



Metal Enjeksiyon Kalıplarından

Beklentiler ve Hasar Mekanizmaları

m a k a l e

Müh. Aziz Hatman

ASSAB Çelik ve Isıl İşlem A.Ş.

“2008 yılı Haziran ayında 82,3 olan üretim değeri ağırlıklı kapasite kullanım oranı, 2009 yılı Haziran ayında 72,7 seviyesinde gerçekleşmiştir. 2009 Haziran ayında, işyerlerinin, tam

ÖZET

Son yirmi yıla damgasını vuran bir dizi eğilim, metal enjeksiyon kalıplarında kullanılan sıcak iş takım çeliklerinde, bir yandan artan yüzey sıcaklıklarına karşı daha yüksek meneviş direnci olan, daha yüksek sıcak akma mukavemeti olan çeliklerin geliştirilmesine ve aynı zamanda da kalıp yüzeyinin aşırı biçimde ısıtılıp soğutulması nedeniyle oluşan termal şoklara karşı özel olarak daha yüksek tokluğa haiz çeliklerin geliştirilmesine yol açmıştır.

Bu makalede kalıp çeliklerinden beklenen özellikler ile hasar mekanizmaları arasında bağ kurulmaya çalışılacak ve hangi hasar mekanizmasının hangi parametrelerle oynanarak giderilebileceği ya da ertelenebileceği tartışılacaktır

Mayıs 2009 (2005 Bazlı)	2009-2008 Değişim
Toplam Sanayi	-17,4
Madencilik Sektörü	-12,9
İmalat Sanayi Sektörü	19,0
Elektrik, Gaz ve Su	-5,5

kapasite ile çalışmamasının nedenleri arasında talep yetersizliği ilk sıradadır. İç pazarda talep yetersizliği %51,9 ve dış pazarda talep yetersizliği %33,1 oranında etkili olmuştur.” TÜİK İmalat Sanayinde Eğilimler Haber Bülteni, Sayı:120, 10 Temmuz 2009 <http://www.tuik.gov.tr/SagMenu/guncel/guncel.xml> 2009-07-17

Giriş yerine: Eğilimler hakkında

İmalat sanayinin % 19 küçüldüğü bir dönemden geçerken, bu sektörün giderek Türkiye için önemi artan bir parçası olan Basınçlı Döküm yada Metal Enjeksiyon hakkında yazmak hiç de kolay değil. Çünkü bu küçülme, sadece iktisadi ve toplumsal alanda etkili olmuyor; aynı zamanda teknik alanda da kendini şiddetle hissettiriyor... İktisadi ve toplumsal olandan ayrıştırılarak tanımlanabilecek bir teknik olmadığı için bu böyle.

Örneğin, dökümcünün, metal enjeksiyon kalıplarından beklentilerini, son yirmi yılda bu beklentilerdeki değişimleri anlayabilmek için ilgili döneme damga vuran iktisadi gelişmelerle, bu iktisadi gelişmelerin yarattığı teknik beklentileri tartışmak gerekir.

Çevrim süresi kısaldı

Birim zamandaki üretim adedi, çevrim süresi son yirmi yılda şiddetlenen rekabet koşullarının, dolayısıyla da üretkenlik üzerindeki basıncın



etkisiyle kısaldı: Birim zamanda kalıptan alınan parça sayısının artması demek kalıba enjekte edilen ısının artmasıydı. Kalıp yüzey sıcaklıkları dramatik bir biçimde yükseldi. Bir ısı değiş tokuşcusu olarak da görülebilecek metal enjeksiyon kalıplarından bu ısının uzaklaştırılabilmesi için ise harici soğutma (spreyleme) şiddetlendi; soğutma kanallarından dahili soğutma ikinci plana düşünce yüzey ile çekirdek arasındaki sıcaklık gradyenti dikleşti, sıcaklık farkı (dT) arttı. Kalıp yüzeyi ile içi arasındaki genişleme farkı büyüdü, böylece yüzeydeki gerilmeler arttı ki bu da yüzey çatlaklarının fazlalaşmasına, özellikle de köşelerde erken görülmesine neden oldu...

Daha az talaşlı imalat

Benzer baskılar nedeniyle döküm sonrasında parçanın daha az talaşlı imalat ile bitirilmesi hedeflendi: Daha az talaş atılması ve daha hızlı bitirme ile daha düşük maliyetler ve daha kısa termin olanakları yakalandı. Ancak parça tasarımında karmaşıklaşma, keskinleşme ve et kalınlığındaki incelme kalıp tasarımına da keskinleşme, karmaşıklaşma ve radyüslerin küçülmesi olarak yansırken, kalıp ömürlerinde yine dramatik düşüşler yaşandı. Çünkü küçülen radyüslerde gerilmeler yoğunlaşıyor ve kılcal çatlaklar hızla beliriyordu. Ayrıca karmaşıklaşan parça tasarımları doldurmayı zorlaştırdıkça sıvı metal sıcaklıkları yükseliyor, vakum ekipmanları kalıplara bağlanıyor, enjeksiyon hızları artıyordu. Bir kez daha artan sıcaklık, artan basınç ve hızla birleşince hem çatlaklar artıyor ama en önemlisi yapışma ve erozyon-korozyon gibi daha önce sık rastlanmayan hasarlar kalıpların ömürlerinde belirleyici olmaya başlıyordu.

Parçadan beklenen mekanik özellikler arttı

Sadece bu kadar değil elbette... Demir döküm parçalar hafiflik (yakıt tasarrufu) gibi bir dizi gerekçeyle de başta Al olmak üzere metal enjeksiyonla ikame ediliyordu. Bu da giderek daha büyük ve daha karmaşık parçaların kalıplarının imalini zorunlu kılıyordu. Ayrıca yine hafifletme ve güçlendirme ihtiyacı enjeksiyonda kullanılan Al alaşımlarını da değiştiriyordu; kalıp için daha yüksek basınç ve metal akış hızı anlamına gelen düşük porozite şartnamede birinci sıradaydı artık. Örneğin jant imalatında kullanılan alaşımlar, ısıl işleme daha yüksek mukavemet elde edilebilmesi için ötektik alaşım olan % 11 Si'li alaşımdan % 7 Si'li alaşıma doğru hızla geçerken döküm sıcaklıklarında 50 °C'ye varan artışlar yaşandı.

Buna bağlı olarak da kalıp çeliğinden ve ısıl işleminden beklenen özellikler ve dirençler hızla yükseldi. Geleneksel malzemelerle elde edilecek kalıp ömürleri ekonomik olmaktan çıkıyordu.

Üretim sürecinde parçalanma

Kabaca üretimin nasıl organize edildiği biçiminde tanımlanabilecek üretim süreci, Fordist üretim sürecinden, esnek üretim sürecine ya da yalın üretim sürecine doğru bir değişim gösterdi. Bu değişimin en önemli karakteristik özelliği, üretimin entegre yapısının (tek bir çatı altında bitirilmesinin), mal tedarik zincirleri içinde parçalanmasıdır. Bu sayede üretim, emeğin bol ve ucuz olduğu coğrafyalara doğru kayarken başta tasarım olmak üzere nitelikli yarılarından uzak düştü; genellikle merkezde kalan nitelikli aşamalar mal zincirlerindeki üretime



hızla yabancılaştı. Bu parçalı, desantralize yapı, üretim sürecindeki her bir aşamanın kendi spesifik üretkenliği ile sınırlı bir sorumluluğu, bir sonraki işletmenin üretkenliğinden bağımsızlığı dayattı. Tasarım ile ürün arasındaki etkileşim önce koptu sonra da ciddi sorunlar karşısında yeniden kurulmaya çalışıldı.

Üretim koşullarını, metal enjeksiyon söz konusu olduğunda çoğu kez dökümhane verimliliğini gözetmeyen parça tasarımı, toplamda yalın üretimin üstünlüğünü de sorgulatır oldu. Örneğin döküm kalitesini, dökümhane verimliliğini, fire oranlarını, kalıp ömürlerini ve kalıp hasarlarından kaynaklanan duruşları vb. veri almayan bir parça tasarımı ile başlayan üretim sürecinin ve aynı anlama gelmek üzere tedarik zincirinin, rekabetçi olma şansı da daha baştan erozyona uğruyordu.

Bu eğilimler metal enjeksiyon kalıplarında kullanılan sıcak iş takım çeliklerinde, bir yandan artan yüzey sıcaklıklarına karşı daha yüksek meneviş direnci olan, daha yüksek sıcak akma mukavemeti olan çeliklerin geliştirilmesine ve aynı zamanda da kalıp yüzeyinin aşırı biçimde ısıtılıp soğutulması nedeniyle oluşan termal şoklara karşı özel olarak daha yüksek tokluğa haiz çeliklerin geliştirilmesine yol açmıştır.

Artan zorlamalara bir yanıt olarak geliştirilen bu çeliklerin metal enjeksiyon kalıplarında ortaya çıkan bazı diğer hasar mekanizmalarına karşı da daha fazla direnç gösterdiği rapor edilmektedir.

Ancak bu tür sorunlarla baş edebilmek için öncelikle hasar mekanizmalarını tanımlayabilmek, mekanizmanın işleyişini anlayabilmek ve

takım çeliği, ısıl işlem, yüzey işlemleri, parça tasarımı, kalıp tasarımı ve döküm parametrelerinin biri yada birden fazlası ile oynayarak yanıt vermek gereklidir.

Aşağıda kalıp çeliklerinden beklenen özellikler ile hasar mekanizmaları arasında bağ kurulmaya çalışılacak ve hangi hasar mekanizmasının hangi parametrelerle oynanarak giderilebileceği yada ertelenebileceği tartışılacaktır

Kalıp çeliğinden beklenen özellikler

Toplam kalıp maliyeti içerisinde takım çeliği maliyetinin çok düşük olduğu, başka bir ifade ile, katma değeri çok yüksek olan metal enjeksiyon kalıplarında kullanılan sıcak iş takım çeliklerinden aşağıdaki malzeme özellikleri beklenir:

- Yüksek Sıcak Akma Dayancı
- Yüksek Basma Dayancı
- Yüksek Sıcak Sertlik
- Yüksek Meneviş Direnci
- Yüksek Sertleşebilirlik
- Yüksek Sürünme Dayancı
- Yüksek Isıl İletkenlik
- Yüksek Süneklik
- Yüksek Tokluk
- Düşük Isıl Genleşme Katsayısı

Bu özelliklerin bazıları takım çeliğinin kimyasal bileşimine; bazıları ise üretim sürecine yani çeliğin kalitesine ve ısıl işlemine (süneklik ve tokluk) bağlıdır. Isıl genleşme katsayısı ise demir kafesinin ayırıt boyuna bağlı olduğu için çelikten çeliğe hemen hemen değişmez.



Sıcak iş uygulamalarında kullanılan çelikler, her bir uygulamaya özel bazı yükler, zorlamalar altında kalırlar. Örneğin metal enjeksiyon kalıpları aşağıdaki şu zorlamalarla karşı karşıya kalır:

- Isıl Yorulma
- Isıl Şok
- Korozyon/Erozyon
- Mekanik Yükler

Çeliğin bu zorlamalara karşı göstermiş olduğu dirençler, özel olarak çok önemlidir. Zorlamanın şiddeti, parçanın ve elbette kalıbın tasarımına bir de üretim/döküm parametreleri ile kalıp bakımına bağlıdır. Yani tasarım ve üretim koşulları zorlamaları şiddetlendirebilir ya da hafifletebilir. Öte yandan, kalıbın bu zorlamalara karşı gösterdiği direnç ise kalıpta kullanılan çeliğe ve uygulanmış olan ısıl işlem ile birlikte yüzey işlemlerine bağlıdır.

Kalıplarda hasarın ortaya çıkabilmesi için, kalıbın maruz kaldığı zorlamaya kalıp malzemesinin dayanamaması yada artık dayanamaması gerekir. Başka bir ifade ile kalıp malzemesinin direncinden daha fazla zorlamaya maruz kalması gerekir. Isıl yorulma direnci, ısıl şok direnci gibi malzemenin dirençleri yukarıda sıralanan çelik özelliklerinden birden fazlasına bağlı olarak belirlendiği ise asla unutulmamalıdır.

Hasar Mekanizmaları

Metal enjeksiyon kalıplarının karşı karşıya olduğu hasar mekanizmaları aşağıda sıralanmıştır:

- Isıl Yorulma (Heat Checking)

- Gerilme Çatlağı-Isıl Şok Çatlağı (Gross Checking)
- Kırılma
- Ezilme-Çökme ve İndentasyon (Plastik De formasyon)
- Sarma-Yapışma (Korozyon/Erozyon)
- Oyukçuklanma (Kavitasyon)

Metal enjeksiyonda karşılaşılan bu hasarlar aşağıdaki parametrelere bağlı olup çoğu durumda bu parametrelerden birkaçının bileşkesi olarak ortaya çıkar.

- Parça tasarımı ve Kalıp tasarımı
- Kalıp çeliğinin ne olduğu ve kalıp çeliği kalitesi
- Kalıbın ısıl işlemi ve Kalıbın yüzey işlemleri
- Kalıbın imalat şartları/özellikleri ve Periyodik kalıp bakımı
- Döküm parametreleri/koşulları

Unutulmaması gereken başka bir nokta ise metal enjeksiyonun kalıp malzemesindeki etkisinin dinamik olduğudur. Yani hasar tekrara bağlı olarak, yüksek çevrim sayısında ortaya çıkar.

Isıl Yorulma

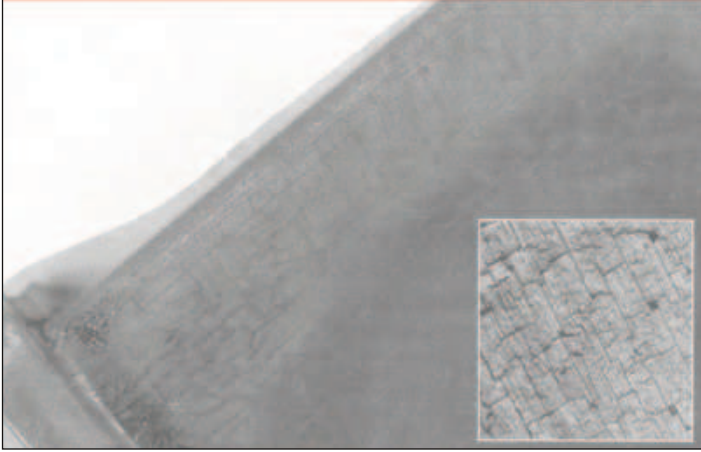
Metal enjeksiyon kalıplarında, kalıp ömrünü sınırlayan en yaygın hasar mekanizması, ısıl yorulma çatlaklarıdır.

Kalıp kırılmadığı sürece yada kritik bölgelerde kaynakla tamir imkanı olmayan şiddetli erozyon hasarları ortaya çıkmadığı sürece, ısıl yorulma nedeniyle oluşan kılcal çatlaklar giderek derinleşerek parça kalitesini kabul edilmez hale getirene kadar kalıp kullanılabilir. Bu



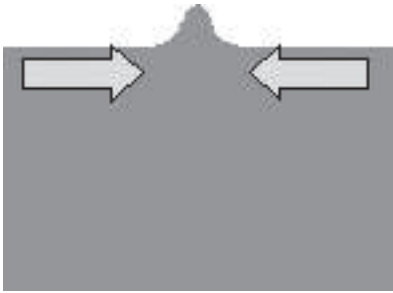
yüzden ısıl yorulma kalıp ömrünü belirleyen en yaygın hasar mekanizmasıdır, denebilir.

Bu denli yaygın ve kritik olan bu hasarın nedenini anlamak çözümüne çok büyük bir adım atmamak anlamına gelmektedir.



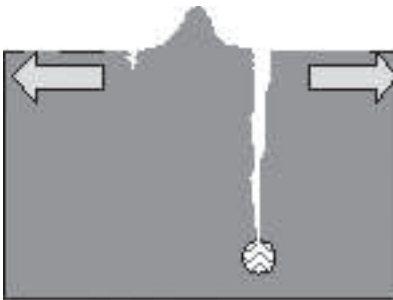
Şekil 1. Isıl yorulma çatlaklarının tipik görünümü

Özetlenecek olursa ısıl yorulma, tekrarlanan ısıl çevrim nedeniyle, her bir dökümde kalıp yüzeyinde periyodik olarak ortaya çıkan genişleme ve büzülme nedeniyle oluşur.



- Kalıp Yüzeyi ısınıyor, yüzey daha sıcak, genişlemeye çalışıyor
- Basma gerilmesi ortaya çıkıyor.
- Tekrar eden çevrimler sonucunda sürünme oluşuyor.
- Yüzeyde mikro deformasyon (tepecik) ortaya çıkıyor

Şekil 2a. Isıl yorulma çatlakları ilk aşama

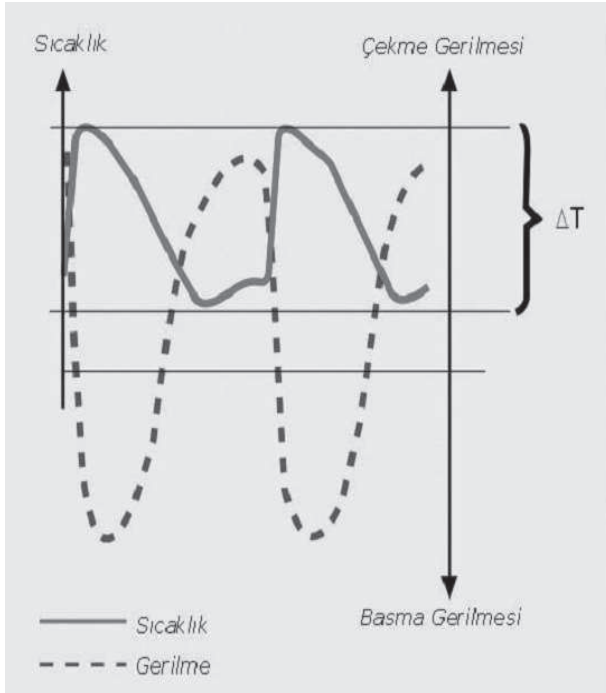


- Kalıp Yüzeyi soğuyor (harici soğutma)
- Yüzey daha sıcak, büzülmeye çalışıyor
- Çekme gerilmesi ortaya çıkıyor.
- Tekrar eden çevrimler sonucunda çatlaktepeciğin iki kenarından başlıyor: Isıl yorulma

Şekil 2b. Isıl yorulma çatlakları, çatlak oluşumu ve ilerlemesi

Döküme başlandığında kalıp yüzeyindeki sıcaklık ve gerilme ilişkisi ısıl yorulmayı anlamakta oldukça yararlıdır. Sıvı metal kalıp yüzeyine ulaştığında, kalıp yüzeyi hızla ısınır. (Şekil 3'deki kırmızı sürekli çizgi.) Ancak kalıp yüzeyinin hemen altı daha az ısınır yani daha soğuktur. Soğutma kanalına doğru yaklaştıkça sıcaklık daha da düşer. Isınan kalıp yüzeyi genişlemeye çalışır ama alt katmanların daha soğuk olması onu durdurur: Genleşemez... Genleşmeyi engelleyen kuvvet, kalıp yüzeyi ısınırken, basma gerilmesi olarak karşımıza çıkar. (Şekil 3'deki kesikli mavi çizgi.) Bu gerilme, tekrarlanan çevrimler sonucunda yüksek sıcaklıkta malzemenin düşük yüklerde deforme olmasına yani sürünmeye yol açar: Kalıp yüzeyinde tepecik gibi mikro bir deformasyon meydana gelir.

Bu basma gerilmesinin fazla büyük olmaması için (sürünmenin olabildiğince geç oluşması için) kalıbın merkezinin sıcak olması yani kalıbın içerden ısıtılması gereklidir. Aynı zamanda malzemenin sıcak mukavemetinin ve sürünme dayanımının da yüksek olması gerekir.



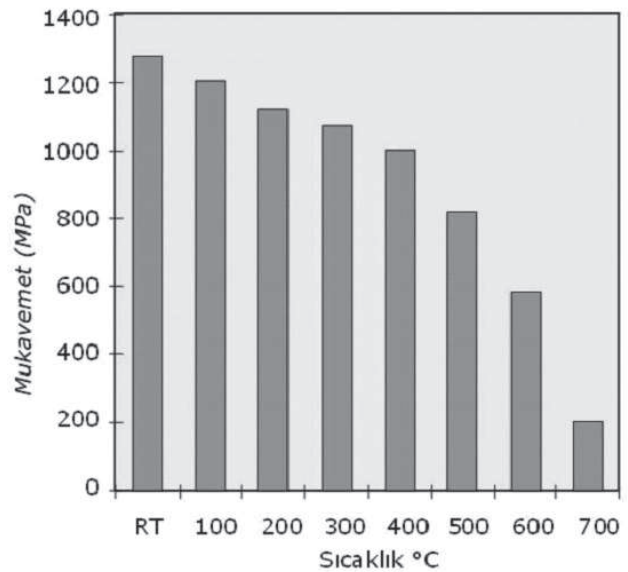
Şekil 3. Kalıp yüzeyinde sıcaklık ve gerilme dağılımı

Derken, katışama meydana gelir ve sıvı metalle birlikte kalıp içine akan ısının önemli bir kısmı kalıba, oradan da soğutma kanallarından kalıp soğutucu sıvısına akar ve kalıp yüzey sıcaklığı düşmeye başlar. Kalıbın açılması, parçanın çıkarılması ve harici soğutma (spreyleme) ile birlikte, sıcaklık farkı bu defa farklılaşır: Kalıbın yüzeyi daha soğuk ama tam tersine kalıbın içi artık daha sıcaktır. Bu defa da kalıp malzemesi içeriye doğru büzölmeye çalışır ve yüzeyde bir çekme gerilmesi doğar.

Çevrimin başında, yüzey ısınırken yüzeyde oluşan tepeciğin iki yanındaki vadiler çentik etkisi yapar ve buralardan eğer bu soğuma esnasında oluşan çekme gerilmesi yeterince yüksekse (kalıbın yüzey sıcaklığındaki malzeme mukavemetinden büyükse) çatlak başlar. Kalıp yüzeyi ne kadar şiddetli soğutulursa yüzeyle çe-

kirdek arasındaki sıcaklık farkı da o kadar fazla olacaktır yani o kadar büyük bir çekme gerilmesi doğacaktır. Çekme gerilmesinin yüksek olmaması için kalıp yüzeyinin aşırı spreylenecek soğutulmaması gerekir.

Öte yandan, unutulmamalıdır ki kalıp malzemesinin mukavemeti sıcaklık artarken düşmektedir. Şekil 4’de verilmiş olan ve sıcak iş takım çeliklerinin genel karakteristiğini ifade eden Sıcaklık-Sıcak Mukavemet diyagramından da görülebileceği üzere kalıp çeliğinin mukavemeti artan sıcaklıkla birlikte dramatik bir biçimde düşmektedir. Ancak Şekil 2’de bağlantılı bir biçimde aktarıldığı gibi tekrar eden çevrimler sonucunda malzeme yorulur ve yoruldukça da daha düşük gerilmelerde çatlayabilir hale gelir. Sonuçta hem malzemenin sıcak mukavemeti yüksekse hem de malzemenin yorulma direnci yüksekse, bu durumda çatlakın sürünme sonucu oluşan tepeciğın iki yanındaki vadilerden başlaması gecikecektir.



Şekil 4. Sıcak iş çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda mukavemet karakteristiği



Özetle kalıbın çekirdek sıcaklığı ne denli yüksekse basma gerilmesi o denli düşük yani tepeciği oluşturan, sürünmeye, mikro-plastik deformasyona yol açan gerilme de o denli küçük olacaktır. Benzer şekilde kalıp açıldığında kalıp yüzeyi ne kadar az soğutulursa da çatlakların oluşumuna neden olan çekme gerilmesi de o denli küçük olacaktır. Yani, yüzeyle çekirdek arasındaki sıcaklık farkı (dT) olabildiğince küçük olmalıdır. Bunun için de kalıbı içerden ısıtmak ve yüzeyden fazla soğutmamak gereklidir.

Buraya kadar anlatılan mekanizma sonucunda ortaya çıkan çatlaklara ısıl yorulma çatlakları adı verilir.

Isıl yorulmaya takım çeliğinin etkisi

Isıl yorulma çatlaklarının oluşumunu engellemek için kalıp çeliğinin aşağıdaki özelliklerinin yüksek olması gerekmektedir.

- Sıcak Akma Dayancı
- Basma Dayancı
- Sıcak Sertlik
- Meneviş Direnci
- Sürünme Mukavemeti
- Süneklik

Sonucu özellik hariç diğer özelliklerin takım çeliğinin kimyasal bileşimine bağlı olduğu daha önce ifade edilmişti. Sıcak mukavemet gibi bu özelliklerin artışı için daha yüksek alaşım içeriği gerekmektedir. Özellikle düşük V, Si ve C ile yüksek Mo ısıl yorulma direncini artırır. Örneğin yeni nesil sıcak iş takım çeliklerinden Dievar'ın ısıl yorulma direnci hem 1.2343'den hem de 1.2344'den daha yüksektir.

Süneklik ise malzemenin nasıl üretildiğine, yani malzemenin kalitesine bağlıdır. Malzemenin içerdiği sülfat ve oksit gibi kalıntılar (ink-

lüzyonlar) ile segregasyon sünekliliği düşürerek çatlak başlangıcını kolaylaştırırlar. Bu yüzden metal enjeksiyonda kullanılacak kalıp malzemelerinin muhakkak ESR görmüş, temiz içyapılı malzemelerden seçilmesi gerekir. Kalıntılar hakkında NADCA ASTM E45 Plate I-r'yi referans alırken segregasyon ve mikroyapı konusunda kendi kabul red kriterlerini geliştirmiştir.

Çatlağın ilerlemesine karşı direnç olarak tanımlanabilecek tokluk ise yine malzemenin kalitesine yani nasıl üretildiğine ve aynı zamanda da ısıl işlem kalitesine bağlıdır. Malzemenin üretim kalitesinin de göstergesi olan düşük segregasyon, temiz mikroyapı ve az sayıda birincil karbür tokluğu artırır.

Isıl yorulmaya ısıl işlemin etkisi

Isıl işlemin kalitesi de tokluğu etkileyebilmektedir. Artan soğutma hızı ön ötektoid karbürlerin tane sınırlarında çökmesini engelleyerek tokluğu doğrudan etkiler ve artırır. Dievar gibi sertleşebilirliği yüksek olan malzemelerde bu risk daha azdır.

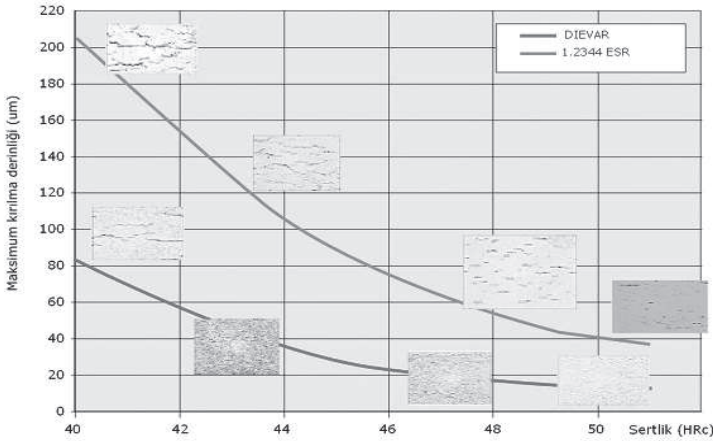
Öte yandan, yüksek tokluk için ısıl işlem sonucunda elde edilen mikroyapının da menevişlenmiş martensit olması, küçük tanelerden oluşması ve NADCA standartlarını yakalaması gereklidir. Aksi halde tokluk çok düşük olacak ve çatak ilerleme hızı artacaktır.

Ayrıca sertlik arttıkça sıcak mukavemet ve sürünme dayanımı da arttığı için ısıl yorulma çatlaklarının ilerlemesi yavaşlar. Ancak sertliği arttırırken kırılmaya sebep vermeyecek bir seviyenin korunması şarttır. 19 j çentikli darbe tokluğunu garanti eden NADCA Gradeleri gibi tokluğu yüksek olan malzemelerin kullanılması koşuluyla sertlik yukarıya çekilebilir.

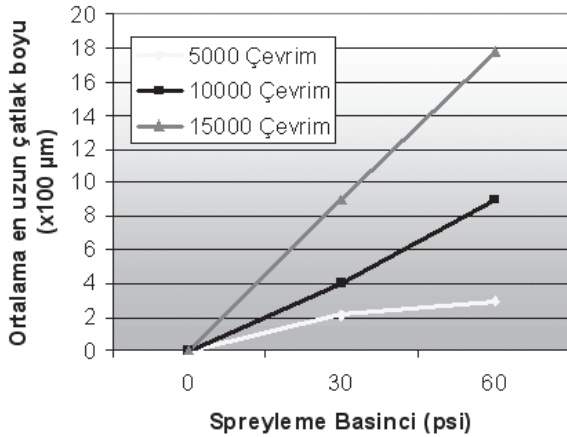


Aşağıdaki Şekil 5'den de görüleceği üzere artan sertlikle ısıl yorulma çatlakları azalmaktadır. Ama aynı zamanda daha yüksek sıcak mukavemete sahip çeliklerin sertliğindeki artış 1.2344'den daha da fazla etkili olup çatlak başlangıcını yavaşlatmaktadır.

Nitrasyon gibi yüzey sertleştirme işlemleri, yüzeyde çok kırılğan ve çatlakların ilerlemesine karşı duyarlı bir tabaka oluştururlar. Ancak, çatlak başlamasını da geciktirirler. Özellikle, keskin köşeli dizaynlarda bu tabakalar riskli bölgeler oluştururlar. Bu yüzden, nitrasyon tabakaları ince tutulmalıdır.



Şekil 5a. Isıl yorulmaya çelik kalitesinin ve sertliğin etkisi



Şekil 5b. Isıl yorulmaya harici soğutma basıncının etkisi

Isıl yorulmaya döküm parametrelerinin etkisi

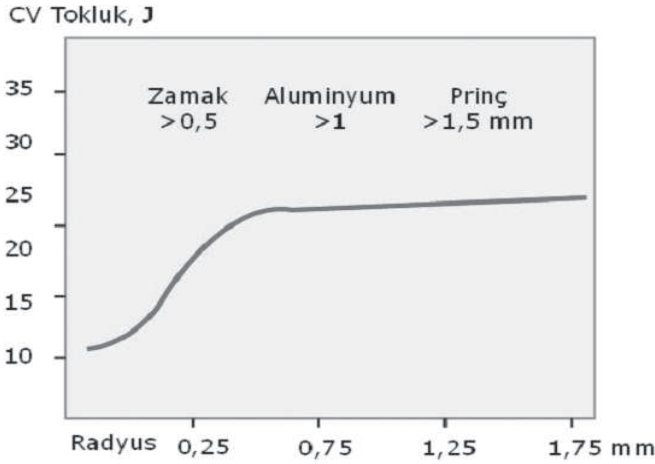
- Düşük çevrim süresi (Kalıp sıcaklığı çok yüksek)
- Aşırı harici soğutma
- Aşırı uzun spreyleme (Yüksek dT)
- Aşırı basınçta spreyleme (Yüksek dT ve yağlayıcı yapışamıyor)
- Kalıp aşırı sıcakken yada soğukken yapılan harici soğutma
- Yetersiz dahili soğutma:
- Aşırı soğuk soğutma sıvısı sıcaklığı (Yüksek dT)
- Aşırı soğutma sıvısı (Yüksek dT)
- Yeteriz soğutma (Yüzey çok sıcak, yüzey yumuşamış)
- Sıvı metal parametreleri
- Aşırı sıcak döküm (dT yüksek)
- Aşırı yüksek hızda döküm (döküm sıcaklığı artmış)
- İlk 20 baskıda yüksek 3. faz hızı (Kalıp rejime girmeden ısıl şok)
- Kalıp İmalatından kaynaklanan nedenler
- Yüzeyde erozyon tabakası kalmış (Sert ve gevrek yüzey tabakası var)
- Kaynakla tamir edilmiş yüzey ver (Yumuşak yüzey var)
- Parlatılmış yüzey bırakılmış (Yağlayıcı tutunamıyor)
- Okside edilmemiş yüzeyle döküme başlanmış (Korumasız yüzey)
- İşleme izleri var (Keskin köşe etkisi var, içgerilme var)
- Isıl işlem için yeterli çarpılma payı bırakılmamış (Isıl işlemde yavaş soğutma yapılmış)

Isıl yorulmaya tasarımın etkisi

Tasarımın ısıl yorulma çatlaklarının başlangıcına büyük bir etkisi vardır. Kalıptaki keskin



köşeler, gerilme yoğunlaşmasına sebep olur ve çentik etkisi yaparak çok daha düşük ısıl gerilmelerle kalıpta çatlakların başlamasına yol açabilir. Bu yüzden keskin köşelerden kaçınılmalıdır.

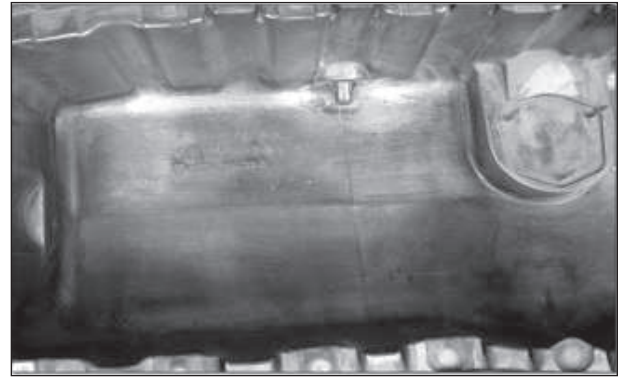


Şekil 6. Keskin köşelerde gerilme yoğunlaşması sonucu takım çeliğinde darbe tokluğu kaybı

Öte yandan, artan enjeksiyon hızları ve sıvı metal akışındaki düzensizlikler, türbülansların da metal sıcaklığını arttırdığı unutulmamalıdır. Yolluk girişlerine yerleştirilen çıkarıcı pimler, yolluk giriş açılarındaki sorunlar yada yolluk giriş kesitlerinin darlığı vb gibi kalıpcıların çok iyi bildiği bir dizi nedenle metal akış hızı ve sıcaklığı kalıp içinde artınca, kalıp yüzeyini koruyan yağ filmi sıyrılıp atılmakta ve kalıp yüzeyi çıplak, korumasız kalmaktadır. Bu durum hem kalıp yüzeyinin daha fazla ısınmasına yol açarken hem de sıvı metalin kalıp çeliği ile kimyasal reaksiyona girmesine yani yapışmaya neden olmaktadır. Bu yüzden kalıp tasarımı eğer kalıp sıcaklığının artmasına yada kalıp içinde bölgesel sıcaklık farklılıklarının büyümesine yol açıyorsa ısıl yorulmayı da özendirilmektedir.

Gerilme Çatlakları

Daha önce ısıl yorulma çatlaklarında detaylıca açıklandığı üzere, kalıp yüzeyinin ısınması ve soğuması esnasında oluşan çekme ve basma gerilmeleri, eğer kalıp malzemesinin mukavemetini aşarsa çatlak ortaya çıkar. Eğer oluşan sıcaklık farkı çok çok büyük ise (kalıp soğukken baskıya geçilmesi gibi) çekme gerilmesi de çok yüksek olacak ve kalıp ısıl şoka uğrayacaktır. Belki de ilk baskıda çatlacaktır. Bu tür ani ve büyük çatlaklara Gerilme Çatlağı adı verilmektedir. Bu çatlaklar soğutma kanalına ulaşabileceği gibi hızla ilerleyerek kalıbın kırılmasına yol açar.



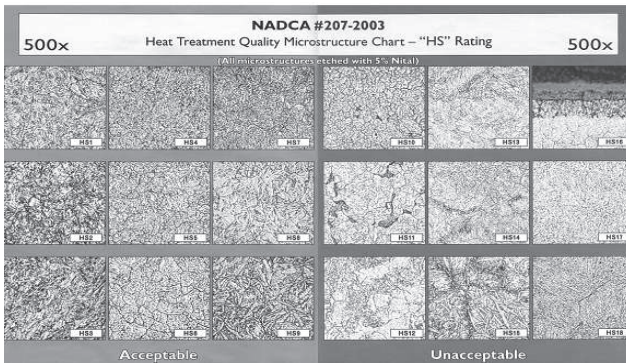
Şekil 7. Bir karterinde gerilme çatlağının görüntüsü

Bu sonucun anlamı, metal enjeksiyon kalıplarında kullanılacak çeliklerin hem süneklik hem de sıcak mukavemetinin yüksek olması gerekliliğidir.

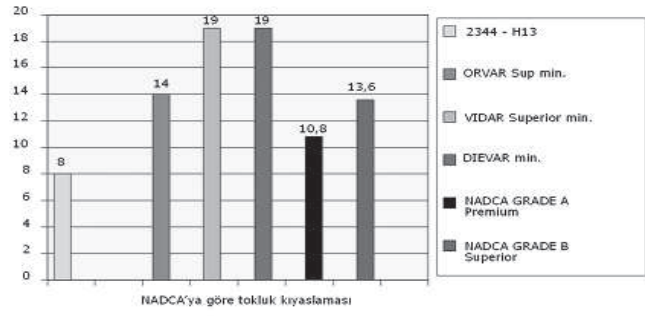
Bu tür çatlaklar, özellikle radüslerle, işleme hatalarıyla yada malzeme içindeki kalıntılarla bulunduğu kırılma kaçınılmaz olmaktadır. Bu yüzden malzeme yüzeyindeki tornalama, taşlama izleri ortadan kaldırılacak ölçüde bir yüzey temizliği sağlanmalıdır. 400 mesh'lik bir zımparalama bu yüzey pürüzlülüğü için yeterlidir.

Yüzey temizliği ve radüsler gibi çentik etkisi yaratıp çatlak başlangıcı teşkil eden bir başka faktör de malzemenin içyapı temizliğidir. Curuf Altı Ergitme (ESR) işlemi, kırılmalara yol açan çelik içi kalıntıları (inkülüzyon) azaltmakta, kalanların ise boyutlarını küçültmektedir. Ayrıca ESR işlemi ile segregasyon neredeyse ortadan kaldırılmaktadır. Sıcak iş çeliklerinin tane yapısı olabildiğince ince, yani tane sınırı uzunluğu fazla olmalıdır, malzemede bir sorun yoksa kaba taneli yapı ısıtılardan de kaynaklanmış olabilir.

Nihai olarak söylenmesi gereken, Gerilme Çatlaklarını engellemek için sünekliği ve tokluğu yüksek çeliklerin tercih edilmesi gerektirir. Tokluk ve süneklik ise malzemenin kimyasal bileşimine değil, o kimyasal bileşimdeki malzemenin nasıl üretildiğine bağlıdır, yani malzeme kalitesine. Ayrıca tokluğu belirleyen diğer etkenin de ısıtılardan olduğu unutulmamalıdır. Isıtılardan hem gevrekliğe yol açmayan uygun (düşük) bir sertlik seçilmeli hem de kalıp, tokluğunu bozan ön ötektoid karbürlerin çökmesine izin vermeyen bir hızda vakum altında soğutulmalıdır. Bilindiği gibi bu hız NADCA'ya göre 28 °C/dakika'dır.



Şekil 8a. NADCA 2003'e göre Sertleştirilmiş haldeki sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısına dair red kabul kriterleri



Şekil 8b. NADCA'ya Sertleştirilmiş haldeki sıcak iş takım çeliğinin çentikli darbe tokluğu(J) min değerleri ve sınıflandırma

Çökme- Ezilme -Deformasyon

Kalıp yüzeyinde çökme biçiminde kendini gösteren plastik deformasyon esas olarak çok düşük sertlik nedeniyle oluşur. Sertliği yükseltmek, akma mukavemeti yüksek çelik kullanmak çözüm olabilir.

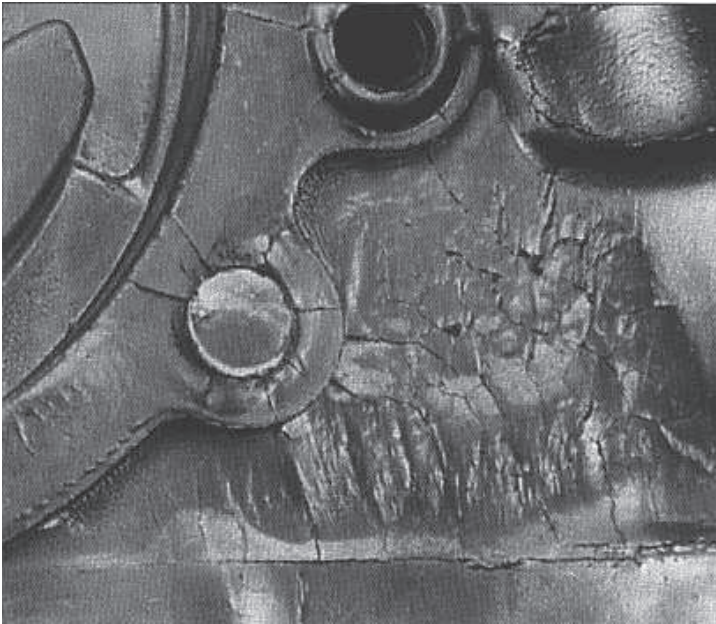
Malzemenin sıcak mukavemeti ve meneviş direncinin belirleyici olduğu oyukçuklanmada, pres basıncı ve kapama basıncının yüksekliği etkilidir. Yüksek sıcaklıklarda malzemenin sertliğini kaybetmesinden kaynaklanan bu soruna karşı sıcak mukavemeti yüksek malzemelerin kullanılması tavsiye edilir.

Korozyon-Erozyon

Yapışma olarak daha çok görülen bu hasarı malzeme değiştirerek önlemek mümkün değildir. Normal koşullarda yağlayıcı, çelik ile sıvı metalin temasını kesmelidir. Ancak yüzey aşırı sıcak olduğunda uygun bir yağlama yapılamaz ve özellikle pimler, maçalar gibi, küçük kütle/yüksek yüzey alanına sahip kalıp bölgelerinde aşırı ısınma ile birlikte bu problem ortaya çıkar.



Şekil 8a. Korozyon-Erozyon(Yapışma-Soldering) Hasarlarından Örnekler



Şekil 8b. Erozyon Hasarlarından Örnekler

Korozyon-Erozyon kalıp malzemesi ile sıvı metalin reaksiyona girmesidir ve aşağıdaki parametrelere bağlı olarak oluşur:

- Sıvı Metalin Sıcaklığına

- Sıvı Metalin Kimyasal Bileşimine (düşük Fe, yüksek yada düşük Si)
- Kalıba Uygulanan Yüzey Isıl işlemine
- Sıvı Metalin İlerleme Hızına/Kalıp Dizaynına
- Uygun olmayan sıcaklıkta ve şiddette harici soğutmaya
- Yüzeyde koruyucu tabaka yok (Oksidasyon yapılmamış)

Bu parametrelerden özellikle sıvı metal sıcaklığı çok önemlidir. Zamak için 480 °C'den, Al için 720 °C'den sonra korozyon üstel olarak şiddetlenir.

Oksidasyon, ıslatma açısını düşürdüğü için çelik-sıvı metal temasını azaltmakta ve böylece korozyonu engellemektedir. (Belli bölgelerde yapışmanın engellenmesi, parçayı çıkarabilmek için yapılan aşırı spreylemeler çoğunlukla yapışmayı engelleyemediği gibi, ısıl yorulma çatlaklarına ve atmalara neden olmaktadır)

Şekil 9'da enjeksiyon hızı ile erozyon ve korozyon hızları arasındaki ilişki resmedilmiştir.

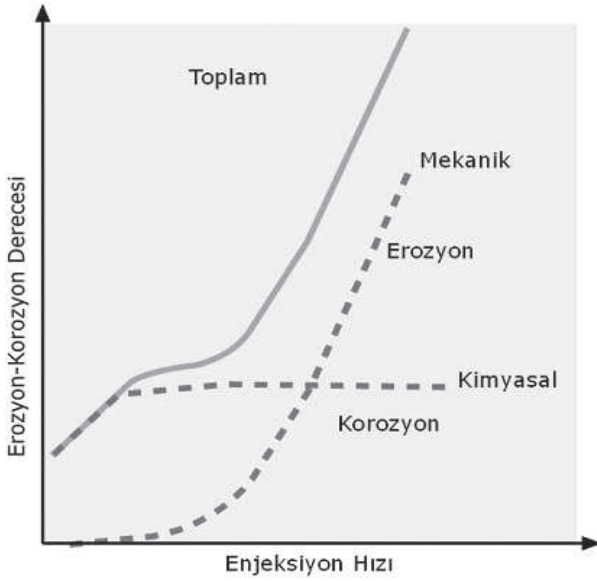
Sıvı metal hızının 40 m/s'den büyük olması erozyonun şiddetlenmesine yol açmaktadır. Benzer şekilde ergiyiğin içerdiği Si ve Fe bileşikleri yani safsızlıklar ile Al alaşımlarında Si'un %12.7'den fazla ya da az bulunması yine erozyon riskini arttırmaktadır.

Sonuç olarak erozyon ve korozyon hasarlarının nedenleri esas olarak tasarıma ve döküm parametrelerine bağlıdır. Bu yüzden de takım çeliği ve ısıl işlemde bir değişiklik yaparak bu sorunu ne çözmek mümkündür ne de bu sorunun kaynağı malzeme ve ısıl işlem olabilir. Başta nitrüleme olmak üzere bir dizi yüzey



kaplama işlemi sıvı metal-kalıp çeliği arayüzündeki ilişkiyi keser yada sınırlar ise erozyona ve özellikle de korozyona ilişkin kayda değer gelişmeler sağlamak da mümkündür.

Ancak özellikle erozyon yolluk girişlerindeki ve kavite içindeki metal hızları tarafından belirlenir. Bu yüzden kaplamalar da genel olarak erozyona ilişkin bir çözüm olamamaktadır.



Şekil 9. Korozyon-Erozyon'a enjeksiyon hızının etkisi

Kavitasyon – Oyukçuklanma

Kalıp yüzeyinde mikro oyukçuklanma olarak ortaya çıkan kavitasyonun görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir.

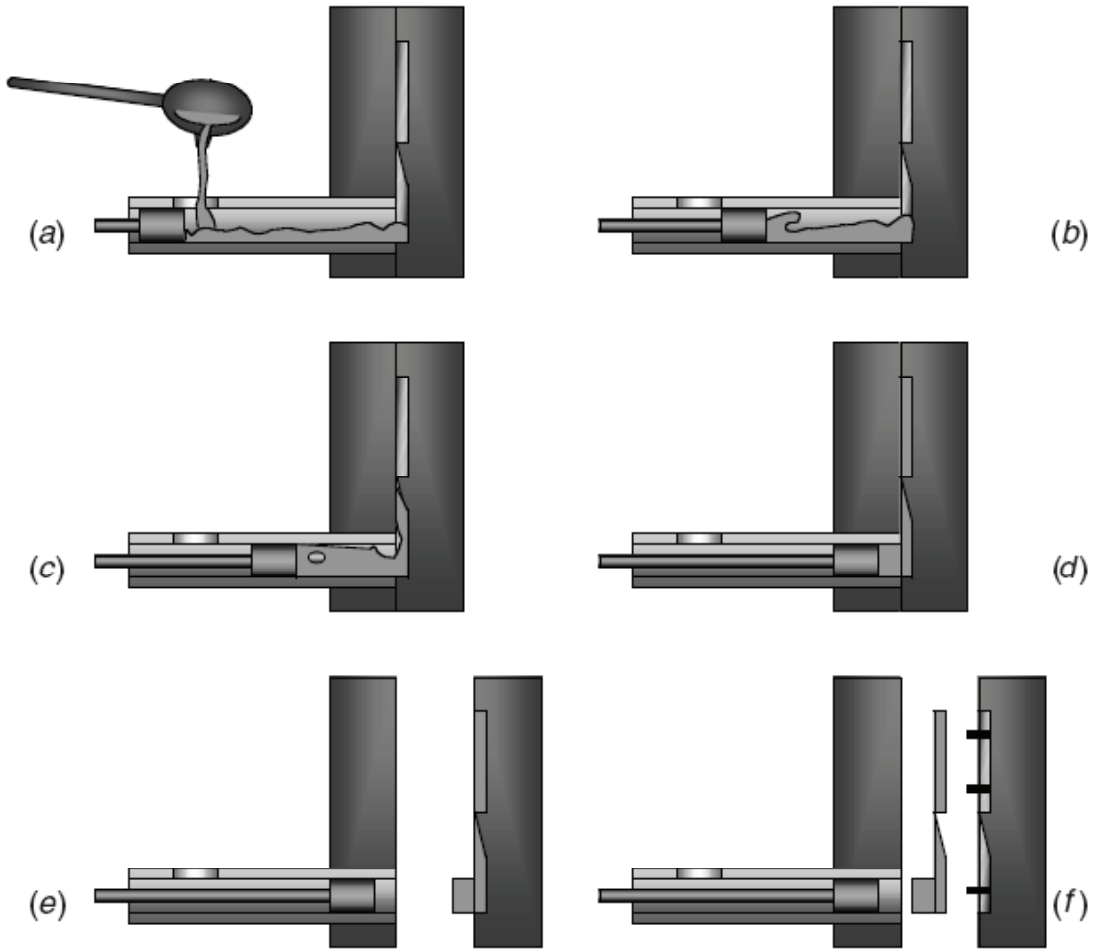


Şekil 10. Kalıp yüzeyinde kavitasyonun görüntüsü

Kavitasyon iki nedenle ortaya çıkar. Bunlardan ilki Şekil 11'de gösterilmiş olan enjeksiyon çevrimi esnasında, kovan içindeki havanın bir kısmının sıvı metalle birlikte kalıp içine gönderilmesidir. Porozite biçiminde dökümde bir kalite problemi kendini gösteren bu gaz baloncukları kalıp yüzeyine değdiğinde patlar ve baloncukun boşalttığı bu noktaya çok çok büyük bir hızla sıvı metal dolar. Kalıp yüzeyinde sıvı metalin inanılmaz hızlara ulaşmasına neden olurken, kalıp yüzeyini de tahrip eder.

Benzer biçimde sıvı metalin kalıp içinde türbülanslı akışı da aynı mekanizma eliyle kavitasyona yol açar: Türbüle olan sıvı metal akımları kalıp içinde sarmallar biçiminde ilerlerken vakumlar yani boşluklar oluşur. Bu boşluklar kalıp yüzeyine çarptığında dağılır ve sıvı metal yine enjeksiyon hızlarından çok daha büyük hızlarla bu boşluklara dolarken kalıp yüzeyini tahrip eder. Çok yüksek hızlarla akışa yol açan bu patlamalara dizel etkisi adı da verilir.

Kavitasyonun nedeni kalıp içine giren hava kabarcıkları ve sıvı metalin türbülanslı olduğuna göre ve bu kabarcıkların patlaması ile oluşan hızlar olağanüstü büyük olduğuna göre, hiçbir kalıp çeliği ve yüzey işleminin bu mekanizmaya karşı bir koruma sağlayamayacağı açıktır. Bu yüzden yolluk girişlerinde türbülansa yol açacak tasarımlardan kaçınılmalı; bu bölgelere çıkarıcı pimler yerleştirilecekse muhakkak yolluk girişinin profilini pimlerin de takip etmesi sağlanmalı ve kalıba giren hava miktarı sadece porozite problemi nedeniyle değil, oyukçuklanmaya yol açacağı için de engellenmelidir.



Şekil 11. Enjeksiyon Çevriminde kavitasyonun oluşumu