

# ALÜMİNYUM ENJEKSİYON DÖKÜM KALIP ÖMÜRLERİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ KONUSUNDA ARAŞTIRMALAR

Dr.-Ing. Zurab Liluashvili

TU Braunschweig / LS – Materials GmbH Germany

## ABSTRACT

The production of parts from aluminium pressure casting is economically the most important procedure for the processing of castable aluminium alloys. However, a primary requirement for achieving great workmanship is a die in a perfect condition. However, during its life cycle the die undergoes fatigue and cracking due to the minute cycle thermal stress alternation of the hot-work tool steels from the casting process. The service life of a pressure cast die is influenced by many factors during course of its life cycle. The exact knowledge concerning these very complex interrelationships is a condition for targeted measures for service life optimization, especially in order to avoid the premature failure of the dies.

(Lifetime, die casting dies, shot peening, hot-work tool steels)

## 1. GİRİŞ

Artan rekabet baskısı, alüminyum enjeksiyon döküm ürünlerinde proses emniyeti ve yüksek bir kalite düzeyi gerektirmektedir. Yüksek bir üretim kalitesine ulaşmak için ön koşul, döküm kalıbının çok iyi bir durumda olmasıdır. Kalıplardaki çatlak, çentik ve deformasyon gibi çok küçük faktörler bile üretilen parçalarda kabul edilemeyecek yüzey ve ölçü hatalarına neden olmaktadır. Pratikte, kalıbın zamanından önce devreden çıkmasına veya ömrünün sınırlı kalmasına neden olan aşınmalar meydana gelmektedir. İş takım çeliklerinden yapılan enjeksiyon döküm kalıplarında ısıl yorulma nedeniyle en sık rastlanan hasarlar ısıl yorulma çatlakları, kontürlere bağlı olan ısıl çatlaklar ve aşınmalardır. Büyüyen alüminyum enjeksiyon döküm sektöründe önemli bir maliyet faktörü de kalıp yapım ve bakımındır. Döküm operasyonunda, kalıpların yapım, tamir, bakım ve yenileme maliyetleri, toplam maliyetlerin %50'sine varan bir oranı oluşturur.

Bu aşınmalar birçok faktöre bağlıdır. (Resim 1). Bu faktörler arasında özellikle kalıp tasarımını, alaşımı, ısıl işlemi, yapım sırasında dalma erozyon ile verilen şekli, nümune basarken rol oynayan üretim parametrelerini ve üretim sırasındaki sıcaklıkları saymak mümkündür (1/2/3). Döküm kalıplarının öngörülen zamandan önce devreden çıkmasını önlemek için kalıp ömrü konusunda yapılacak optimizasyon çalışmalarında bütün bu kompleks bağlantılar hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu çalışmanın konusu, alüminyum döküm kalıplarının ömrüne etki eden bazı proses faktörlerinin optimizasyonu, uygulamadaki testlerle doğrulaması ve elde edilen sonuçlardır. Kalıp ömrünün uzatılması konusunda çıkış noktası, aşınma mekanizmasına etki eden faktörlerin karmaşıklığı nedeniyle tüm üretim zinciri dikkate alınarak tek tek parametrelerin değiştirilmesi ve optimizasyonu oldu. Ulaşılan baskı adedini sayısal olarak ifade edebilmek için mümkün olan çok sayıda etki faktörünün sabit tutulması gerekti. Optimizasyonu yapılan kalıp ömrünün değişik açılardan teknik standartla karşılaştırılması önemliydi. Enjeksiyon dökümhaneleriyle yapılan işbirliği çerçevesinde çok gözlü kalıplarda bazı çekirdekler değiştirildi ve normal üretim koşullarında denendi. Somut olarak kalıp ömrü optimizasyonu konusunda ayrıntılı bir ekonomik bakış açısı ve break-even noktası tesbiti için aşağıdaki çıkış noktaları incelendi:

- Hem Cr-Mo-V- sıcak iş takım çelikleri ve Fe-Co-Ni-alaşimleri, hem de sıcak iş takım çelikleri gurubu içinde normlanmış ve yeni geliştirilen özel alaşımların kalıp malzemesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırması
- Kavitelelerin bilyeli kumlamayla kalıba verilen iç basınç gerilmelerinin etkisi.



Resim 1: Alüminyum enjeksiyon döküm kalıplarının ömrüne etki eden faktörler

Uzun vadeli testlerin önemli bir noktası da (Resim 2) enjeksiyon döküm kalıplarının, yapımdan başlayarak nümune basımına ve son olarak da hasarlı muayeneye kadar olan süreçte en uygun yöntemlerle kontrol edilmesi oldu. Kalıp ömrü boyunca hasarın karakterize edilebilmesi için iç çekme ve iç basınç gerilmeleri ve bunların derinlik yolları röntgen yoluyla tesbit edildi. Metalografik yapı incelendi, çatlak oluşumu ve ilerleyişi de parçalar üzerindeki izleri ile takip edildi. Ayrıca termografi yöntemi ile sıcak bölgeleri tesbit için kalıp yüzeyinin ısı bilançosu konusunda bilgi toplandı. Kullanım süresi dolan kalıplarda da hasarlı muayene çerçevesinde ek olarak elektron mikroskobu ile kırık yapıları ve element segregasyonu veya ayrışması incelendi.



Resim 2: Çok gözlü kalıplarda bazı proses faktörlerinin optimizasyonun uzun vadeli testine metodik yaklaşım

## 2. OPTİMİZASYON İÇİN ÇIKIŞ NOKTASI – ENJEKSİYON DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ

Alüminyum enjeksiyon döküm kalıpları yapımı için genelde istenilen özellikleri büyük ölçüde yerine getiren ESU kalitesinde Cr-Mo-V alaşımlı sıcak iş takım çelikleri 1.2343 (X38CrMoV5-1), 1.2344 (X40CrMoV5.1) ve 1.2367 (X38CrMoV5-3) kullanılmaktadır. Bundan başka norm dışı özel alaşımlar da vardır. Burada, karbon ve silisyum oranının düşürülmesiyle daha iyi bir mukavemete, molibden ve vanadyum oranlarının düşürülmesiyle de daha yüksek ısıl dirence ulaşılmaktadır. Bu malzemeler ayrıca ek bir işleme de tabi tutulmakta ve daha homojen bir yapı göstermeleri sağlanmaktadır.

Marging çelikler de denen bu Fe-Ni-Co alaşımları, Cr-Mo-V sıcak iş takım çeliklerinden farklı olarak nikelmartensinit yapıları nedeniyle yüksek sağlamlık ve mukavemet değerlerine sahiptir. Fe-Ni-Co alaşımları elementleri hava ile soğutma

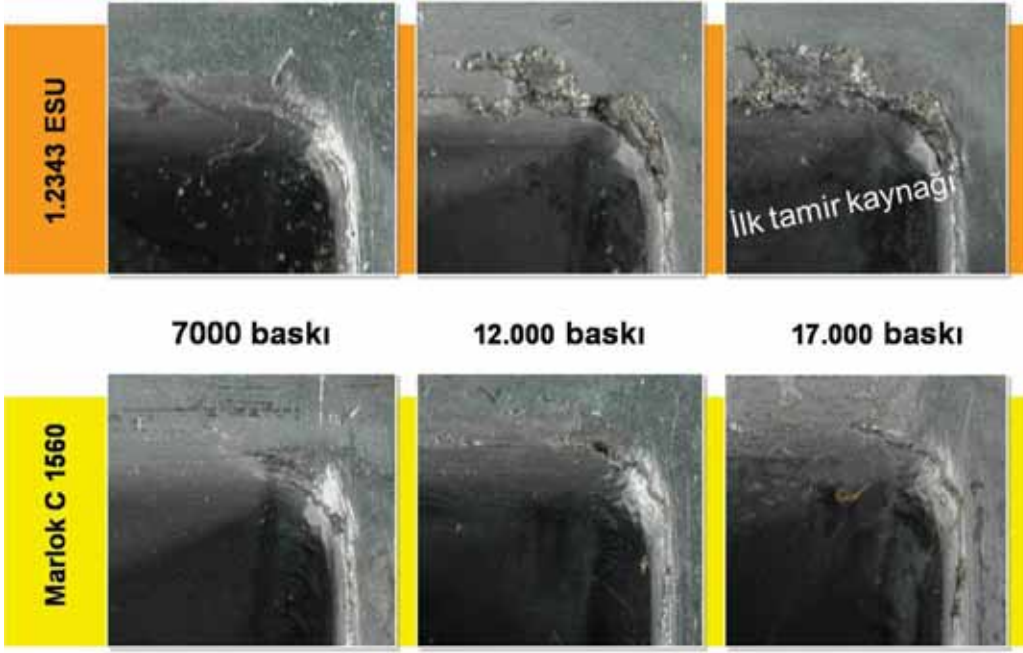
sırasında – yüksek duvar kalınlıklarında da - %100 bir martensinit mikro yapıyı destekler. Nikelmartensinit yumuşaktır (28 ila 32 HRC), ama talaşlı imalatta mukavemeti nedeniyle sorun yaratabilir. Kullanılma sertliğine (47 ila 51 HRC) ulaşılabilmesi için 525°C sıcaklıkta bir çökelti sertleştirilmesi olan ısıtma işlemi yapılır. Yorulma çatlaklarının problem teşkil ettiği durumlarda özellikle bu çeliklerin kullanılması tavsiye edilir. Fakat martensitik yapı yüksek sıcaklıklarda tekrar çok daha kötü mekanik özelliklere sahip olan daha yumuşak austenite dönüşebilir. Bu nokta, uygulamada kısmen gözlenen düşük kalıp ömürlerinin başlıca sebebidir.

Uzun vadeli bir testte ve iki gözlü bir kalıpta bu iki alaşım gurubu direk olarak birbirleriyle karşılaştırıldı. Kalıbın hareketli tarafı, biri Fe-Ni-Co alaşımından, diğeri de ESU kalitesinde 1.2343 sıcak iş takım çeliğinden yapılan iki çekirdekten oluşuyordu. Kalıbın sabit tarafındaki malzeme değiştirilmedi ve normal üretim kalıbı olarak TQ1 çeliğinden yapıldı. Daha sonraki bir birleştirme tekniği operasyonunda enjeksiyon dökümü yapılan bu parçanın geometrisi basit olmadığı için bu kalıpta ortalama bir rakam olan 100.000 baskı sayısı söz konusu idi. Ortaya çıkan hasar, ergiyiğin yön değiştirdiği parça kenarlarındaki ısıtma yorulma çatlakları ve aşınmalar ile düz yüzeylerdeki ısıtma çatlaklarıdır.

Üretim sırasında yapı, iç gerilme ve hasar gelişimini gösteren geniş çaplı bir araştırma söz konusu idi. En sonunda da 83.000 baskıdan sonra üretimden alınan kalıbın hasarlı muayenesi yapıldı. Kalıp yapım ve üretim maliyetleri bir rentabilite analizi çerçevesinde kayıt altına alındı. Kalıptaki hasar gelişiminin en önemli sonuçları aşağıdaki gibidir:

Ergiyiğin kritik yön değiştirdiği bölgede her iki malzemedeki de 7.000 baskıdan sonra açık şekilde aşınma izleri görüldü. Bunlar gerilme çatlakları ve aşınmaydı. 1.2343 ESU malzemesinde düşük ısıtma direnç nedeniyle çatlakların ilerleyişi Fe-Co-Ni malzemesine göre daha çabuk oldu (Resim 3). Ergiyiğin yön değiştirdiği bölgede tamirat için 17.000 baskı sonra kaynak yapıldı. Fe-Co-Ni-alaşımında ise tamirat için ilk kaynak 27.000 baskı sonra yapıldı. Bu kaynaklardan sonra kalıbın aynı bölgesindeki hasar yine tekrarlandı ve kalıbın üretimden alınmasına kadar geçen süre içinde her 8.000 ila 10.000 baskıda bu kaynaklar yapıldı.

Tamirat için kaynaklar her zaman bir temizleme kumlaması ve son olarak da bir ısıtma işlemiyle beraber yapıldı. Menevişleme, 1.2363 ESU malzemesi için 560°C derecede ve Fe-Co-Ni malzemesi için de 525°C derecede (2 hr) yapıldı.



Resim 3: 1.2343 ve Fe-Ni-Co malzemelerinde çatlak ilerleyişi. Parçadaki dokümantasyon

1.2343 ESU sıcak iş takım çeliğinde (Resim 4, sağ taraf) 40.000 baskı sonra oldukça büyük bir ısıl çatlak oluştu. Fe-Ni-Co alaşımında, yani Maraging çeliğinde (Sol taraf) kalıp üretimden alınincaya kadar hiç ısıl çatlak tesbit edilmedi. Bunun yerine yolluk bölgesinde zaman zaman kaynakla tamir edilen derin aşınmalar meydana geldi.

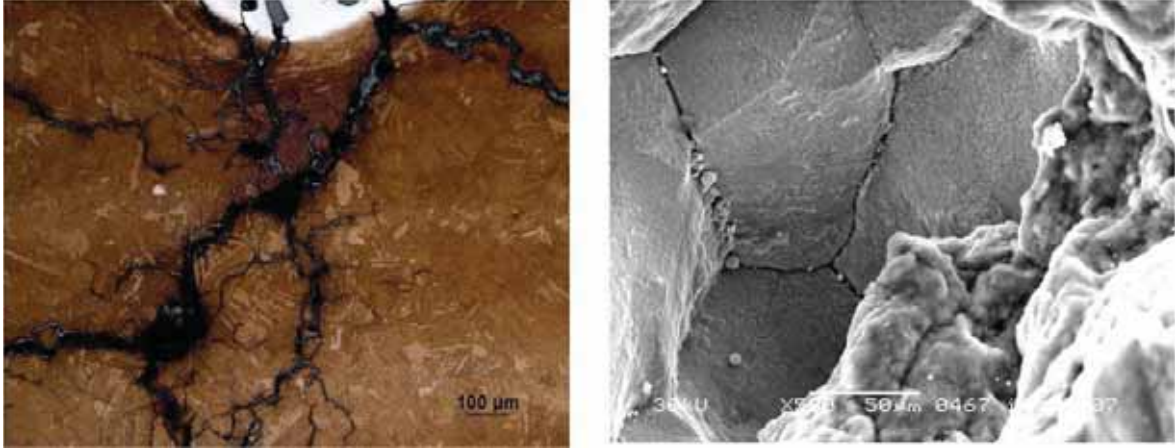
Buna karşılık 1.2343 ESU malzemesinde bu aşınmalar 70.000 baskıdan sonra ortaya çıktı ve tamir edildi.



Resim 4: 40.000 baskıdan sonra kalıp incelemesi

Bu uzun vadeli araştırma sonuçlarının son bir değerlendirmesinde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Fe-Ni-Co alaşımı sıcak iş takım çeliğiyle karşılaştırıldığında ısıl yorulma çatlaklarına karşı bir zafiyet göstermemektedir. Bunun bir nedeni, karşılaştırıldığında daha yüksek olan ısıl iletkenlik ve ısıl dirençtir. Isıl çatlak tehlikesi olan kalıp bölgelerinde bu nedenle nikelmartensinik çelikle kalıp ömrü uzatılabilir. Bu arada kalıpta, üretime paralel olarak 525°C derecede 2 saatlik bir ısıl işleme martensitin austenite dönüşümünü minimize etmek için düzenli bir sertleştirme yapılmalıdır.
- Fe-Ni-Co alaşımının aşınma zafiyeti bir sıcak çeliğe göre çok daha fazladır. Kritik bölgede bir kalıp çeliğine 6 defa, sıcak çeliğe ise bir defa kaynak yapıldı. Sebeplerden biri de muhtemelen sertleştirmeler arasında yüzeye yakın austenit oluşmasıydı.
- Fe-Ni-Co alaşımında bir iç oksidasyona ek olarak çatlak oluşumundan sonra tane ufalanması görüldü (Resim 5). Bu hasarlar sıcak iş takım çeliklerinde ortaya çıkmaz.



Resim 5: Fe-Ni-Co alaşımındaki interkristalin oksidasyon hasarı

Bu ekonomik değerlendirmeye göre Fe-Ni-Co alaşımıyla yapılan bir kalıbın 80.000 baskı olarak varsayılan ömrüyle, 1.2343 malzemesiyle yapılan bir kalıpla aynı duruma ulaşmak için 28.000 baskı daha yapılması gerekir. Eldeki sonuçlarla çok pahalı Marlok C 1650 malzemesi ile ne kalıp ömrünün artırılması, ne de var olan kalıp geometrisinde ekonomik bir kullanım söz konusudur. Bu malzeme, sıcak çeliklerin iş görmediği, çatlakların oluştuğu bölgelerde ve her zaman üretim süresi boyunca tekrar tekrar sertleştirilmelidir.

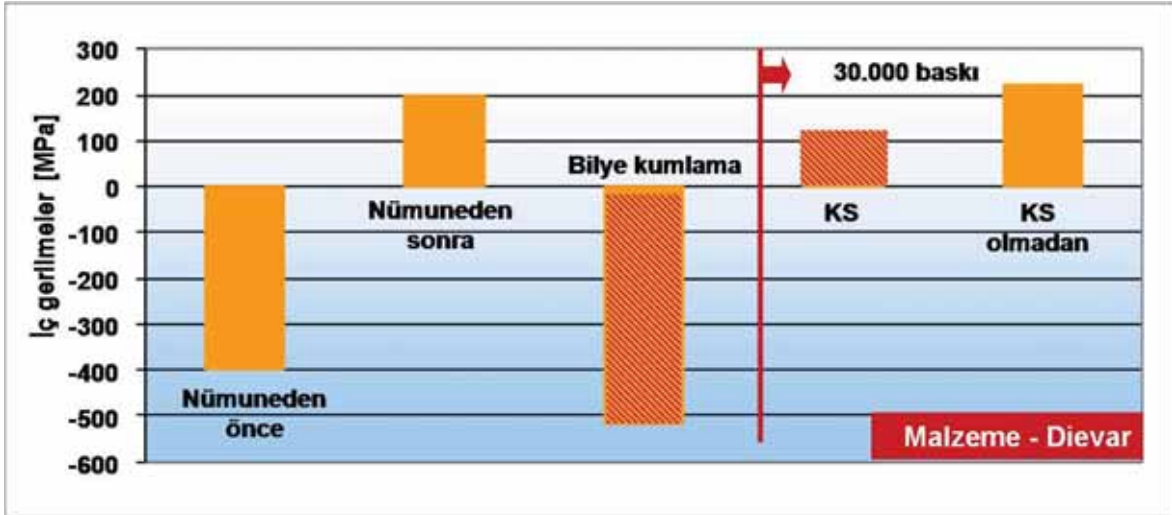
### 3. OPTİMİZASYON YAKLAŞIMI – BİLYELİ KUMLAMA

Bilyeli kumlamayla bir malzemenin derin kısımlarına iç basınç gerilmeleri verilir; bu da kanıtlanabilecek şekilde sert malzemelerde çatlakların ilerlemesini durdurur. Bilyeli kumlamadan sonraki iç basınç gerilmesi, bilyelerin parça üzerine çarpmasıyla plastik deformasyona neden olması sonucudur. İç gerilmelerin derinlik

dağılımları malzeme ve bilyeli kuşlama parametreleri nedeniyle çeşitlilik gösterir. Burada, kuşlama malzemesinin sertliği, büyüklüğü, hızı ve bilyelerin kuşlanan parça üzerine çarpma açısı, ayrıca kuşlanan parçanın sertliği önemli parametrelerdir. Kuşlama malzemesi olarak genelde çelik tel parçacıkları, döküm metalik kuşlama malzemeleri ya da cam bilyeler kullanılmaktadır (5/6). Diđer önemli bir nokta da istenmeyen aşırı yüzey pürüzlülüğü, iç gerilme derinlik ilerleyişi ve kuşlanması gereken parça kontürlerine erişilebilmesi nedeniyle kuşlamanın optimize edilmesidir. Bu nedenle söz konusu araştırma çerçevesinde kuşlanan sıcak iş takım çeliklerinin temel özellikleri konusunda ön deneyler yapılmış ve akabinde uzun vadeli deneylerle bilyeli kuşlamanın kalıp ömrüne etkisi araştırılmıştır.

Bu uzun vadeli deneyde optimizasyon 8 gözlü bir kalıpta yapıldı. Kalıbın hareketli tarafı, ikisi 1.2367 ESU malzemesinden, ikisi de normlanmamış özel Dievar alaşımından oluşan 4 göz sıcak iş takım çeliği ile yapıldı. Kalıbın sabit tarafındaki iki gözün çeliği 1.2343 malzemesinden, diğer ikisi de Dievar malzemesinden. Kalıp süreleri açısından bilyeli kuşlamanın etkisi hem kuşlanan ve kuşlanmayan Dievar çeliklerde, hem de hareketli ve daha az yük alan sabit kalıp taraflarında gözlemlendi. Kuşlama nümune basımından sonra yapıldı. Kuşlamanın başarısı, özellikle iç basınç gerilmeleri derinlik dağılımı ek deney nümuneleri ile kayıt altına alındı. Döküm parçası için kabul edilebilen 13 µm yüzey pürüzlülüğünde toplam 0,4 mm derinliğe kadar -780 MPa değerine kadar iç çekme gerilmeleri tesbit edildi.

İç gerilme gelişmeleri her göz için nümune basımından önce ve sonra, ısıl işlemden ve/veya bilye ile kuşlamadan sonra 30.000 baskıya kadar kayıt altına alındı. Ölçümler değişik bölgelerde yapıldı. Resim 6'da, sıcak iş takım çeliği Dievar için en çok yük alan bölge olan yolluk girişi için en önemli sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir:

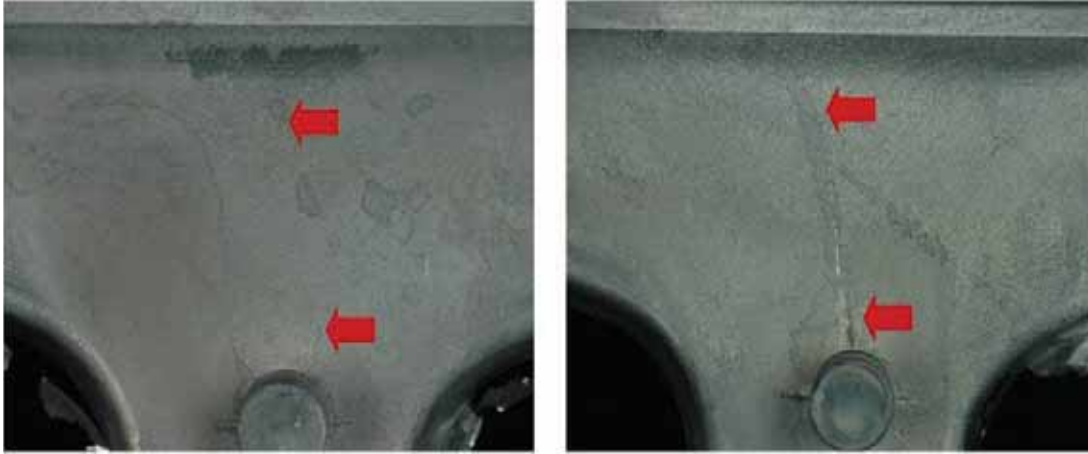


Resim 6: Bilye ile kuşlanmış ve kuşlanmamış Dievar sıcak iş takım çeliklerinde yüke bağlı olarak iç gerilmelerin gelişimi

Nümune basımından önce polisaj nedeniyle iç basınç gerilmeleri -400 MPa civarında idi. Nümune basımından sonra iç basınç gerilmeleri iç çekme gerilmelerine dönüştü. İç çekme gerilmeleri malzemenin sıcak akma noktasına

bağlıdır ve normlanmamış Dievar'da 200 MPa olan bu değer, 390 MPa'lık bir değere sahip olan 1.2343 ESU malzemesinin değerinden oldukça düşüktü. Nüme basımından sonra bilye kumlamayla -520 MPa'ya kadar iç basınç gerilmeleri oluştu. Burada, röntgen tekniği ve 3MA yöntemi ile iç gerilmeler, ölçüm imkanlarının kısıtlı olması nedeniyle sadece yüzeye yakın bölgelerde tesbit edildi. En yüksek değer yüzey altında ve 150 µm derinlikte 650 MPa idi. 30.000 baskıdan sonra Dievar'dan yapılan her iki kalıp çekirdeğinde de çatlaklar görülmüdü. İç çekme gerilmeleri bir plato durumundaydı ve kumlanmayan malzemeye göre daha yüksekti.

Açıkça görüldüğü gibi bilye ile kumlamamanın iç gerilmeler ve hasar gelişimine olumlu bir etkisi vardır. Bilye ile kumlama yapılan gözlerdeki gerilim çatlakları hem daha geç, hem de minimal bir genişlikte ve hızda oluştu (Resim 7). Aşınmanın başlangıcı da bilye kumlamayla geciktirildi. Her iki göz de 186.000 baskıya kadar hasarsız oldukları için bilye ile kumlamamanın ısıl yorulma çatlaklarının oluşumuna etkisi konusunda bir şey söylemek mümkün olamamaktadır. Bilye ile kumlama, kalıp ömrünün 6.000 baskı artmasından sonra ekonomik oldu.



Resim 7: 66.000 baskıdan sonra bilye ile kumlanan ve kumlanmayan Dievar sıcak iş takım çelikleriyle basılan parçadaki hasar

#### 4. ÖZET

Bu araştırmanın amacı, bazı proses faktörlerinin optimizasyonu ve uygulamada doğrulaması ile alüminyum enjeksiyon döküm kalıplarının ömrünün uzatılması idi. Bu çerçevede aşağıdaki çıkış noktalarından hareket edildi:

- Kalıp malzemesi olarak sıcak iş takım çelikleri Cr-Mo-V ile Fe-Co-Ni alaşımları karşılaştırıldı
- Bilye ile kumlama ile kalıba iç basınç gerilmelerinin verildi

Uygulama, optimize edilmiş kalıp çekirdeklerinin normal üretim koşullarında teknik standart çekirdeklerle karşılaştırılması çerçevesinde enjeksiyon dökümhaneleriyle işbirliği ve projeye eşlik eden komisyonun gözetimi altında yapıldı. Kalıp çekirdeklerine, blok çeliğin gelmesinden çekirdeklerin üretimi, nüme basımı, ondan sonraki üretim aşamaları ve çekirdeklerin ömrünü tamamlayıp üretimden çekilmesine kadar bilimsel olarak ve metalografik incelemelerle eşlik edildi.

Araştırma ve incelemelerin odak noktasını, kalıp çekirdeklerinin yapı ve iç gerilme gelişimi oluşturdu. İnceleme kayıtları ya uygulamanın yapıldığı dökümhanede, ya da kalıp temizliği çerçevesinde ilgili laboratuvarında tutuldu.

Optimizasyon sonucu elde edilen bulguların değerlendirmesiyle aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı:

- Fe-Co-Ni alaşımı sıcak çalışma çeliği 1.243 ile karşılaştırıldığında ısı yorulma çatlaklarına karşı zafiyet göstermemektedir. Isıl yorulma çatlaklarına maruz bölgelerde bu nedenle nikelmartensitik bir çelikle kalıp ömürleri uzatılabilir. Buna karşılık bu malzeme, aşınmaya maruz kalıp bölgelerinde kullanılmamalıdır. Bu hususta dikkat edilmesi gereken nokta, somut durumdan hareket edilerek ekonomik olmak için kalıp ömrünün %31 artırılması gerektiğidir.
- Bilye ile kumlamanın gerilim çatlaklarının oluşumunu önlemedeki katkısı olumludur. Çatlak oluşumu gecikmeyle başlamakta ve yavaş ilerlemektedir. Bunun dışında genel olarak ısı işlem ve nümune basımından sonra yapılan bilye ile kumlamanın etkisi, harcanan zaman ve maliyeti hesaba katsak bile olumludur. Bilye ile kumlamanın ve kalıp malzemesinin kalıp ömrüne etkileri karşılaştırıldığında kalıp malzemesinin belirleyici olduğu açıktır. Bilye ile kumlama yapılmayan Dievar malzemesinin, bilye ile kumlanmış 1.2343 ve 1.2367 malzemelerine göre ısı yorulma ve gerilim çatlakları açısından daha dayanıklı olduğu görülmektedir.

## 5. LİTERATÜR

- /1/ Nogowiz, B; Friebe, G.: Isıl yorulma ve enjeksiyon döküm kalıplarının ömrü. Gießereiforschung 54 (2002), Nr. 2, S. 61-73
- /2/ Pries, H. Z. Liluashvili, K. Dilger, H. Wohlfahrt: Enjeksiyon döküm kalıplarında aşınma mekanizmaları. Gießerei Forschung 56 (2004), H. 1, S. 1-13. Gießerei-Verlag GmbH, Düsseldorf, 2004
- /3/ Sjöström, J.; Bergstöm, J.: Sıcak iş takım çeliklerinde ısı yorulma. Scandinavian Journal of Metallurgy, 2005, S221 - 331
- /4/ Liluashvili, Z., H. Pries : Enjeksiyon döküm kalıplarında aşınma mekanizmaları, 01.11.2000 – 30.04.2003 arası 12685N numaralı AiF araştırması sonuç raporu.
- /5/ Habedank, G.: Daldırma erozyonu modifikasyonunda yeni yöntemler. Shaker Verlag, Aachen 2005, zugl. Diss., Universität Magdeburg 2004
- /6/ Metal Improvement Company, INC.: Kontrollu bilye ile kumlama, Lasershot Peening, Antriebstechnik, Unna, 2000
- /7/ Liluashvili, Z., H. Pries : Alüminyum enjeksiyon döküm kalıplarının ömrünün optimizasyonu konusunda araştırmalar, 12685N numaralı AiF araştırması sonuç raporu