

## DÖKME DEMİRLERDE GAZ HATALARI – 1

Her yıl binlerce ton döküm parçayı gaz hatalarından dolayı fire olarak atıyor ve aynı parçaları tekrar dökmek zorunda kalmaktayız. İşçilik, enerji ve hammadde kayıplarının yanı sıra, işleme sırasında ortaya çıkan gaz hataları, bu kayıplara ilave olarak birçok kere işlemeci firmalara bozuk çıkan parçalar için para ödememize neden olmaktadır. Firelerden ortaya çıkan kayıplar sadece maddi hasara yol açmakla kalmıyor, geciken teslimatlar nedeniyle müşterilerimizin gözünde firmalarımızın güvenilirliğini ciddi oranda erozyona uğratmakta, bazen de müşterilerimizi kaybetmemize neden olmaktadır.

Gaz hataları, kalıp dolumu sırasında oluşan aspirasyon sonucu kalıbın içine sıvı metal ile birlikte hava emilmesi, Sıvı metal içinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, Sıvı metal içindeki gaz yapıcı elementlerin soğuma sırasında çözünürlüklerinin azalması sonucu sıvı metalin dışına atılmaları, kalıp/metal reaksiyonu, curuf gibi bir çok değişik nedene bağlı olarak ortaya çıkarlar. Gaz boşluğu hatalarının oluşumu döküm sıcaklığı, gaz geçirgenliği, metalin kimyasal analizi, alaşım elementleri, bağlayıcı ilave oranları, oluşan gazların kompozisyonu, ocak şarj malzemeleri, bağlayıcı tipleri, bağlayıcıların iyi karışmaması, reçine ve serter ilave oranlarında yapılan hatalar, nemli soğutucu kullanılması, metalin yüzey gerilimi, kalıp içindeki ortamın oksitleyici veya redükleyici olması gibi bir çok değişik nedeni olabilir. Gaz hatasına neden olan mekanizmaların ve bu mekanizmaları etkileyen proses parametrelerinin hepsine tek bir makalede yer vermek mümkün olmadığı için gaz hatalarını iki ayrı makale olarak incelemeye çalışacağız. Bu makalede Dökme demirlerde ortaya çıkan Pinhole (Karınca) hataları incelenmiştir.

### Pinhole Hataları

Literatürde iğne başı büyüklüğünde (çapları 3 mm den daha küçük) ortaya çıkan gaz hataları Pinhole(Karınca), daha büyük ebatlardaki boşluklar ise Gaz Boşluğu olarak tanımlanmaktadır. Pinhole hataları sıvı metal içinde çözülmüş bulunan gazların, metal ısı kaybettikçe, çözünürlüklerinin azalması sonucu küçük kabarcıklar halinde sıvı metalin dışına atılmaları sonucunda oluşur. Yani, Pinhole hatalarının oluşma mekanizması; sıvı metal içinde çözülmüş bulunan gazların, soğuma esnasında sıcaklık düşüşüne bağlı olarak, çözünürlüklerinin azalmasıdır. Sıvı metal içinde çözülmüş gazlar, ergitme prosesi sırasında oluşabileceği gibi, potada veya sıvı metalin kalıp ve/veya maça ile temas etmesi sonucu da oluşabilir. Pinhole hataları kaynaklarına göre **Hidrojen pinhole**'i veya **Azot Pinhole**'i olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca, Hidrojen ve Azotun ortaklaşa olarak birbirlerini tetiklemeleri sonucu oluşan pinhole hataları da vardır.

Farklı nedenlerle ortaya çıkmış pinhole hatalarının kaynaklarını çıplak gözle tesbit ederek çözüm yolları bulunması oldukça zordur. Her ne kadar hatanın olduğu bölgeler ipucu verse de bize kesin olarak hatanın kaynağını gösteremez. Hidrojen pinhole hataları genellikle parçaların yaş kum kalıpla temas ettiği yüzeylerde ve iyi

kurutulmamış maçaların etrafında oluşurlar. Genellikle ince kesitlerde ve meme girişlerine göre parçanın en uzak bölgelerinde meydana gelirler. Görünüşleri yuvarlak ve içleri parlak olur. Gaz boşluklarının etrafında grafitsiz bir alan bulunur. Azota bağlı pinhole'ler ise genellikle kalın kesitlerde oluşur ve çoğunlukla yüzey altı gaz boşluklarıdır. Şekilleri düzensiz, ince ve uzundur. Saf Azot pinhole hatalarında boşlukların içlerinde grafit tabakası yoktur. Boşlukların içinde bazen dendritlerin uç kısımları görülebilir. Boşluğun etrafında dekarbürizasyon olmuş grafitsiz bir tabaka görülür. Boşluğun yakınındaki grafitler ise kısa ve kalınlaşmıştır. Azot ve Hidrojenin ortak etkileriyle oluşmuş pinhole hatalarında ise boşlukların içinde grafit tabakası görülebilir ancak bu tabaka kesintili bir şekildedir ve bütün iç yüzeyi kaplamaz. Bu açıklamalardan Pinhole hatalarının kaynağının doğru olarak tesbit edilebilmesi için hatalı bölgenin mikroskop altında incelenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle pinhole hataları ile sık karşılaşılan dökümhanelerde mutlaka mikroskop ve numune parlatma ekipmanlarının bulunması gerekir. Ancak bu şekilde gaz hatalarının içi parlak ve düz mü, boşlukların içinde dendritler gözüküyor mu, boşlukların etrafındaki grafitler kısa ve kalın mı gibi bizi hata kaynağına götürecek doğru bilgilere ulaşılabilir.

Hata kaynağının bulunmasında kimyasal analiz de önemli bir araçtır. Al, Ti ve N değerleri bizi hata kaynaklarına yaklaştırır. Yüksek Al ve Ti değerleri, hatanın Hidrojen pinhole hatası olduğunu, yüksek N değeri de hatanın Azot'a bağlı pinhole hatası olduğunu gösterir. Hatanın oluşmadığı dönemlerde ölçüm yapılması, ilerisi için bize ışık tutacaktır. Hata çıktığı andaki değerlerle, hata oluşmadığı dönemlerdeki değerler karşılaştırılarak farklar görülebilir. Hata çıkmasına rağmen sıvı metal ölçümleri, hata çıkmadığı dönemle aynı ise sorunun kaynağının ve çözümünün metal dışındaki faktörlerde aranması gerektiği konusunda bize yol gösterici olabilir.

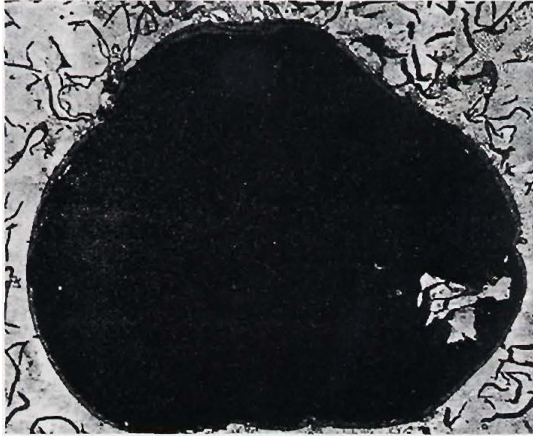
### **Hidrojen Pinhole Hataları**

Hidrojen'in ana kaynağı su'dur. Su ısı etkisiyle Hidrojen ve Oksijen olarak ayrışır. Ayrıştıkları zaman Hidrojen atomik formdadır ve kolaylıkla sıvı metalin içine nüfus ederek çözünür. Hava içerisinde serbest Hidrojen çok az bulunduğu için Hidrojen hatalarının kaynağı olamaz. Nemli refrakterler ve bentonitli kalıp kumları, iyi kurumamış maça ve kalıplar, kalıp içindeki soğutucu ve sportların yüzeylerinde kondenzasyon sonucu oluşan nem, Hidrojen'in en önemli kaynaklarıdır. Ancak Hidrojenin sıvı metale nüfus etmesini kolaylaştıran veya zorlaştıran bazı etkenler de vardır.

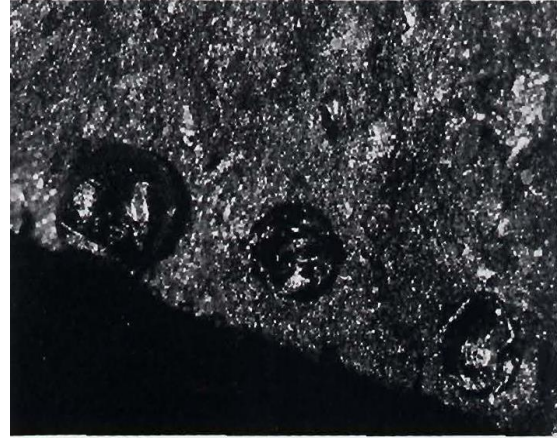
Hidrojen pinhole hataları genellikle yuvarlaktır. İç kısımları parlak ve düzgündür. Hidrojen boşluklarının iç kısımlarında ince bir grafit tabakası bulunur. Ayrıca boşluğun etrafındaki matriks de dekarbürizasyon görülür. Bu bölgede grafit yoktur. Yüksek sıcaklıklarda ve basınç altında moleküler formda Hidrojen, Karbon'la reaksiyona girerek Methane ( CH<sub>4</sub>) oluşturur. Methan, Hidrojen (2H<sub>2</sub>) ve grafit (C) olarak ayrışır. Grafit, Hidrojenle doymuş bu bölgede eriyemez. Hidrojen boşluklarının içinde grafit tabakası olması, bu reaksiyonun sonucudur.



Hidrojenin sıvı metal içindeki çözünürlüğü sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık düştükçe Hidrojenin çözünürlüğü de azalır ve Hidrojen küçük gaz kabarcıkları halinde sıvı metalden dışarı atılır. Oluşan bu gaz kabarcıkları genellikle katılaştırmış yüzeylerin hemen alt kısmında hapis kalırlar. Şekil 1 , 2 ve 3 Hidrojen pinhole hatalarını göstermektedir.



Şekil 1 - İçi grafit kaplı Hidrojen Pinhole Hatası X 100

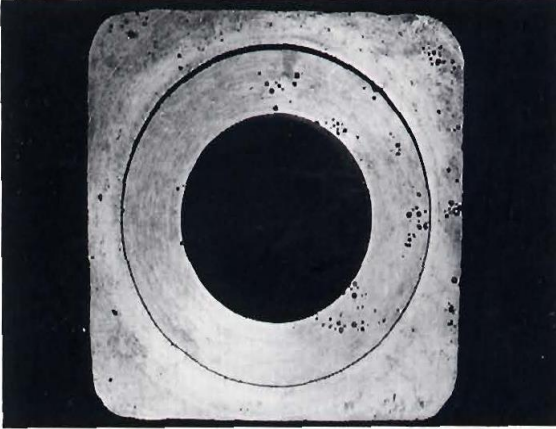


Şekil 2 - Hidrojen Pinhole Hatası -Boşlukların içi parlak ve siyah

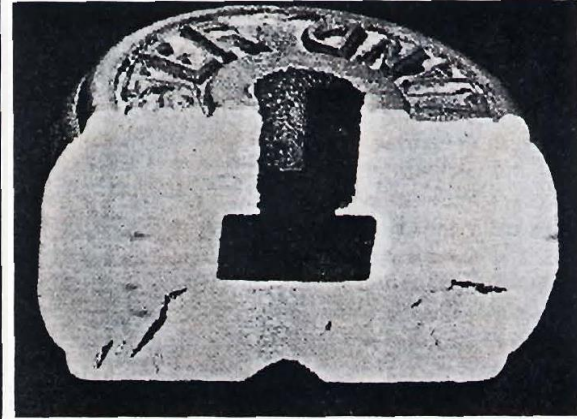
Hidrojen hataları memelerden en uzakta kalmış bölgelerde ve genellikle ince kesitlerde görülür. Kalıp dolumu sırasında ortaya çıkan ısı yolluk sisteminin etrafındaki nemin Hidrojen ve Oksijen olarak ayrışmasına ve ortaya çıkan Hidrojen'in sıvı metale nüfuz etmesine neden olur. Kalıba giren ilk sıvı metal, kalıbın meme girişlerine göre en uzakta olan bölümlerine doğru soğuyarak ilerler ve soğumanın hızlı olması nedeniyle sıvı metal içinde çözünürlüğü azalan Hidrojen, küçük gaz kabarcıkları oluşturarak, sıvı metalden atılır. Bu bölgelerde soğuma hızlı olduğu için oluşan gaz kabarcıkları kalıptan dışarı atılmadan, katılaşmakta olan metalin içinde hapis kalırlar. Hidrojen boşluklarının ince kesitlerde görülmesinin nedeni de bu kesitlerde katılaşmanın hızlı olmasıdır. Kalın kesitlerde soğuma yavaş olduğu için hidrojen kabarcıklarının kalıp yüzeyine yükselerek, kalıp kumundan dışarıya atılması mümkün olur.

Hidrojen pinhole hatalarının sıvı metal ile yaş kumun temas ettiği yüzeylerde oluştuğunu belirtmiştik. Bu hataya parçanın alt dereceye gelen bölgelerinde karşılaşılmaması bu nedenle sürpriz olmamalıdır. Hatta, parçaların alt dereceye gelen yüzeylerinde hidrojen hatalarına üst yüzeylere göre daha sık rastlandığı literatürde belirtilmektedir. Dolunun önce alt dereceden başlayarak gerçekleşmesi nedeniyle, kalıbın üst kısmı, sıvı metal bu bölgelere gelmeden ısıya maruz kalır. Bu ısı, üst derecedeki kalıp neminin, kalıbın iç kısımlarına doğru hareket etmesine neden olur. Bu nedenle, sıvı metal üst derecedeki kalıp yüzeyi ile temas ettiğinde bu bölgelerdeki Hidrojen kaynağı olan nem oldukça azalmış durumdadır.

Nadiren de olsa Hidrojen hatalarına kalın kesitlerde de rastlanabilir. Bunun nedeni farklı bölgelerde başlayan katılaşmanın aynı yöne doğru ilerleyerek bir birleri ile kesişmesidir. Bu kesişmenin olduğu bölgelerde, katılaşan metalin ön kısmında bulunan sıvı içerisine itilmiş olan Hidrojenin diğer yönden gelen katılaşma cephesiyle karşılaşması sonucu Hidrojen boşluklarının katılaşma cephelerinin birleşme bölgesinde hapis kalmasıdır. Bu şekilde oluşan Hidrojen boşlukları yuvarlak değildir, düzensiz eğik şekillerde ortaya çıkar. Ancak bu boşlukların içleri de grafit tabakasıyla kaplıdır ve boşluğun çevresinde dekarbürize olmuş bir bölge mevcuttur. Şekil 4 bu şekilde oluşmuş bir Hidrojen Pinhole hatasını göstermektedir.



Şekil 3 - Yüzet altında Oluşmuş Hidrojen Pinhole hatası . Hata Parça işlendikten sonra hata ortaya çıkmış



Şekil- 4 Hidrojen Pinhole Hatası -Boşlukları yuvarlak değil ve hata parçanın iç kısmında oluşmuş

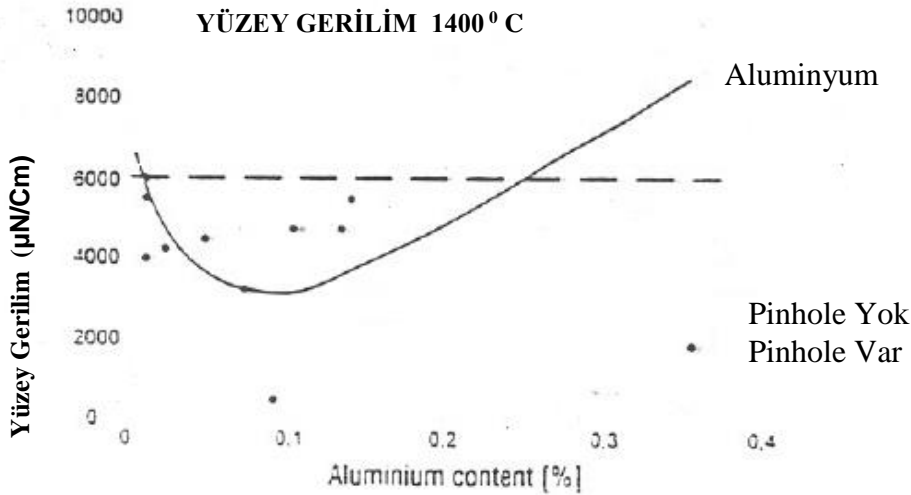
Hidrojen kaynağının nemli refrakterler, yaş kalıp kumu ve iyi kurumamış maça ve kalıplar olduğunu belirtmiş, bazı faktörlerin sıvı metal içerisine Hidrojen emilmesini kolaylaştırdığı, bazılarında zorlaştırdığından bahsetmiştik. Sıvı metal içerisindeki Alüminyum, Hidrojenin sıvı metal içine emilme hızını ciddi olarak arttırmaktadır. Bu nedenle, Hidrojen pinhole hatalarına mani olmak için, sıvı metal içindeki Alüminyum oranının % 0.1'nin altında olması literatürde tavsiye edilmektedir. Al değerini % 0.1'in altında tutmak, yapılan ferroalaşım ilavelerinden ve FeSiMg ilavesinden dolayı Sfero'da oldukça zordur. Bu nedenle Hidrojen pinhole hatalarına Sfero parçalarda daha çok rastlanır. Sıvı metal içinde Al genellikle oksitler ve nitritler halinde, yani bağlı olarak bulunur. Bileşikler halinde bulunan Al'nin Hidrojen pinhole'ü üzerinde olumsuz etkisi yoktur. Ancak serbest Al, Hidrojenin sıvı metal içerisine emilme hızını arttırabilir. Bu tür Al'nin kaynağı Ferroalaşım ilaveleridir.

Az miktarda sıvı metal içinde bulunan Titanyum, tek başına Hidrojen Pinhole hatalarına neden olmaz. Ancak, % 0.02 seviyesinde Titanyum, Alüminyum'un etkinliğini arttırarak Pinhole hatalarına neden olur. Alüminyum olmadığı durumda, % 0.02 Titanyum'un Pinhole hatalarına neden olmadığı literatürde belirtilmiştir. Aynı şekilde Ti değerinin % 0.01 olduğu durumlarda, Alüminyumdan dolayı pinhole hataları oluşmadığı belirtilmektedir. Bilhassa Sfero parçalarda Hidrojen Pinhole hatalarıyla karşılaşıldığında % Ti ve % Al'nin mutlaka kontrol edilmesi gerekir.

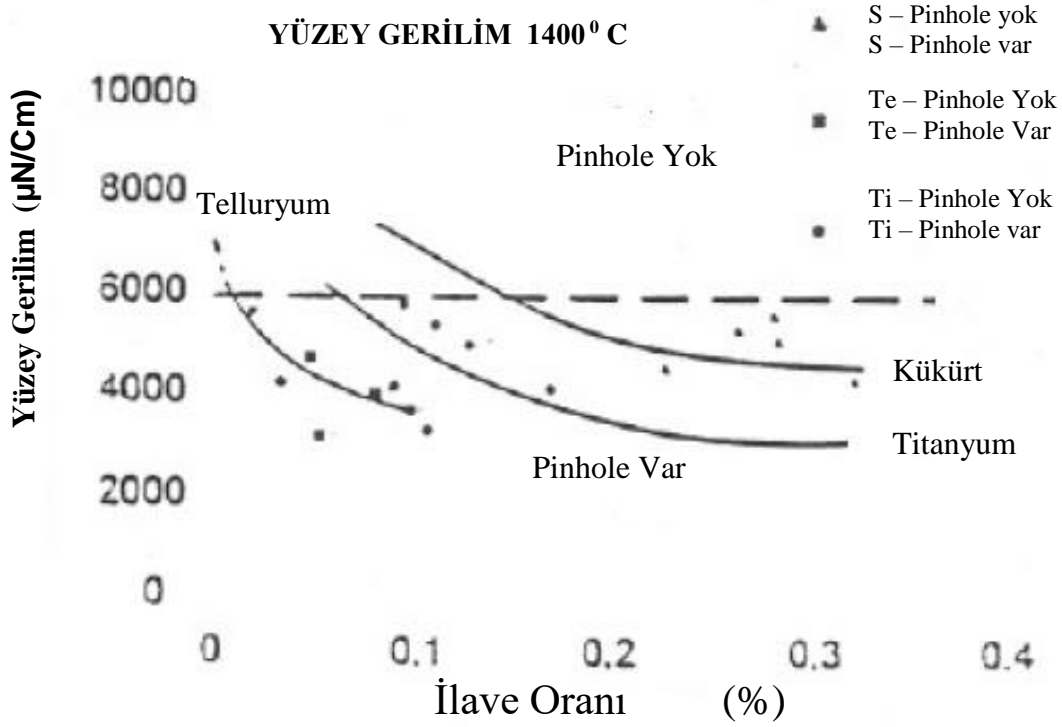
Literatürde oksitleyici ortamların Hidrojen Pinhole hatalarını arttırdığı belirtilmektedir. Bu nedenle paslı şarj malzemeleri, yüzey alanı geniş ve hafif hurdaların kullanılmaması tavsiye edilmektedir. Alaşım ilaveleri kuru ve temiz olmalıdır. Ayrıca ergitme ocağı içerisinde, metal hiç bir şekilde aşırı ısıtılmamalıdır.

Karbon Eşdeğeri düşük dökme demirlerde oksitlenme daha hızlı gerçekleşir.

Literatüre göre % 0.001- 0.002 Tellür, %0.03 Boron ve % 0.01 Bizmut'un Hidrojen Pinhole hatalarına mani olduğu belirtilmektedir. Ancak bu elementlerden Tellür ve Boron aşırı karbür yaptığı ve Bizmut'un da grafitlerin şeklini bozduğu unutulmamalıdır. Pinhole hatasının oluşmasında metalin yüzey geriliminin önemli etkisi vardır. Pinhole hatasının oluşabilmesi için metalin yüzey geriliminin düşük olması gerekir. % 0.2 ve üzerinde Al, metalin yüzey gerilimini yükseltmektedir (Şekil 5). Bu nedenle, literatürde bazen Hidrojen pinhole hatasına mani olmak için önerilen Al'nin yükseltilmesi doğrudur, ancak Al değerinin mutlaka % 0.2 nin üzerine çıkarılması gerekir. Kükürt miktarı arttıkça yüzey gerilimi düşer. Kükürt değeri % 0.15'in üzerine çıktığında pinhole hataları görülmeye başlanır (Şekil 6). Yüksek Kükürt değerine bağlı olarak ortaya çıkan pinhole boşluklarının iç kısmında grafit tabakası yoktur ve gaz boşluğunun etrafında dekarbürizasyon olmaz. Titan yüzey gerilimini düşüren başka bir elementtir. % 0.08 ile % 0.36 arasındaki Titanyum değerlerinde pinhole oluşumu görülür. Tellür sıvı metalin yüzey gerilimini düşüren bir başka elementtir. %0.01 Tellür değerinin üzerinde pinhole boşlukları oluşabilir.



Şekil 5 - Gri Dökme Demirde Alüminyumun Oranlarının Yüzey Gerilimine Etkisi



Şekil 6 - Kükürt, Titan ve Tellür Oranlarının Gri Dökme Demirin Yüzey Gerilimine Etkileri

Hidrojen pinhole hatalarının nedeni araştırılırken öncelikle kalıp kumu özelliklerine bakılmalıdır. Çünkü bu tür hataların oluşmasında kaynak daha çok kumla ilgilidir. Kalıp Kumu içinde yeterli miktarda uçucu madde bulunması Hidrojenin sıvı metale emilmesine mani olmasa da, emilme hızını ciddi olarak azaltır ve çözünen Hidrojenin kalıptan dışarıya atılmasına yardımcı olur. Kalıp kumu içindeki uçucu madde miktarı (650 °C'de) en az % 2 olmalıdır. Kömür tozunun % 35 uçucu madde ihtiva ettiğini düşünürsek, kumun kömür tozu miktarının % 5.5 olması gerekir.

Hidrojen pinhole hatalarına mani olmak için kalıp kumunun gaz geçirgenliğinin yüksek olması gerekir. Bu nedenle kalıp kumu içindeki toz ve ince taneler kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca koklaşmış kömür tozu, yüzey alanı fazla olduğu için kalıp kumundaki nemi emer ve bentoniti aktive etmek için daha fazla su ilave edilmesine neden olur. Yeni kum ilavesi yapılarak koklaşmış kömür tozu ve ölü kil oranlarını kontrol etmek gerekir.

Modellerin yüzeyine uygulanan kalıp ayırıcılar da Hidrojen hatalarına neden olabilir. Bu nedenle az miktarda ve gerektiğinde kullanılmalıdır. Hatanın oluşumunu önlemek için diğer bir faydalı uygulama ise, gaz tahliye çıkıcıları (ventler) kullanılmasıdır. Döküm sırasında gaz tahliye kanallarının, sıvı metal girmesi nedeniyle kapanmaması için önlem alınmalıdır.

Uzun yolluklar kalıp kumu ile sıvı metalin temasını arttırması nedeniyle, Hidrojen pinhole hatalarına neden olabilir. Yollukları mümkün olduğunca kısa tutmak bu hatanın oluşumuna engel olmakta faydalı olacaktır.

İyi kurutulmamış veya uzun süre bekledikten sonra kullanılmış maçalar da Hidrojen Pinhole hatalarına neden olabilecek faktörlerdir.

Bazı piklerde Titanyum olduğunu unutmamak gerekir. Ayrıca Titanyum kullanılarak üretilmiş veremküler (CGI) dökme demirlerin yollukları da kontrol altına alınarak, sfero ve pik parça üretiminde kullanılmamalıdır.

Döküm sıcaklığının yükseltilmesi ve yüksek Karbon Eşdeğeri ile çalışılması, Pinhole oluşumunu azaltır.

Soğutucu ve sport yüzeylerinde ayrıca kalıp içinde ısı sonucu kondenzasyon oluşması bilinen Hidrojen Pinhole hata nedenleridir. Soğutucu ve sport kullanılan kalıpların uzun süre bekletilmeden dökülmesi gerekir. Kalıp kumunun sıcak olması kondenzasyonu arttırır.

Soğukta sertleşen reçineli sistemlerde hata daha az görülmesine rağmen kalıp ve maça boyalarının iyi kurutulmuş olmasına dikkat etmek ve gaz tahliyeleri koymak faydalı olacaktır.

Hidrojen pinhole hataları, sfero ve gri dökme demir parçalarda görülen bir hata olmasına rağmen, Al değerine ve Magnezyumun Al'nin etkinliğini arttırmasına bağlı olarak, Sfero parçalarda daha çok karşımıza çıkan bir hata türüdür.

### **Azot Pinhole Hataları**

En basit tanımıyla, Azot pinhole boşlukları, sıvı metal içindeki çözünmüş azotun katılma sırasında sıvı metal dışına atılarak gaz boşluğu meydana getirmesidir. Azot kaynaklarının en önemlileri hava (%79'u Azot) , çelik hurda, kupol ocaklarında kok, endüksiyon ocaklarında yüksek Azot içeren karbon vericiler, grafitli kalıp ve maça boyaları, kömür tozu, maça tamir macunları, exotermik besleyici gömlekleri, reçine kaplı kum (Shell) maça ve kalıplar, reçineli kalıplama kumları ve azot ihtiva eden döndü ( CGI ve temper Dökümde kullanılan) malzemeleridir.

Azot Pinhole hataları genellikle orta ve kalın kesitlerde meydana gelirler, yüzey veya yüzey altı boşlukları olarak görülebilirler. Şekilleri genelde düzensiz, ince ve uzundur (Fissure). Sadece Azot'un sebep olduğu gaz boşluklarında grafit tabakası görülmez. Ancak hata hem Azot hemde Hidrojenin birbirlerini tetiklemeleri sonucu oluşmuşsa, o zaman kesintili de olsa boşlukların içinde grafit tabakasına rastlanabilir. Boşlukların çevresindeki grafitlerin boyu kısalaşır ve kalınlıkları artar. Şekil 7 Azot pinhole hatasının çevresinden alınmış mikro yapıyı, Şekil 8 ve 9 ise Azot pinhole hatalarını göstermektedir. Ayrıca, Hidrojen pinhole hatasında olduğu gibi hatanın hemen çevresinde dekarbürizasyon görülür. Azot pinhole hatalarının genellikle gri dökme demirde görülen bir hata olduğunun rahatlıkla söylemek mümkündür. Sfero tretmanı

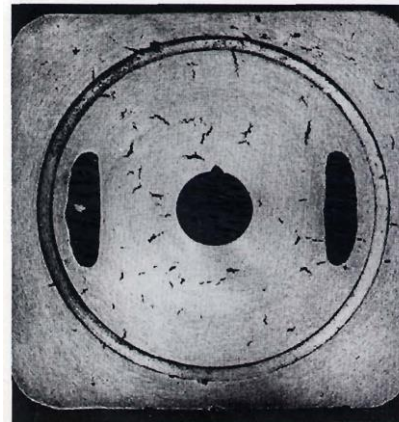
sırasında oluşan Magnezyum buharı, Azotun sıvı metalin dışına taşınmasına yardımcı olduğu için ve Sferoda Azotun sıvı metal içindeki çözünürlüğünü azaltan % C ve % Si değerlerinin yüksek olması, Sferonun yüzey geriliminin yüksek olması nedeniyle (Şekil 10) Azot pinhole hatasına genelde rastlanmaz. Ancak Azot ve Hidrojenin ortaklaşa etkileri ile oluşan pinhole hataları sfero'da da görülebilir. Sfero parçalarda Azot pinhole hatasını andıran bir hatayla karşılaşıldığında ilk yapılması gereken şey, bu hatanın çekinti hatası olmadığından emin olmaktır.

Saf demirde Azotun çözünürlüğü Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11'de Gamma - Östenit, Alpha- Ferrit içindeki Azot çözünürlüğünü göstermektedir. 1540 °C de Azotun saf demir içindeki çözünürlüğü %0.040 (400ppm) dir. Ancak, dökme demir içerisinde bulunan diğer elementler Azot'un çözünürlüğünü etkiler. Örneğin Karbon (C) ve Silis (Si), azotun çözünürlüğünü azaltırken, Vanadyum (V), Krom (Cr), Mangan (Mn) gibi elementler Azot çözünürlüğünü artırırlar. Azot gazının dökme demirdeki çözünürlüğü aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$f_N (\% \underline{N}) = (\log f_N^C + \log f_N^{Si} + \log f_N^{Mg} + \log f_N^{Cr} + \log f_N^{Mn}) (\% \underline{N})$$

Şekil 12 dökme demirde bulunabilecek elementlerin “ Log f<sub>N</sub> “ değerlerini vermektedir. Log f<sub>N</sub> değerleri sıfırın üzerinde olan elementler Azotun sıvı metal içindeki çözünürlüğünü düşürürken, Log f<sub>N</sub> değeri negatif olan elementler Azotun çözünürlüğünü yükseltir. Bazı elementlerin Azot çözünürlüğü üzerindeki etkileri ayrıca Şekil 14'te de gösterilmektedir.

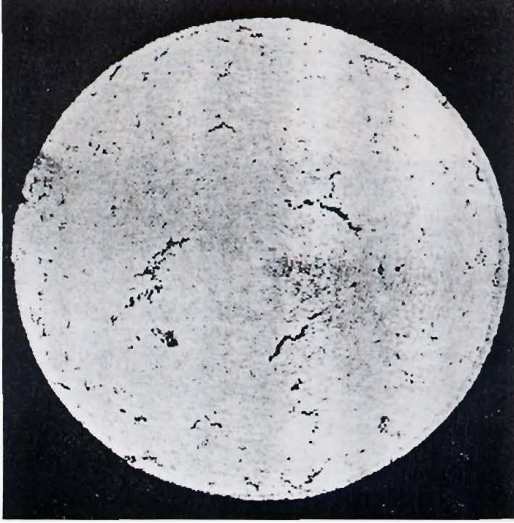
Genellikle ticari olarak üretilen dökme demirlerde 30 – 90 ppm arasında çözülmüş Azot bulunur. Gri dökme demirlerde Azot, karbür oluşumuna engel olur ve perlit oluşumunu teşvik eder. Sıvı metal içinde yüksek oranda çözülmüş Azot bulunması, grafitlerin boyunun kısılmasına ve kalınlaşmasına neden olur. Azotun çekme mukavemetlerini yükselttiği de bilinmektedir.



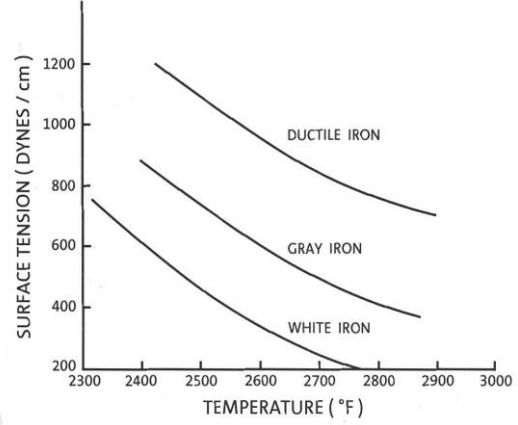
Şekil 7 - Azot pinhole hatasının grafitlerin yapısı ile ilişkisi. Şekil 8 - Azot Pinhole Hatası. Sıvı metal içinde çözülmüş Azot'a bağlı olarak ortaya çıkan Azot pinhole boşlukları, genellikle parçanın her bölgesine yayılmış olarak görülür. Maça bağlayıcılarına bağlı olarak ortaya çıkan hatalar ise genellikle parçanın maça yüzeylerinde görülür.



Kesin olarak hangi Azot seviyelerinde Azot pinhole hatalarının ortaya çıkmaya başlayacağı konusundan bilgi vermek mümkün olmasa da, sıvı metal içindeki Azot miktarı 80 ppm'in üzerine çıktığında 50 mm ve üzerindeki kesitlerde Azot pinhole hatası oluşma riskinin ciddi oranda arttığını söylemek mümkündür. Kesitler incelidikçe pinhole hatasına neden olabilecek Azot miktarı da artar. İnce kesitlerde 120 ppm mertebesine kadar, Azotun pinhole hatasına neden olmadığı literatürde belirtilmiştir.



Şekil 9 - % 80 Çelik Şarj ile üretilmiş parçada Azot Pinhole Hatası



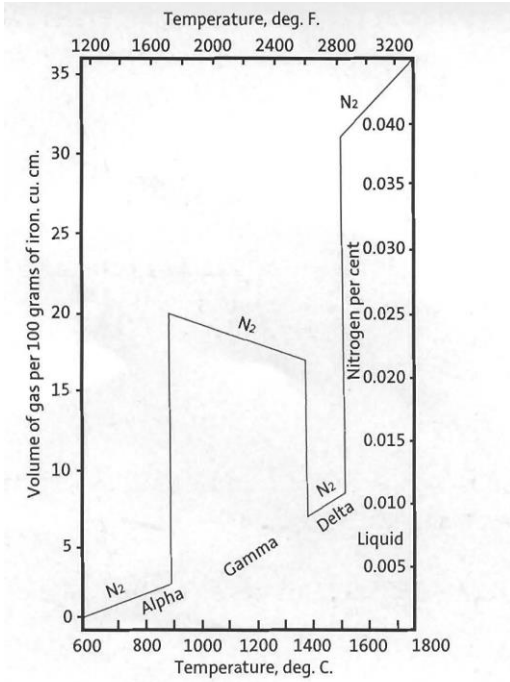
Şekil 10 - Dökme Demirlerin Yüzey Gerilimi

Sıvı metal içindeki Azot kaynaklarının başında, şarj malzemeleri ve ergitme ortamındaki hava gelmektedir. Pikler genellikle düşük miktarda Azot ihtiva ederler. Gri dökme demir döndülerindeki Azot miktarı, sıvı metaldeki Azot kadardır. Sfero döndülerinde ise Magnezyum tretmanından dolayı Azot oldukça düşük değerlerdedir. Şarj malzemeleri içinde en fazla Azot, çelik hurdada bulunur. Bunun nedeni çelikteki % C ve % Si değerlerinin düşük olmasıdır. Kupol ocağında çelik hurda şarj oranı arttıkça, sıvı metal içinde çözünen Azot miktarının arttığı yapılan çalışmalarda görülmüştür. % 50 çelik hurda ihtiva eden şarjlarda azot seviyesinin 70 – 130 ppm seviyesine çıktığı ölçümlerle kanıtlanmıştır. % 15 den az çelik ihtiva eden şarjlarda ise Azot 30 – 50 ppm seviyelerinde kalmaktadır. Çelik hurda şarjına bağlı olarak Azot miktarında görülen ciddi artışın bir kısmı, muhtemelen kok kömüründen kaynaklanmaktadır. Kok'un içinde 40 – 100 ppm arasında Azot mevcuttur. Endüksiyon ocaklarında çelik hurda şarj oranı arttıkça Azot miktarı da yükselir. Çelik hurda şarjına bağlı olarak ilave edilen carbon vericilerin bazıları, Azot bakımından zengindir. Bazı karbon vericilerin Azot oranı % 2 ye kadar çıkabilmektedir. Kalsine edilmiş Petrol kokunda % 1 Azot bulunabilir. Düşük kükürtlü petrol koklarında sadece % 0.1 oranında Azot bulunur. Doğal ve sentetik grafitlerin Azot oranı çok düşüktür.

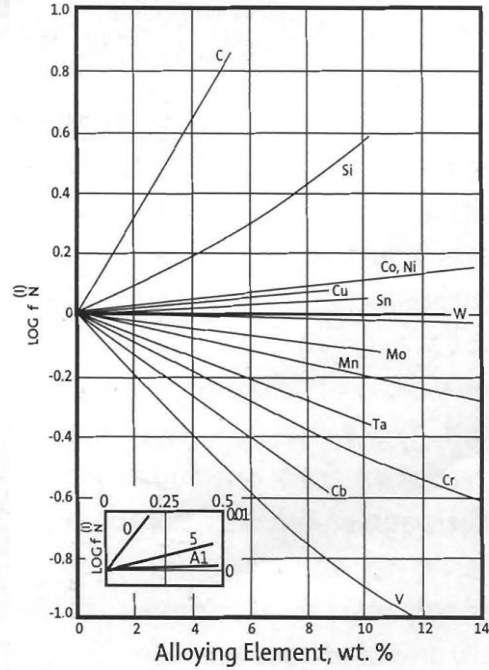
Azot ölçümünde kullanılan Kjeldahl ve LECO cihazının ölçüm değerleri ciddi farklılıklar gösterir. LECO ile karşılaştırıldığında Kjeldahl yöntemi ile ölçülen Azot %

70- 80 daha az çıkmaktadır. LECO ekipmanı toplam Azot miktarını ölçerken, Kjeldahl yöntemiyle çözülmüş Azot ölçülmektedir. Beeghly yöntemiyle ise çözünmemiş Azot ölçülebilir.

Önemli Azot kaynaklarından biri de, kalıp ve maça yapımında kullanılan reçine sistemleridir. Bilhassa düşük sıcaklıklarda sertleşen (kürleşen) reçine sistemlerinde Azot kullanılmaktadır. Azot miktarı, kullanılan üre ve üreformaldehit miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde Azot ihtiva etmeyen, soğukta sertleşen



Şekil 11 – Azotun Saf Demir içinde Sıcaklığa bağlı olarak değişen Çözünürlüğü



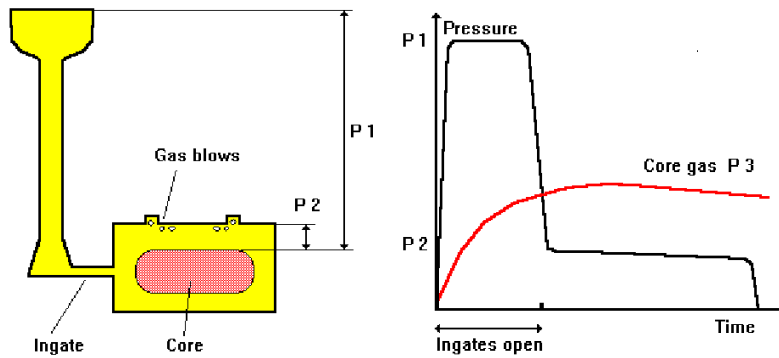
Şekil 12 - Dökme Demirde bulunan bazı elementlerin Log  $f_N$  (% N) Değerleri

reçineler geliştirilmiştir. Esterle sertleşen phenolik reçineler, silikatlar ve fenolformaldehitli reçineler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Günümüzde Azot oranı çok düşük Furan reçineler de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kalıp ve maça yapımında kullanılan reçineler kalıp içinde sıvı metal ile temas ettiklerinde veya ortamda oluşan ısı nedeniyle yanarlar ve ortama gaz halinde Azot, Hidrojen ve Karbonmonoksit (CO) yayarlar. Ortaya çıkan gaz miktarı döküm sıcaklığına, kullanılan bağlayıcı tipi ve miktarına, eğer kullanılıyor ise maça şekli ve ölçülerine ve kumun gaz geçirgenliğine bağlıdır. Bunlara ilave olarak, kalıp ve/veya maçada kullanılan boyalar gaz yayılma hızını yavaşlatır. Sıvı metal ile temas eden gazların bir kısmı metalin içine nüfuz eder, bir kısmı ise kalıptan dışarı atılır. Sıvı metale nüfuz eden gazlar metal katılaşmaya başladığında çözünürlükleri düştüğü için sıvı metalin dışına itilir. Eğer atomik Azot, katılaşmakta olan son sıvıdan dışarı atılmışsa, etrafı katılaşmış olan metalin dışına çıkamaz ve çekirdek oluşturarak büyümeye başlarlar. Oluşan boşluklar, çekintiye benzedikleri için bazen Azot pinhole hataları, çekinti hatalarıyla karıştırılabilir.

Azot gazı iki şekilde çekirdeklenebilir. Birincisi kendi atomlarını kullanarak, ikinci ve daha kolay olanı ise daha önce oluşmuş katıların (inklüzyonlar ve Östenit dentritleri gibi) üzerinde çekirdeklenmedir. Östenit dentritlerinin yan kolları Azot'un çekirdeklenmesi için çok uygun bölgelerdir. Azotun kendi atomlarını kullanarak oluşturduğu çekirdeklenmeye Homojen çekirdeklenme, diğer bir katının üzerinde oluşturduğu çekirdeklenmeye ise Heterojen çekirdeklenme denir. Heterojen çekirdeklenme ve büyüme ancak dentrit kolları arasında kalan sınırlı ve düzensiz boşluklarda oluşabileceği için, Azot pinholeleri, dendrit kolları arasındaki düzensiz şekillerde ortaya çıkar (Fissure). Her iki durumda da gaz boşluklarının büyümesi için Azot gazının metalin ferrostatik basıncını ve atmosferik basıncını, yenecek oranda basınç uygulaması gerekir. Heterojen çekirdeklenmenin büyümesi için daha az enerjiye ihtiyaç vardır. Bu açıklamadan Azot pinhole hatalarına mani olmak için katılaşmanın ilerlemiş safhalarına kadar sıvı metalin ferrostatik basıncını, yüksek tutmak gerektiği ortaya çıkmaktadır. Eğer, sıvı metalin ferrostatik basıncı, maça etrafında katılaşmış bir tabaka oluşana kadar devam ederek maçaya baskı yaparsa oluşan gazlar, sıvı metalin içine nüfus etmek yerine, maça başlarından tahliye olacaktır. Şekil 13 de bu durum şematik olarak gösterilmiştir. Kalıp için de aynı durum söz konusudur. Gaz hatalarına bazen memeleri kalınlaştırıp, geç donmalarına yardımcı olarak engel olunabilir. Bazen yolluk sistemlerinde kullanılan filtreler (bilhassa köpük tipi) tıkanarak ferrostatik basıncın düşmesine neden olur. Bu durumda kullanılan filtreyi bir büyük filtre ile değiştirmek ferrostatik basıncın kalıp üzerinde daha fazla etkili olmasına, belki de pinhole hatasının oluşmasına engel olabilir.

Azot pinholerinin büyümesi için oluşan gaz kabarcığına azot atomlarının difüze olması gerekir. Kükürt (S) gibi yüzey aktif elementler, yeni Azot atomlarının oluşmuş gaz boşluklarının içine diffüze olmalarını yavaşlatır. Kükürtün Azot çözünürlüğü üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Sıvı metallerin yüzey gerilimleri, kimyasal kompozisyon ve sıcaklığa göre değişmektedir.



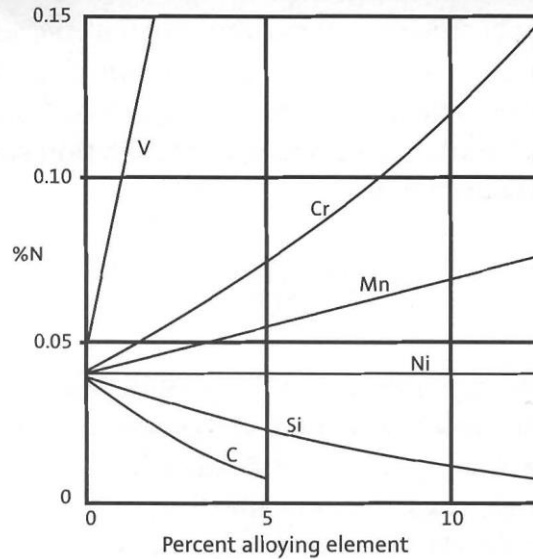
Şekil 13 – Ferrostatik Basıncın Gaz oluşumuna Etkisi

Döküm sıcaklığının oluşan gaz miktarı ve yayılma hızının belirlenmesi için önemli bir parametre olduğundan daha önce bahsetmiştik. Şekil 15’de döküm sıcaklığının Azot pinhole hatası üzerindeki etkisi görülmektedir. 1482°C ( 2700 °F) de dökülen kalıpta

azot gaz boşluğu oluşmasına rağmen, döküm sıcaklığı 1371<sup>0</sup>C ( 2500 <sup>0</sup>F) ye düşürüldüğünde gaz hatası oluşmamıştır.

Azot bazı elementlerle birleşerek, kararlı Nitritler oluşturabilir. Eğer oluşan Nitritler sıvı metal sıcaklıklarında katı partiküller oluşturursa, o takdirde Azotun gaz hatalarına sebep olması mümkün olmaz. Azotun Nitrit oluşturabileceği bazı elementler ve bu elementlerin 1370 <sup>0</sup>C deki Serbest Enerji değerleri şekil 16 da verilmiştir. Azot ile bu elementler arasında bir reaksiyon gerçekleşebilmesi için Serbest Enerji ( $\Delta F$ ) değerlerinin negatif olması gerekir. Şekil 16'ya göre Alüminyum, Zirkonyum, Titanyum ve Silis, Azotla bağ kurarak, kararlı katı metalik Nitritler oluşturabilir. Sıvı metale % 0.02 - 0.03 oranında Titanyum ilavesi ile sıvı metal içinde çözülmüş bulunan Azotun etkisi ortadan kaldırılabilir. Titanyum, Azot ile birleşerek, sıvı metal içinde çözünemeyen, katı bileşikler oluşturur. Bu katı bileşikler sıvı metalin yüzeyine yükselirler. Titanyum ilavesi yapılmadan önce hatanın Azot'dan kaynaklandığından emin olmak gerekir. Azot ölçümü yapan bir laboratuara numune götürerek hatanın kaynağı kolayca tesbit edilebilir. Eğer hata Azot yerine Hidrojen gazından kaynaklanıyorsa, Titanyum ilavesi problemi çözmek yerine daha da vahim hale getirebilir. Titan'ın ergime sıcaklığı 1600 <sup>0</sup>C dir ve oksitlenmeye çok yatkındır. Titanyum'a alaşım elementleri ilave edilerek verimliliği artırılmalıdır (FeTi ). Ancak, Titan'ın grafit şekilleri üzerindeki olumsuz etkisi dikkate alınmalıdır. TiN'ler, gri dökme demirde, işleme sırasında kesici uç ömürlerini kısaltır.

Literatürde maça veya kalıptaki Azot oranının % 0.15'i geçmesi durumunda Azot pinhole riskinin ciddi olarak arttığı belirtilmektedir. Bilhassa kalın kesitli parçalarda maça ve kalıp kumu içindeki Azot oranına dikkat edilmesi gerekir. Bunun için kullanılan reçinelerdeki Azot oranlarının bilinmesi gerekir. Örneğin ; % 7 Azot ihtiva eden bir reçine % 1.5 oranında ilave edilirse kalıp veya maçada Azot oranının % 0.105 seviyesine çıkmasına neden olur. Mekanik olarak rejenere edilmiş reçineli kumlarda Azot miktarı, reklamasyon sırasında, kum tanelerinin etrafını sarmış olan reçine tabakasının hepsi temizlenemediği için daha yüksektir. Mekanik olarak rejenere edilmiş kumda Azot oranı %0.04 seviyesinde tutulmalıdır. Sisteme yeni kum ilavesi Azot oranının düşmesine yardımcı olacaktır.



Şekil 14 – Bazı Elementlerin Azot Çözünürlüğüne Etkileri

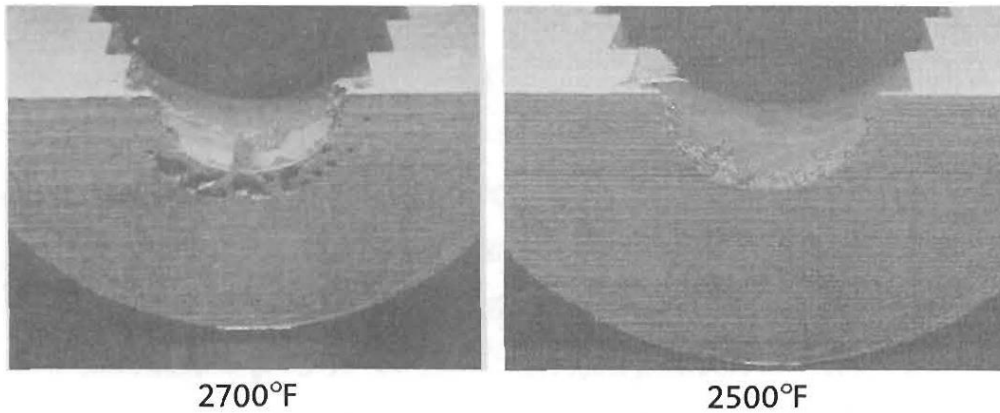
Cold-Box reçineli maçalarda Kısım 1 ve Kısım 2 ilaveleri, genellikle, % 50 - % 50 yapılmaktadır. Ancak, herhangi bir nedenle, örneğin maça sandığından maçaların daha kolay sıyırmak veya maça mukavemetini yükseltmek için Kısım 2'nin oranı, Kısım 1'den daha yüksek olursa, Azot pinhole hatalarına neden olabilir. Kısım 1 ilave oranı Kısım 2 'den yüksek olduğu durumlarda Azot pinhole hatalarına rastlanmaz.

Reçineli kalıp ve maçalarda reçine ve serter oranlarının doğru olarak ilave edilmesi gerekir. Bağlanmamış reçine veya serter, ciddi oranda Azot Pinhole hatasına neden olur. Ayrıca, kumun reçine ve serterlerle iyi karıştırılması gerekir. Homojen olmayan karışımlar, kalıp ve maçalarda lokal olarak reçine veya serter, karışmamış bölgeler halinde kalabilir.

Shell kalıp ve maçaların çok iyi pişirilmesi gerekir. Shell kumu içindeki Hexaminin % 40'ı Amonyaktır ( $NH_3$ ).

Döküm Sıcaklığının artması Azot pinhole hatası oluşma riskini artırır. Yolluk sisteminde çalkantılı akış ve Kalıpların çalkantılı dolmasının da Azot pinhole hatasına sebep olduğu Literatürde belirtilmiştir. Karbon Eşdeğeri yüksek olan dökme demirler Azot pinhole hatalarına daha az duyarlıdır.

Bentonitli kumlarda gaz geçirgenliğinin düşük olması, ölü kil ve toz oranının yüksekliği Azot hatalarına neden olabilir. Bentonitin Azotu emdiği bilinmektedir. Ayrıca bentonitli kalıplarda kullanılan Kömür tozu da Azot ihtiva eder. Exotermik besleyici gömleklerinin bağlayıcılarında Azot bulunmaktadır. Besleyici gömleği artıklarının kalıp kumu içinde birikmesi, Azot hatalarına neden olabilir. Kalıp ve maçalarda kullanılan grafitli boyalar da, grafit Azot ihtiva ettiği için, dikkatli kullanılmalıdır. Maça tamir macunları, yapıştırıcılar da Azot pinhole hatası kaynağı olabilir.



Şekil 15 – Gri Dökme Demirde Döküm sıcaklığının Azot Pinhole oluşumu üzerindeki etkisi

Ergitme bölümünde en ciddi Azot kaynakları ise daha önce bahsedildiği gibi ; Çelik hurda, havadaki Azot, bazı karbon vericiler, SiC briketlerindeki dolgu malzemesi ve Ferroalaşımlardır.

Hidrojen ve Azotun birbirlerini tetikleyerek pinhole hatalarına neden olduğundan daha önce bahsetmiştik. Bu durumda, hatayı çözmek için hem azot hemde Hidrojen pinhole hatalarını önleyecek tedbirlerin beraber alınması gerekmektedir.

$\Delta F = A + BT$			
<u>Reaction</u>	<u>(<math>\Delta F</math> in Cal/Mole and T in °K)</u>		
	<u>A</u>	<u>B</u>	<u><math>\frac{\Delta F}{\text{Mole}}</math></u> <u>Kcal at 1644K</u>
(1) $Al (\ell) + \frac{1}{2} N_2 (g) \rightarrow AlN(s)$ (659 to 1700°C)	-78,030	27.82	-32
(2) $3 Si (\ell) + 2N_2 (g) \rightarrow Si_3N_4(s)$ (1413-1700°C)	-209,000	96.8	-49.9
(3) $Ti (s) + \frac{1}{2} N_2 (g) \rightarrow Ti N(s)$ (25 to 1300°C)	-80,550	22.45	-43.6
(4) $Zr(s) + \frac{1}{2} N_2 (g) \rightarrow ZrN(s)$ (25 to 1300°C)	-87,470	22.72	-50.1

Şekil 16 – Azot ile bağlanabilecek Elementlerin 1370 0C deki Serbest Enerji Değerleri

*Kaynak : Techtalk vol :26 Nitrogen Revised, Porosity in Castings AFS Transactions 2005, Foundry Trade Journal Dec 1990, Surface Defects, AFS Committe 12-H Report*