve ergime sıcaklığı tablosu [3]



,

Resim 4: Farklı boyut ve dağılımlardaki AlN Sem görüntüleri [3]

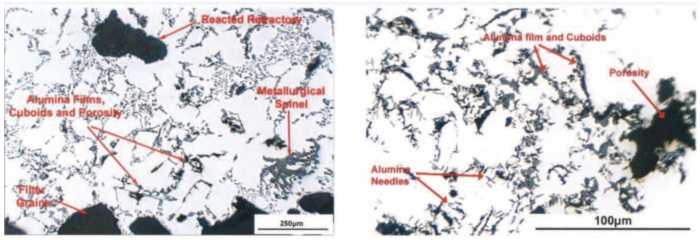
KARBÜRLER	ŞEKLİ	YOĞUNLUĞU (g/cm^3)	BOYUTU (µm)	ERGİME SICAKLIĞI (°C)
$TiAl_3$, TiAl, NiAl, Ni_3Al	Partikül	-	10-100	-
Al(FeMnCr)Si	İğnemsi	>4,0	-	-

Tablo 6: Çeşitli intermetalik bileşiklerin şekil, yoğunluk, boyut ve ergime sıcaklığı tablosu [3]

SINIFLANDIRMA	GÖZLEMLENMİŞ TÜRLERİ	POTANSİYEL KAYNAKLARI
Metalik olmayan dış kaynaklı	Çeşitli refrakter partikülleri, Al_4C_3 v.b.	Refrakter degradasyonu, refrakter/metal reaksiyonları
Metalik olmayan	MgO, Al_2O_3 film ve kümeleri $MgAl_2O_4$ filmi ve kümleri	Ergitme, Alaşımlama, Metal transferi sırasında oluşan türbülans
Flaks tuzları	$MgCl_2$, NaCl, $CaCl_2$ v.b.	Flaks tuzlarının reaksiyonu sonucu zayıf ayrıştırma, Klor gazıyla oluşan tuz, Magnezyum ihtiva eden alaşımlar, filtre

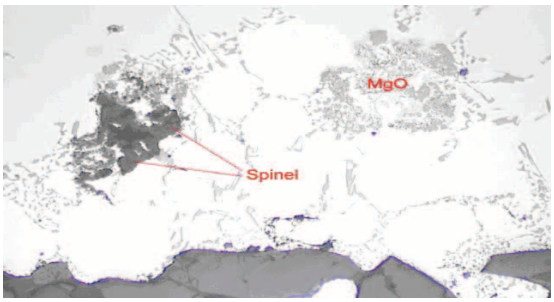
Tablo 7: İnklüzyonların sınıflandırılması, çeşitli bileşikleri ve potansiyel kaynakları [4]

Oksit, borit, nitrit ve seramik esaslı kalıntılar ekstrüzyon prosesinde profilin yüzey kalitesini bozarak profil yırtılmalarına sebep olmaktadır. Önemli inklüzyon kaynaklarından biri de alüminyum kazanım yöntemi olan hurdalardır. Hurdalar, fırına giren oksit miktarının artmasına neden olurlar ayrıca yüzeylerinde ki boya ve kullanımının vermiş olduğu etki ile fırın içinde oksit ve cüruf miktarını arttırırlar. Sisteme hidrojen ve oksit girmesine neden olurlar. Diğer bir empürite kaynağı ergimiş metalin dip kısmıdır. Ergimiş metal içerisindeki elementler yoğunlukları yüksek olan bileşikler oluşturarak ergimiş metal banyosunun dip kısmına çökelirler. Dördüncü empürite kaynağı alaşım ilaveleridir.



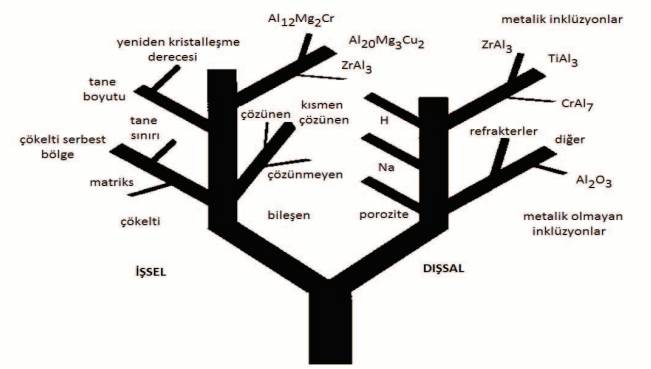
Resim 5: PoDFA testi ile filtrede kalan kalıntılarından alınan optik mikroyapıları; oksit filmleri, porozite, refrakter kalıntıları, spinel ve iğnesel alüminalar [5]

Alüminyum yüksek sıcaklıklarda oksijene karşı afinitesi çok yüksektir. Ergimiş halde ki alüminyum yüksek sıcaklık, türbülans, uzun bekleme süreleri, ergimiş alüminyumun alaşımı gibi etmenler oksitlerin oluşum hızı ve miktarını belirlemektedir.



Resim 6: PoDFA numunesi mikroskop altında incelmesinde bulunan yapıda ki Spinel ve Magnezyum Oksit

Cüruf; alüminyum oksit, alüminyum, karbit, nitrit, çeşitli tuzlar ve ergitme ürünlerinin karışımıdır. Yüksek kaliteli alüminyum dökümü ve kontrollü ergimiş metal kalitesi gerektirir.



Resim 7: Staley Tokluk Ağacı [3]

3. ŞARJ MALZEMESİ

Dökümde kullanılan fırın şarjı, alüminyumdan ve arzulanan alaşımı oluşturmak için gerekli alaşım elementlerinden oluşmaktadır. Şarj malzemeleri üç ana kalemden meydana gelmektedir. Yüksek saflıkta alüminyum külçeler, alaşım elementleri ve işletme içi üretim hurdalarıdır. Ayrıca dışarıdan hurda alınması durumunda uygun ayırma işlemleriyle ayrıldıktan sonra değişik şarjlarla eklenebilmektedir [6].

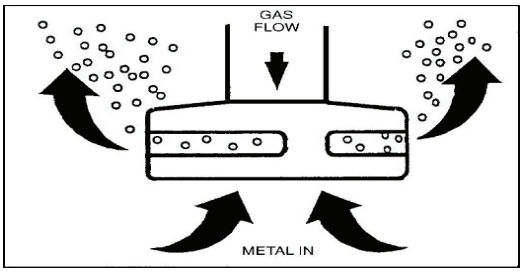
4. ERGİTME VE TUTMA

Alüminyum ergitme ve alaşım üretme amacıyla kullanılacak ocak türünün seçimi dökümün türüyle ve dökümün miktarıyla bağlantılıdır. Billet döküm işlemleri için büyük, refrakter astarlı sabit reverber ergitme fırınları kullanılmaktadır. Ayrıca bunlara alternatif olarak iki ergitme bölmesine sahip ocaklarda kullanılabilmektedir. Bu tür sistemlerde ocaklardan birinden ham maddeyi şarj etmek ve ergitmek için yararlanılırken, diğeri tutma ve döküm amacıyla kullanılmaktadır. Günümüzde devirmeli fırınlar, bir kontrol düğmesine basılarak ocağı boşaltılabilen ve otomatik bir kontrol sistemi yardımıyla devirme açısı gibi parametreleri kontrol edebilecek düzeneklerle donatılmışlardır. Eriyik, tabandan yukarı doğru manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak, aşırı çalkalanma ve yüzeydeki oksit tabakasının parçalanması ve eriyiğe karışmasını önlemektedir. Daha sonra sıyırma işlemiyle oksit tabaka eriyikten ayrılmaktadır [6].

5. FLAKSLAMA İŞLEMİ VE GAZ GİDERME

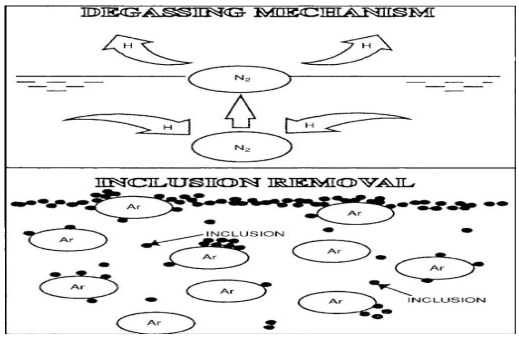
Flakslama işlemi, ergiyik alüminyuma uygulanan kimyasal bir işlemdir. Bu amaçla kullanılan kimyasal bileşikler inorganik tuz karışımlarıdır. Bunun dışında ergiyik içinde katı ve gaz kalıntıları gidermek için inert veya reaktif gazlarla yapılan ergiyik işlemleri de flakslama prosesine dahildir. Alüminyum ergiyiğinde oksit oluşumu ve metal olmayan kalıntıların varlığı oldukça sık karşılaştığımız durumlardır. Kalıntılar sıvı ve katı olarak bulunabilmekte ve ergiyik katılaşırken yapı içerisinde kalabilmektedir. Flakslama işlemi ergiyik içerisindeki istenemeyen kalıntıların bir araya toplanması ve ergiyik yüzeyinden sıyrılmasını kolaylaştıran bir prosestir. Flakslama işlemi sıcaklığa bağlı bir prosestir. Flaks yapıcıların eriyiğe eklenmesinden önce ergimiş metalin sıcaklığının yüksek olması gerekmektedir. Yüksek sıcaklıklarda hem alüminyumun hem de flaks yapıcı kimyasalların akıcılıkları son derece yüksektir. Bu sayede ıslatılabilirlikleri yüksek olup iyi bir reaksiyon sağlanmış olur. Alüminyum alaşımları için kullanılan dört tip ana flaks türü: örtü flaksları, temizleme flaksları, cüruf yapıcı flakslar ve inceltici flakslardır.

İyi bir billet döküm kalitesi elde etmek için gaz giderme ve kalıntıları uzaklaştırmak amacıyla yapılan bu işlemler billet dökümünün önemli aşamalarındandır. Yolluk hattına bağlanan gazla flaks sistemi ergiyik içerisindeki hidrojeni %61-65 arasında gidermekte ve kalıntıların %65'ten fazlasını uzaklaştırmaktadır. Artan billet kalitesi ekstrüzyonun en önemli parametrelerinden olan ektrüzyon hızının artmasını sağlamaktadır. Silindirik grafit bir rotorla yapılan gazla yapılan flaks işlemi ekstrüzyon verimliliği için önemli bir prosestir [6].



Resim 8: Habbecik oluşumu [7]

Hem sıvı hem de katı alüminyumda önemli sayılabilecek oranda çözünen tek gaz hidrojendir (sıvı alüminyumda yaklaşık 1,4 ppm ve katı alüminyumda yaklaşık 0,12 ppm). Döküm yapısında poroziteye yol açtığından ve ekstrüzyon sonrası ya da ısıl işlem sonrası sert alaşımlarda kabarcık oluşumuna neden olduğundan katı alüminyum içerisinde ki hidrojenin ihtivası oldukça zararlıdır. Ocak atmosferi, şarj malzemesi, yakıtlar, dış parçalar, türbülans ve metal/kalıp reaksiyonları gibi değişik kaynaklardan alüminyum içerisine hidrojen girebilmektedir. Ergiyik içerisinde çözünen hidrojenin uygun bir gaz giderme işlemiyle azaltılması ve ortadan kaldırılması mümkündür. Gaz giderme amacıyla gaz geçirme, tablet türü flaksla gaz giderme ve mekanik mikserle gaz giderme gibi değişik gaz giderme işlemleri kullanılabilmektedir. Gaz giderme işlemi yalnız billet üretiminin en önemli konularından biridir. Yollukta ki alüminyum sistemde ilk inceltme işlemine tabi tutulmaktadır. Ardından döner gaz giderme prosesine tabi tutulmaktadır. Ergiyik alüminyumda çözünmüş hidrojen ve metalik olmayan kalıntılar; dönen bir rotor yardımıyla flaks gazını habbecikler şeklinde eriyiğe üfleyen bir düzenek yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Bu amaçla çoğunlukla inert gaz olarak argon veya argon-klorin gazı karışımı kullanılmaktadır. Çalışma sağlığı açısından klorinle çalışan sistemlerde çıkan gazın dışarı atılması için bir gaz çıkış sisteminin kurulmasına gerek vardır. Klorin ergiyik alüminyumda gaz giderme amacıyla kullanılacak en etkin gazdır [7].



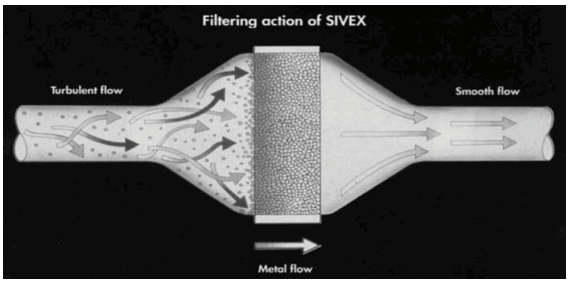
Resim 9: Gaz giderme prosesi [7]

6. TANE İNCELTME

Alüminyum billet dökümünde amaç ince, eş eksenli tanelerden oluşan bir yapı elde etmektir. Billet oluşumunda oluşan tane türü ve boyutları alaşım bileşimi, katılaşma hızı ve tane inceltici gibi faktörler tarafından belirlenmektedir. Tane inceltici; kendini çekme, sıcak yırtılma ve hidrojen porozitesini en aza indirerek döküm prosesini iyileştirmektedir. Sonuç olarak tane inceltme işlemi uygulanarak dökülen billetlerin ekstrüzyonuyla elde edilen ürünler daha iyi mekanik özelliklere sahip olmakta, ısıl işleme daha duyarlı olmakta, kimyasal ve elektrokimyasal yüzey işlemleri sonucu daha iyi yüzeyler vermekte ve yüzey yırtılmasına daha dayanıklı olmaktadırlar. En yaygın kullanılan tane incelticiler titanyum-bor mastar alaşımları ve alüminyum-titanyum-bor mastar alaşımlarıdır [6].

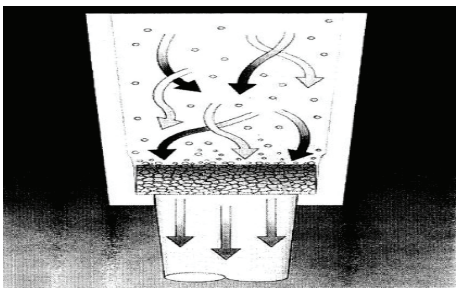
7. FİLTRASYON SİSTEMİ

Alüminyum alaşımları oksitlenmeye son derece müsait alaşımlardır ve metalik olmayan kalıntılar içermektedir. Kalıntılar alaşımın fiziksel, mekanik ve elektriksel özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle filtrasyon işlemi billet üretiminin en önemli aşamasıdır. Filtrasyon işlemi yolluk üzerinde ve ergiyik metal döküm makinesine girmeden hemen önce yapılan işlemdir. Filtrasyon işleminde ergimiş metal gözenekli süzme düzeneklerinden geçirilerek ergiyik içerisinde kalıntıların filtrasyon sistemi tarafından yakalanması sağlanır [6].



Resim 10: Köpük filtrelerin temizleme etkisi ve akışı düzgünleştirmesinin şematik gösterimi [7]

Filtre malzemesinin seçimi önemli bir konudur. Filtre malzemesi, işlevini yerine getirmek için mekanik dayanım, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısıl şok direnci ve korozyon direnci gibi özelliklere sahip olmalıdır. Döküm işlemlerinde, metal veya cam yünü setler, döner gaz giderme,yatak filtreler,sıkıştırılmış parçacık filtreler,kartuş filtreler ve seramik köpük filtreler gibi çok değişik tipte filtreler kullanılmaktadır. Döküm işleminde filtrenin türünün seçimi; kullanım kolaylığı, maliyet, yer kısıtlamaları, yardımcı metal işleme yetenekleri, istenilen süzme verimi ve son ürünün kullanım yeri gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Günümüzde seramik köpük filtreler yaygın bir şekilde ve başarıyla kullanılmaktadır.



Resim 11: Türbülansı azaltmak için filtre ünitesinin rolü [7]

KAYNAKLAR

[1] Gruzleski, J.E., Closset, B.M., "The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys.", Transactions of the American Foundrymen' s Society. (1990).

[2] Grandfield, J.F., Eskin, D.G., Bainbridge, I.F., "Direct Chill Casting of Light Alloys.", Wiley Inc, (2013).

[3] Dışpınar, D. "Alüminyum Şekillendirme Teknolojileri." İstanbul Üniversitesi, (2013).

[4] Kaufman, J.G., Rooy, E.L., "Aluminum Alloy Castings Properties, Processes and Applications." ASM İnternational, (2004).

[5] Ludwig, T., Di Sabatino, M., Arnberg, L., Dispinar, D., "Influence of Oxide Additions on the Porosity Development and Mechanical Properties of A356 Aluminium Alloy Castings.", AFS Transactions, (2012).

[6] Saha, P.K., "Aluminum Extrusion Technology.", ASM İnternational, (2000).

[7] Brown, J.R., "Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook.", Butterworth-Heinemann, (1994).

[8] Beeley, P., "Foundry Technology." , Butterworth-Heinemann, (2001).