

TAKIM ÇELİKLERİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN VAKUM ERGİTME PROSESLERİNİN METALURJİK KARAKTERİZASYONU

Murat AYDIN

Metalurji ve Malzeme Mühendisi

1. GİRİŞ

1950'li yıllardan itibaren çelik özelliklerindeki gelişmeler yeni çelik sınıflarının doğmasına neden olmuştur. Özellikle C, N, O, H gerektiğinde S ve P gibi elementler ile oksit miktarlarının çok düşük olduğu ultra temizlenmiş çeliklere doğru eğilim artmıştır. Bu tür kaliteli çeliklerin üretimi ikincil metalürjiyi gerektirmektedir. İkincil metalürjinin günümüzde ulaşılan en son aşaması ve en önemli özelliklerinden biriside vakum metalürjisidir.

Vakum proseslerinin çelik üretim prosesleriyle kombinasyon halinde olmasıyla bugün yüksek kaliteli çeliklerin üretimi mümkün olmaktadır. Vakum metalürjisi yöntemiyle; yüksek alaşımlı takım çelikleri, ultra düşük karbonlu ve azotlu IF çelikleri, çok düşük karbonlu Ti ilaveli, Ti+Nb ilaveli ve Nb ilaveli çelikler, dar analiz toleranslarının inklüzyon miktarlarının minimize edilmesinin istendiği çelikler, yüksek derecede şekillendirilebilirliğin istendiği derin çekme, extra derin çekme özellikli çeliklerin ve yüksek sıcaklık alaşımlarının bugün üretimi yapılabilmektedir.

2. VAKUM ERGİTME PROSESİ

Çok yüksek nitelikli çeliklerin ergitilip dökülmesinde kullanılan yöntemler, son derece kaliteli ve yüksek teknoloji ürünü süreçlerden oluşmaktadır.

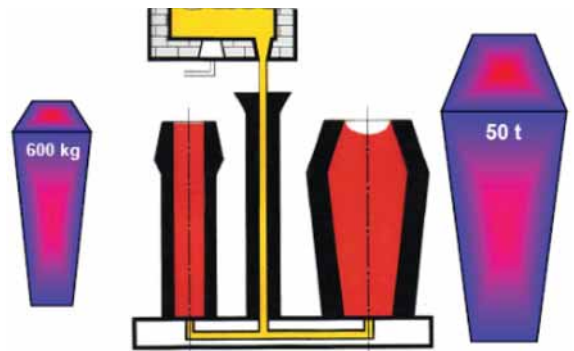
Yüksek nitelikli çeliklerde kaliteyi belirleyen özellikler aşağıdaki unsurlara bağlıdır;

- Dar kimyasal bileşim
- Homojen kimyasal bileşim
- İnce taneli ve homojen mikroyapı
- İşlenmiş yüzeyler (Kabuk soyulmuş)

Alışılmış çelik üretim süreçlerine ek olarak, çok temiz hurda (özellikle paslanmaz çelik hurdası) girdi olarak kullanılır. Ergitme işlemi Elektrik Ark Ocaklarında (EAO) yapılır ve mutlaka ergitme sonrası pota metalurjisi ile alaşımlama ve gaz alma, Ca enjeksiyonu vb. işlemler, çeliğin kalitesini arttırmak için ergiyiğe tatbik edilir.

Döküm, yine aynı amaçla dipten döküm yöntemi ile gerçekleştirilir. Böylece elde edilen ingotlar, yeniden ergitilerek iç yapı homojenliği daha da yükseltildikten sonra, dövülerek ısı işleme alınır. Burada dövülmüş çeliğin mikroyapısı modifiye edilir ve gerek dövme gerekse de ısı işlem sırasında yüzeyde oluşan bozunmuş tabakaların çelikten uzaklaştırılması için kütükler talaşlı işleme girer. Böylece kabuk soyulmuş hale gelen bu kütükler, daha sonra ultrasonik çatlak kontrolünden geçirilerek, diğer mekanik inceleme için hazır hale getirilir.

Dipten döküm metodunda kullanılan potaların kova şeklinde muylu bir çelik çeperi vardır. Bu potalar genellikle tuğla döşelidir, bazen yalın halde kullanılırlar bazen de yüzeyinde ateş kili olur. Çeperin dibinde refrakter bir ağızlığı olan delik bulunur ve bu ağızlığın içinde metal akışını kontrol etmeye yarayan bir tıkaç vardır. Şekil.2.1.



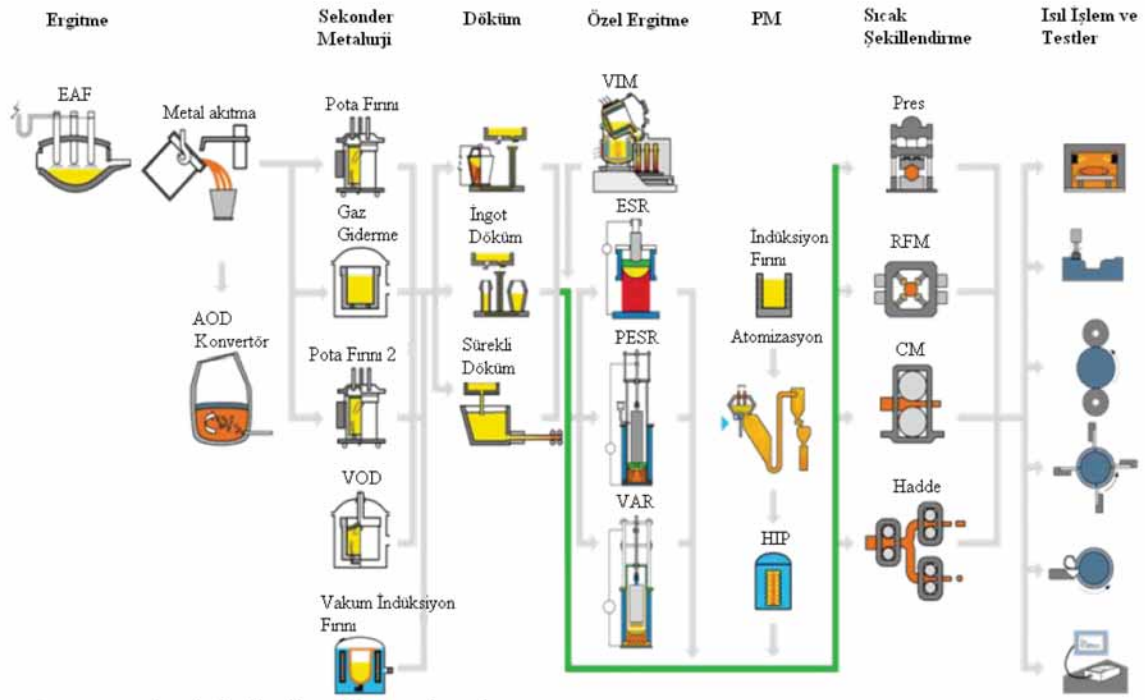
Şekil 2.1. Dipten döküm yöntemi.

Yüksek kaliteli çeliklere uygulanan pota metalurjisi ve dipten döküm sistemi ile segregasyonlar (belli bölgelerde alaşım elemanlarının ve kalıntıların birikmesi) azaltılmış olur.

Kaliteli çelik üretiminde temel olarak aşağıdaki prosesler kullanılır;

- Döküm – Dövme / Hadde Tekniği (Termo Mekanik İşlem)
- Toz Metalurjisi (Powder Metallurgy + Dövme ve haddeleme)

Şekil 2.2’de yüksek kaliteli çelik üretim süreçleri, Çelik Üretim Akış Şeması’nda verilmiştir.



Şekil 2.2. Yüksek kaliteli çelik üretim akış şeması.

Üretilen kaliteli çeliklerin büyük bir kısmı Elektrik Ark Fırınları’nda üretilir. Amerika’da bu oran %90 civarındadır. Elektrik Ark Fırınlarında 3 elektrot bulunur ve bunlar üçgen şeklinde yerleştirilmişlerdir. Elektrotlar grafit veya amorf karbondur. Oluşan ark elektrotlardan banyoya gelir ve metal doğrudan eritilmiş olur. Elektrotların banyodan olan yükseklikleri ve verilen ısı; elektrotları kaldırıp indiren motorlarla otomatik olarak kontrol edilir. İşlem rafinasyon ve gerekli ilavelerin (bileşim ayarlamaları) yapılması ile gerçekleşir. İşlemin gerçekleştirilmesi;

• Oksitlenebilir elementlerin ayrıştırılması (oksidasyon):

Çeliğin deoksidasyonu; Demirdeki FeO ve CO gibi oksitlerin SiO_2 , Al_2O_3 ve CaO gibi çözünmeyen oksitlerle dönüştürülmesidir. Banyodaki desülfürizasyon işleminde Mangan ile birleşen sülfür yüzeye yükselir oradan curufun CaO içeriği ile reaksiyon vererek kalsiyum sülfür oluşturur.

• Bileşim ayarlamaları:

Bu işlem banyo ilk eridiğinde başlar ve saflaştırma periyodu boyunca devam eder. Metalik elementlerin ilavesi tam bileşimi bilinen ferro alaşımlar ile yapılır. Zaman zaman banyodan numune alınıp kimyasal bileşim kontrolü yapılır.

Çelik üretiminde pota metalürjisinin fonksiyonu erimiş metal fırını terk ettikten sonra bir konteyner vazifesi görmesidir. Erimiş metal potadan kalıba dökülür. Erimiş metal potaya aktıldıktan sonra yüzeyin üstünde bir curuf tabakası oluşur ve metali oksidasyondan ve hava nedeniyle sertleşmekten korur.

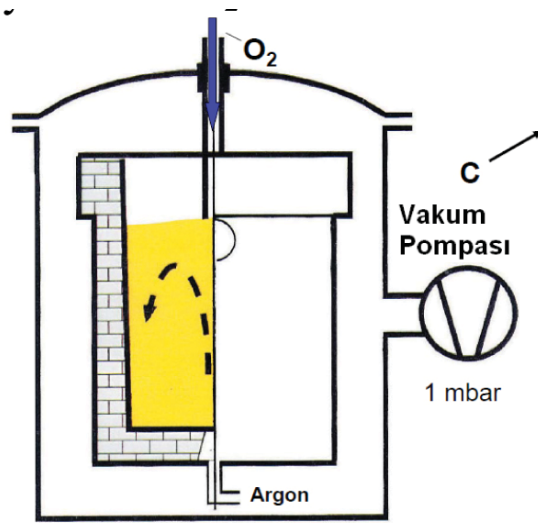
İki tip pota vardır; kenardan döküm ve dipten döküm. Kenardan döküm potalar sadece dökümhane uygulamalarıyla sınırlıdır. Takım çelikleri uygulamasında sadece dipten döküm potalar kullanılır.

3. VAKUM ALTINDA GAZ GİDERME PROSESİ

3.1. VAKUM OKSİJEN DEKARBÜRİZASYON- VOD

Son yıllarda çok temiz yapıya sahip çeliğe gereksinim ortaya çıkmıştır. Çok temiz çelik; içinde H, N, O gibi gazlar ile S, As ve nonmetalik inklüzyonların kalitesi ve miktarı, çeliğin sıcak işlenmesinde ve kullanım yerinde bir sorun çıkarmayacak düzeyde olması demektir.

İşte bu tip özelliklerin üretimi için VOD (Vacuum Oxygen Decarburisation) metodu kullanılır. Şekil 3'te görülen bu yöntemde ark ocağından ferro alaşımları ilave edilmiş olarak alınan sıvı çelik, alttan argon üfleme olanağı olan bir potaya konarak vakum haznesine getirilir. Burada bir lens yardımıyla üstten O_2 üflenebilir.



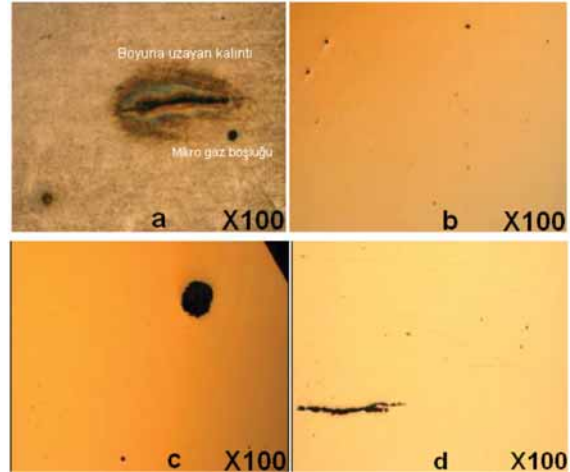
Şekil 3.1. Vakum Oksijen Dekarbürizasyon-VOD Prosesi

Vakum altında metal banyosuna O_2 üflenmesi nispeten hızlı bir dekarbürizasyona sebep olur. Bu sırada yükselen sıcaklık son alaşım ayarlamalarını yapmaya yetecek kadardır. VOD sisteminde vakum hiç kesilmez. Redüksiyon bitiminde numune alınır, ilave gereklyse yapılır ve döküm alınır. Kaliteli uygulamalarda argon karıştırmasının bitiminde dökümden önce banyo 20 dakika dinlendirilir.

3.2. KONVERTÖRDE VAKUM OKSİJEN DEKARBÜRİZASYON- VODC

VOD prosesinin konvertörde uygulaması VOD-C yöntemi olarak bilinir. Bu da aynı kalitede biraz daha hızlı olarak çelik üretimi sağlar. Vakumda gaz alma vasıflı çelik üretiminin en önemli aşamalarından birisidir. Sıvı çelik bünyesindeki çözülmüş O, H, N gazları çeliğin üretiminde hatalara sebep olan en önemli safsızlıkların başında gelmektedir. Bu gazlar, kalıntı oluşumundan çatlak oluşumuna kadar birçok olumsuzluğa sebep olabilmektedir. Şekil 3.2'de bu hatalara ait mikrograflar verilmiştir. Genelde çelik döküm hataları şunlardır:

- Metalik olmayan kalıntılar
- Gaz boşlukları
- Döküm boşlukları
- Segregasyonlar (Birikimler)
- Alaşım segregasyonları
- Karbür segregasyonları

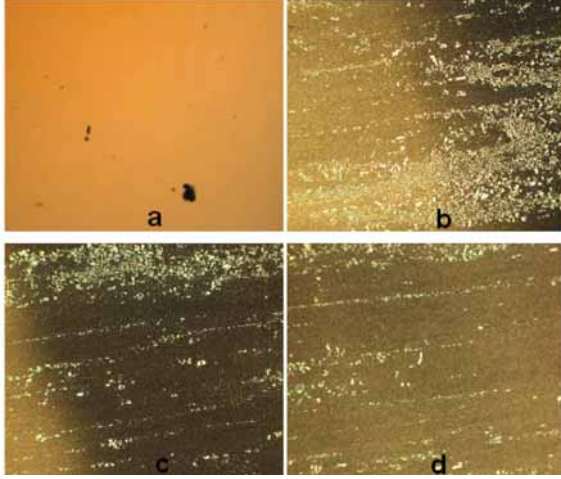


Şekil 3.2. (a); DIN 1.2767 Çeliğinde boyuna uzayan metalik olmayan kalıntı ve hemen altında mikro gaz boşluğu. (b); DIN 1.2363 Çeliğinde yoğun gaz boşlukları. (c); DIN 1.2379 Çeliğinde yaklaşık 1.0 mm çapında boşluk. (d); DIN 1.2344 Çeliğinde hadde yönüne paralel ilerleyen kalıntı, muhtemelen MnS.

Sıvı çelik içinde çözülmüş olarak bulunan bu gazları çelikten ayırmak, argon gazı ile vakum altındaki etkili karıştırma ile sıvı çelikte cürufu tam kontak haline getirerek sıvı çelik bünyesinden kalıntı(inklüzyon) uzaklaştırmak ve etkili S gidermek için vakum işlemi uygulanır.

Aşağıdaki şekilde üretim sırasında oluşan boşluk ve kalıntılar gösterilmiştir. Aşağıda verilen, Şekil 3.3'te görüldüğü üzere üretim proseslerinden kaynaklanan

bir biçimde çelik içerisinde oluşan kalıntı ve karbür segregasyonları görülmektedir. Bu durum üretim yönteminin çok iyi yapılmadığını açıkça göstermektedir ki, ileriki uygulamalarda bu şekilde üretilen bir çeliğin sorun çıkaracağı kesindir.



Şekil 3.3. (a); DIN 1.2436 Çeliğinde döküm boşlukları. 200X, (b); DIN 1.2379 Çeliğinde karbür segregasyonu.100X, (c); DIN 1.2379 Çeliğinde karbür segregasyonu.100X, (d); DIN 1.2379 Çeliğinde karbür segregasyonu.

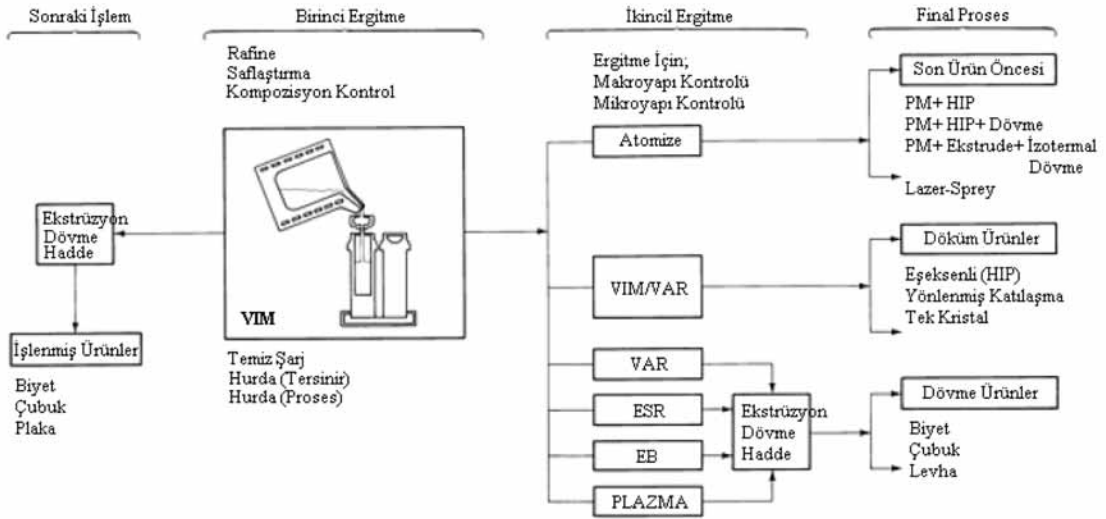
4.1. VAKUM İNDÜKSİYON ERGİTME/VIM

Vakum indüksiyon ertitme özellikle O₂ ve N₂ den arındırılmış bir atmosferde ertitilmesi gereken malzemeler için dizayn edilmiştir. Bu proses yüksek alaşımli çeliklerin ve süper alaşımların ertitilmesinde oldukça başarılı olmuştur.

Aşağıda verilen, Şekil 4.1'de VIM üretim prosesi şematik olarak verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta VIM üretimle ertitilen sıvının ya hemen VIM sonrası işleme alınıp ürün haline dönüştürülmesi yada VIM sonrası birtakım ertitme, yeniden ertitme ve dövme gibi bir takım proseslerden geçirilerek daha kaliteli ürün üretilmesidir.

VIM üretim yönteminde fırın içi yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakterle kaplanmış olup, fırın çok yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedir. Fırın kaplanmasında kullanılan refrakter çeşidi fırınının çıkacağı sıcaklığa ve ertitilecek ürünün cinsine bağlı olarak yapılmaktadır.

Fırının en büyük avantajı sürekli karıştırma prosesidir. Bu yöntem ile istenmeyen elementlerin yapı içerisinde uzaklaştırılması daha kolay hale gelmekte ve daha saf ve homojen yapıya sahip bir ürün üretilmektedir.



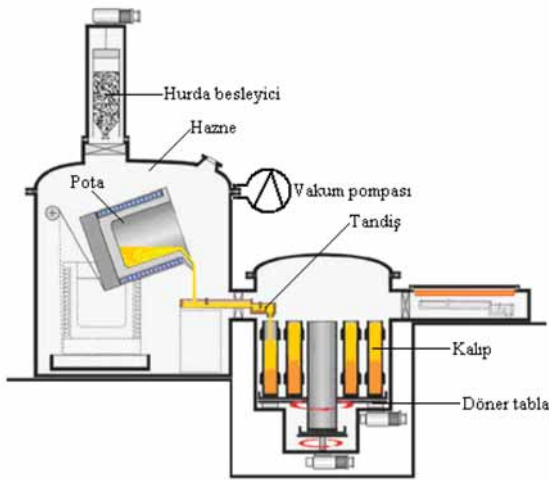
Şekil 4.1. VIM üretim prosesi akış şeması

Şekilden de görüldüğü üzere vakum indüksiyon ertitme (VIM) prosesi, birinci ertitme (rafine, saflaştırma ve kompozisyon kontrolü) başlayıp, ikincil ertitme prosesleri ile devam etmektedir.

İkincil ergitme proseslerinden daha iyi bir verim almak için ergitme işleminin vakum indüksiyon fırınında yapılması çok önemli bir gerekliliktir. Böylelikle istenilen temizlikte mikroyapıya sahip çelik üretilmiş olur.

Vakum indüksiyon ergitme sisteminin en büyük avantajlarından birisi de, elektromanyetik alanın sürekli karıştırma prosesini oluşturması ve yüksek arındırma işlemidir. Böylece çok daha iyi kalitede ve safsızlıklardan arınmış çelik üretimi gerçekleşir.

Proses; Şekil 4.2' de görüldüğü üzere vakum ortamında ergitme şeklinde yapılmaktadır. Sistem ergitilecek malzemenin/ hurdanın indüksiyon ocağına şarjı ile başlar ve vakum ortamında ingot dökümüyle son bulur, bu işlem sonucunda çok yüksek kalitede çelik ve havacılık ve uzay sanayinde kullanılan yüksek kaliteli süper alaşımlar üretilmiş olur.



Şekil 4.2. VIM ergitme ve döküm yöntemi şematik gösterimi.

Fırın içi refrakterler ile kaplı olup sistem vakum pompaları sayesinde sürekli vakum altında tutulmaktadır. Yüksek alaşımlı çeliklerin ve yüksek sıcaklık alaşımlarının indüksiyon ergitmesinde kullanılan potaların sıcaklık dayanımı çok önemlidir, bu yüzden iyi bir refrakter ile kaplanmış olması gerekmektedir. Özellikle yüksek sıcaklık alaşımlarının ergitilmesi için gerekli olan yüksek sıcaklıklara karşı direnç sağlaması açısından iyi bir refrakter kaplama yapılmalıdır. Aşağıdaki tabloda VIM fırınında kullanılan refrakter malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Refrakter	Max. Ergitme sıcaklığı °C	Refrakter yoğunluğu g/cm ³	Termal şok direnci	Uygulamaları
MgO	1600	2.8	İyi	S.alaşımlar/y.a. çelik
Al ₂ O ₃	1900	3.7	İyi	S.alaşımlar/y.a. çelik
MgO-spinel	1900	3.8	Az	S.alaşımlar/y.a. çelik
Al ₂ O ₃ -spinel	1900	3.7	Görece iyi	S.alaşımlar/y.a. çelik
ZrO ₂	2300	5.4	Az	S.alaşımlar/y.a. çelik
Grafit	2300	1.5	Mükemmel	Co

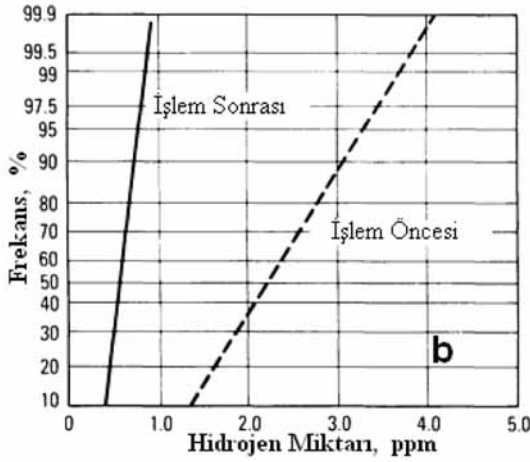
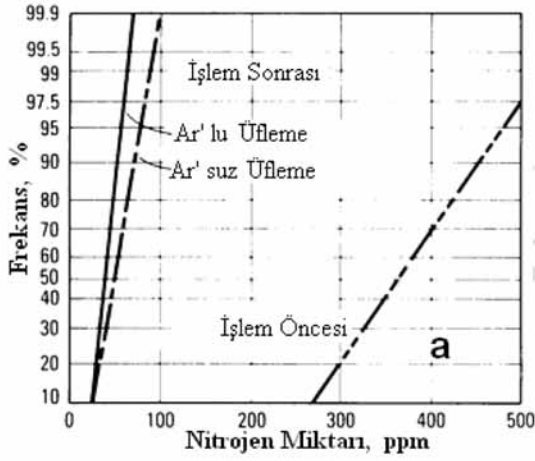
Tablo 4.1. VIM fırınında kullanılan refrakterler ve özellikleri

İndüksiyon ergitmenin en büyük avantajı istenmeyen uçucu elementlerin yüzeye taşınmasına yardım eden sürekli karıştırma prosesi oluşudur, bu karıştırma prosesi arındırma işlemini kolaylaştırır, elektromanyetik alanın yüksek karıştırma etkisi ince taneli bir yapı elde edilmesine imkan verir. Böylelikle dar kimyasal bileşimlerde rahatlıkla çalışılır ve yapı içerisinde istenmeyen gaz ve kalıntılar etkili bir şekilde uzaklaştırılır.

Bu sistemin belli bazı avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Farklı çelik ve alaşım türleri için program kolaylığı ve kolay operasyon
- Minimum seviyede kalıntı element miktarı (As, Sb, Sn, Cu)
- Minimum seviyede metalik olmayan kalıntı miktarı
- Oksidasyondan kaynaklanan alaşım elementleri kaybının minimum olması
- Dar kompozisyonlarda yüksek başarı
- Çok iyi sıcaklık kontrolü
- Dış ortama karşı minimum etkilenme
- İstenmeyen kalıntı elementlerin yüksek buhar basıncı altında yok edilmesi
- H₂ ve N₂ gibi çözünmüş gazların dışarı atılmasında üstün performans.

Şekil 4.3' de görüldüğü üzere nitrojen ve hidrojen redüksiyonu VIM prosesi öncesinde ve sonrasında çok ciddi farklılıklar göstermektedir; nitrojen işlem öncesi 300- 400 ppm'lerde iken işlem sonrasında 40 ile 100 ppm seviyelerine inmektedir. Yine aynı durum hidrojen içinde geçerli, başlangıçta 4 ppm üzerinde iken VIM sonrası 0,4 ile 1 ppm seviyesine inmiştir. Sistemin inert bir gaz ortamında çalışması da azot ve hidrojenin miktarlarını daha düşük seviyelere indirmektedir.



Şekil 4.3. VIM proses sonrasında X38CrMoV51 (Fe-0.38C-5.2Cr-1.3Mo-0.4V-1Si-0.4Mn) çeliğinin nitrojen (a) ve hidrojen redüksiyonu (b).

Fakat, bu teknik ile üretilen mikroyapı daha sonraki soğuk ve sıcak işlem için uygun değildir. Standart bir VIM prosesinde metal genellikle saf statik bir ingot dökümdür. Katılaşma mikroyapısı içindeki mikro ve makro segregasyonla birlikte son homojensizlikler daha sonraki bir ergitme prosesiyle düzeltilmeye ihtiyaç duyulur.

SONUÇLAR VE İLERİYE BAKIŞ

Çeliğin vakum metalurjisi işlemleri ile üretilmiş olması, çelikte segregasyonların büyük ölçüde azalmasını sağlar. Segregasyonları azaltmak suretiyle yüksek sıcaklıkta kullanılacak çelik ve alaşımlar için özel bir avantaj olan katılaşma sonrası haddeleme veya dövme işlemleri kolayca uygulanabilir, ayrıca vakum metalurjisi kullanılarak üretilen çeliklerin gelişmiş sürünme özellikleri ve azaltılmış çentik hassasiyeti gibi avantajları vardır.

Yine vakum metalurjisi yöntemiyle gaz giderme; vasıflı çelik üretiminin en önemli aşamalarından birisidir. Sıvı çelik içinde çözülmüş olarak bulunan bu gazları çelikten ayırmak, argon gazı ile vakum altındaki etkili karıştırma ile sıvı çelikte cürufu tam kontak haline getirerek sıvı çelik bünyesinden kalıntı (inklüzyon) uzaklaştırmak ve etkili S gidermek için vakum işlemi uygulanır.

KAYNAKÇA

1. M. Aydın, F. Müller, "Vakum Metalurjisi Yöntemiyle Çelik Üretimi ve Karakterizasyonu", Aybitak; Bilim ve İleri Teknoloji Araştırma Merkezi, Çelik Teknolojileri Araştırma Departmanı
2. A. Choudhury, H., Kemmer, F., Knell, E., Weingärtner, F., Müler, H., Pannen, G., Sick, G., Kienel, R., Brink, 'Casting', ASM Handbook, Vol.15, Materials Park, Ohio/ USA, 1991.
3. A., Choudhury, 'Vacuum Metallurgy', Materials Park, Ohio/USA, 1990
4. J.R., Davis, K.M., Mills, M., Lampman, S. Zorc, 'Properties and Selection : Irons, Steels and High-Performance Alloys', ASM Handbook, Vol.1, Materials Park, Ohio/ USA, 1991.
5. F. Habashi, 'Handbook of Extractive Metallurgy: The Metal Industry Ferrous Metal' Volume I, Kanada, 1997.
6. "Elektroslag Remelting and Plasma Arc Melting", National Materials Advisory Board, Commission on Sociotechnical Systems, National Research Council, National Academy of Sciences,
7. <http://products.asminternational.org>
8. <http://www.internationalmetallographicsociety.org>
9. <http://www.substech.com>
10. <http://www.böhler-edelstahl.com>
11. <http://www.bohler-uddeholm.com>
12. <http://web.ald-vt.de>
13. <http://www.sms-mevac.com>