

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM ENJEKSİYON DÖKÜM KALIPLARINDA
SIVI METAL-KALIP ETKİLEŞİMİNE YÜZEY
İŞLEMLERİNİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji ve Malzeme Müh. Özgür İLTER
(506061215)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 05 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Kelami ŞEŞEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Niyazi ERUSLU
Prof..Dr. İrfan YÜKLER (M. Ü.)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen, çalışmalarım sırasında değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, yapıcı ve öğretici desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve her türlü laboratuvar olanaklarını kullandıran, saygıdeğer hocam Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerimin yapılışı sırasında bana yardımcı olan Müh. Nazım ÖZKAN'a, Müh. Erdem AYDOĞMUŞ'a ve tüm diğer arkadaşlarıma bana vermiş oldukları desteklerden ötürü teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana sürekli destek vererek motivasyonumu yüksek tutmamı sağlayan Arzu OKTAY'a ve Kanıt SEFER'e teşekkürü borç bilirim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi fedakârlıktan kaçınmayarak bana destek olan sevgili aileme teşekkür ederim.

MAYIS 2008

Özgür İLTER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. TAKIM ÇELİKLERİ VE ÜRETİMİ	3
2.1. Geleneksel Takım Çelik Üretimi	4
2.1.1. Ergitme ve Kimyasal Bileşim Ayarlama	5
2.1.2. Pota Metalurjisi ve Döküm İşlemleri	5
2.1.3. Cüruf Altı Ergitme İşlemi	5
2.1.4. Dövme	6
2.1.5. Blok Isıl İşlem	6
2.1.6. Talaşlı İşleme	6
2.2. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Takım Çeliklerinin Üretimi	7
2.3. Sprey Döküm Yöntemiyle Takım Çeliklerin Üretimi	8
3. SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİ	10
3.1. Kromlu Sıcak İş Takım Çeliği	11
3.2. Tungstenli Sıcak İş Takım Çeliği	12
3.3. Molibdenli Sıcak İş Takım Çeliği	12
4. KALIP ÜRETİM PROSESİ	14
4.1. Kalıp Tasarımı ve Üretim Adımları	14
4.1.1. Kalıp Tasarımı	15
4.1.2. Malzeme Seçimi ve Çelik Temini	15
4.1.3. Kaba İşleme	15
4.1.4. Isıl işlem	15
4.1.5. Hassas İşleme	15

4.1.6. Deneme Baskı	16
4.1.7. Kumlama	16
4.1.8. Gerilim Giderme ve Oksidasyon	16
4.1.9. Üretim	16
4.1.10. Kumlama Gerilim Giderme ve Oksidasyon	16
4.2. Kalıplar İçin Talaşlı İmalat	17
4.3. Kalıpların Taşlanması	17
5. SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDEKİ BAŞLICA HASAR MEKANİZMALARI	20
5.1. Çelik Üretim Aşamasında Oluşabilecek Hatalar	20
5.2. Kalıbın İşlenmesi Aşamasında Oluşabilecek Hatalar	22
5.2.1. Erozyon ile İşleme	22
5.2.2. Dalma Erozyon	23
5.2.3. Tel Erozyon	24
5.3. Kalıbın Çalışma Koşullarında Meydana Gelen Hasar Türleri	24
5.3.1. Korozyon	24
5.3.2. Isıl Yorulma ve Gerilme Çatlakları	26
5.3.3. Erozyon	28
5.3.3.1. Yüksek Hızda Sıvı Metal Çarpması Sonucu Oluşan Erozyon	28
5.3.3.2. Katı Partiküllerin Çarpması Sonucu Oluşan Erozyon	30
5.3.3.3. Kaviteasyon Sonucu Oluşan Erozyon	32
5.3.4. Yapışma ve Yapışmayı Engelleyen Uygulamalar	32
5.3.4.1. Su Bazlı Yağlayıcıların Kullanımı	34
5.3.4.2. Kaplama	36
5.4. Alaşım Elementlerinin Etkisi	37
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	41
6.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar	42
6.3. Deneyin Yapılması	42
6.4. Deney Sonuçları ve Sonuçların İrdelenmesi	45
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61

EK A

63

ÖZGEÇMİŞ

73

KISALTMALAR

HPDC	: High Pressure Die Casting
TM	: Toz Metalurjik
EAO	: Elektrik Ark Ocak
ESR	: Electro Slag Remelting
KSB	: Kontrollü Sprey Biriktirme
NADCA	: North American Die Casting Association
CAD	: Computer Aided Design
EDM	: Electrical Discharge Machining
PVD	: Physical Vapor Deposition

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 Isıl yorulmaya neden olan faktörler.....	27
Tablo 5.2 Elementlerin saf alüminyum içerisindeki çözünme yüzdeleri	40
Tablo 6.1 AISI H13 tipi çeliğin kimyasal kompozisyonu	42
Tablo 6.2 ETİAL 160 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu	42
Tablo 6.3 AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliğinin ısıtılma işlem öncesi ve sonrası sertlik değeri	45
Tablo 6.4 Sıvı alüminyumda korozyona uğrayan numunelerin sertlik değerleri	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Geleneksel takım çelik üretimi	7
Şekil 4.1 : Kalıp tasarımı ve kalıp üretim prosesi	14
Şekil 4.2 : Taşlama sonrası yüzeyde oluşan çatlaklar	19
Şekil 5.1 : ESR işlemi	21
Şekil 5.2 : Erozyon ile işleme sonrası yüzeyde meydana gelen hasar	23
Şekil 5.3 : Ergimiş alüminyum sıcaklığı ile meydana gelen korozyon derecesi	25
Şekil 5.4 : Katı yüzeyde meydana gelen sıvı damlasının oluşumu	29
Şekil 5.5 : Sıcaklığa bağlı olarak oluşan akma gerilimi	30
Şekil 5.6 : H13 çeliğinin sıcaklığa bağlı olarak oluşan sertlik değerleri	31
Şekil 5.7 : H13 çeliğinin sıcaklığa bağlı olarak oluşan sertlik değerleri	31
Şekil 5.8 : Yapışma tabakasının kesiti	33
Şekil 5.9 : H21 çeliğinde meydana gelen intermetalik fazlar	34
Şekil 5.10: Yağlayıcı sprey kullanımıyla yüzeyden ısı transferinin sıcaklıkla değişimi	35
Şekil 5.11: Alüminyum ile nikel arasında oluşan intermetalik fazlar	38
Şekil 5.12: Alüminyum ile demir arasında oluşan intermetalik fazlar	39
Şekil 6.1 : Vakum fırınında, sertleştirme işleminin zaman sıcaklık grafiği	43
Şekil 6.2 : Sertleştirme öncesi mikro yapı	46
Şekil 6.3 : Sertleştirme sonrası mikro yapı	46
Şekil 6.4 : Yüzeyi oksit ile kaplanmış numune	47
Şekil 6.5 : Yüzeyi nitrür ile kaplanmış numune	47
Şekil 6.6 : Yüzeyi krom nitrür ile kaplanmış numune	48
Şekil 6.7 : Yüzeyi krom karbür ile kaplanmış numune	48
Şekil 6.8 : Yalnız ısıl işleme uğramış, 680°C de 2 saat korozyona maruz kalmış numune.....	49
Şekil 6.9 : Yüzeyi oksitlenmiş, 680°C de 4 saat korozyona maruz kalmış numune.	50
Şekil 6.10: Yüzeyi nitrülenmiş, 680°C de 6 saat korozyona maruz kalmış numune	50
Şekil 6.11: Yüzeyi oksitlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve haritalama analizleri	51
Şekil 6.12: Yüzeyi oksitlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve analizi	52
Şekil 6. 13: Yüzeyi krom karbürülenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve haritalama analizleri	52
Şekil 6. 14: Yüzeyi krom karbürülenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve analizi	53
Şekil 6. 15: Üçlü ötektik bölgenin kimyasal kompozisyonu	53
Şekil 6. 16: Al-Fe-Si üçlü denge diyagramı	54
Şekil 6. 17: Sanayide çalışır durumda üretimine devam edilen kalıp görüntüsü	55
Şekil 6. 18: Sanayide çalışır durumda üretimine devam edilen kalıp görüntüsü	56
Şekil 6. 19: Yağlama işlemi sonrası kalıp yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimi	57

Şekil 6. 20: Enjeksiyon işlemi sonrası, kalıp yüzeyindeki gerilme kuvvetinin yönü	58
Şekil 6. 21: Yağlama işlemi sonrası, kalıp yüzeyindeki gerilme kuvvetinin yönü	58
Şekil A.1 : Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680°C de 2 saat korozyona maruz kalmış numune	63
Şekil A.2 : Yüzeyi oksitlenmiş, 680°C de 2 saat korozyona maruz kalmış numune	63
Şekil A.3 : Yüzeyi nitrürlenmiş, 680°C de 2 saat korozyona maruz kalmış numune	64
Şekil A.4 : Yüzeyi krom nitrürlenmiş, 680°C de 2 saat korozyona maruz kalmış numune	64
Şekil A.5 : Yüzeyi krom karbürülenmiş, 680°C de 2 saat korozyona maruz kalmış numune	65
Şekil A.6 : Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680°C de 4 saat korozyona maruz kalmış numune	65
Şekil A.7 : Yüzeyi oksitlenmiş, 680°C de 4 saat korozyona maruz kalmış numune	66
Şekil A.8 : Yüzeyi nitrürlenmiş, 680°C de 4 saat korozyona maruz kalmış numune	66
Şekil A.9 : Yüzeyi krom nitrürlenmiş, 680°C de 4 saat korozyona maruz kalmış numune	67
Şekil A.10: Yüzeyi krom karbürülenmiş, 680°C de 4 saat korozyona maruz kalmış numune	67
Şekil A.11: Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680°C de 6 saat korozyona maruz kalmış numune	68
Şekil A.12: Yüzeyi oksitlenmiş, 680°C de 6 saat korozyona maruz kalmış numune	68
Şekil A.13: Yüzeyi nitrürlenmiş, 680°C de 6 saat korozyona maruz kalmış numune	69
Şekil A.14: Yüzeyi krom nitrürlenmiş, 680°C de 6 saat korozyona maruz kalmış numune	69
Şekil A.15: Yüzeyi krom karbürülenmiş, 680°C de 6 saat korozyona maruz kalmış numune	70
Şekil A.16: Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680°C de 8 saat korozyona maruz kalmış numune	70
Şekil A.17: Yüzeyi oksitlenmiş, 680°C de 8 saat korozyona maruz kalmış numune	71
Şekil A.18: Yüzeyi nitrürlenmiş, 680°C de 8 saat korozyona maruz kalmış numune	71
Şekil A.19: Yüzeyi krom nitrürlenmiş, 680°C de 8 saat korozyona maruz kalmış numune	72
Şekil A.20: Yüzeyi krom karbürülenmiş, 680°C de 8 saat korozyona maruz kalmış numune	72

ALÜMİNYUM ENJEKSİYON DÖKÜM KALIPLARINDA SIVI METAL-KALIP ETKİLEŞİMİNE YÜZEY İŞLEMLERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Alüminyum enjeksiyon döküm üretiminde kullanılan kalıplar, yüksek hızdaki ergimiş alüminyum alaşımına ve yüksek basınca maruz kalırlar. Ergimiş metal, yatay olarak duran silindirik biçimli hazne içerisine boşaltılıp yüksek hız ve basınçta kalıp içerisine enjekte edilir. Akabinde kalıp yüzeyindeki sıcaklık artışı düşürmek ve sıvı metalin kalıp ile etkileşimini kesmek için, kalıp yüzeyini su bazlı yağlayıcı ile yağlayarak kalıp yüzey sıcaklığını belli bir derecede tutmak amaçlanır. Bu durum her bir dakika bir tekrarlanır. Kalıp bu işlemler sonrasında sürekli sıcak metal ile etkileşim halinde olduğu için yüzeyinde hasar meydana gelir.

Ergimiş metal ile temas eden kalıpların yüzeyleri mekanik gerilmelere ve ısı çevrimlere maruz kalmaktadır. Bu etkilerle kalıp yüzeyinde meydana gelen hasarlar, kalıpların kullanım ömürlerini sınırlar ve ürün kalitesini bozar. Alüminyum HPDC üretimi kalıp malzemelerinden, beklenen özellikleri sağlayan kalıp metalleri arasında en uygun olanlardan biri AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliğidir. Ancak bu kalıp malzemelerinin, kalıp özelliklerinin geliştirilmesine yönelik olarak, farklı yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kalıp yüzeylerinin kaplanması ile kalıp ile sıvı metal arasındaki etkileşim kesilir, sıvı metalin kalıbı hasara uğratması engellenir.

Alüminyum enjeksiyon döküm üretiminde kullanılan kalıpların çalışma koşulları düşünüldüğünde, kalıp yüzeyi farklı hasarlara maruz kalır bunların başlıcaları; korozyon, erozyon, yapışmadır. Ayrıca ısı gerilme sonucunda meydana gelen termal yorulmalar da kalıba büyük zararlar verir. Kalıp yüzeyinde meydana gelen bu olumsuz sonuçları giderebilmek için kalıplar öncelikle sertleştirme işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sonrasında kalıp yüzeyleri genellikle nitrasyon işlemi uygulanarak kaplanır.

Bu çalışmada seçilen sıcak iş takım çeliği ısı işlem ile sertleştirilmiştir, sonrasında bu çelikler farklı kaplamalar ile kaplanmıştır. Numuneler ergimiş alüminyum alaşımına daldırılarak yüzeylerinde oluşan hasar ve intermetalik bileşikler incelenmiştir.

EFFECT OF SURFACE COATING IN ALUMINUM INJECTION DIE CASTING DIE WHICH CONTACT WITH MOLTEN METALS

SUMMARY

The mould materials used in the aluminum injection die casting, contacting with high velocity molten metal alloys and high pressure. Molten metal, pouring into the shot sleeve and injected through the die with high velocity and high pressure and then the mould surface is cooling with spray which include water solutions. Purpose of this process is decreasing temperature of die, protect die from molten metals interaction.

The performing surface, which contact with molten metal, subjected to the mechanical stresses and the thermal cyclic operation. These failures at the mould surface limit the service life of the moulds and effect the quality of aluminum products. One of the most inexpensive and easily machinable materials is AISI H13 hot work steel for the mould material. However, these materials require further surface properties. Coating of die surface, protect die from molten metals and its negatif effects

When we think about the conditions of aluminum injection die casting process, die surface subjected to different deformation. The basics are, corrosion, erosion, soldering and also thermal stres is effect mould performans negatively, so protect die surface from this negatif effect die is usually heat treated process and hardened. After this process die is generally coating with nitriding

In this study, H13 tool steel samples were hardened and coated with different techniques. Samples are immersioned to the cruble which containing molten aluminum alloy and investigated the surface of die, intermetallic phase

1. GİRİŞ

Alüminyum, yerkabuğunda bol miktarda bulunmasına rağmen, cevherden ayrılması ve rafine edilmesinin zorluğu nedeniyle üretimi ancak 1890'lı yıllarda yapılabilmektedir. Alüminyum üretim teknolojilerinde meydana gelen gelişmelerle birlikte ulaşılması daha kolay ve daha ekonomik bir ürün haline gelmiştir. Alüminyum kolay soğuyup ısıyı emen bir metal olması nedeniyle soğutma sanayinde geniş olarak kullanılır. Bakırdan daha ucuz olması, doğada daha çok bulunması, işlenmesinin kolay olması ve yumuşak olması nedeniyle bir çok sektörde kullanılan bir metal olma özelliği kazanmıştır. Bunun yanında mutfak gereçleri, hafiflik esas olan araçların yapımında (uçak, otomobil, bisiklet vs.) kullanılır. Otomobil endüstrisinin gelişimiyle birlikte, otomobil yan sanayisinde de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde otomobil üretiminde kullanılan alüminyum parçalarını şekillendirilmesi, seri olarak üretim yapabilen otomatik makinalarla yapılmaktadır. Hızlı olarak üretim yapan bu makinalarda sıvı alüminyuma şeklini veren metal kalıplar kullanılmaktadır. Makinaya ergimiş halde gelen alüminyum yüksek hız ve basınçta kalıp içerisine enjekte edilerek parçalara istenilen boyut ve ebatlarda şekiller verilir.

HPDC yöntemiyle, alüminyum parçalarının üretiminde kullanılan kalıp malzemeleri, sürekli olarak sıcak alüminyum ile etkileşim halindedir. Metal kalıplar sıvı metale kendi iç boşluğundaki şeklini verir. Metal kalıplar, sıcak alüminyumun ısınıncı olarak soğutucu kanallara iletirken, sıvı alüminyumun soğuyup katılaşmasını sağlar. Otomatik makinalarda ortalama her dakikada bir yapılan bu şekil verme süreci sürekli olarak tekrarlanmaktadır. Bu şartlarda çalışan kalıp malzemeleri belirli bir süre sonunda sıvı metale şekil verme özelliklerini yitirerek alüminyum parçalarının bozuk olarak üretilmesine neden olmaktadır. Kalıp malzemelerinde oluşan hasarlar kalıp malzemesinin kullanım ömürlerini belirler.

Kalıp üretim maliyetleri, alüminyum ürün fiyatının oluşmasında en yüksek paya sahiptir. Bu nedenle üretilen kalıpların kullanım ömürleri, hem alüminyum ürünün kalitesine hem de ürünün ucuzluğuna etki etmektedir. HPDC yöntemi ile üretilen alüminyum parçalarının kalıp malzemesi olarak, beklenen özellikleri sağlayan kalıp metalleri arasında en uygun seçim AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliğidir.

HPDC yöntemi ile alüminyum parçalarının üretiminde kullanılan, AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliği kalıplarının sıvı alüminyum ile sürekli teması sonucunda kalıplar kullanılamaz hale gelmektedir. Metalik kalıp malzemelerinin kalıp özelliklerinin geliştirilmesine yönelik olarak, farklı yüzey kaplama işlemlerinin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Seçilen bu çelik ısıtıl işlem ile sertleştirilip yüzeyi oksit, nitrür, krom nitrür ve krom karbür ile kaplanmıştır. Sıvı alüminyum alaşımının numunelerin yüzeylerinde oluşturduğu hasarlar incelenmiştir.

2. TAKIM ÇELİKLERİ VE ÜRETİMİ

Takım çelikleri, endüstriyel pek çok parçanın veya bileşenin, plastik deformasyon ve talaşlı imalat yöntemiyle üretiminde kullanılan ve diğer özel amaçlı takımların temel yapım malzemelerine verilen isimdir[1]. İlk takım çelikleri basit, sade karbonlu çeliklerdi. Fakat 1868 yılından başlayarak 20. yüzyıl başlarına kadar artan bir şekilde, daha kompleks ve yüksek alaşımlı takım çelikleri gelişmiştir. Bu kompleks, nispeten büyük miktarda tungsten, molibden, vanadyum, manganez ve krom içeren yüksek alaşımlı takım çelikleri hizmet taleplerinin artmasını, daha iyi kontrolün yapılabilmesini ve ısıtma işlemi sırasında çatlak oluşumunun engellenmesini sağlamıştır.

Kullanım şartlarına ve uygulama alanlarına göre takım çelikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Soğuk iş takım çelikleri
- Sıcak iş takım çelikleri
- Plastik takım çelikleri
- Yüksek hız çelikleri

Kullanım yerine göre bu çelikler farklı özellikler sergilese de genel olarak aşağıdaki özelliklere sahiptirler.

- Yüksek mukavemet
- Yüksek sertlik
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek sertleşebilirlik
- Yüksek süneklik
- Yüksek tokluk
- İyi yüksek sıcaklık özellikleri
- Yüksek ısı iletkenlik
- Düşük ısı genleşme
- Yüksek işlenebilirlik

- İyi kaynaklanabilirlik
- İyi parlatılabilirlik

Bu özelliklerin tamamının aynı çelikte olması beklenemez, ancak kullanım yerine bağlı olarak en uygun malzeme, toplam ekonomi yani kalıptan beklenen ömür/performans dikkate alınarak seçilir.

Takım çelikleri, içerdikleri alaşım miktarına bağlı olarak da alaşımsız, düşük alaşımlı, yüksek alaşımlı ve hız çelikleri olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca, takım çelikleri içinde ifade edilen kimi paslanmaz çelikler bulunmaktadır. Bu çeliklerin uygulama alanları genişlemekte ve kullanımları yaygınlaşmaktadır. Benzer biçimde, günümüzde giderek daha geniş uygulama alanı bulan bir diğer takım çeliği grubu ise toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen çeliklerdir. Alışılmış döküm-dövme üretim biçiminin yani geleneksel metalurjinin ötesinde bir üretim tekniğine dayandığı için TM olarak anılan bu malzemeler, özellikle vanadis serisi çelikler olarak, Türkiye’de de geniş bir kullanıma sahiptir.

Takım çeliği, yüksek oranda alaşım elementi içerir. Yüksek oranlı alaşım elemanı, çeliğin ergitilmesinden dökümüne ve işlenmesine kadar her aşamasında diğer çeliklerin üretiminden farklı sistemlerin kullanılmasını zorunlu kılar. Takım çeliğinin kalitesini de çeliğin üretiminde uygulanan bu işlemlere bağlıdır. Bu işlemin hedefi, kalıp çeliğinin aşağıdaki özelliklere sahip olabilmesidir. Bu özellikler aynı zamanda çeliğin kalitesini ifade eder.

- Dar kimyasal bileşim
- Homojen kimyasal bileşim
- İnce taneli ve homojen mikroyapı

2.1 Geleneksel Takım Çelik Üretimi

Takım çeliği üretimi, çelik üretimi içerisinde özel bir öneme sahiptir. Çok yüksek nitelikli çelikler olan takım çeliklerinin üretiminde kullanılan yöntemler son derece kaliteli ve ileri teknoloji ürünü süreçlerden oluşmaktadır. 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 yapılır. Döküm yine aynı amaçla dipten döküm yöntemi ile gerçekleştirilir. Böylece elde edilen ingotlar, cüruf altı ergitme (ESR veya VAR) işlemi gördükten sonra yani yeniden ergitilerek iç yapı homojenliği daha da yükseltildikten sonra, dövülerek ısıtılma işlemine alınır. Burada dövülmüş çeliğin mikroyapısı modifiye edilir ve gerek dövme gerekse de ısıtılma sırasında yüzeyde oluşan bozunmuş tabakaların çelikten uzaklaştırılması için kütükler talaşlı işleme girer. Böylece tufallerden arındırılmış hale gelen bu kütükler daha sonra ultrasonik çatlak kontrolünden geçirilerek hazır hale getirilir[2].

2.1.1 Ergitme ve Kimyasal Bileşim Ayarlama

Çeliğin kimyasal bileşimi, her bir element için daima belli sınırlar içinde değişir. Bu sınırlar ne kadar dar olursa çeliğin özellikleri de kütüğün farklı bölgelerinde farklı olmadığı gibi kütükten kütüğe değişmez.

2.1.2 Pota Metalurjisi ve Döküm İşlemleri

Kütüğün her bölgesinde, çekirdeğinde ve yüzeyinde kimyasal bileşimin belli sınırlar dahilinde aynı olması, işleme kolaylığından ısıtılma işlemde kalıbın her bölgesinde aynı sertliğin elde edilmesine kadar bir dizi özellik kazandırır. Takım çeliklerine uygulanan pota metalurjisi ve dipten döküm sistemi ile segregasyonu (belli bölgelerde alaşım elemanlarının ve kalıntıların birikmesi) azaltan, blok ısıtılma işlemi ile birlikte kombine dövme sistemleri homojen kimyasal bileşimi garanti eden üretim koşullarıdır. Takım çeliğinin en önemli özellikleri tokluk ve sünekliktir. Çatlak oluşumuna ve çatlağın ilerlemesine karşı gösterdiği direnç mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

2.1.3 Cüruf Altı Ergitme İşlemi

Kimyasal bileşimle oynayarak, yeni bileşimler geliştirerek çeliğin özelliklerini arttırmanın sınırları vardır. Öte yandan, iki malzemenin kimyasal bileşimi aynı olsa dahi mikroyapıları farklı olabilir. Çeliğin hücre yapısı olarak anılan mikroyapının ince olması ve her bölgede aynı yani homojen olması özellikleri açısından çok önemlidir. Taneler ne kadar ufak ve biçimleri küreye yakınsa, çeliğin özellikleri de o kadar yüksek olacaktır. İşte bu yüzden takım çelikleri, vakum altında gaz giderme ile

safsızlık yaratan oksijen, azot ve hidrojenlerden arındırılırlar. Ca enjeksiyonu ile sülfürler küresel hale getirilir ve en önemlisi cüruf altı ergitme işlemi ile çelik yeniden ergitilerek içerdiği son safsızlıktan da kurtulması sağlanır. Böylece son derece temiz bir mikroyapı yani son derece tok bir çelik elde edilmiş olunur.

2.1.4 Dövme

Takım çeliklerinin içerdiği yüksek oranlı, alaşım elemanları (Cr, V, Mo, W vb.) çeliğin katılaşma yapısında yoğun olarak kaba karbürler biçiminde bulunur. Bu karbürler ayrıca ağ yapısındadır. Tokluğu düşüren ve çeliği kırılgan yapan bu ağ yapısının parçalanması karbürlerin olabildiğince küçültülerek yapı içinde dağıtılması istenir. Bunun için de takım çelikleri haddelenerek şekillendirilmekten ziyade dövülerek şekillendirilir.

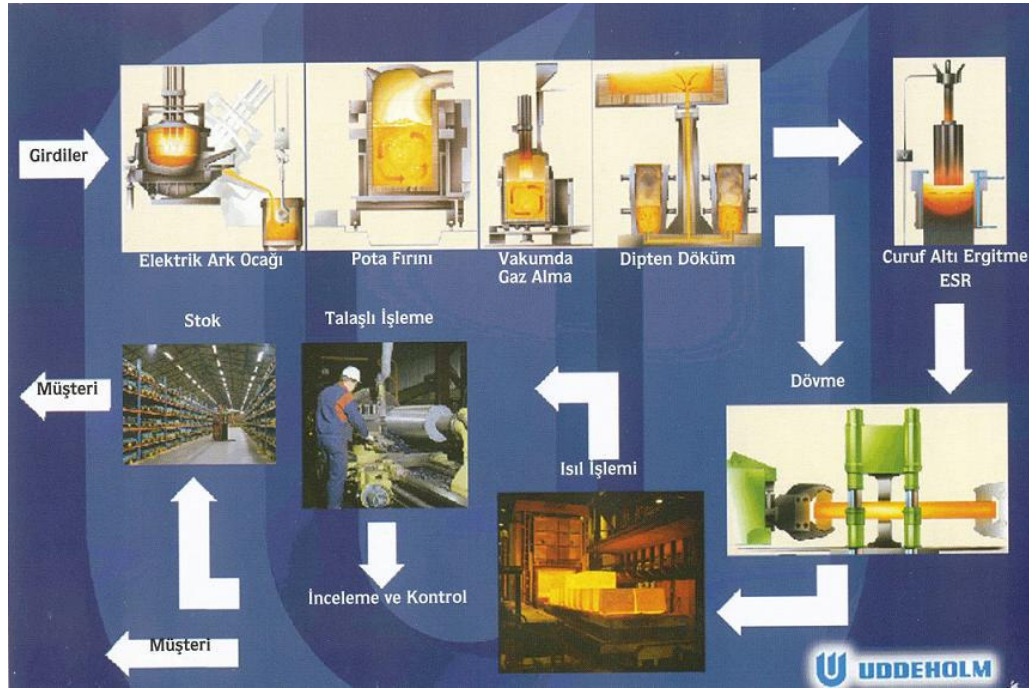
2.1.5 Blok Isıl İşlem

Dövme işlemi sonrasında, yuvarlak yada lama olarak şekillendirilmiş bütün çelikler, ısıtma işlemi girerek homojenizasyon işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem ile döküm yapısındaki mikro-segregasyon kaldırılmaya çalışılır. Dövme ile kombine yapılan bu işlemde tatbik edilen özel işlemler sayesinde de malzeme özelliklerinin daha da fazla geliştirilmesi söz konusudur.

2.1.6 Talaşlı İşleme

Gerek dövme gerekse de ısıtma işlemi esnasında kütüklerin yüzeyinde meydana gelen oksidasyon (tufal oluşumu) etkisini ve dövme sırasında oluşan yüzey çatlaklarını ortadan kaldırmak gerekir. Bu yüzden bu kütüklerde mutlaka kabuk soyma işlemi yapılmalıdır.

Şekil 2.1’de geleneksel takım çeliği üretiminin adımları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Geleneksel takım çelik üretimi[2]

2.2 Toz Metalurjisi Yöntemiyle Takım Çeliklerinin Üretimi

Toz metalurjisi (TM), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. TM farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. TM nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile TM verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, TM konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır[3].

Toz metalurjisi ile üretilen takım çeliklerinde segregasyonun bulunmaması sıcak iş çelikleri ve kalıp uygulamaları için onları çekici kılmaktadır. Çünkü, pres döküm kalıplarındaki erken başarısızlığın sebebi segregasyondan ve heterojen mikro yapıdan dolayı meydana gelen termal yorulmaya bağlanmaktadır. Örneğin H13 sıcak içi boş mil, dört silindri motor bloklarının döküm kalıbı için kullanılırlar ve

ortalama servis ömrü, başlangıç malzemesi az segregasyon içerdiğinde, yaklaşık 27.000 parçadır. Başlangıçta görülür şekilde segregasyona sahip malzemenin ömrü ise 13.000 parçadır.

Ergimiş çelik, oksidasyonu önleyecek şekilde, bir inert gaz içerisinde (argon veya azot) atomize edilir. Buna rağmen, metal içerisindeki oksijen içeriği 200 ppm' dir. Atomizasyon esnasında, küçük metal damlacıkları soğur ve katılaşır. Bu şekilde ince tozlar oluşmuş olur. Partikül boyutu 100-600 µm arasında değişir. Daha sonra tozlar 4000 at'lık bir basınç altında preslenir. Bu şekilde oluşmuş blok, daha sonra istenilen boyutlara dövülür. Yine de iç kısımlarda mikro porlar oluşabilir.

Sinterlenmiş çeliklerde, karbür dağılımı ve boyutları ideale yakındır. Karbür boyutları 2-3 µm gibi çok küçüktür.

Bu şekilde üretilen çeliklerin üstün özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Sıcak şekillendirmede metal akışı önemli derecede fazladır. Geleneksel yöntemlerde %70 iken, bu yöntemde %90-95'dir.
- Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, mekanik özellikleri daha iyidir.
- Sinterlenmiş çeliklerde yüzey kalitesi daha iyidir.
- Karbür partiküllerinin yüzey alanı daha fazla olduğu için, aşınma dayanımı %20-30 arttırılmıştır.

2.3 Sprey Döküm Yöntemiyle Takım Çeliklerin Üretimi

Hızlı katılaşma yoluyla direk olarak eriyikten alaşım ve kompozit malzemelerin üretildiği prosese sprej şekil verme, sprej döküm veya sprej biriktirme yöntemi denir. Bu yöntemde ergimiş metalin atomizasyonu ile üretilen damlacıkların püskürtülerek bir kolektör (toplayıcı) üzerinde toplanması sağlanır. Kolektör üzerinde katılaşarak üretilen bu depozite daha sonra ekstrüzyon, dövme veya haddeleme ile şekil verilebilir. Sprej biriktirme yönteminin iki önemli avantajı vardır. Bunlardan birincisi eriyikten direk olarak tek bir operasyonla net şekillendirilmiş ürün elde etme imkanıdır. Bu yöntem ingot metalurji (İM) ve toz metalurji (TM) yöntemlerinde uygulanan birçok işlem basamağını azaltarak önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlar. Sprej şekil verme yönteminin ikinci avantajı metalurjik ve mekanik özelliklerde önemli ölçüde iyileşmenin sağlanmasıdır. Sprej

şekil verme yöntemiyle üretilmiş ürünler ince taneli, alaşım elementleri makroskopik segregasyonundan arındırılmış ve düşük oksit içeriklidir. Sprey döküm teknikleri 1980’de Aurora Çelik Ltd. Şirketi tarafından yüksek alaşımlı takım çelikleri ve yüksek hız çeliklerine uygulanmıştır. Bu uygulamada atomize edilen büyük (0.5-1.5 mm) sıvı damlacıkların kolektör üzerinde toplanması ve 103 Ks^{-1} gibi yüksek soğuma hızlarında katılaştırılması ile kontrollü spreyci biriktirme (KSB) tekniği geliştirilmiştir. Ancak 1983’te Aurora Çelik İngiltere’deki ekonomik durgunluk nedeniyle işletmelerinin çoğunu kapatmak zorunda kalmıştır[4].

3. SICAK İŞ TAKIM ÇELİĞİ

Bir malzemeye 200°C'nin üzerinde yapılan her türlü biçim verme işlemi, sıcak biçimlendirme olarak anılmaktadır. Bu işlem için kullanılan takımların çok büyük kısmı ise çeliktir. Burada kullanılan çelikler de sıcak iş takım çeliği olarak anılmaktadır. Sıcak iş takım çeliklerinin ortak özellikleri, çalışma esnasında maruz kaldıkları başta sıcaklık olmak üzere çeşitli yüklere bağlı olarak geliştirilmiştir. Bu malzeme özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- Yüksek sıcak akma mukavemeti
- Yüksek sıcak sertlik
- Yüksek süneklik
- Yüksek tokluk
- Yüksek sertleşebilirlik
- Yüksek basma mukavemeti
- Yüksek sürünme mukavemeti
- Düşük ısı genleşme katsayısı
- Yüksek ısı iletkenlik

Takım çeliklerinin çoğu, hizmet sırasında hızlı bir şekilde uygulanan aşırı yüksek yüklere maruz kalırlar. Takımlar bu yüklere kırılmadan, aşınmadan veya deforme olmadan çok kere dayanmak zorundadır. Bazı uygulamalarda ise takım çelikleri bu dayanımlarını yüksek sıcaklık şartlarında sağlamalıdır. Tek başına hiçbir takım malzemesi; maksimum aşınma dayanımı, tokluk ve yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı direnç özelliklerini birleştiremez. Sonuç olarak uygun takım malzemesi seçiminde bu özelliklerin optimum olarak sağlanması dikkate alınmalıdır.

Sıcak iş takım çelikleri içerdikleri alaşım miktarlarına göre 3 farklı sınıfa ayrılır;

- Kromlu Sıcak İş Takım Çelikleri
- Tungstenli Sıcak İş Takım Çelikleri
- Molibdenli Sıcak İş Takım Çelikleri

3.1 Kromlu Sıcak İş Takım Çeliği

Krom elementi, her %1 oranı için çeliğin mukavemetini 90 N/mm^2 artırır, fakat kopma uzamasını %1,5 oranında azaltır. Kritik soğuma hızını küçültür ve böylece sertleşme derinliği artar. Demirin karbonu çözebilme kabiliyetini azaltır, bundan dolayı ostenitin doymuşluk sınırı (**Acm**) sola doğru fazlaca kayar ve çelikte karbürlerin ayrışmasına neden olur. Oluşturdukları krom karbürler ile çeliğin sertliği artar. Tufalleşmeyen çeliklerin en önemli alaşım elemanı kromdur[5].

Sıcak iş takım çelikleri, içerdiği krom elementi ve karbür şekillendirici molibden, tungsten ve vanadyum gibi elementlerin eklenmesi sayesinde ısıl yumuşamalara karşı dirençlidir. Düşük karbon ve düşük alaşım içeriği, 40-55 HRC arası normal çalışma sertliklerindeki tokluğu yükseltmektedir. Daha fazla tungsten ve molibden eklenmesi sonucu sıcaklığa karşı dayanım artarken toklukta çok az azalma meydana gelir. Vanadyum yüksek sıcaklıktaki aşınmalara karşı direnç için eklenmektedir. Silikon ilavesi $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklıklarda oksitlenmeye karşı direncini geliştirmektedir. H11, H12, H13 ve daha az miktarda H19 bu grubun içinde en çok kullanılan tiplerdir.

Düşük karbon ile birlikte, kromun yüksek olması derin sertleşebilirlik sağlar. H11, H12 ve H13 tipleri tüm çalışma sertlikleri için 152 mm kesite kadar ve diğer H gruplarının kesiti 305 mm'ye kadar olmak üzere havada sertleştirilebilmektedir. Havada sertleştirme ile sağlanan kalite ve dengeli alaşım içeriği, sertleştirme sırasındaki düşük distorsiyon ile sağlanmaktadır. Kromlu sıcak iş çelikleri, özellikle alüminyum ekstrüzyonu ve magnezyum ekstrüzyonu için kalıplar, pres döküm kalıpları, dövme kalıpları, miller ve sıcak makaslar olmak üzere tüm sıcak iş kalıplarıyla uyumludur. Bu çeliklerin çoğu hizmet sırasında su ile soğutulduğunda çatlak oluşturmayacak şekilde yeterli düşüklükte karbon ve alaşım içeriğine sahiptir.

H11 çeliğinin diğer geleneksel yüksek dayanımlı çeliklere göre en önemli avantajı $540 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar maruz kaldığı sıcaklıkta yumuşamaya karşı dirençli olması, oda sıcaklığında 1720-2070 Mpa çekme dayanımında uygun tokluk ve sünekliği sağlamasıdır. Bununla birlikte ikincil sertleşme karakteristiği nedeniyle H11 yüksek sıcaklıkta temperlenebilir. H11, H12 ve H13 çeliklerinin avantajları ise; yapısal ve

sıcak iş uygulamalarında şekillendirme ve çalışmada kolaylık, iyi kaynaklanabilirlik, nispeten düşük termal genleşme katsayısı, uygun ısı iletkenliği, ortamın üzerinde oksitlenmeye ve korozyona karşı dayanımdır.

3.2 Tungstenli Sıcak İş Takım Çeliği

Tungsten elementi, çeliklerin aşınma dirençlerini, menevişleme tavlmasına dayanıklılığını ve sıcağıdaki mukavemet değerlerini artırır. Ostenitin karbona doymuşluk çizgisini sola doğru kaydırır. W, çelikte zor çözünebilen $(FeW)_6C$ karbürünü oluşturur. Bu karbür, sertleştirme sıcaklığı arttırıldığında çözünebilir, böylece sertlik ve sertleşme derinliği artar. Karbürlerin çok küçük çözünme hızından dolayı W çelikleri, aşırı ısıtmaya karşı hassas değildirler[5].

Tungstenli sıcak iş çeliklerinde (H21'den H26'ya kadar olan tipler) başlıca alaşım elementleri karbon, tungsten, krom ve vanadyumdur. Daha fazla alaşım elementi içeriğı, H11 ve H13 sıcak iş çeliklerine göre, yüksek sıcaklıktaki yumuşama ve çalışma sıcaklığındaki aşınmaya karşı daha dirençli olmalarını sağlar. Ancak bu çelikler daha fazla alaşım elementi içeriğıyle, normal çalışma sertliklerinde(45-55 HRC) gevrekliğe eğilimli olurlar ve hizmet sırasında su ile soğutma güvenli olmaz.

Her ne kadar tungsten sıcak iş çelikleri havada sertleştirilebilse de genellikle yağda soğutulurlar. Havada sertleştirildiklerinde düşük oranda distorsiyon meydana gelir. Bu çeliklerde kromlu sıcak iş çeliklerine göre daha yüksek sertleştirme sıcaklığına ihtiyaç vardır. Tungstenli sıcak iş çelikleri, hız çeliklerinden daha fazla tokluğa sahip olsa da bazı özellikleriyle onlara benzemektedir, örneğin H26 tipi T1'in düşük karbonlu versiyonudur. Bu çelikleri işlem sıcaklığından önce ön ısıtmaya tabi tutarsak kırılmayı minimuma indirebiliriz. Millerin, pirinç, nikel alaşımları ve çelik ekstrüzyonu gibi yüksek sıcaklık uygulamalarındaki ekstrüzyon kalıplarınının yapımında ve pürüzlü dizayn için sıcak dövme kalıplarında kullanılırlar.

3.3 Molibdenli Sıcak İş Takım Çeliği

Molibden elementi, çelikte özel karbür oluşturur, bu karbürler sıcakta mukavemeti uzun süre korurlar. Özellikle V, W ve Cr ile bileşim yaparak çeliğin kesme

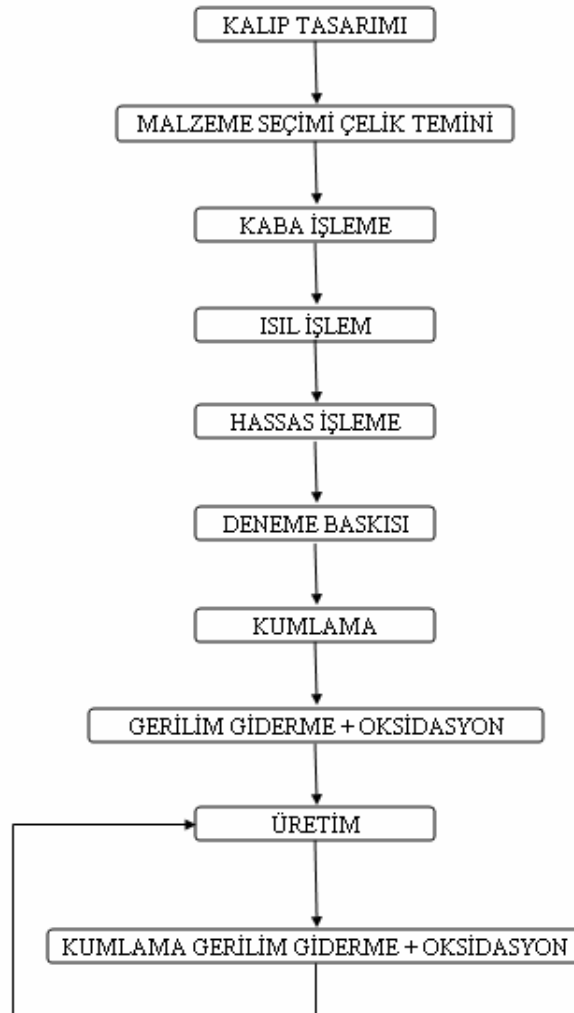
kabiliyetini arttırır. Mo'nin çok az miktarı bile meneviş gevrekliğini giderir. Tane küçültücü etkisi vardır. Mo pratik olarak yanmaz, bu yüzden hurda demirin ergitilmesi esnasında büyük oranda geri kazanılabilir. Molibden ilavesi ile çelik dekarbürizasyona duyarlı hale gelir[5].

Molibdenli sıcak iş çelikleri H42 ve H43 tipleri aktiftir. Bunlar molibden, krom, vanadyum, karbon ve değişik miktarlarda tungsten içerirler. Tungstenli sıcak iş çelikleriyle hemen hemen aynı özellik ve kullanım yerlerine sahiptirler. Kompozisyonları molibdenli hız çeliklerine benzese de onlardan daha az karbon içeriğine ve daha fazla tokluğa sahiptirler. H42 ve H43 tiplerinin tungstenli çeşitlerine göre ilk masrafı düşüktür. Ayrıca ısı kontrolüne karşı daha dirençlidir. Fakat genellikle bütün yüksek molibdenli çelikler; ısı işlemler sırasında, özellikle dekarbürizasyon ve östenitleşme sıcaklığının kontrolünün dikkate alınmasına ihtiyaç duyarlar.

4. KALIP ÜRETİM PROSESİ

Kalıplar, karşılıklı olarak birbiri içerisine geçebilen dişi ve erkek kalıplardan meydana gelir. Seçilen kalıp malzemesi, önceden belirlenen uygun bir prosesle işlenir ve çeşitli işlemler sonrası sanayide kullanılabilir bir hal alır. Şekil 4.1 de bu işlem adımlarını görmek mümkündür.

4.1 Kalıp Tasarımı ve Üretim Adımları



Şekil 4.1 : Kalıp tasarımı ve kalıp üretim prosesi

4.1.1 Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı genel tasarım ilkeleri uyarınca ani kesit değişimlerinden kaçınılarak gerçekleştirilir. Soğutma kanalları, kalıp yüzeyinden en az 25 mm ve köşelerden de 50 mm derinde olmalıdır. Çelik kalınlığı en az 50 mm olmalıdır ve gravür derinliği çelik kalınlığının en fazla 1/3 'ü kadar olmalıdır. Yolluk gravür duvarında en az 50 mm uzakta olmalıdır. Radyüsler parça dizaynına bağlı olmakla birlikte en az 2 mm olmalıdır.

4.1.2 Malzeme Seçimi ve Çelik Temini

Uygulama alanına uygun takım çeliği seçilir.

4.1.3 Kaba İşleme

Çekirdekler ve maçalar, nihai ölçülerine 3-4 mm kalıncaya kadar kaba işlenir. Isıl işlemde yüksek soğuma hızları ile sertleştirme yapılırsa çeliğin tokluğu artacak ancak çarpılma da çoğalacaktır. Bu yüzden çarpılma payı için yeterli işleme payı bırakılmalıdır.

4.1.4 Isıl İşlem

Metal enjeksiyon kalıplarının ısıl işlemi için NADCA 207-2003 standartları esas alınır. Soğuma hızı, kalıp merkezinde en az 27 °C/dak olmalıdır. Nihai sertlik, +/- 1 HRC toleransında belirlenmelidir. İşleme payı daha az bırakılmak isteniyorsa, kaba işlemeden sonra gerilim giderme yapılmalı ve daha sonra da en az 1 mm işleme payı bırakılarak kalıp ısıl işleme verilmelidir. Ancak bu durumda soğutma hızı standardın altında kalabilir.

4.1.5 Hassas İşleme

Bu aşamada kalıbın son ölçüsüne getirilmesi hedeflenir. Kalıp sert olarak işlenerek, kalıbın ısıl işlemde daha hızlı soğutulmasına, böylece de tokluğun artırılabilmesine olanak sağlanır. Eğer bu aşamada dalma erozyon kullanılıyor ise, erozyonun yol açtığı hasar parlatma yapılarak azaltılmalı ve mümkün ise bu aşamada son meneviş sıcaklığının 50 °C altında bir gerilim giderme menevişi yapılmalıdır.

4.1.6 Deneme Baskı

Deneme baskısı yapılarak parça onayı alınır. Deneme baskısındaki tüm pres tonajı, hızı vs. ile, sıvı metal, kalıp sıcaklığı vb. parametreler raporlanır. İlk baskılarda kalıp sıcaklığının tam olmasına piston hızının düşük tutulmasına, metal sıcaklığının gereğinden fazla olmamasına özen gösterilir. Tüm parametreler raporlanır.

4.1.7 Kumlama

Seri üretime geçmeden önce kalıbın yüzeyinde iyi yağ tutabilmesi için kalıp yüzeyi kumlanmalıdır. Böylece özellikle kalıp devreye alma sırasındaki yapışma/sıvanma azalır. Kumlamada kullanılan malzeme kalıp ile reaksiyona girmemesine özen gösterilmelidir.

4.1.8 Gerilim Giderme ve Oksidasyon

Üretime geçmeden önce işleme ve deneme baskılarda oluşmuş olan gerilimlerin alınması için kalıba bir gerilim giderme tavının uygulanması gerekmektedir. Kalıp yüzeyindeki yapışmaları daha da azaltabilmek için aynı anda oksidasyon da yapılarak kalıp yüzeyi oksitlenmelidir. Kesinlikle, parlak yüzey ile imalata girilmemelidir. Pim ve küçük maçalar ise nitrüleme yapılabilir. Sadece yapışmanın engellenememesi durumunda nitrüleme yapılabilir.

4.1.9 Üretim

Kalıp sıcaklığı 160 °C – 220 °C arasında mı?

Şaloma ile ısıtma yapılıyorsa alev çekirdeğe vurdu mu?

Yüzeyden spreyleme yeterli mi yoksa çok mu fazla?

Sıvı metal sıcaklığı 700 °C – 720 °C' yi aşmış mı?

Pres basınçları gereğinden fazla mı?

4.1.10 Kumlama Gerilim Giderme ve Oksidasyon

İlk 5.000, 10.000 ve 20.000 adet baskıdan sonra kalıplara düzenli bir biçimde kumlama ile temizlik yapılır ve mevcut kılcal çatlakların kapanması sağlanır. Ardından da oksidasyon ile aynı anda gerilim giderme yapılarak kalıpta biriken gerilimler alınır. 20.000 baskıdan sonra ihtiyaç duyuldukça bu işlem tekrarlanabilir.

4.2 Kalıplar İçin Talaşlı İmalat

Kalıp üretiminin en önemli aşaması talaşlı imalatıdır. Kalıp maliyetleri üzerine yapılan çalışmalar, kalıp üretim maliyetinin en az yarısının talaşlı işlemeden kaynaklandığını göstermiştir. Kalıp karmaşıklıklaştıkça, talaşlı imalat giderek daha da önemli hale gelirken, işlenen malzemenin yani takım çeliğinin de işlenebilirlik özelliği önem kazanır. Yüksek tokluk ve yüksek parlatılabilirlik özellikleri istenen yeni takım çelikleri geliştirilirken, bu çeliklerin aşırı temiz iç yapısı nedeniyle işlenebilirlikleri de düşmektedir. Temiz çelik üretilirken işlenebilirlik açısından da bir optimum yakalanmaya çalışılmalıdır. (işlenebilirlik verilen malzemenin kesme takımları ile işlenmesi sırasında göstermiş olduğu kolaylığa denir)

Takım çeliklerinde işlenebilirliği etkileyen ana etkenler;

- Çeliğin kimyasal kompozisyonu
- Malzemenin sertliği
- Mikroyapı
- Malzeme içerisindeki kalıntıların miktarı
- Malzeme içerisinde arta kalan gerilimler.

Kimyasal kompozisyonun işlenebilirlik üzerinde çok büyük etkileri vardır ve genel bir kural olarak bir çeliğin alaşım oranı yükseldikçe kesici takımlar ile işlenebilirliğinin de zorlaştığı söylenebilir. Öte yandan kükürt (S) çelik içinde genellikle sülfür (MnS) olarak bulunur. Çelik içerisindeki MnS yumuşak bir yapıya sahip olup kısa talaş oluşumunu destekler ve kesici köşelerde yağlayıcı bir etkide bulunarak, aşınmayı yavaşlatır.

Aşağıda talaş kaldırma yöntemleri verilmiştir.

- Erozyon (EDM)ile işleme
- Dalma erozyon
- Tel erozyon

4.3 Kalıpların Taşlanması

Taşılama diski, üzerinde binlerce kesici nokta bulunan bir ölçüsel hassasiyet artırma takımıdır. Bağlayıcı maddeden oluşan bir matrisin içinde bulunan ve gözeneklerle

birbirlerinden ayrılmış aşındırıcı parçacıklardan oluşur. Bu aşındırıcı parçacıklar, kesici noktalar olarak görev yaparken, bağlayıcı madde de tanelerin bir arada durmasını, gözenekler ise soğutucunun diskin içerisine nüfus etmesini ve oluşan talaşın ayrılmasını sağlar.

Takım çeliklerinin taşlanması dikkat isteyen bir husus olmakla beraber doğru bir taş seçimi ve taş hızı çok önemli etkenlerdir. Bu nedenle;

- Taşlanacak bölgeyi titreşimden korumak gereklidir.
- Bol soğutucu kullanılmalıdır.
- Taşlamadan sonra gerilim giderme menevişi yapılmalıdır.
- Taşlamadan sonra keskin köşeli bölgeler tashih edilmelidir.
- Taşlama çatlamasını ve yüzey yanmalarını engellemek için taşlama esnasında aşırı basınç uygulanmamalıdır.
- Menevişlenmemiş malzeme taşlanmamalıdır.
- Malzeme cinsine, ısı işlem görüp görmemesine ve yapılacak taşlama işleminin türüne göre taş seçimi yapılmalıdır.
- İyi bilenmiş ve salgısız, dengeli taş kullanılmalıdır.

Taşlama esnasında yanlış taş seçimi, soğutucunun yeterince verilmemesi, pasonun büyüklüğü, yüksek basınç vb. nedenlerden dolayı, taşlanan yüzeyde yanma, yumuşama ve hatta taşlanan yüzeyde çatlama ortaya çıkabilir. Taşlama çatlakları, taşlama yönüne daima dik yönde ortaya çıkar ve bu özelliğinden kolayca ayırteedilebilir. Şekil 4.2 de bu çatlakları görmek mümkündür.



Şekil 4.2 : Taşlama sonrası yüzeyde oluşan çatlaklar[8]

5. SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDEKİ BAŞLICA HASAR MEKANİZMALARI

Sıcak iş takım çeliklerinde oluşan hasar mekanizmalarının kaynağı; çeliğin üretim koşullarından tutun, son aşamasındaki işleme kademesine kadar birçok basamakta irdelenmesi gerekmektedir. Bu basamaklar aşağıda sıralanmıştır;

5.1 Çelik Üretim Aşamasında Oluşabilecek Hatalar

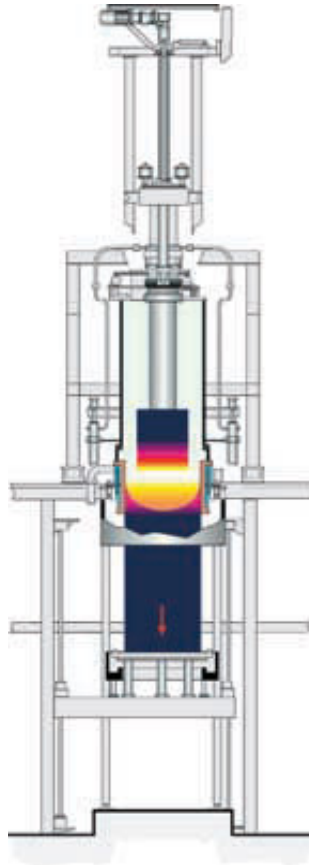
Sıcak iş takım çelikleri; genel olarak elektrik ark ocaklarında, hurdaya ayrılmış kalıplar ve paslanmaz çelik hurdalarından elde edilir. Kütükler halinde üretilen kalıpların kimyasal kompozisyonu, alaşım elementlerinin homojen dağılması kalıp ömrünün uzun yada kısa olmasını belirleyen etmenlerdendir. Alaşımlandırma yapılırken dar kimyasal aralıklarda tutulmalıdır, aksi takdirde üretilen kütüklerin kalitesi birbirini tutmaz. Farklı özelliklerde çelik elde edilir. Oldukça kaliteli çelik kullanılması zorunluluğu nedeniyle kalıp temini yapılırken alınan firmanın kalite kriterleri de oldukça önemlidir.

Diğer bir kriter de yukarıda da bahsettiğim gibi homojen bir içyapının olması gerekliliğidir. Aynı homojen yapı sergilenmez ise yapı içerisinde mikro ya da makro düzeyde segregasyonlar oluşur. İki malzemenin kimyasal bileşimi aynı olsa dahi mikro yapıları farklı olabilir. Çeliğin hücre yapısı olarak anılan mikro yapının ince olması ve her bölgede aynı, yani homojen olması, bu özellikler açısından da çok önemlidir. Taneler ne kadar ufak ve biçimleri küreye yakınsa, çeliğin özellikleri de o kadar yüksek olacaktır. Eğer homojen yapı sağlanamaz ise, çeliğin farklı bölgelerinde farklı gerilme kuvvetleri oluşmasına neden olduğu gibi çalışma koşullarında yüzey kalitesinin deforme olmasına neden olur[6]. İleriki bölümlerde bu hasar çeşitleri ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Çelik içerisindeki bu homojen yapının sağlanabilmesi için Rus bilim adamları tarafından geliştirilen ESR ve VAR metodu dünya tarafından kabul görmüş ve sıkça uygulanan bir teknoloji haline gelmiştir. Bu uygulamada

kütükler halinde üretilen çelikler ikincil bir işleme tabi tutulurlar. Bu işleme cüruf altı ergitme işlemi denir. Bu işlem vakum altında yapılır. Aşağıda, şekil 5.1 deki gibi üst tarafta elektrot, alt tarafta kütük bulunur. Sistemden geçirilen alternatif akım sonrası elektrot ile kütük arasında ark oluşturularak cüruf arayüzeyi oluşturulur. Kütük içerisindeki empüritelerin giderilmesi için cürufılaştıcı ilavesi de yapılır. Bu esnada ergiyen çelik yoğunluğu nedeniyle cüruf üzerinden aşağıya, katılaşıcağı su soğutmalı kalıbın içerisine akarak katılaşır. Böylece elde edilen kütük daha homojen, içerisindeki empüritelerden sıyrılmış halde elde edilir. Sıcak iş uygulamalarında kullanılan takım çeliklerinin ESR görmüş olması önemlidir. Kalıp ömrünün artmasına neden olur[6].

Sonuç olarak yukarıda anlatılanları özetlersek;

- homojen iç yapı gerekliliği,
- dar kimyasal aralıklarda üretim yapılması kalıp ömrünün artmasına neden olur.



Şekil 5.1 : ESR işlemi[7]

5.2 Kalıbın İşlenmesi Aşamasında Oluşabilecek Hatalar

Temin edilen sıcak iş takım çeliğinin işlenmesi de oldukça önemlidir. Kütük kaba olarak işlenirken kesme takımlarında kaliteli uçlar kullanılmalıdır. Aksi taktirde yüzeyden kaldırılan talaş toz halinde olacağından yüzey kalitesi bozulur. Hassas işleme adımı için büyük sorun teşkil eder.

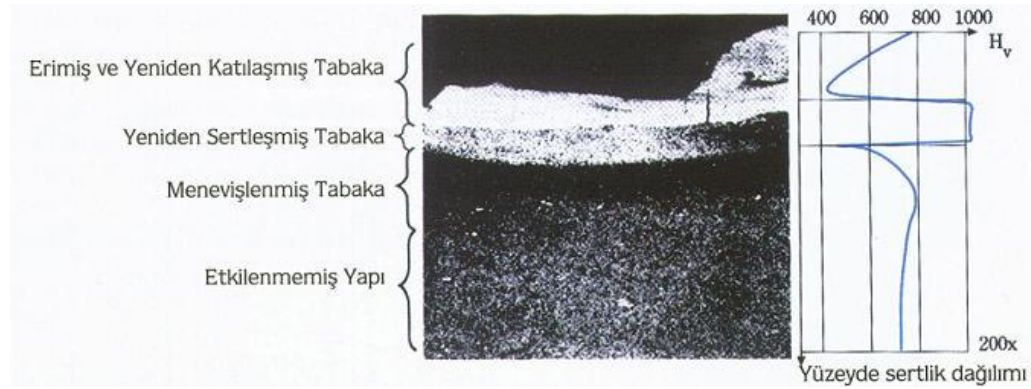
Günümüzde hassas işleme için farklı metodlar uygulanmaktadır. Çok eksenli makinelerde kalıplar işlenebilir hale gelmiştir. Son derece kaliteli ve pürüzsüz yüzey elde edilmektedir. Ancak bu tezgahların pahalılığı nedeniyle alternatif prosesler geliştirilmiştir. Ülkemizde de bu yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Kütükler erozyon ile işlenerek ince cidarlardaki figürler verilebilmektedir. Bu işlem ile çok sağlıklı bir yüzey elde edilemediği gibi kütüklerin yüzeyinde oluşan hasarlar nedeniyle meneviş tavlamaşı uygulanmaktadır.

5.2.1 Erozyon ile İşleme

Erozyonla işleme yada EDM teknolojisi bugün kalıpcılık alanında son derece popüler modern bir talaş kaldırma yöntemi haline gelmiştir. Bunun bir çok sebebi vardır. EDM, çok sert malzemeleri ve kompleks şekilleri yüksek bir hassasiyetle işleyebilir, ayrıca CAD ve otomasyon için çok uygundur. Her teknolojiye olduğu gibi EDM’inde kendi içinde kimi olumsuzlukları bulunmaktadır. Bunların başında da, işleme sırasında malzeme yüzeyine verilen hasarlar ve malzemeye yüklenen iç gerilmeler gelmektedir[8]. Erozyonla işleme teknikleri; dalma erozyon, tel erozyon ve EDM frezesidir. Gerek dalma gerekse de tel erozyon ülkemizde son derece yaygın kullanılan işleme teknikleridir. Plastik kalıpcılığında dalma, kesme kalıpcılığında da tel erozyon çok yoğun kullanılmaktadır. Buna karşın EDM frezesi ülkemizde pek tanınmamaktadır.

EDM frezesi, aslında çok koordinatlı dalma erozyon tezgahlarının geliştirilmiş halidir. Bu yöntemde istenen parça şekli, silindirik elektrotun belirlenmiş bir yolu takip etmesiyle oluşturulur. Bu işlemin normal frezeden farkı kesici yerine silindirik bir elektrot kullanılmasıdır. Böyle bir işlemin avantajı kompleks elektrotlar kullanmaya ihtiyaç duymamasıdır.

5.2.2 Dalma Erozyon



Şekil 5.2 : Erozyon ile işleme sonrası yüzeyde meydana gelen hasar[8]

Şekil 5.2 de gösterildiği gibi, ister dalma, ister tel erozyonla yapılan işlem sonrası çelik yüzeyinde, etkilenmiş bir bölge oluşur. Bu bölge mikroçatlaklar içermektedir. Kalıp çalışmaya başladığında, ya da erozyon sonrası ısıl işleme girdiğinde oluşan gerilmeler bu çatlakları ilerleterek kalıbın hasar görmesine yol açabilir. Bu çatlakların ilerlemesini kolaylaştıran bir başka oluşum ise erozyon sonrası yüzeyde meydana gelen sertlik değişimidir. Yüzeyde çok sert bir tabaka ve onun hemen altında ise çok yumuşak bir tabaka oluşur. Bu bölgenin derinliği ya da yüzey pürüzlülüğü, öncelikle uygulanan akıma (i_e) daha sonra empülsiyon zamanına (t_e) bağlıdır[8]. EDM işlemini hızlandırmak için malzemenin büyük kısmı yüksek akım uygulanarak işlenir. Daha sonra bitirici işlemler yüzey kalitesini sağlamak ve ilk işlemde kalan, ısıya maruz kalan bölgenin büyük kısmını ortadan kaldırmak için küçük akımlar kullanılarak yapılır. Ancak bu uygulama etkilenmiş bölgeyi ortadan kaldırmaz, sadece derinliğini azaltır. Etkilenmiş bölgeyi ortadan kaldırmak için, öncelikle mekanik temizleme, yani bir parlatma yapılması tavsiye olunur. Ancak kalıp şekli özellikle kenarlarda ve iç yüzeylerde buna her zaman izin vermez. Öte yandan sadece beyaz tabakanın uzaklaştırılması da yeterli değildir. Bu yüzden özellikle sertleştirilmiş çeliklerin erozyon sonrası son meneviş sıcaklığının 20-25 °C altında bir meneviş tavi ile sertleşmiş ve menevişlenmiş tabakaların etkilerinden arındırılması tavsiye edilir.

5.2.3 Tel Erozyon

Sertleştirilmiş çelik kütüklerden karmaşık şekilli parçaların kesilmesinde tel erozyon büyük kolaylıklar sağlar. Özellikle kesme kalıpcılığında, maça ve kalıpların çıkarılmasında sık kullanılan bir yöntemdir. Tel erozyon ile sertleştirilmiş kütüklerin kesilmesinde birkaç hususa çok dikkat etmek gerekir. Bunlardan ilki; sertleştirildikten sonra düşük sıcaklıklarda menevişlenmiş çelik kütüklerin tel erozyon ile kesilmesi sırasında çatlak oluşumu ve şekil değişimi riski olmasıdır. Bu risk nedeniyle özellikle 50 mm'den daha kalın kütüklerin EDM ile kesilmesinde yüksek sıcaklık menevişi uygulanmış kütükler tercih edilmelidir.

Tel erozyonla kesilen parçaların önemli bir kısmı basmaya çalışan zımbalar, maçalardır. Bu parçaların kesilmesinde, su yönü diye de tabir edilen haddeleme yönünün dikkate alınması gereklidir. Zımbalar mutlaka hadde yönüne paralel doğrultudan çıkarılmalıdır. Aksi halde çeliklerin tokluğu düşük olacağından kırılmalarla karşılaşılır. Toz metalurjik çeliklerde bu hadde yönü sorunu yoktur.

5.3 Kalıbın Çalışma Koşullarında Meydana Gelen Hasar Türleri

Bu çalışmada daha çok kalıbın çalışma şartlarında oluşan hasar çeşitleri üzerinde durulmuştur. Bunların başlıcaları;

- korozyon
- ısıl yorulma
- erozyon
- yapışma

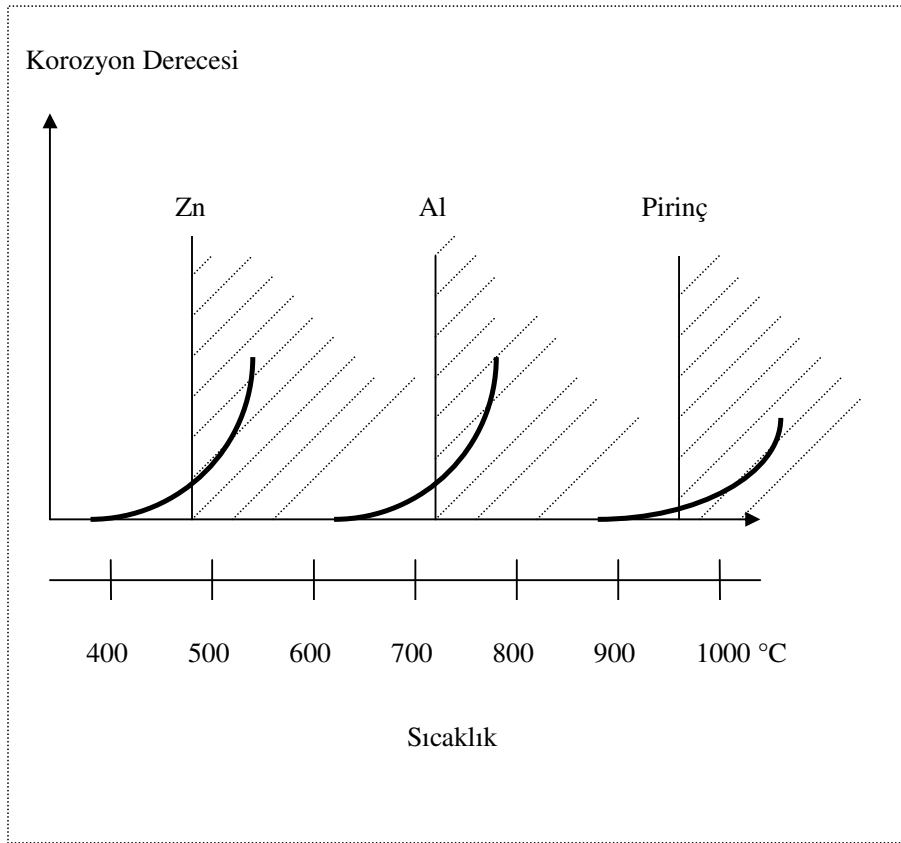
5.3.1 Korozyon

Ergimiş metal yüksek basınçta kalıp içerisine enjekte edildiğinde kalıp yüzeyindeki atomlar aktive edilir, aktive edilmiş atomlar arasındaki bağ kırılır ve böylece ergimiş halde bulunan alüminyum atomları kalıp içerisine difüze olur. Dolayısıyla kalıp yüzeyinde difüzyonun etkisiyle intermetalik bileşikler oluşur[9]. Yüzeydeki atomların aktivasyon enerji değerleri yüksek tutulursa, kalıp mikro yapısı ne kadar ince taneli olursa bu durum engellenebilir.

Korozyon oluşumu, kalıp malzemesi ile sıvı metalin reaksiyona girmesi ile meydana gelir ve aşağıdaki parametrelere bağlı olarak oluşur.

- Sıvı metalin sıcaklığına
- Sıvı metalin kimyasal bileşimine
- Kalıba uygulanan yüzey ısıl işlemine
- Sıvı metalin ilerleme hızına / kalıp dizaynına

Bu parametrelerden özellikle sıvı metal sıcaklığı çok önemlidir. Zamak için 480°C'den, Al için 720°C'den sonra korozyon üstel olarak şiddetlenir. Şekil 5.3'deki kesik çizgi ile belirtilen bölge kesinlikle tavsiye edilmeyen döküm sıcaklıklarını ifade etmektedir.



Şekil 5.3 : Ergimiş alüminyum sıcaklığı ile meydana gelen korozyon derecesi [8]

Kalıp ile ergimiş metal arasında oluşan reaksiyon sonucu döküm kalıbı aşınarak hasara uğrar. Demir atomları ergimiş metale difüze olup, alaşım içerisinde çözülmesi aşama aşama artarak ilerler, kalıp aşınmaya maruz kalır. Bu durumun sonucu olarak

yüzeyde yapışma meydana gelir. Ergimiş metal sıcaklığı, etkileşim süresi, ısılatma açısına bağlı olarak, bu aşınma mekanizmasının derecesi belirlenir.

Farklı alüminyum döküm alaşımlarında farklı yapışma davranışı görülür. Yapışma eğilimi metal sıcaklığının ve uygulanan basıncın artmasıyla artar. Kalıp yüzeyinin kaplanması ve yapılan yüzey işlemleri ile yapışmanın oluşması azaltılabilir.

Yüzeyde meydana gelen, birbirini tetikleyerek oluşan yapışma ve korozyon sonucunda, yüzeyde intermetalik bileşikler oluşur. Bu intermetalik bileşiklerin sertlik değerleri oldukça yüksektir. Metal akışı esnasında, basıncından etkisiyle bu intermetalik bileşikler yüzeyden dökülüp yüzeyin pürüzlü bir hal almasına neden olur. Birbirinden farklı hasar çeşitleri oluşsa da, bu yüzey hatalarını birbirinden ayırmak oldukça güçtür. Çünkü oluşan her hasar diğer hasar şeklini tetikler.

5.3.2 Isıl Yorulma ve Gerilme Çatlakları

Sıcak iş kalıbının yüzeyi iki nedenle büyük zorlama altındadır[10].

- Kalıp sıcaklığının en yüksek olduğu bölge kalıp yüzeyi olduğu için
- Kalıp yüzeyi ile kalıp çekirdeği arasındaki sıcaklık farkı (ΔT), bu bölge yüksek olduğu için

Bu zorlamaların, kalıp çeliği açısından iki pratik sonucu vardır.

- Kalıba sıcak metalin dolduğu baskı esnasında, kalıp sıcaklığında sıcaklık (T_s) arttıkça, kalıp çeliğinin sıcak mukavemetine (sıcak sertlik) bağlı olarak kalıp yüzeyi de sertliğini yitirecek, yani kalıp yüzeyi yumuşayacaktır.
- Kalıp yüzeyinin ısınması, kalıp yüzeyinde genleşmeye ve takip eden adımda da büzölmeye çalışmasına yol açar. Ancak kalıbın iç bölgeleri aynı oranda ısınmadığından, yüzeyin genleşmesine ve büzölmesine izin vermeyecektir. Böylece kalıp yüzeyi ile çekirdeği arasında çekme ve basma gerilimi doğar. Bu gerilim, ısınarak mukavemetini yitiren kalıp çeliğinin akma mukavemetinden daha yüksek ise kalıp yüzeyinde çatlaklar oluşmaya başlar[11].

Eğer, kalıbın yüzeyindeki sıcaklık çok yükselmiş, yani kalıp çeliği yüzeyde sertliğini kaybetmiş, yumuşamış ise, ortaya çıkan çatlaklar ağ biçiminde kılcal çatlaklardır ve bu çatlaklar, ısıl yorulma çatlakları (heat checking) olarak anılır.

Eğer kalıp yüzeyi-kalıp çekirdeği arasındaki sıcaklık farkı çok yüksek ise, kalıp çeliğinin sertliği düşmemiş olsa bile, ortaya çıkan gerilme çok yüksektir ve kalıp yüzeyinde derin çatlaklar meydana gelir. Bu çatlaklar da gerilme çatlakları olarak anılır (gros checking) ve kalıbın boyunca kırılmasına kadar bu çatlaklar ilerler.

Sonuç olarak, ısıl yorulmayı önlemek için:

- Sıcak akma mukavemeti yüksek
- Sünekliği yüksek çelik tercih edilmelidir.

Bu sonucun anlamı, metal enjeksiyon kalıplarında kullanılacak çeliklerin hem süneklik hem de sıcak mukavemetinin yüksek olması gerekliliğidir. Isıl yorulmaya neden olan diğer faktörler aşağıda Tablo 5.1’de özetlenmiştir.

Tablo 5.1 : Isıl yorulmaya neden olan faktörler

Kalıpta ön ısıtma	mutlaka yapılmalı
	yağ ile ısıtma tercih edilmelidir.
	önerilen sıcaklıklara uyulmalıdır.
	soğutma hızı optimize edilmelidir.
	soğutma kanallarının yeri, yüzeyden 25 mm olmalıdır.
yüzey soğutma	mutlaka yapılmalı süre ve sıklığı optimize edilmeli
döküm sıcaklığı	düşük tutulmalı
döküm süresi	kısa tutulmalı
yüzey özellikleri	çok kaba yüzey bırakılmamalı
sıvı metal hızı	akış hızı düşürülmeli
rejime alırken	ilk 20 baskı düşük hızda olmalı

5.3.3 Erozyon

Yüksek basınçla döküm prosesi diğer döküm proseslerinden oldukça farklıdır. Bu proseste ergimiş metal yüksek hız ve basınçta kalıp içerisine enjekte edilir. Bu yüksek hız ve basınç kalıbın erozyona uğramasına neden olur. Öncelikle bu mekanizma enjeksiyon esnasında sıvı metalin soğuması ile katılaştan metal partiküllerinin ergimiş metal ile birlikte kalıp içerisine enjeksiyonunda, katı partiküllerin kalıp yüzeyini hasara uğratması ile açıklanır. Ancak, aşınma sadece bu şekilde meydana gelmemektedir. Kalıp, yüzeyinde meydana gelen yapışma ve oluşan intermetalik bileşiklerin kalıp yüzeyinden dökülmesi de bu mekanizmayı tetikler[12].

Yapışma ve erozyon kalıp ömrünün azalmasına neden olur, üretilen parça adetlerinin hem kalitesiz hem de düşük sayılarda kalmasına sebep olur. Bu nedenle bu hasar durumlarının oluşmasını engellemeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Alınan önlemlerin başında kalıp kaplama tekniği gelmektedir. Kalıp yüzeyi kaplanarak hem aşınma hem de yapışmanın minimize edilmesi sağlanır. Ancak yapılan kaplama işleminin kalıp ile uyum içerisinde olması gerekir. Aksi takdirde farklı termal genleşme davranışları nedeni ile kaplama yüzeyi hasara uğrar[13].

5.3.3.1 Yüksek Hızda Sıvı Metal Çarpması Sonucu Oluştan Erozyon

Kalıp boşluklarına yüksek hızda çarpan ergimiş metal erozyona neden olur. Kalıp dizaynı oldukça önemlidir. Yüksek hızların oluşmasından kaçınılmalıdır. Kalıp figürlerinin olduğu yerlerde ince duvarlar mevcut ise ergimiş metalin bu bölgelerden geçmesi esnasında ses hızından yüksek değerlere çıkılır.

Soğuma sonucu oluşan ilk damlacık. Katı yüzeyde oluşur. Oluştan sıvı damlası katı yüzeyde bir şok dalgası oluşturur. Kısa süre sonra ıslatma açısına bağlı olarak katı yüzeye baskıya neden olan sıvı bir tabaka oluşur. Bu tabaka giderek büyür ve şekil 5.4'deki gibi yanal yüzeylerde bir gerilme oluşur. Bu gerilme basıncı aşağıdaki formülle hesaplanır.

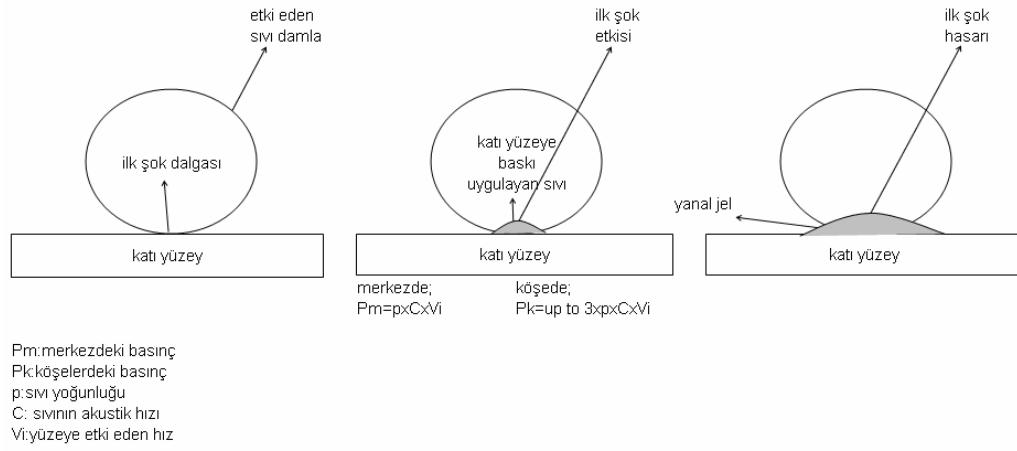
$$P_{ortalama} = \rho C V_i \quad (5.1)$$

$P_{ortalama}$: ortalama basınç

ρ : sıvının yoğunluğu

C : akustik hız

V_i : yüzeye etki eden hız



Şekil 5.4 : Katı yüzeyde meydana gelen sıvı damlasının oluşumu[14]

Alüminyum için bu formül düzenlenirse;

C : 1000 -2800 m/s (sıvı metaller için bu değerler arasında değişir)

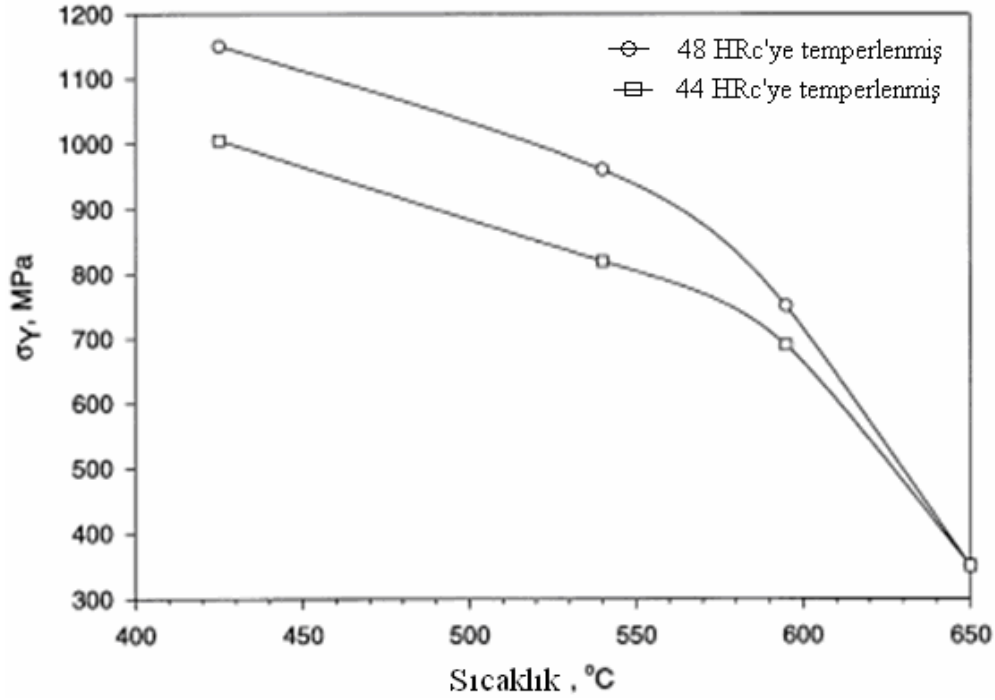
ρ : 2700 kg/m³

$P_{ortalama} = 2700 \text{ kg/m}^3 \times 2500 \text{ m/s} \times 50 \text{ m/s}$

$P_{ortalama} = 338 \text{ MPa}$ olarak hesaplanır. ($P_{max} = 2P_{ortalama}$)

$P_{max} = 338 \times 2 = 676 \text{ MPa}$

Şekil 5.5’de sıcaklığa bağlı olarak oluşan akma gerilmeleri verilmiştir.

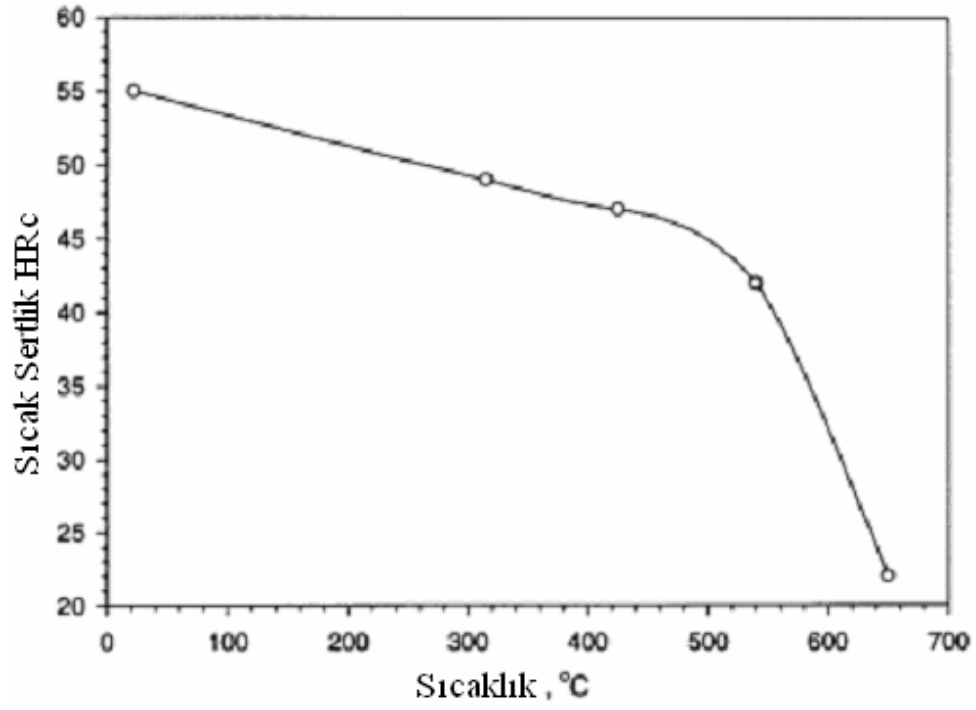


Şekil 5.5 : Sıcaklığa bağlı olarak oluşan akma gerilimi[14]

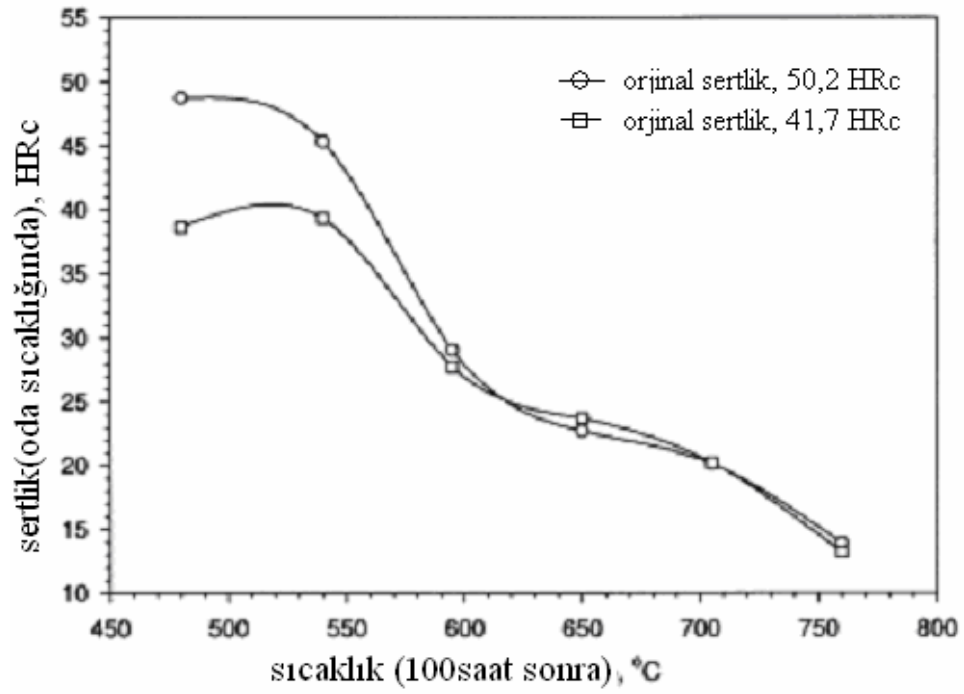
Kalıp yüzeyine anlık olarak yapışan alüminyum yüzeyde çekme gerilmesi oluşturur. Bu gerilme sonucu yüzeyde mikron mertebelerinde parça kopmaları görülür. Kalıp yüzeyinin erozyona uğramasına neden olur[14].

5.3.3.2 Katı Partiküllerin Çarpması Sonucu Oluşan Erozyon

Döküm işlemine başlarken sıvı alüminyum ilk olarak hazne içerisinde soğumaya başlar. Alaşım içerisinde demir ve silisyum elementlerinin bulunması nedeniyle, soğuma esnasında oluşan katı partiküller kalıp yüzeyine çarparak kalıbın erozyona uğramasına neden olur. Bu nedenle kalıbın yüksek sıcaklıktaki sertlik değeri de önemlidir. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de kalıbın sıcaklığa bağlı olarak sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 5.6 : H13 çeliğinin sıcaklığa bağlı olarak oluşan sertlik değerleri[14]



Şekil 5.7 : H13 çeliğinin sıcaklığa bağlı olarak oluşan sertlik değerleri[14]

Alüminyum döküm sıcaklığı 680 °C dir. Soğuma esnasında ötektik yapıdan önce, ilk olarak primer α -Al taneleri katılaşıır. 570-600 °C aralığındaki primer α -Al tanelerinin sertlik değerleri < 20 HV dir. Bu sıcaklıkta H13 ün sertlik değeri > 300 HV dir[14]. Dolayısıyla kalıp ilk olarak oluşan primer α -Al tanelerinin kalıp yüzeyine çarpması ile hasara uğrayabilir. Daha sonra oluşan katı partüküller kalıp yüzeyine çarparak hasar miktarını artırabilir.

5.3.3.3 Kavitasyon Sonucu Oluşan Erozyon

Kavitasyon oluşumu kalıp dizaynına ve ergimiş metalin hızına bağlı olarak enjeksiyon işlemi esnasında meydana gelir. Kalıp ne kadar girintili, ne kadar yüksek hızlarda çalışırsa, oluşan kavitasyon sıklığıda o kadar artar. Kalıp geometrisindeki keskin açılardan kaçınılmalıdır. Kalıp yüzeyinde sıcak aşınma anlamına gelen erozyon, aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

- Kalıp malzemesinin sıcak mukavemetine
- Yüzey ısıtılmasına
- Sıvı metalin ilerleme hızına
- Sıvı metalin sıcaklığına
- Sıvı metalin kimyasal bileşimine
- Kalıbın yağlanması

5.3.4 Yapışma ve Yapışmayı Engelleyen Uygulamalar

Hasar mekanizmalarının uzun süreçlerde oluşması, deneysel çalışma ekipmanlarının pahalı olması nedeniyle, laboratuvar çalışmalarını daha kısa sürede tamamlayacak metodlar geliştirilmiştir.

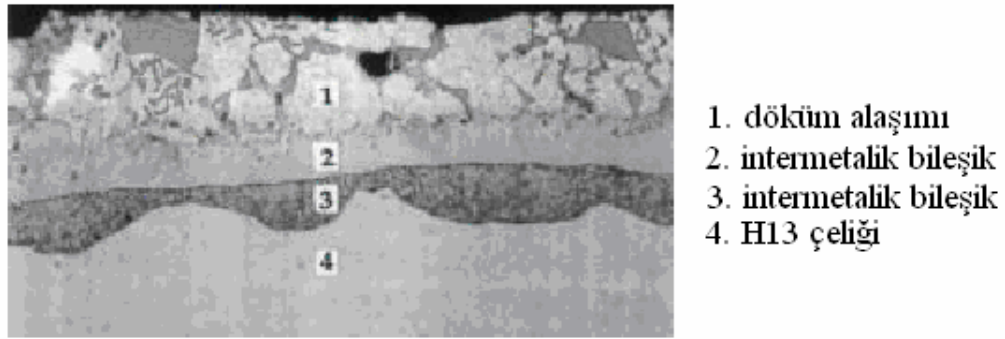
Yapılan deneysel çalışmalarda görülmüştür ki, kalıp yüzeyinde kalıp ile dökümü yapılan metalin etkileşimi sonucu intermetalik bileşikler oluşur. Farklı alüminyum döküm alaşımlarında farklı yapışma davranışı görülür. Yapışma eğilimi metal sıcaklığının ve uygulanan basıncın artmasıyla artar. Kalıp yüzeyinin kaplanması ve yapılan yüzey işlemleri ile yapışmanın oluşması azaltılabilir

Alüminyum yapışan kalıp yüzeyi, kesilip incelendiğinde yapışma mekanizmasının nasıl oluştuğuna dair bilgi edinmek mümkündür. Genel olarak yolluk girişleri yüksek

basıç ve aşınmaya maruz kaldığı için, bu bölgelerde yapışmaya sıkça rastlanır, birçok micro-oyuk ve micro-boşluk görülür. Micro-oyuklar erozyon karakterini, micro boşluklar de intermetalik bileşiklerin karekteriğini belirler.

Prensip olarak yapışma; ergimiş alüminyumun proses esnasında kullanılan yüksek basınç ve alüminyumun çelik içinde bulunan demir ve diğer alaşım elemanlarına olan ilgisi nedeniyle çelik yüzeyi ile ergiyik metal arasında intermetalik fazların oluşmasıdır[15]. Ancak çelik yüzeyinde oluşan ve yapışmaya neden olan başlıca faz Fe_2SiAl_8 intermetalik fazıdır. Yüzeylerde lokal olarak meydana gelen bu bileşik tabakalar, daha sonraki baskılarda alüminyumun kalıba daha kolay yapışması için bir altlık görevi görür ve yapışma artarak devam eder.

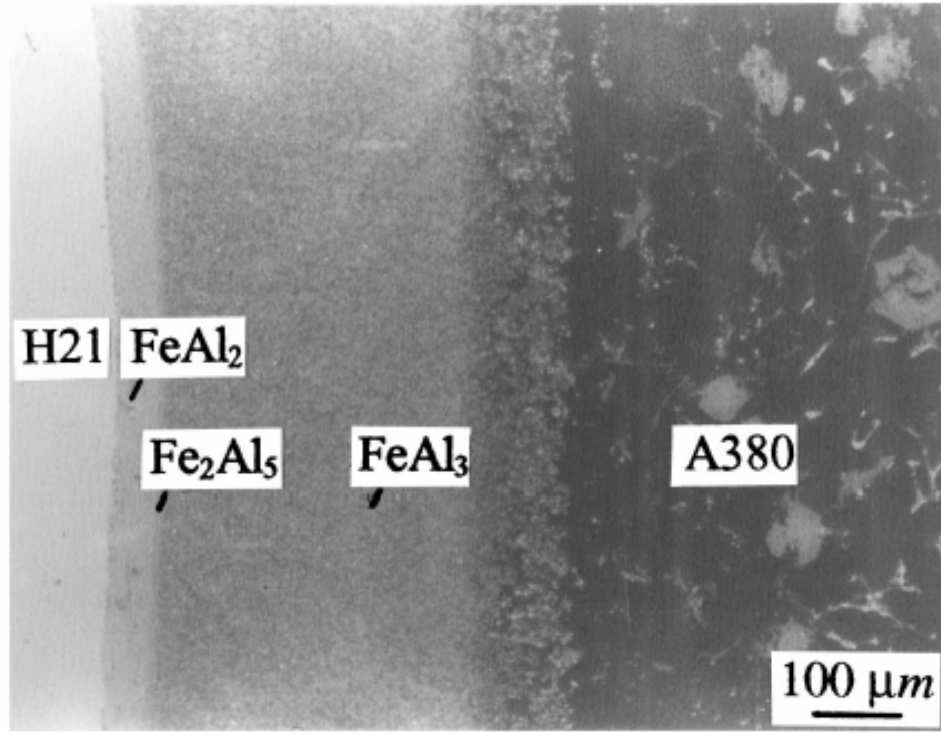
Yapışma direk intermetalik faz oluşumuna bağlı olarak başlayabileceği gibi kalıbın yüzey bitirme kalitesine, ya da kullanım esnasında ergiyik metal akışından kaynaklı erozyona uğrayan bölgelerde yüzey pürüzlülüğünün artmasına bağlı olarak önce mekanik (fiziksel kilitlenme) olarak, sonrasında intermetalik faz oluşumuyla devam eder. Kalıbın yüzey pürüzlülüğüne ve parça şekline bağlı olarak film-tipi ya da masiv yapışma olarak iki şekilde görülür. Yüzey bitirme kalitesi yüksek olan kalıplarda yapışma film şeklinde olurken, kaba bitirilmiş yada erozyona uğramış bölgelerde masiv yapışma olarak ortaya çıkar. Şekil 5.8 de H13 (2344) çeliği ile ADC12 Al alaşımı ile meydana gelen tipik yapışma ara-yüzeyi gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Yapışma tabakasının kesiti [17]

Çelik ve ergimiş metal arasında meydana gelen intermetalik Fe_2SiAl_8 faz artan sıcaklıkla daha kolay oluştuğundan, kalıbın çalışma sıcaklığının artması, yapışmayı artırıcı bir rol oynar. Kalıbın yüzey sıcaklığı, spreylemeye (yağlama ve soğutma)

işlemine, kalıp soğutma kanallarının dizaynına, kalıp çalıştırma frekansına ve parça şekline bağlı olarak değişim gösterir[17].



Şekil 5.9 : H21 çeliğinde meydana gelen intermetalik fazlar[17]

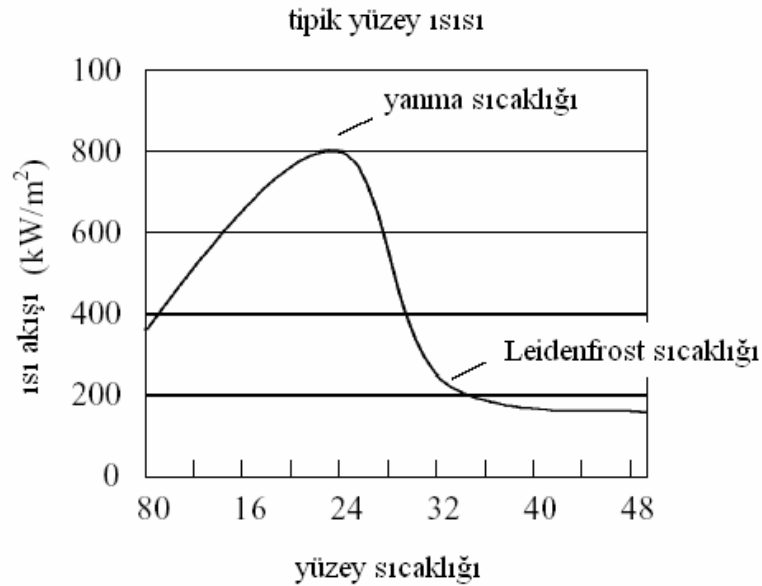
Şekil 5.9’da farklı bir sıcak iş çeliğinin Al enjeksiyon uygulamasında çelik-ergiyik ara yüzeyinde meydana gelen farklı intermetalik fazlar gösterilmiştir. Çelik yüzeyinden Al alaşımına doğru gidildikçe, bileşiklerde kütlece Al yüzdesi giderek artmakta, böylece ergiyik alüminyumun bu bileşiğe yapışması daha da kolaylaşmaktadır. Endüstride sıkça rastlanan yapışma probleminin giderilmesi için çeşitli önlemler alınmıştır. Ancak kalıbın uzun süre çalıştığı düşünüldüğünde bu önlemler belirli bir süre sonra yeterli kalmamaktadır. Yapışma kaçınılmaz olarak gerçekleşmekte, alınan önlemler sadece yapışma oluşumunu öteler niteliktedir.

5.3.4.1 Su Bazlı Yağlayıcıların Kullanımı

Metal enjeksiyon kalıplarında yapışmayı önlemede kullanılan başlıca yöntem her baskıdan sonra kalıp yüzeyinin su bazlı yağlayıcılarla yağlanmasıdır. Bu işlemde kullanılan yağlayıcı:

- İçerdiği su ile kalıp yüzeyinin soğutulmasını sağlar
- Yüzeyde yapışmayı önleyici bariyer yağ tabakası oluşturur.
- Kalıptan parçanın çıkmasını kolaylaştırır[18].

Yapılan araştırmalarda kalıp yüzeyine uygulanan yağlayıcı sprej 4 sn süresince uygulandığında kalıp yüzeyindeki ısıнын %30'unu kalıptan alabildiği belirlenmiştir. Ancak burada kalıbın yüzey sıcaklığı son derece önemli bir parametredir. Kalıp yüzeyinin aşırı sıcak olması halinde üzerine sprej uygulandığında leidenfrost fenomeni diye adlandırılan bir sorun ortaya çıkar[19]. Leidenfrost fenomeni artan kalıp yüzey sıcaklığı ile soğutucu sıvı ile çelik yüzeyi arasında bir buhar filmi oluşmasına bağlı olarak, ısı transferinin artan sıcaklıkla artması yerine aksine azalmasıdır. Bu durum tıpkı kızmış bir tavaya düşen su damlasının buharlaşmadan damla halinde kalması gibi sıvı ile sıcak yüzey arasında bir buhar film tabakası oluşmasıdır. Böyle bir durumda soğutucu sıvının yüzeyi ıslatma açısı da azalır ve sonuç olarak gereken ısı transferi gerçekleşemez. Şekil 5.10'da kalıp yüzey sıcaklığına bağlı olarak soğutucu sıvının yüzeyden ısı çekişinin değişimini göstermektedir. Şekil 5.10'da da görüldüğü üzere maksimum ısı transferi yüzeyin 240-250 °C'lerde kalması ile elde edilmektedir[19].



Şekil 5.10 : Yağlayıcı sprej kullanımıyla yüzeyden ısı transferinin sıcaklıkla değişimi[19]

Kalıp yüzeyinin iyi soğutulmadan baskıya devam edilmesi durumunda kalıp gittikçe daha fazla ısınmaya başlayacak ve ardından yapılacak spreylemede bir öncekinden daha da az ısı çekişi meydana gelecektir. Böyle bir durumda kalıp yüzeyi giderek artan bir şekilde ısınmaya devam edecek, sonuç olarak aşırı ısınan yüzeyde istenen yağlama yapılamadığından yapışma daha hızlı bir şekilde meydana gelecektir.

Kalıbın spreyleneğinde yüksek püskürtme basıncının kullanılması, yüzeyde oluşan buhar tabakasını dağıtmasından kaynaklı, daha fazla ısı transferi sağlamaktadır. Yine yüzeye dik olarak yapılan spreyleme diğer açılarla yapılan spreylemeye göre daha etkin bir soğutma sağlamaktadır.

Spreylemede kullanılan yağlayıcılar sudan daha düşük yüzey gerilimine sahip olduklarından, su bazlı soğutucunun yüzey ıslatma açısını düşürürler. Böylece leidenfrost sıcaklığını daha yüksek sıcaklıklara doğru çekerek, sıcak yüzeylerde daha etkin soğutma yapılmasını sağlarlar. Bugün spreylemede kullanılan yağlayıcılar polipropilen, polietilen ve silikon esaslı yağlayıcılardır. Nissan Casting Australia Pty. Ltd.'de yapılan araştırmada en etkin soğutmanın polipropilen esaslı yağlayıcılarla elde edildiği görülmüştür. Polipropilen esaslı yağlayıcılar daha düşük yüzey gerilimine sahip olduklarından daha etkin bir ıslatma sağlarlar.

5.3.4.2 Kaplama

Kaplama da yapışmayı önleyici bir uygulamadır. Kalıbın ince cidarlı bölgelerinde enjeksiyon sonrası oluşan yüksek hızlar nedeniyle, bu bölgelerde aşırı ısınma ve sonrasında yapışma meydana gelmektedir. Yüzeydeki aşırı ısınma nedeniyle buradaki atomlar aktive edildiği için difüzyon olur. Sonrasında hasar meydana gelir. Kalıp yüzeyine aktivasyon enerjisi yüksek olan bir yüzey kaplama işlemi yapıldığında, difüze olan alüminyum metal ile kaplama yüzeyinin etkileşimi zorlaşır, intermetalik bileşik oluşumu engellenir ve yapışma davranışı azalır. Aktivasyon enerjisinin artması yapışma eğilimini azaltır. Örneğin Al-Al arasındaki etkileşimin aktivasyon enerjisi Al-Fe arasındaki etkileşimin aktivasyon enerjisinden daha düşüktür. Dolayısıyla Al'nin kalıp yüzeyinde bulunması ile aktivasyon enerjisi düştüğü için yapışma artar. Bununla beraber Al-Cr etkileşim aktivasyon enerjisi Al-Fe etkileşim aktivasyon enerjisinden daha büyük olduğu için Cr kalıp yüzeyine alüminyumun yapışmasını önleyen iyi bir yüzey kaplama elementidir. Ayrıca yapılan

bu kaplama yüzeydeki ıslatma açısını düşürüp hasar mekanizmasının oluşumu yavaşlatılır[20].

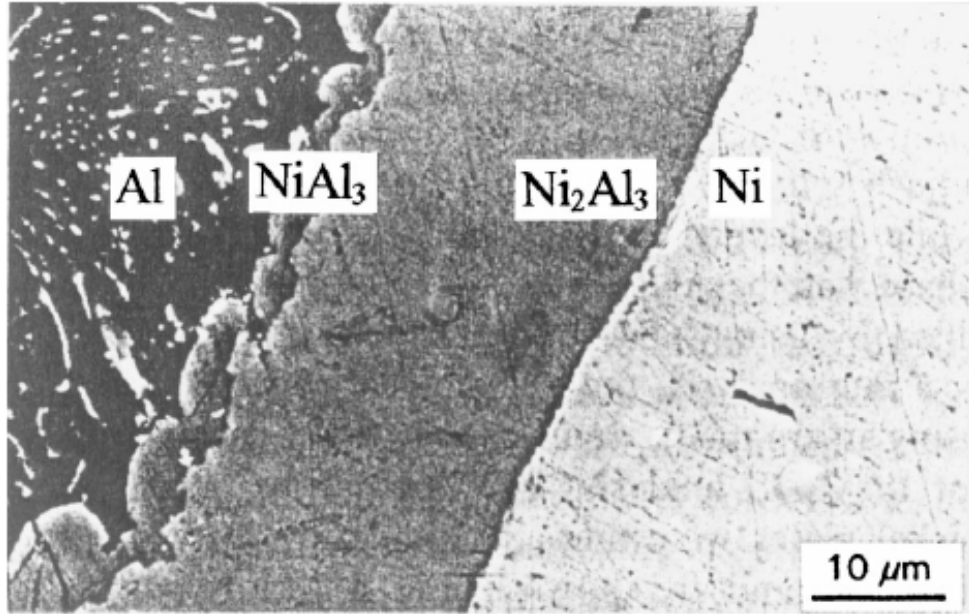
5.4 Alaşım Elementlerinin Etkisi

Gerek kalıp içerisindeki gerekse alüminyum alaşımı içerisindeki elementler yapışma, erozyon ve korozyon oluşumunu etkiler. Malzeme seçilirken seçilen sıcak iş takım çeliğindeki alaşım elementleri, bu elementlerin alüminyum alaşım içerisindeki çözünme derişimi, faz diyagramları ve ergime sıcaklıkları önemli parametrelerin başında gelir. Peritektik yapıcılar (Ti, Nb, W, V ve Zr) alaşım içerisinde düşük oranlar çözünür. Diğer taraftan ötektik yapıcılar (Fe, Ni, Co ve Cu) alaşım içerisinde yüksek oranlarda çözünürler, ergiyiğin serbetleşme enerjisini azaltırlar, çözünme eğilimini arttırırlar[20]. Metalik malzemelerin etkileşimi sonucu kalıp ile alaşım arasındaki ara yüzeyde intermetalik bileşikler meydana gelir. Oluşan bu intermetalik bileşik tabakasının kalınlığı alaşım içerisindeki elementlerin derişimine, alaşım sıcaklığına, sıcak iş takım çeliği içerisindeki alaşım elementlerinin türüne bağlıdır.

Çelik kalıp ile alüminyumun etkileşimi konusunda yapılan deneysel çalışmalarda 3 farklı tabaka gözlemlenmiştir. En dış katmanda alüminyum alaşımı, ortada oluşan intermetalik bileşikler ve iç kısımda ise çelik mevcuttur. Bu yapı alüminyum enjeksiyon kalıplarında sıkça görülür. Yüzeyden içeriye alüminyum difüze olmuştur, yapı içerisinde Fe-Si-Al fazı oluşmuştur. Ancak çelik içerisindeki Si miktarının artmasıyla intermetalik bileşiklerin azaldığı görülmüştür. Si intermetalik faz oluşumunu sınırlamıştır. Sonuç olarak Fe-Al-Si sisteminde Si varlığı Al atomlarının Fe matrisi içerisindeki difüzyon hızını yavaşlatıcı etki göstermiştir. Oluşan gevrek yapıdaki intermetalik yapının kalınlığı oldukça azalmıştır[21].

Diğer taraftan alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu da oluşan intermetalik bileşiklerin kalınlığını değiştirebilir. Sistemde Ti'un varlığı alüminyum alaşımının mikro yapısını değiştirir, tane küçültücü etkisi vardır. Aynı zamanda alüminyum içerisindeki çözünürlüğü düşük olduğu için, çelik ile intermetalik bileşik yaparak yüzeyde diğer elementlerin bileşik yapmasını önleyici etkisi vardır. Nikelin ise alüminyum alaşımı içerisindeki çözünürlüğü yüksektir. Çok kolaylıkla intermetalik

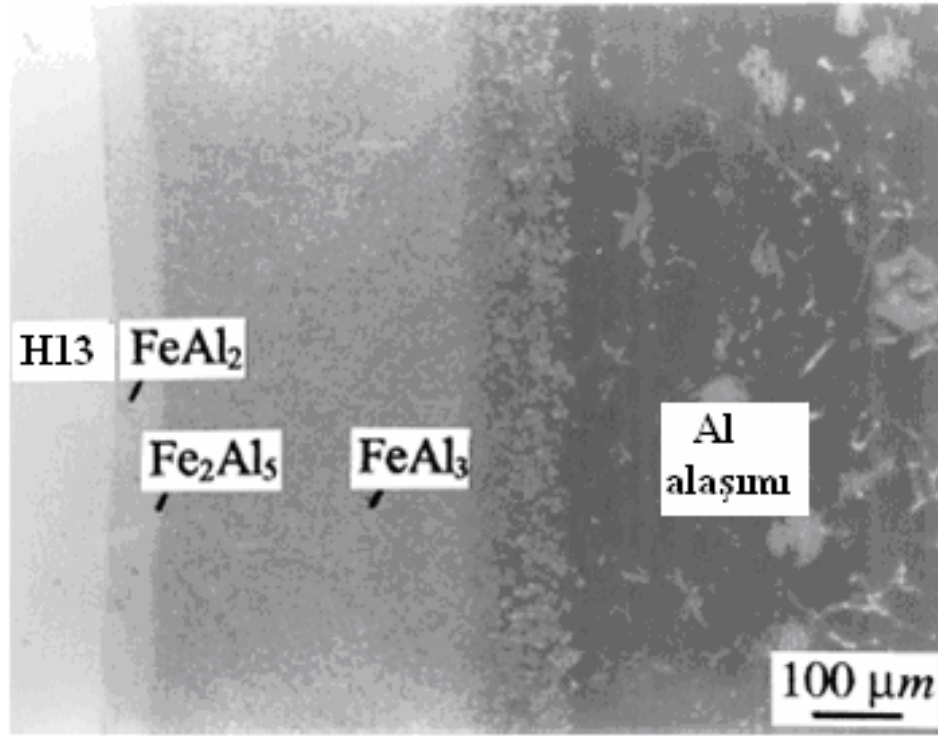
bileşik oluşturabilir. Oluşan intermetalik bileşik tekrar alüminyum alaşımı içerisinde çözünür. Şekil 5.11’de bu intermetalik bileşikler görülmektedir.



Şekil 5.11 : Alüminyum ile nikel arasında oluşan intermetalik fazlar[20]

Ergimiş alüminyum alaşımı ile etkileşim halinde olan sıcak iş takım çeliğinin ara yüzeyinde demir alüminatlar meydana gelir. Genelde bu 2 intermetalik tabaka şeklindedir. Alaşıma yakın olan yüzeyde FeAl₃, iç kısımlarda Fe₂Al₅ şeklindedir. Ancak bazı durumlarda en iç tabakada FeAl₂ yapısına da rastlanır. Al-Fe denge diyagramlarında görülen diğer intermetalik bileşikler enjeksiyon döküm uygulamalarında hiç rastlanmamıştır.

Birçok intermetalik bileşik morfolojisi saptanmıştır. Saf katı demir ve sıvı alüminyum etkileşimi sonrası kalıp yüzeyinde Fe₂Al₅ intermetalik tabakası düzensiz olarak oluşmuştur. FeAl₃ tabakası ise genel olarak alüminyum yüzeyine yakın yerde oluşur. Ancak oluşan bu intermetalik tabakanın kalınlığına dair bir bulguya rastlanmamıştır, hatta bazı durumlarda bu tabakaya bile rastlanmamıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda bu ara yüzeyde poroziteler de gözlenmiştir. İntermetalik tabaka sertliğini, oluşan bileşik yapısının yanı sıra porozite miktarı da belirler. Bu porozitenin oluşmasına alüminyum alaşımına katılan ergitme ajanları sebep olur[22].



Şekil 5.12 : Alüminyum ile demir arasında oluşan intermetalik fazlar[22]

Fe-Al intermetalik bileşiklerinin kristal yapıları oldukça düzenlidir. Çelik içerisindeki alaşım elementleri (Cr, Ni) de intermetalik bileşikler oluşturarak demir atomlarının yerini alabilir. Alaşımlandırma için sıvı alüminyum içerisinde bulunan Si, Cr, Ni, Mn ve Cu arayüzeyde bulunup oluşan intermetalik tabakanın kalınlığını azaltır. Bunlar arasında bulunan Si, alüminyum alaşımının içerisinde yüksek miktarlarda çözünür. Fe_2Al_5 bileşiğinin kafes yapısındaki boşluklara girerek, Al-Si-Fe üçlü bileşiğini oluşturur.

İntermetalik bileşiklerin mikro sertlik değerleri çeliğin sertlik değerlerinden oldukça yüksektir. Yapı içerisindeki porozite miktarı azaldıkça mikro sertlik değeri artar. Ara yüzeyde oluşan bu sert intermetalik bileşik tabakası, kalıbın aşınması için bir nevi kaplama görevi görse de, uygulanan kaplama işlemleri kadar düzgün bir yapıda oluşmadığı için uygulanan gerilimler sonrası kalıp yüzeyinden kopar. Kalıbın erozyona uğramasına ve bu bölgelerde korozyon hızının daha fazla olmasına neden olur. İntermetalik tabaka, yüzeyde düz bir çizgi şeridi halinde oluşmaz. Çelik içerisindeki elementlerin yapı içerisinde homojen dağılıp dağılmamasına göre farklı

bölgelerde bölgesel kabarmalar şeklinde meydana gelir. Bu nedenle çelik yüzeyini aşınmalardan koruyamaz, aksine hasar oluşumunu tetikler.

Tablo 5.2’de elementlerin saf alüminyum içerisindeki çözünme yüzdeleri göstermektedir.

Tablo 5.2: Elementlerin saf alüminyum içerisindeki çözünme yüzdeleri[22]

Sıcaklık (°C)	Fe (%)	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Si (%)
700	3,2	0,7	9,0	0,2	21,1
750	4,9	1,3	13,2	0,3	24,8
800	6,8	2,4	17,3	0,5	29,4
850	7,9	4,2	26,2	0,7	33,2

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

AISI H13 tipi çelik, enjeksiyon ile döküm üretiminde kullanılan kalıpların imalatında, ucuzlukları ve kalıplardan beklenen diğer özellikleri sağlamaları nedeniyle, kalıp malzemesi olarak en çok kullanılan malzemedir. Yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında çalışan bu malzemelerin kullanım ömürleri, yüzeylerinde meydana gelen hasarlar nedeniyle sınırlıdır. Üretim maliyetlerinin düşürülebilmesi için kullanım ömürlerini arttıracak önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Deneyel çalışmalarda, AISI H13 tipi kalıp malzemesinin kullanım ömrünün arttırılmasına yönelik olarak, ısıtıl işlem ile malzemelerin mekanik özellikleri iyileştirilip, sıcak alüminyum alaşımı ile temas eden yüzeyleri oksidasyon, nitrasyon, krom nitrür ve krom karbür ile kaplanmıştır. Hazırlanan AISI H13 örnekleri belirlenen sürelerde sıcak alüminyum teması sonrası yüzeylerinde meydana gelen hasar miktarları, mikroyapı fotoğrafları incelenerek gözlenmiştir. Ayrıca endüstride çalışır durumdaki kalıbın yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimleri termal kamera ile görüntülenerek sıcaklık skalası oluşturulmuştur.

6.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Ergimiş alüminyum alaşımı içerisine daldırılıp, malzemenin korozyon davranışını incelemek için AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Deneyler için 15x15x5 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Alüminyum alaşımı olarak ETİAL 160 kullanılmıştır. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 de sırasıyla çeliğin ve alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Tablo 6.1: AISI H13 tipi çeliğin kimyasal bileşimi

C	Si	Cr	Mo	V
% 0,40	% 1,00	% 5,30	% 1,40	% 1,00

Tablo 6.2: ETIAL 160 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
9,43	0,75	2,70	0,32	0,29	1,06	0,02	0,01	0,07	0,12	0,03	85,15

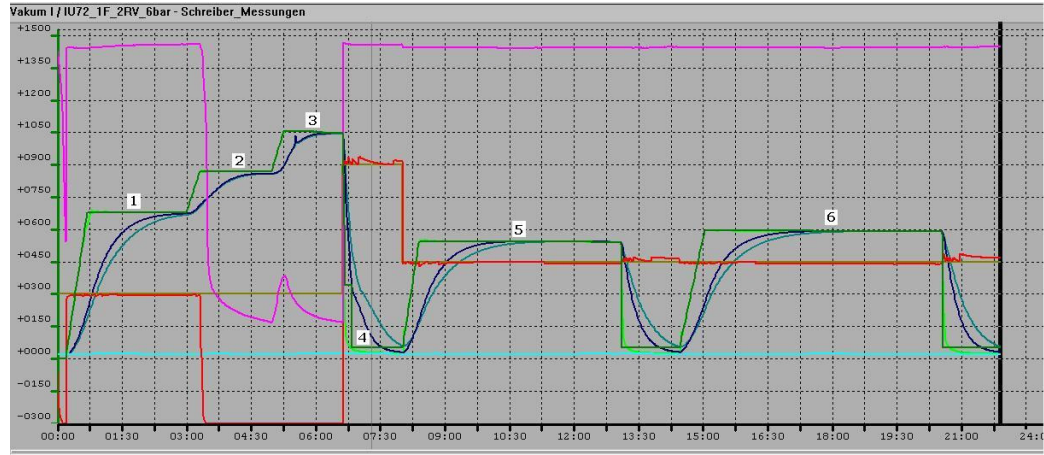
6.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

AISI H13 kalıp çeliğinin sertleştirme işlemi 300 kg şarj kapasiteli Schmetz vakum fırınında gerçekleştirilmiştir. Sertlikler, Future-Tech marka sertlik cihazı ile ölçülmüştür. Isıl işlemi yapılan çeliklerin yüzey işlemleri yine Schmetz vakum fırınında, tuz banyosunda ve PVD kaplama sistemlerinde yapılmıştır. Hazırlanan kalıp çeliklerin alüminyum ile etkileşme deneyleri K. H. Huppert marka elektrik dirençli fırında alümina pota içerisinde ETİAL 160 alüminyum alaşımı ergitilerek yapılmıştır. Daha sonra örneklerin metalografik incelenmesinde Olympus marka optik mikroskop kullanılmıştır.

6.3 Deneyin Yapılması

Deneylerde AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. 40x40x20 mm boyutlarında hazırlanan numuneler 300 kg şarj kapasiteli Schmetz vakum fırınında

sertleştirilmiştir. Sertleştirme işlemi Şekil 6.1 deki prosese göre yapılmıştır.



Şekil 6.1 : Vakum fırınında, sertleştirme işleminin zaman sıcaklık grafiği

Proseste; I.Ön ısıtma (1 ile gösterilen evre) evresinde, numune 680 °C ye kadar ısıtılıp, tüm yapının homojen bir şekilde ısınması için beklenmiştir. II. Ön ısıtma (2 ile gösterilen evre) evresinde, numune 870 °C ye kadar ısıtılıp, yine yapının homojen bir şekilde ısınması için beklenmiştir. Ancak bu evrede artık yapı östenite dönüşmeye başlamıştır. Alaşım elementleri tane sınırlarında birmiştir. Östenitleme (3 ile gösterilen evre) evresinde, numune 1040 °C ye kadar ısıtılmıştır. Yapı artık östenit halledir. Bu safhada tane sınırlarına çöken alaşım elementleri sıcaklığın da etkisiyle tane sınırlarından içeriye doğru difüze olup tane içerisinde çözünmüştür. Sertleştirme (4 ile gösterilen evre) evresinde, östenitleme işleminden sonra numuneler çok hızlı bir şekilde soğutularak martenzit oluşum sıcaklığının (280 °C) da altına düşürüldüğü için, yapı oldukça gevrek ve sert bir hal almıştır. Ancak bu soğuma işleminden sonra yapı içerisinde bir miktar artık östenit kalır (%3). I. Meneviş (5 ile gösterilen evre) evresinde, soğuma sonrası yapı içerisindeki artık östenitler giderilmiş ve yapının gerilimi giderilip tok bir hal alması sağlanmıştır. Bu işlem sonrasında yapı içerisinde %1 civarında artık östenit kalır. II. Meneviş (6 ile gösterilen evre) evresinde, yapı içerisindeki arda kalan artık östenitler giderilip arzu edilen sertlik değerine ulaşılmıştır. Bu proses sonrasında numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. İşlem sonrası mikroyapı görüntülerini görebilmek için 15x15x5 mm boyutlarında numuneler kesilip bakalite alınmıştır. 320, 400, 600, 800, 1200 ve 2500 gridlik zımparalarla zımparalanıp, 1 µm lik elmas pasta ile parlatma işlemine tabi tutulmuştur.

Sertleştirme işlemi sonrası numunelerin yüzeyleri farklı kaplama işlemleri ile kaplanmış, farklı kaplama örnekleri hazırlanmıştır. Atmosfer kontrollü fırında numune yüzeyi oksit ile kaplanmıştır. Bu işlem 540 °C de H₂O ve N₂ gaz karışımının bulunduğu ortamda su buharıyla yapılmıştır. Bu işlem 2 saat sürmüştür. Yüzeye yakın olan bölgelerde oksijenle daha zengin Fe₂O₃ (hematit) bileşiği, alt kısımlarda ise oksijenle daha az Fe₃O₄ (manyetit) bileşikler oluşturulmasına çalışılmıştır.

Nitrürleme işlemi ise tuz banyosunda yapılmıştır. İşlemi 580 °C de 90 dakikada beklenerek gerçekleştirilmiştir. İşlem ile yüzeyde azotça zengin FeN tabakası, yüzeyden iç kısımlara gidildikçe Fe₄N ve Fe₈N gibi azotça fakir bileşikler oluşturulmuştur.

Yüzeyin krom nitrür ile kaplanması: Numuneler öncelikle nitrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra atmosfer kontrollü fırında PVD yöntemiyle kaplanmıştır. Krom nitrür kaplayabilmek için yüzeydeki beyaz tabaka (nitrasyon sonrası yüzeyde oluşan tabaka) mekanik parlatma ile kaldırılmıştır. Beyaz tabaka kaldırılmadığı zaman yüzey pürüzsüz olduğu için krom nitrür yüzeye tutunamamakta, kaplama sağlıklı olarak yapılamamaktadır. Dolayısıyla beyaz tabakanın kaldırılması gerekir. Oluşan krom nitrür tabakası oldukça sert bir yapıdadır. Zımparalama işlemine 180 ile başlanmamalıdır, çünkü yüzeydeki sert krom nitrür tabakası kolaylıkla dökülebiliyor. Mikroyapının görülebilmesi için metal yan yüzeyleri başka bir numune ile desteklenmeli yada düşük boyuttaki zımparalar tercih edilmelidir.

Yüzeyin krom karbür ile kaplanması: Numuneler öncelikle nitrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra atmosfer kontrollü fırında PVD yöntemiyle kaplanmıştır. Krom karbür kaplayabilmek için yüzeydeki beyaz tabaka (nitrasyon sonrası yüzeyde oluşan tabaka) mekanik parlatma ile kaldırılmıştır. Oluşan krom karbür tabakası oldukça sert bir yapıdadır. Zımparalama işlemine 180 ile başlanmamalıdır.

Kaplamasız ve yüzeyi farklı kaplamalar ile hazırlanan numuneler, 15x15x5 mm boyutlarında kesilerek 680°C ye set edilmiş fırında, alümina pota içerisinde ergimiş halde bulunan sıvı alüminyum alaşımının içerisine daldırılmıştır. Bu şekilde sıvı alüminyum içinde farklı sürelerde bekletilen numuneler çıkarılarak, yüzeylerinin kesitleri metalografik olarak hazırlanmış ve incelenmiştir. İncelemeler ışık mikroskobunda line scane analizi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca endüstride

alışır durumdaki bir kalıbın yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimleri gözlenmiş ve yüzey ısısının değişimi görüntülenmiştir.

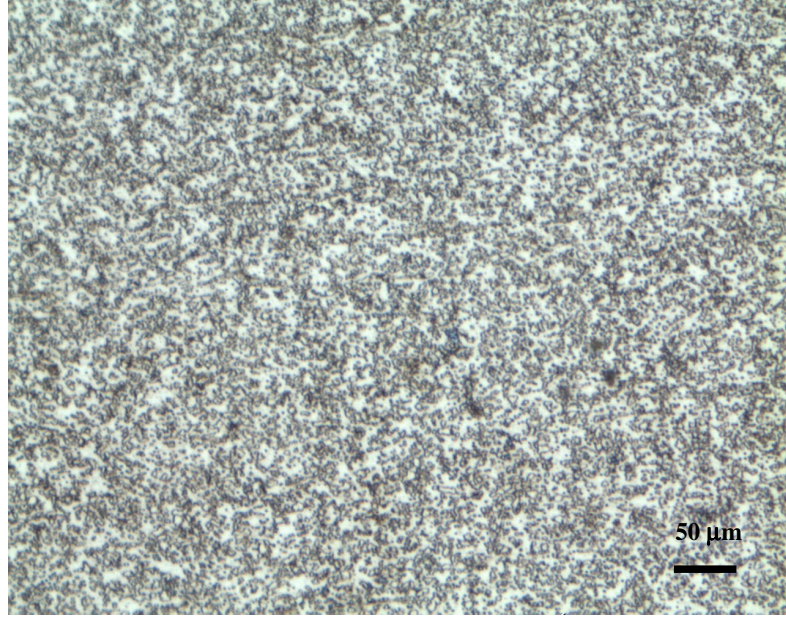
6.4 Deney Sonuçları ve Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Sertleştirme işlemine tabi tutulan AISI H13 sıcak iş takım eliklerin, Rockwell sertlik cihazında 150 kg yük altında yapılan ölçümlerinde, elde edilen sonuçlar Tablo 6.3 te verilmiştir.

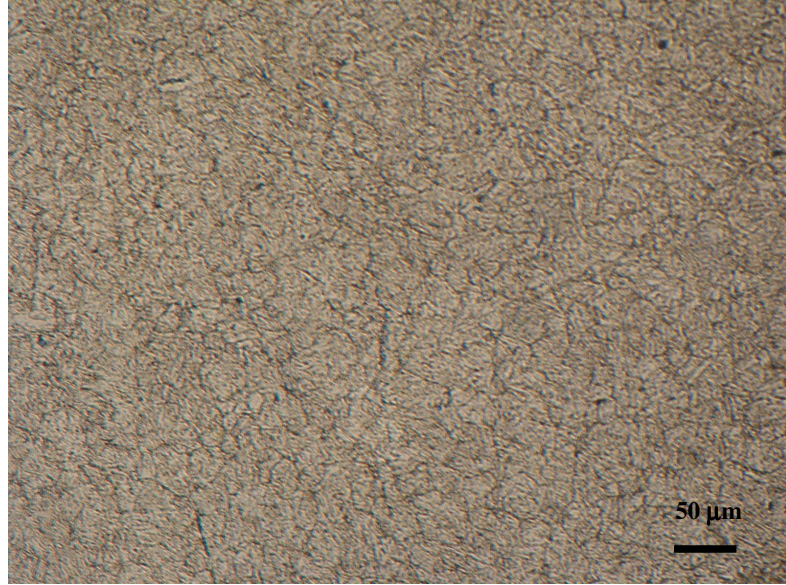
Tablo 6.3 AISI H13 tipi sıcak iş takım çeliğinin ısıı işlem öncesi ve sonrası sertlik değeri

	ısıı işlem öncesi sertlik değerleri	ısıı işlem sonrası sertlik değerleri
1. lm değeri	18,8 HRc	48,2 HRc
2. lm değeri	17,7 HRc	47,9 HRc
3. lm değeri	18,3 HRc	47,6 HRc
4. lm değeri	18,6 HRc	48,7 HRc
ortalama değer	18,3 HRc	48,1 HRc

Isıı işlem öncesi malzemenin sertlik değeri ortalama 18 HRc-19 HRc olarak ölçülmüşken bu değer sertleştirme sonrası 48 HRc-49 HRc değerlerine çıkmıştır. şekil 6.2 ve şekil 6.3 te sertleştirme öncesi ve sertleştirme sonrası mikroyapılar görülmektedir. Sertleştirme öncesinde yapı içerisinde hacim merkezli kübik yapıda olan ferrit ve perlit mevcuttur. Sertleştirme sonrasında ise bu yapılar martenzite dnşmştir. Sertlik artışının temel nedeni martenzit yapısının oluşumudur.



Şekil 6.2 : Sertleştirme öncesi mikroyapı



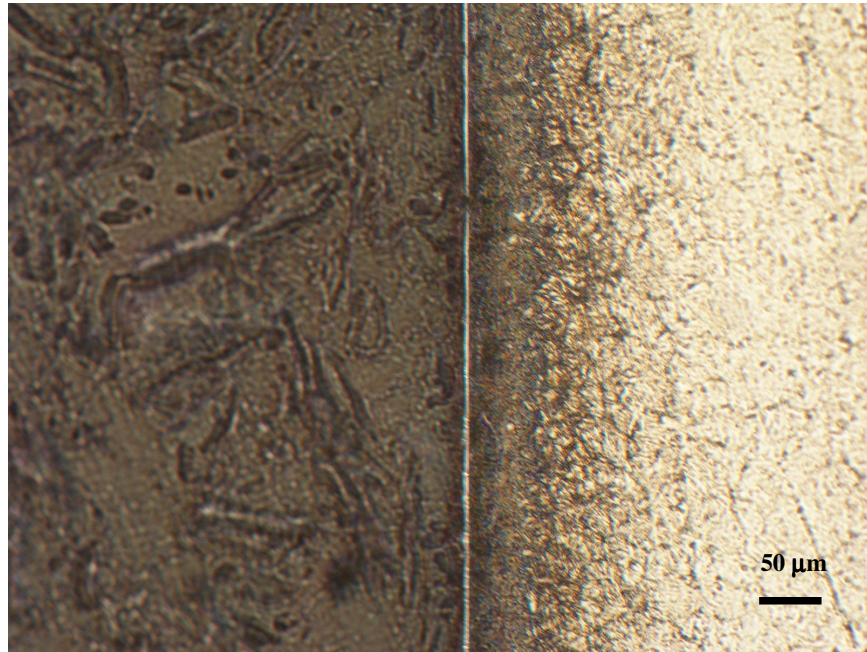
Şekil 6.3 : Sertleştirme sonrası mikroyapı

Farklı yüzey işlemleri yapılan numunelerin mikro yapı görüntülerinin fotoğrafları oluşturulmuştur. Şekil 6.4 te yüzeyi oksitlenmiş bir çeliğin mikroyapısı görülmektedir.



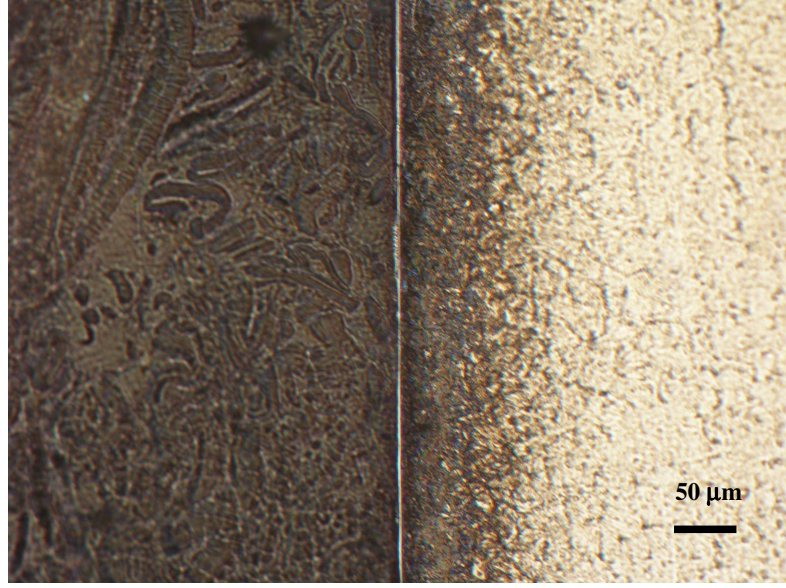
Şekil 6.4 : Yüzeyi oksit ile kaplanmış numune

Şekil 6.5’de yüzeyi nitrülenmiş numunenin mikro yapısı görülmektedir. Nitrülenmiş tabaka yüzeyde çok ince, film tabakası şeklindedir. Yüzeyinde FeN bileşiğinin oluşturduğu beyaz tabaka mevcuttur.



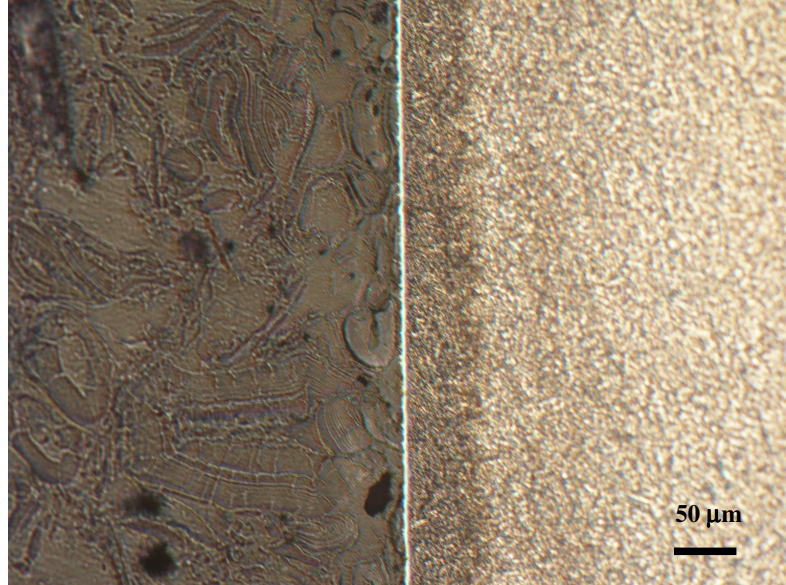
Şekil 6.5 : Yüzeyi nitrid ile kaplanmış numune

Şekil 6.6'de ise yüzeyi krom nitrürlenmiş numunenin mikro yapısı görülmektedir. Aynı beyaz tabaka bu kaplama çeşidinde de görülmektedir. Ancak yüzeyde oluşan bileşikler birbirinden farklıdır.



Şekil 6.6 : Yüzeyi krom nitrür ile kaplanmış numune

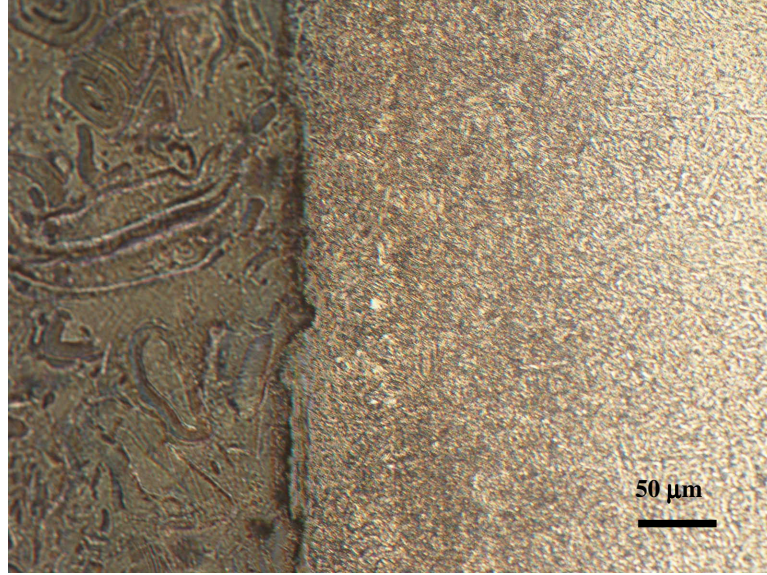
Yüzeyi krom karbürlenmiş numunenin mikro yapısı ise Şekil 6.7'de görülmektedir.



Şekil 6.7 : Yüzeyi krom karbür ile kaplanmış numune

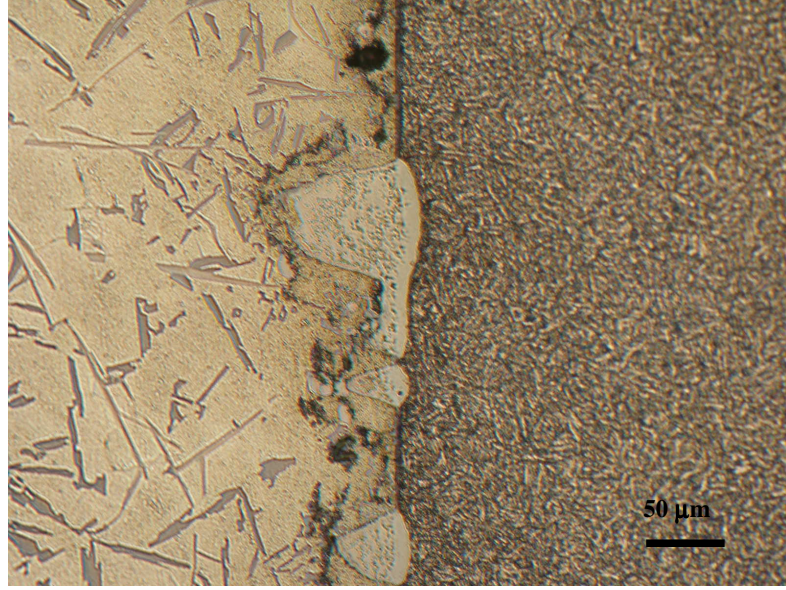
Kaplamasız ve yüzeyi farklı kaplanmış, 15x15x5 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmış numunelerin, 2, 4, 6, 8 saatlik süreler sonucunda, alüminyum alaşımı-metal yüzey temas deneyleri sonucunda oluşan mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil A.1-Şekil A.20'de verilmiştir.

Sadece ısıtıl işlem yapılmış numunenin yüzeyinde, 2 saat sıvı alüminyum ile temas sonrasında korozyon meydana gelmiştir. Şekil 6.8'de görülmektedir.



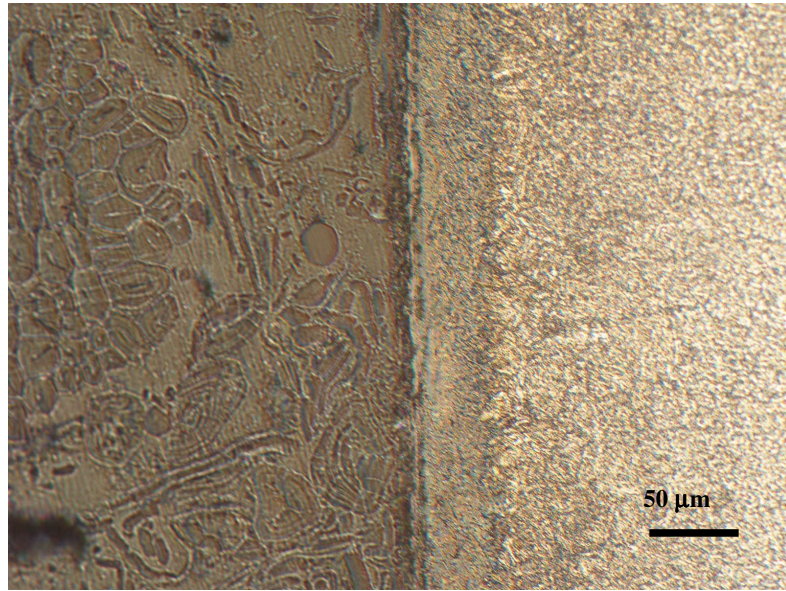
Şekil 6.8 : Yalnız ısıtıl işlem uğramış, 680 °C'de 2 saat korozyona maruz kalmış numune

Yüzey işlemleri uygulanan numunelerde, 2 saat sıvı alüminyum ile teması sonrasında herhangi bir hasar ve aşınma görülmemiştir. Sıvı alüminyumda bekleme süresi 4 saate çıkartıldığında, yüzeyi oksit ile kaplanan numunede, bölgesel olarak aşınmalar görülmüştür. Yüzeyde intermetalik bileşikler oluşmaya başlamıştır. Şekil 6.9'de bu yapı görülmektedir.



Şekil 6. 9 : Yüzeyi oksitlenmiş, 680 °C’de 4 saat korozyona maruz kalmış numune

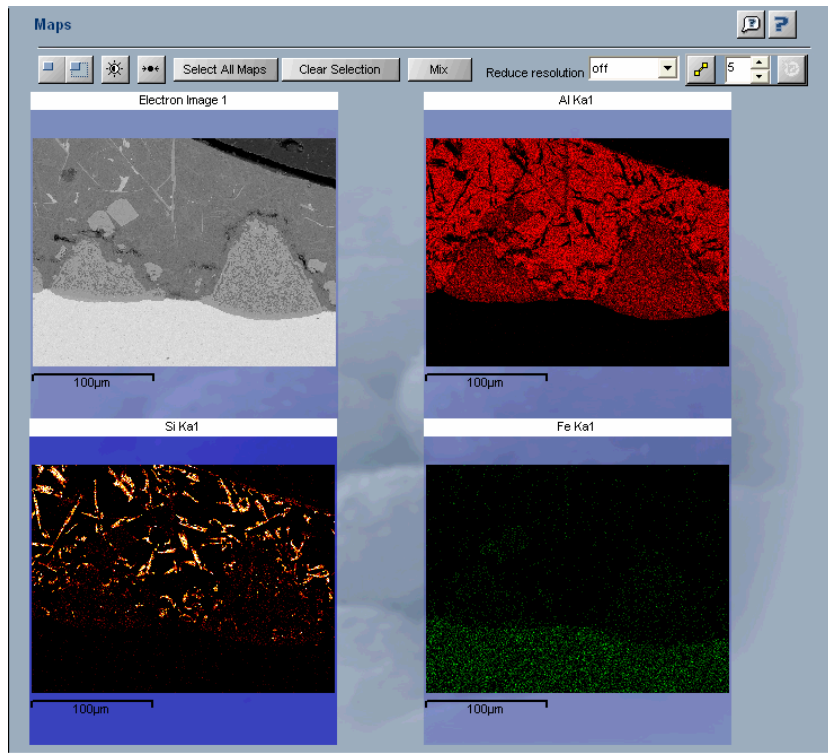
Sıvı alüminyumda 4 saat bekletilen diğer kaplama uygulanmış numune yüzeylerinde herhangi bir aşınma görülmemiştir. Etkileşim süresi 6 saate çıkarıldığında nitrür ile kaplanmış numunenin yüzeyindeki beyaz tabaka ortadan kalkmıştır. Krom karbür ve krom nitrür kaplanmış numunelerde ise beyaz tabaka bölgesel olarak aşınmıştır. Şekil 6.10’de yüzeyi nitrür ile kaplanan numunenin aşınmış yüzeyi görülmektedir.



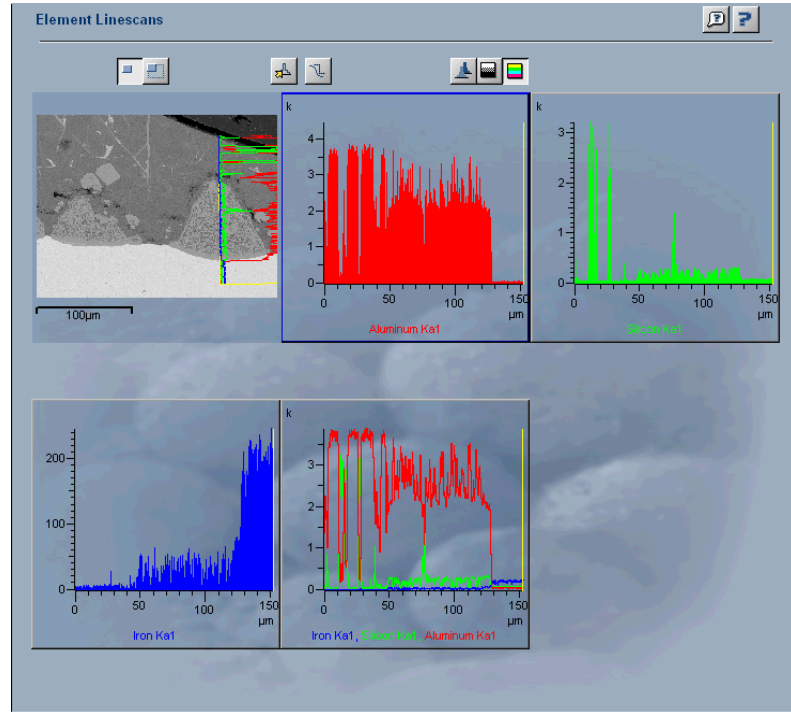
Şekil 6. 10 : Yüzeyi nitrürlenmiş, 680 °C’de 6 saat korozyona maruz kalmış numune

Numunelerin 8 saat sıvı alüminyum ile etkileşimi sonrasında tüm numuneler aşınmış ve yüzeylerinde intermetalik bileşikler oluşmuştur.

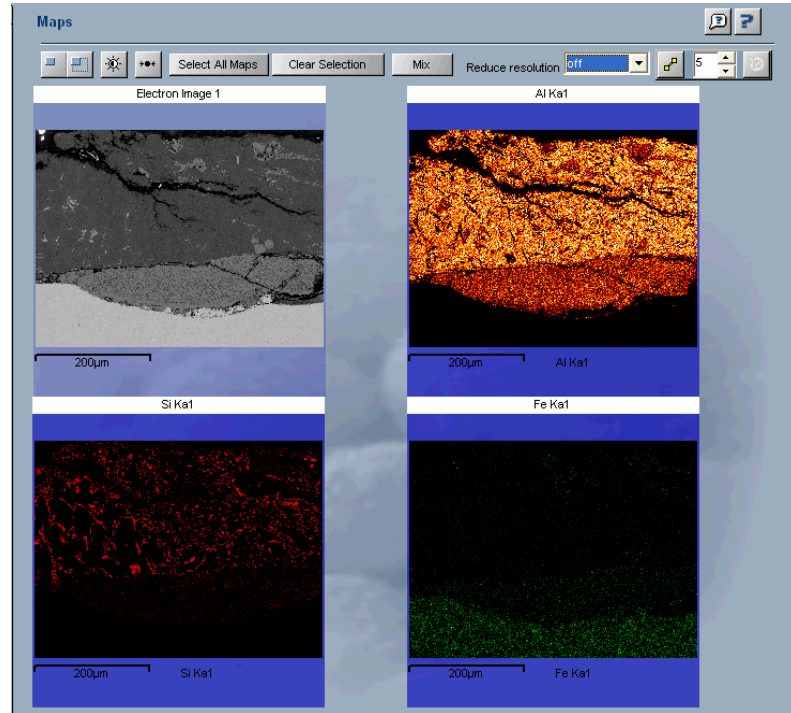
Bu sonuçlar yüzey işlemleri uygulanmış kalıp çeliklerinin yüzeyleri, uygulanmamış olanlara kıyasla, sıvı alüminyumdan daha az veya daha uzun sürelerde etkilendiklerini göstermektedir. Yüzey işlemi uygulanmış numunelerin etkileşim aktivasyon enerjileri kaplama yapılmamış numunelere nazaran daha yüksek olduğu için sıvı alüminyumun numuneye difüzyonu güçleşir. Sadece ısı işlem uygulanmış numunenin etkileşim aktivasyon enerjisi düşük olduğu için, sıcaklığın etkisiyle alüminyum kolaylıkla malzeme içerisine difüze olur. Yüzeyde intermetalik bileşikler oluşturur. Şekil 6.11 – Şekil 6.14’de çelik yüzeyinde oluşan bu intermetalik bileşiklerin yapısının taramalı elektron mikroskobunda yapılan analizleri görülmektedir.



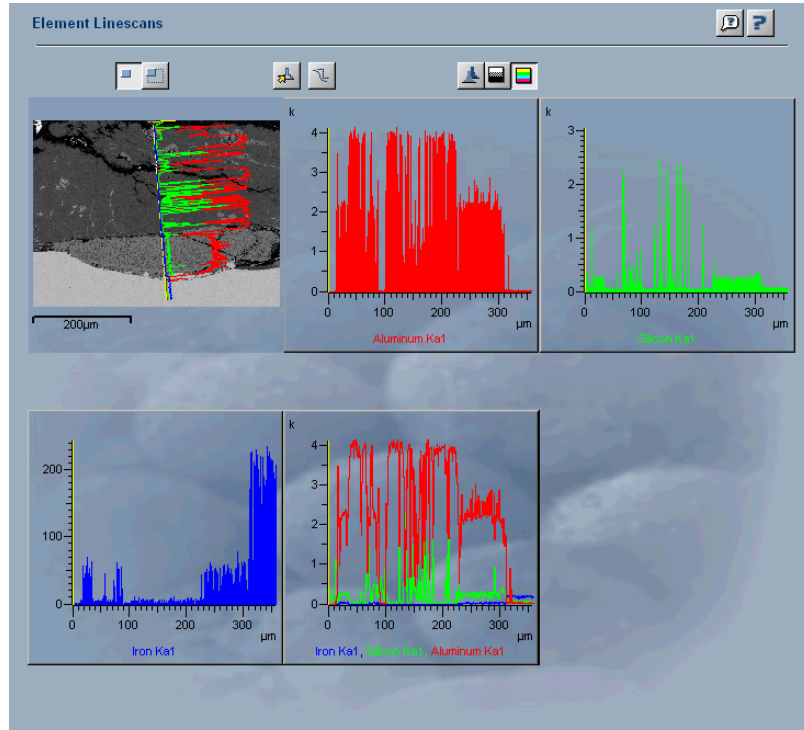
Şekil 6.11 : Yüzeyi oksitlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve haritalama analizleri



Şekil 6.12 : Yüzeyi oksitlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve analizi



Şekil 6.13 : Yüzeyi krom karbürlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve haritalama analizleri



Şekil 6.14 : Yüzeyi krom karbürlenmiş numunenin taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve analizi

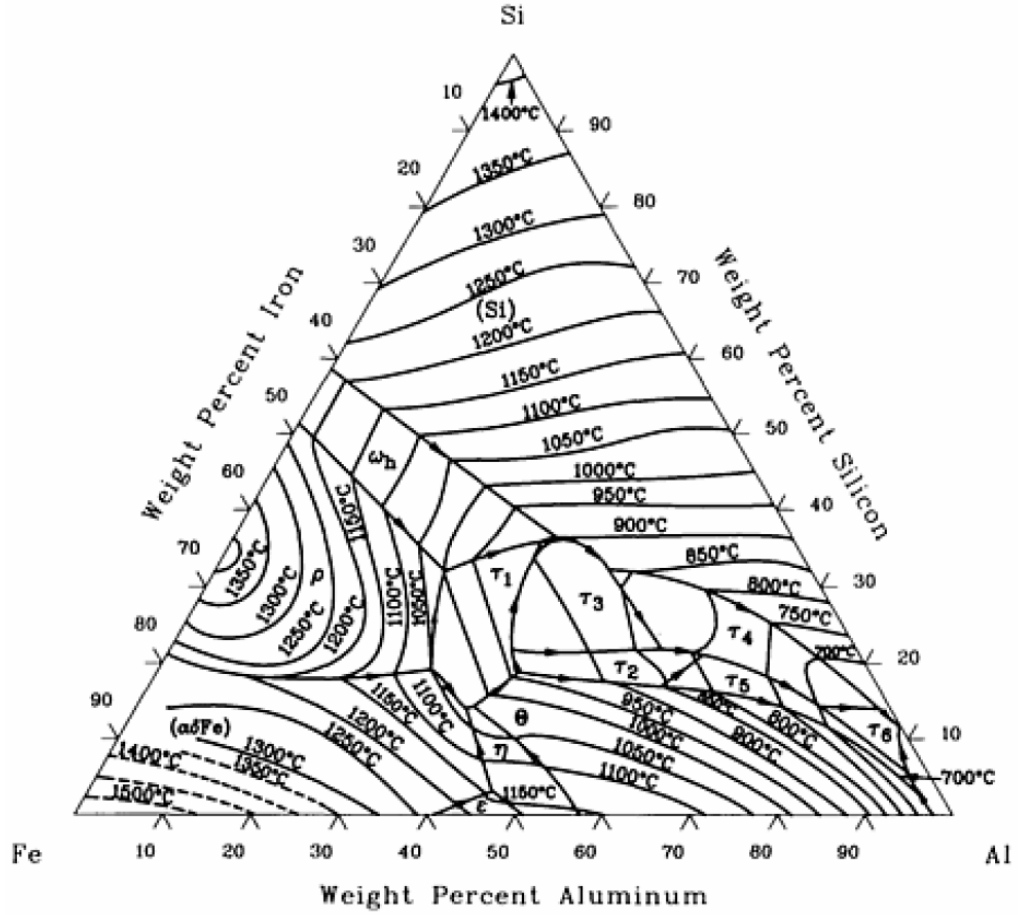
Yüzeyde oluşan üçlü ötektik yapının yarı kantitatif kimyasal kompozisyonu Şekil 6.15'te verilmiştir.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%	
	Conc.	Conn.		Sigma		
Mg K	0.41	1.2346	0.78	0.03	1.03	
Al K	29.57	1.2057	57.40	0.57	68.20	
Si K	4.79	0.9247	12.11	0.13	13.82	
V K	0.16	0.8870	0.43	0.07	0.27	
Cr K	0.73	0.9145	1.86	0.09	1.14	
Mn K	0.23	0.8660	0.63	0.11	0.37	
Fe K	9.51	0.8771	25.38	0.33	14.56	
Cu K	0.28	0.8254	0.78	0.93	0.39	
Mo L	0.19	0.6966	0.63	0.09	0.21	
Totals			100.00			

Şekil 6.15 : Üçlü ötektik bölgenin kimyasal kompozisyonu

Üçlü ötektik bölge incelendiğinde intermetalik fazın ağırlıkça %57 Al, %25 Fe, %12 Si içerdiği anlaşılmaktadır. Al-Fe-Si 3'lü denge diyagramı incelendiğinde bu ağırlık yüzdelерinde Θ fazının oluştuğu görölmektedir. Çalışılan sıcaklıkta (680°C)

difüzyon ile oluşan Θ yapısının ergime sıcaklığı 950°C - 1000°C arasında değişmektedir. Bu yapı Şekil 6.16’da görülmektedir.



Şekil 6.16 : Al-Fe-Si üçlü denge diyagramı

Kaplamasız ve yüzeyi farklı kaplanmış, $15 \times 15 \times 5$ mm boyutlarında kesilerek hazırlanmış numunelerin, 2, 4, 6, 8 saatlik süreler sonucunda, 680°C 'de sıvı alüminyum alaşımı içerisinde beklemesi durumunda, malzemenin sertlik değeri Tablo 6.4'deki gibi şekillenmiştir.

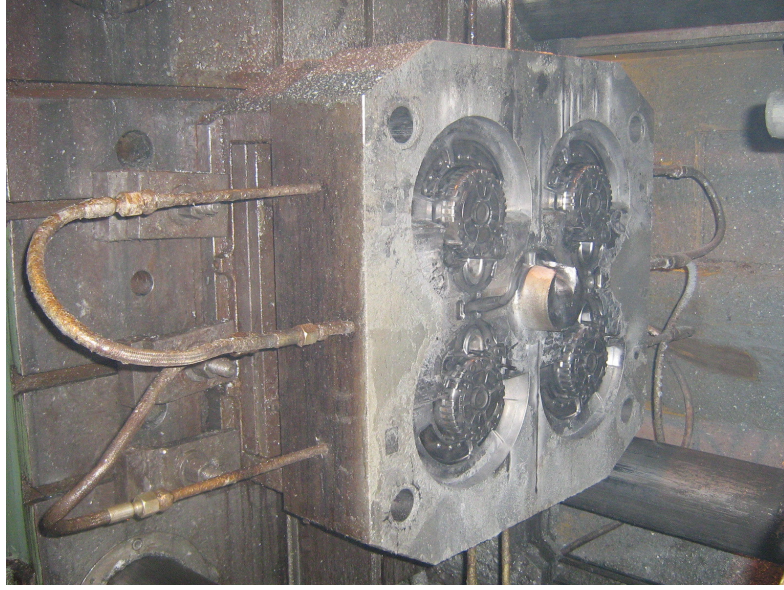
Tablo 6.4 Sıvı alüminyumda korozyona uğrayan numunelerin sertlik değerleri

	2 saat sıvı alüminyumda korozyona uğrayan numunenin sertlik değeri	4 saat sıvı alüminyumda korozyona uğrayan numunenin sertlik değeri	6 saat sıvı alüminyumda korozyona uğrayan numunenin sertlik değeri	8 saat sıvı alüminyumda korozyona uğrayan numunenin sertlik değeri
1. ölçüm değeri	46,1 HRc	37,9 HRc	29,4 HRc	27,5 HRc
2. ölçüm değeri	45,5 HRc	37,6 HRc	28,7 HRc	27,2 HRc
3. ölçüm değeri	45,9 HRc	38,5 HRc	28,8 HRc	26,8 HRc
4. ölçüm değeri	45,4 HRc	37,8 HRc	29,7 HRc	27,3 HRc
ortalama değer	45,7 HRc	37,9 HRc	29,1 HRc	27,2 HRc

Yapışma, korozyon ve erozyon gibi hasara neden olan oluşumlar kalıbın daha çok maça diye isimlendirilen elemanlarında ve yolluk girişlerinde meydana gelir. Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de endüstride çalışan durumdaki kalıbın iç görüntüsü verilmiştir. Bu resimde yolluk ve maçalarda görülmektedir.



Şekil 6.17 : Sanayide çalışan durumda üretimine devam edilen kalıp görüntüsü

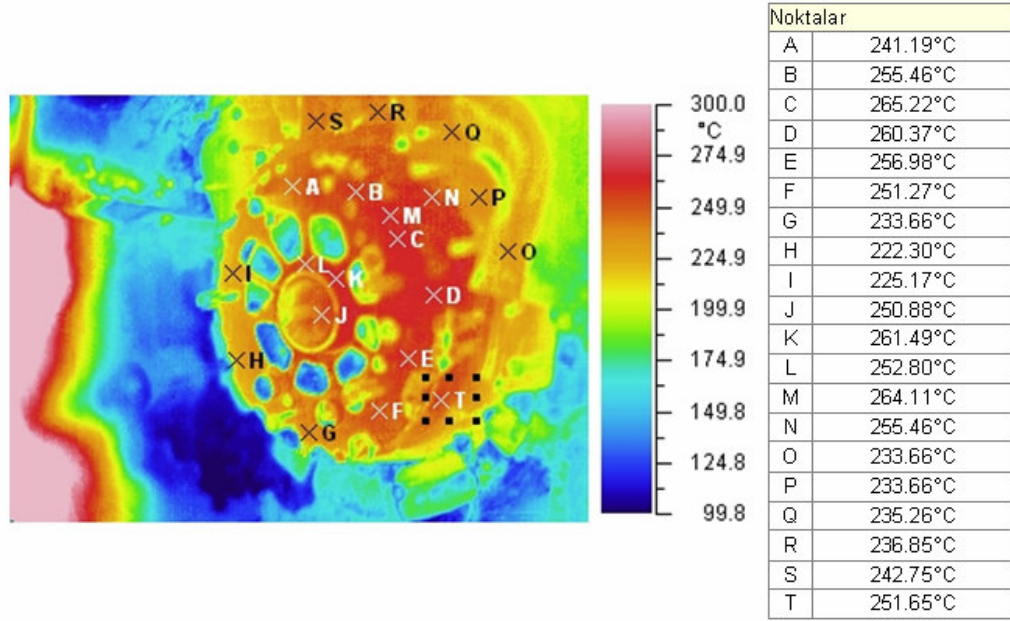


Şekil 6.18 : Sanayide çalışır durumda enjeksiyon makinasına bağlı, üretimine devam edilen kalıp görüntüsü

Kaplama işlemleri oldukça pahalı bir porsedir. Bu nedenle kalıplarda kaplama tüm yüzeye yapılmak yerine sıcaklık artışının çok fazla olduğu maçalara yapılır. Tüm yüzeye yapılması durumunda yüzeyde çok sert bir tabaka oluşacağı için tavsiye edilmez. Ancak oksit kaplama kalıbın tüm yüzeyine uygulanabilir. Oluşan kaplama derinliği 3-4 mm kadardır. Oksit tabakası sıcak alüminyum alaşımı ile metal arasında bir bariyer görevi yapıp, sıcak alüminyumun teması esnasında, ısıtma açısını düşürdüğü için tercih edilen bir yöntemdir. Yağlayıcı görevi görür. Üretilen parçanın kalıptan rahat bir şekilde çıkmasını sağlar.

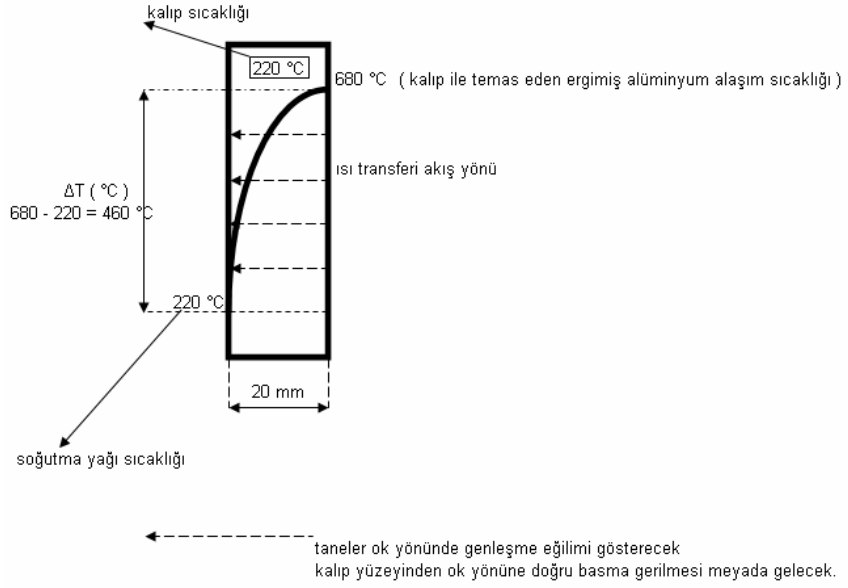
Diğer bir hasar şekli ise kalıp yüzeyinde oluşan termal yorulmalardır. Yüzeyde oluşan sıcaklık artışını minimize etmek için, su bazlı yağlayıcılar kullanılır. Oda sıcaklığındaki yağ, kalıp yüzeyine püskürtülerek yüzeydeki sıcaklık dengesinin korunması amaçlanır. İnce bir yağ filmi oluşur. Aynı zamanda bu ince yağ filmi alüminyumun kalıbı ıslatmasına mani olarak yüzeyin korunmasını sağlar. Üretilen parça kolaylıkla kalıp içerisinden çıkartılabilir.

Endüstride çalışır durumdaki bir kalıbın yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimleri gözlenmiş, yüzey sıcaklığının değişimi görüntülenmiştir. Şekil 6.19' da yüzey sıcaklıklarının 222 ile 265 °C arasında değiştiği görülmektedir. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgeler kısmen orta konumdaki bölgelerdir.



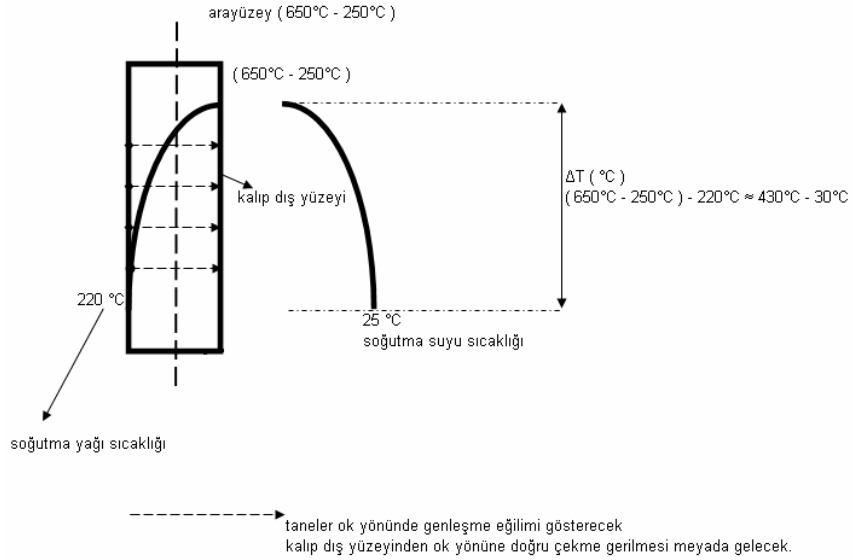
Şekil 6.19 : Yağlama işlemi sonrası kalıp yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimi

Pratikte sıcaklık dengesini sağlamak çok zordur. Çünkü kalıp yüzeyi ortalama her 1 dakikada sıcak metal ile etkileşim halindedir. Yağlama esnasında kalıp yüzeyini ısı yorulmalardan da korumak gerekir. Çünkü enjeksiyon sonrası yüzeyde sıcaklık artış ve azalışından kaynaklanan termal gerilmeler oluşur. Bu gerilmelerin yönleri Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Burada kalıp yüzeyinden 20 mm derinden geçen soğutma yağının soğutulması ile çalışan kalıbın enjeksiyon işlemi sonrası ve yüzey yağlama işlemi sonrası sıcaklık değişimi ile oluşan gerilmeler gösterilmeye çalışılmıştır.



NOT: kalıp yüzeyinde oluşan gerilmelerde kritik değer çekme gerilemsine göre alınır. çekme gerilmesi basma gerilmesine nazaran daha önemli bir kriterdir.

Şekil 6.20 : Enjeksiyon işlemi sonrası, kalıp yüzeyindeki gerilme kuvvetinin yönü



NOT: kalıp yüzeyinde oluşan gerilmelerde kritik değer çekme gerilemsine göre alınır. çekme gerilmesi basma gerilmesine nazaran daha önemli bir kriterdir.

Şekil 6.21 : Yağlama işlemi sonrası, kalıp yüzeyindeki gerilme kuvvetinin yönü

Burada dikkat edilmesi gereken yüzeydeki basma ve çekme gerilmelerinin doğrultularıdır. Enjeksiyon işlemi esnasında yüzeyde basma gerilimi meydana gelirken, yağlama işlemi esnasında çekme gerilmesi oluşur. Metallerde basma

gerilmesinin, çekme gerilmesinden daha büyük olduğu düşünülürse, kalıptan parça kopmalarını engelleyebilmek için çekme gerilmesine göre hareket edilmelidir.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

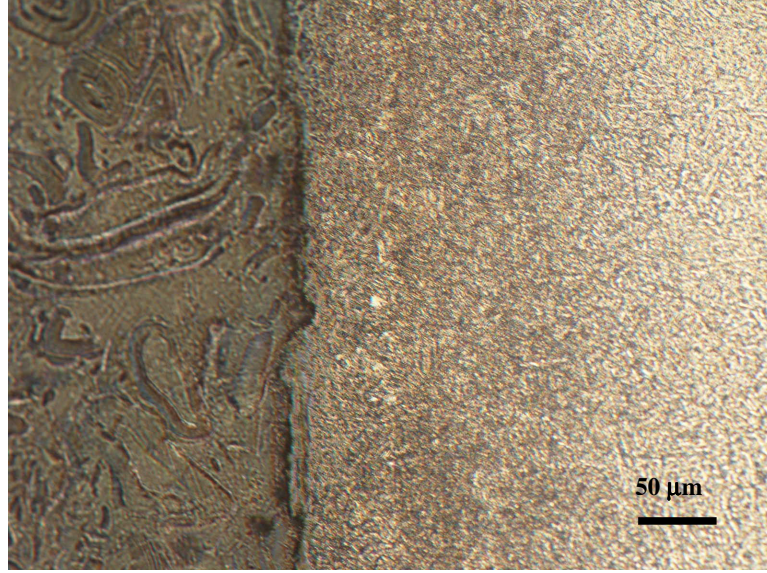
1. AISI H13 takım çeliğinin ısıtıl işlem sonrası sertliği 47-48 HRc değerindedir ve mikroyapısı ince taneli martenzittir.
2. Oksidasyon, nitrasyon, krom nitrid ve krom karbür kaplama yüzey işlemi uygulanan numunelerin yüzeylerinde ince film tabakaları oluşmuştur.
3. Yüzey işlemi yapılmamış AISI H13 takım çeliğinin yüzeyi 2 saat ve daha uzun süre sıvı alüminyumla temas ile bozulmuştur. Yüzeyde intermetalik bileşikler oluşmuştur. Yüzey işlemleri yapılan kalıp çeliklerinin yüzeyleri sıvı alüminyumun 2 saat temas etmesi ile bozulmamıştır.
4. Yüzeyinde oksidasyon işlemi yapılan H13 takım çeliğinin yüzeyi 4 saat sıvı alüminyum ile temas etmesi sonrası bölgesel olarak hasara uğramıştır. Bu bölgelerde intermetalik bileşikler oluşmuştur.
5. Nitridleme, krom nitrid kaplama yüzey işlemleri uygulanmış kalıp çeliklerinin yüzeyleri 6 saat sıvı alüminyumla temas etmeleri ile hasara uğramışlardır. Bu yüzeylerde beyaz tabakaların ortadan kalkmalarına karşın intermetalik bileşiklerin oluşumu gözlenmemektedir.
6. Yüzey işlemi yapılmış numunelerin 8 saat sıvı alüminyumla temas etmesi ile tüm numunelerin yüzeyleri hasara uğramıştır ve yüzeylerinde intermetalik bileşikler oluşmuştur.
7. Intermetalik faz temel olarak alüminyum-demir-silisyum üçlü ötektik yapısındadır.
8. Üçlü ötektik yapı ağırlıkça % 57 Al, %25 Fe, % 12 Si içermektedir, Al-Fe-Si 3'lü denge diyagramına göre bu ağırlık yüzdelerinde Θ fazı oluşmaktadır.
9. Kalıp malzemesinin sertliği sıvı alüminyumda bekleme süresine bağlı olarak düşmüştür. Başlangıç sertliği 48,1 HRc iken 8 saat sıvı alüminyumda bekleme sonrası 27,2 HRc değerine düşmüştür.

KAYNAKLAR

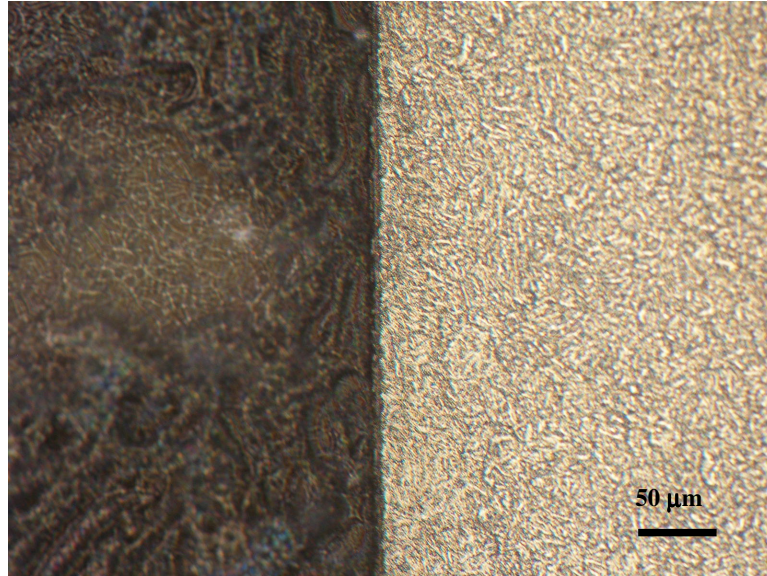
- [1] **Dinç S.**, 1991. Sıcak iş takım çeliklerinde üretim koşullarının yapı ve özellik üzerine etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] UHT Uvan Hagfors Teknoloji AB, <http://www.uddeholmtechnology.se/>, 07.02.2008.
- [3] Toz metalurjisi üretim teknikleri, <http://www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, 15.03.2008.
- [4] **Salamcı E.**, 2004. Sprey döküm, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, **2**, 155-173.
- [5] **Tayanç M., Zeytin G.**, 2000. Yüksek hız çeliklerinin iç yapı ve ısıtıl işlem özellikleri, *B.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **2**, 109-110.
- [6] **Breitler R. and Kaszynski J.**, 1999. The properties of hot work die steels. *World of the die casting*, **97**, 142-149.
- [7] ALD Vacuum Technologies, <http://web.ald-vt.de/cms/en/vacuum-technology/literature/technical-information>, 23.01.2008
- [8] **Assab Korkmaz Çelik Ticareti ve Sanayi A. Ş.**, 2005. Ürünler Kataloğu, İstanbul.
- [9] **Zhu H., Guo J., Jia J.** 2002. Experimental study and theoretical analysis on die soldering in aluminum die casting, *Journal of materials processing technology*, **123**, 229-235.
- [10] **Bishenden W. and Bhola R.**, 2001. Die temperature control, *World of the die casting*, **112**, 51-62.
- [11] **Klobcar D., Tusek J. and Taljat B.**, 2007. Thermal fatigue of materials for die casting tooling, *Materials science and engineering*, **90**, 110-115.
- [12] **Han Q., Xu H.**, 2005. Fluidity of alloys under high pressure die casting conditions, *Scripta materialia*, **53**, 7-10.
- [13] **Lakare A., Gopal S. and Shivpuri R.**, 2003. Coating and surface treatments for die casting dies, *World of the die casting*, **123**, 59-66.

- [14] **Chen Z. W. and Jahed M. Z.**, 1999. Die erosion and its effect on soldering formation in high pressure die casting of aluminum alloys, *Materials and design*, **20**, 303-309.
- [15] **Hanliang Z., Jingjie G. and Jun J.**, 1999. Energy analysis of die soldering in aluminum die casting, *World of the die casting*, **94**, 59-67.
- [16] **Chen Z. W.**, 2005. Formation and progression of die soldering during high pressure die casting, *Materials science and engineering*, **397**, 356-369.
- [17] **Wang Y.**, 1998. Effects of die geometry and hard coatings on heat checking and soldering of die casting dies, *World of the die casting*, **92**, 154-167.
- [18] **Liu G. W., Morsi Y. S. and Clayton B. R.**, 2000. Characterisation of the spray cooling heat transfer involved in a high pressure die casting process, *Int.J. Therm. Sci* , **39**, 582-591.
- [19] **Xie H. and Zhou Z.**, 2007. A model for droplet evaporation near leidenfrost point, *International journal of heat and mass transfer* , **37**, 82-94.
- [20] **Yan M. and Fan Z.**, 2001. Review durability of materials in molten aluminum alloys, *Journal of materials science*, **36**, 285-295.
- [21] **Xiaoxia H., Hua Y., Yan Z., Fuzhen P.**, 2004. Effect of Si on the interaction between die casting die and aluminum alloy, *Materials letters*, **58**, 3424-3427.
- [22] **Shankar S and Apelian D.**, 2004. The role of aluminum alloy chemistry and die material on die soldering, *World of the die casting*, **135**, 321-327.

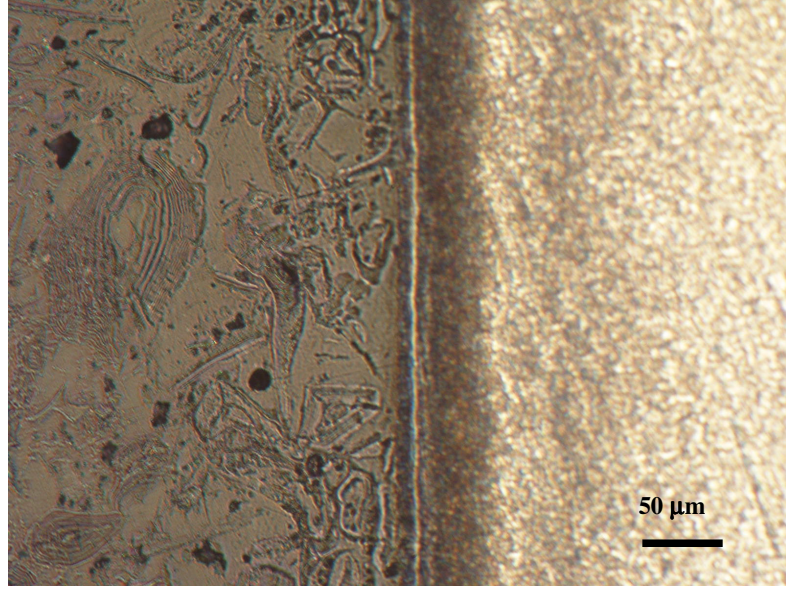
EK A



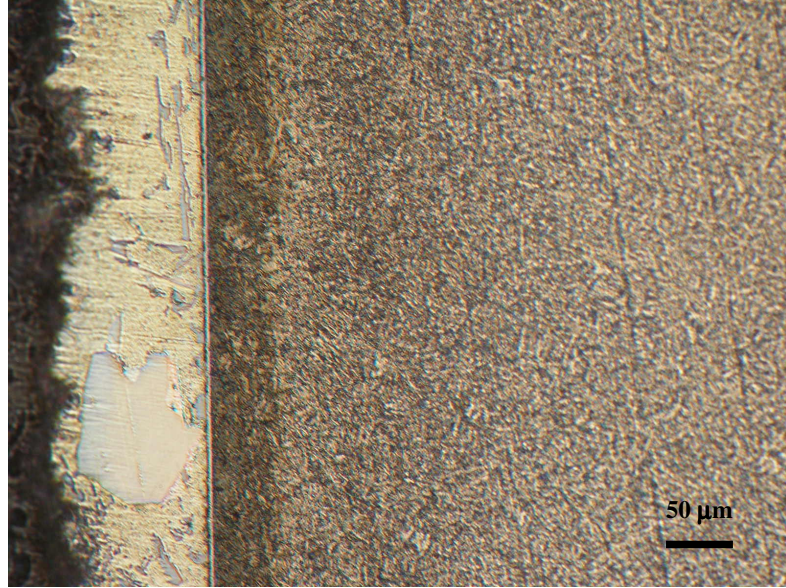
Şekil A.1: Yalnız ısıtılma işlemine uğramış, 680 °C’de 2 saat korozyona maruz kalmış numune



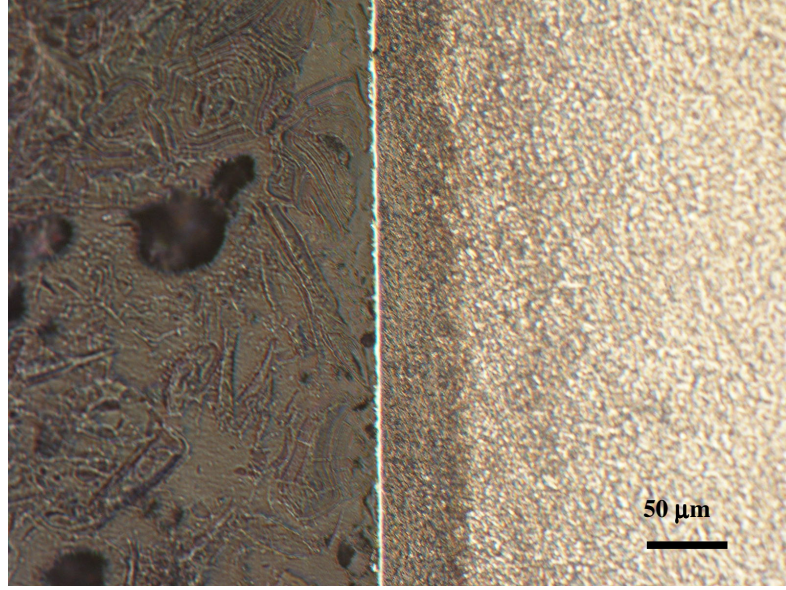
Şekil A. 2: Yüzeyi oksitlenmiş, 680 °C’de 2 saat korozyona maruz kalmış numune



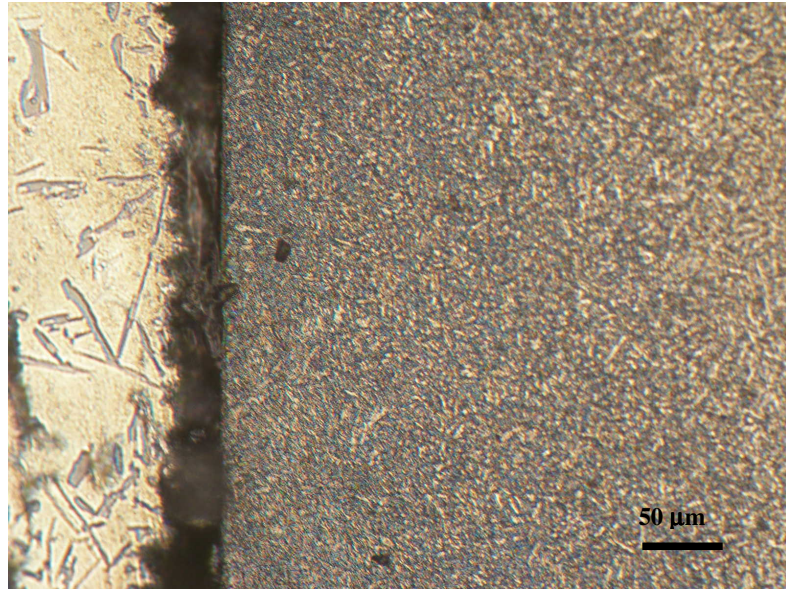
Şekil A. 3: Yüzeyi nitrülenmiş, 680 °C’de 2 saat korozyona maruz kalmış numune



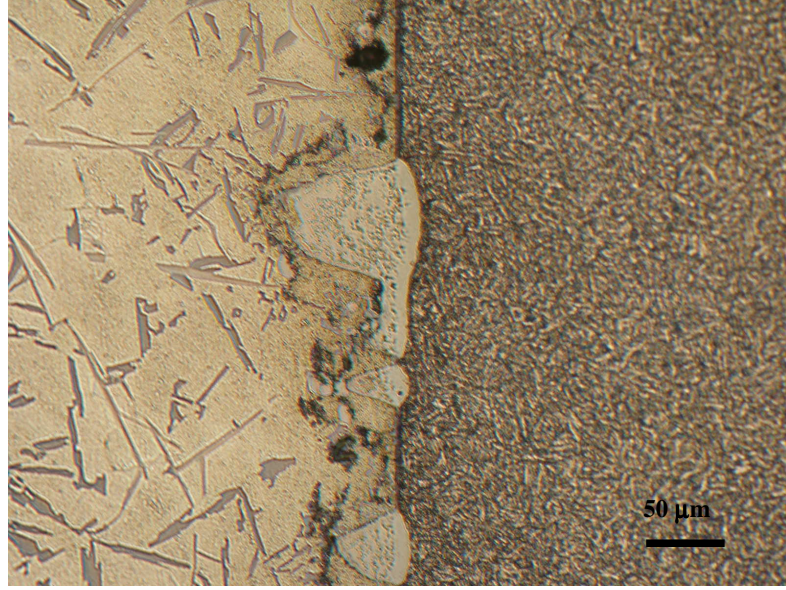
Şekil A. 4: Yüzeyi krom nitrülenmiş, 680 °C’de 2 saat korozyona maruz kalmış numune



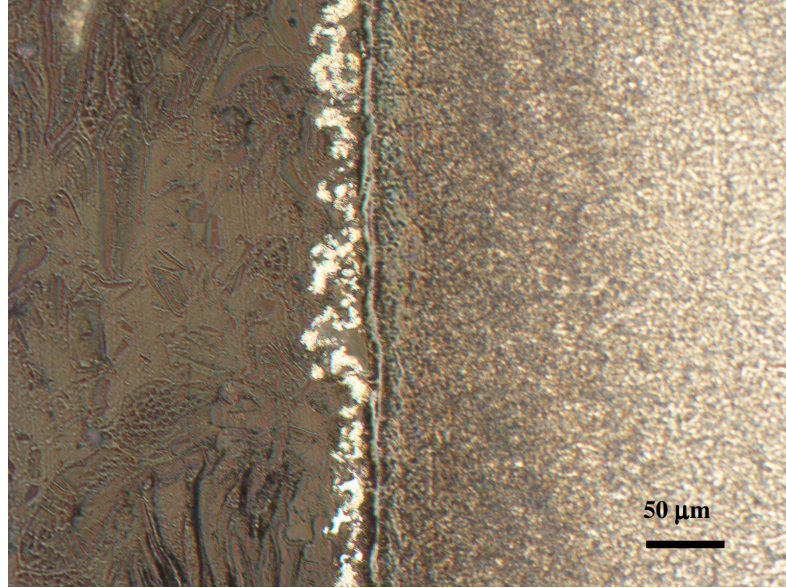
Şekil A. 5: Yüzeyi krom karbürlenmiş, 680 °C’de 2 saat korozyona maruz kalmış numune



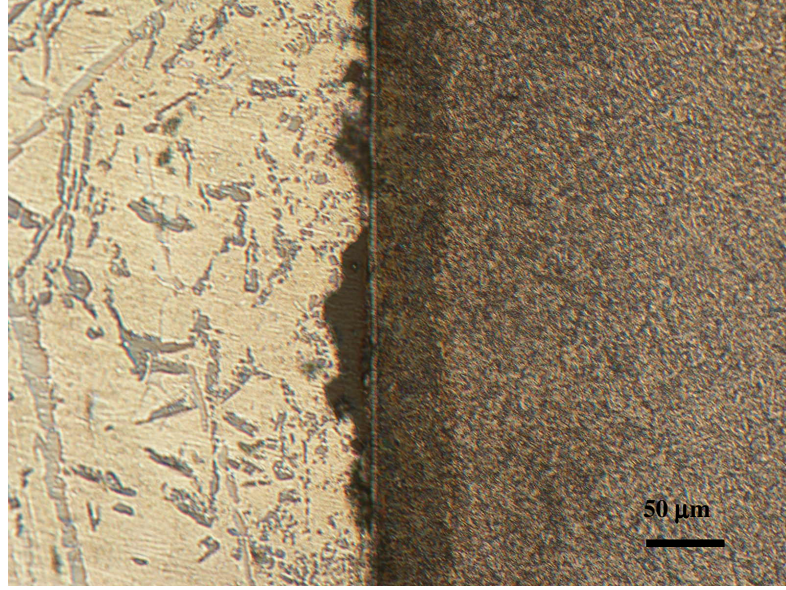
Şekil A. 6: Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680 °C’de 4 saat korozyona maruz kalmış numune



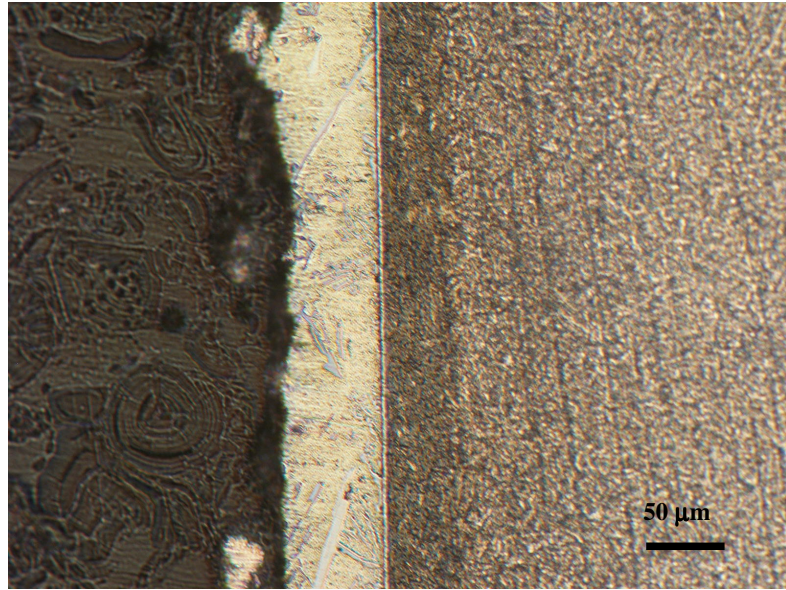
Şekil A. 7: Yüzeyi oksitlenmiş, 680 °C’de 4 saat korozyona maruz kalmış numune



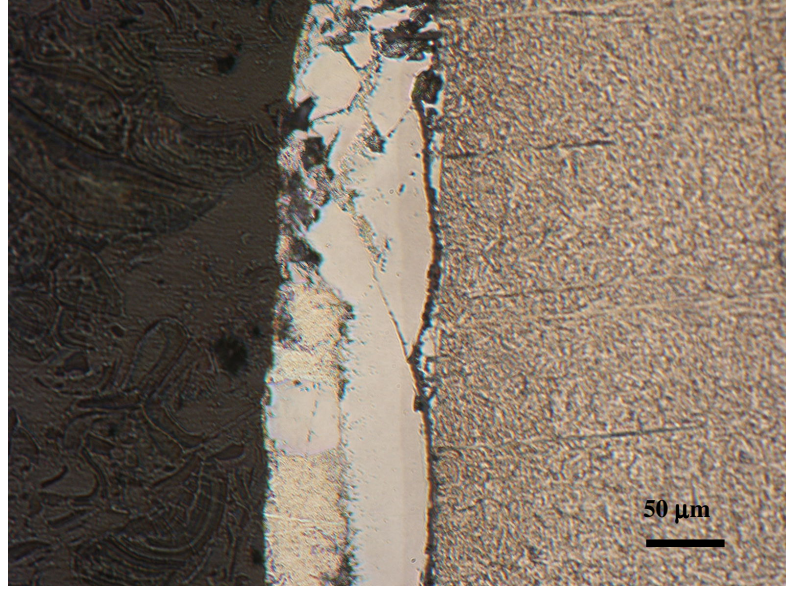
Şekil A. 8: Yüzeyi nitrürlenmiş, 680 °C’de 4 saat korozyona maruz kalmış numune



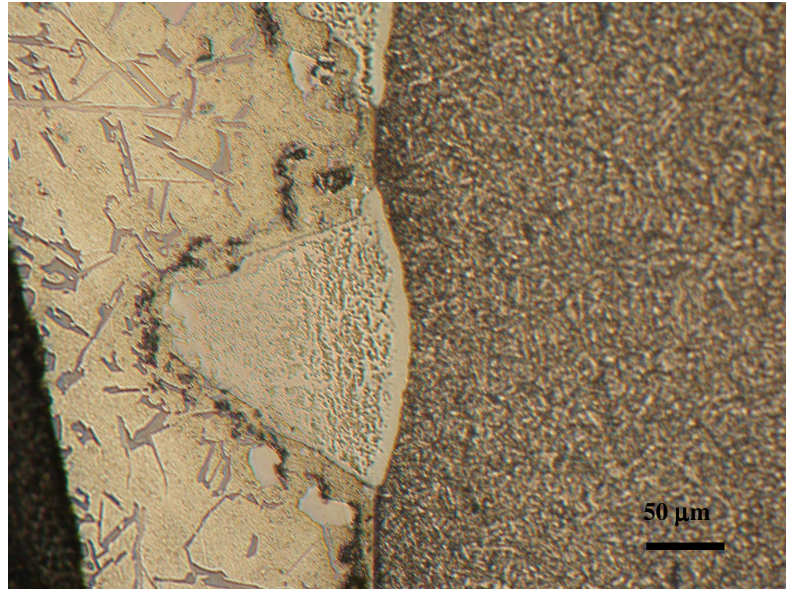
Şekil A. 9: Yüzeyi krom nitrülenmiş, 680 °C’de 4 saat korozyona maruz kalmış numune



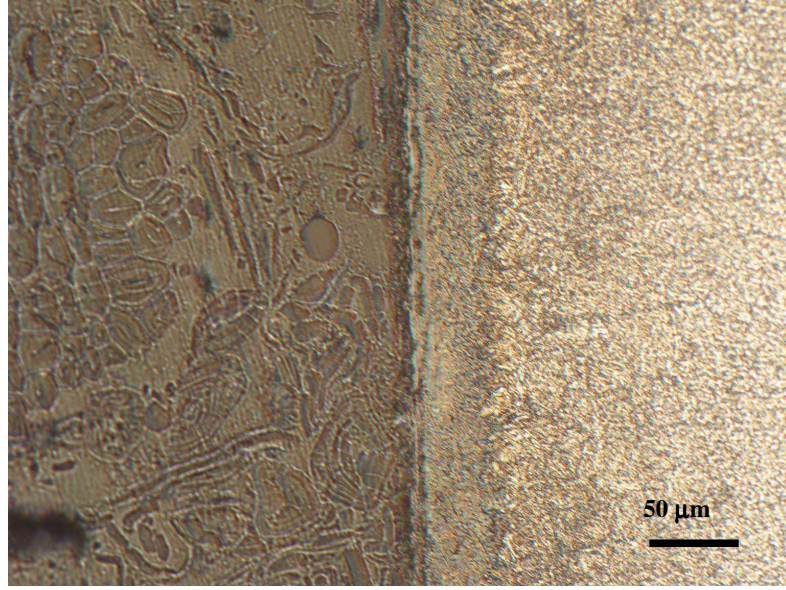
Şekil A. 10: Yüzeyi krom karbürülenmiş, 680 °C’de 4 saat korozyona maruz kalmış numune



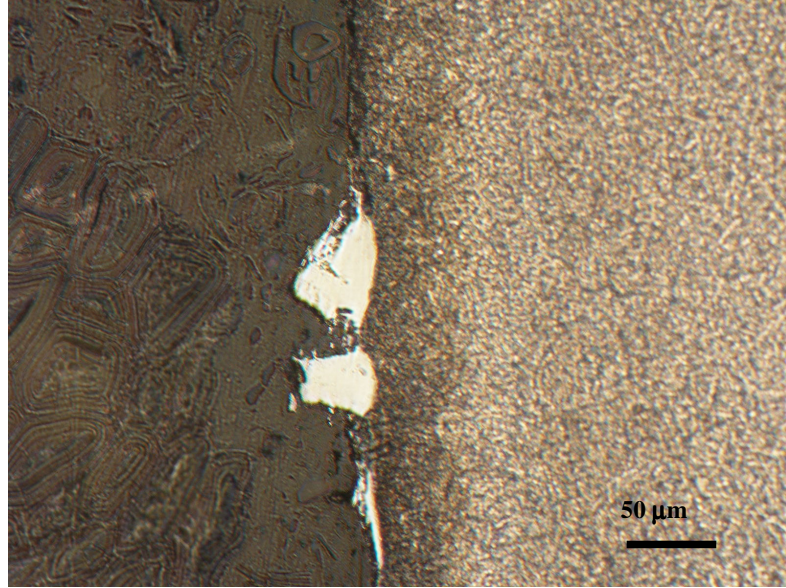
Şekil A. 11: Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680 °C’de 6 saat korozyona maruz kalmış numune



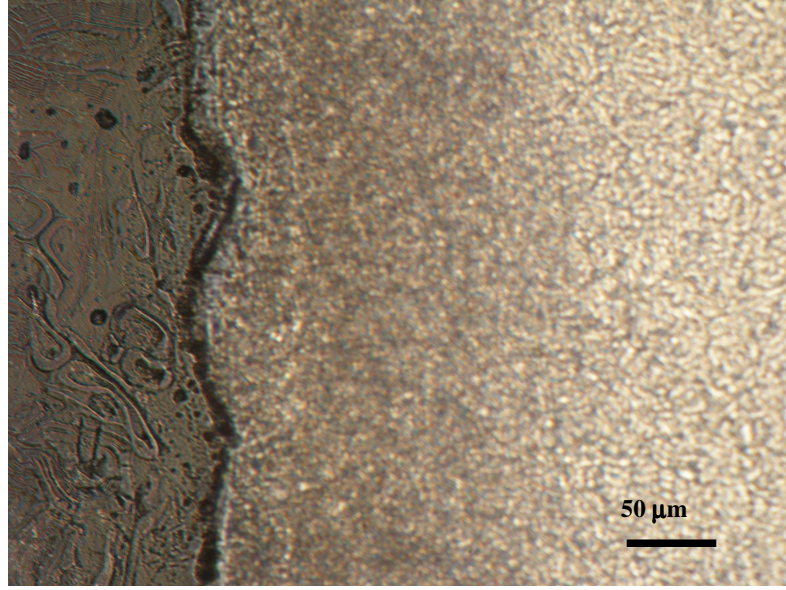
Şekil A. 12: Yüzeyi oksitlenmiş, 680 °C’de 6 saat korozyona maruz kalmış numune



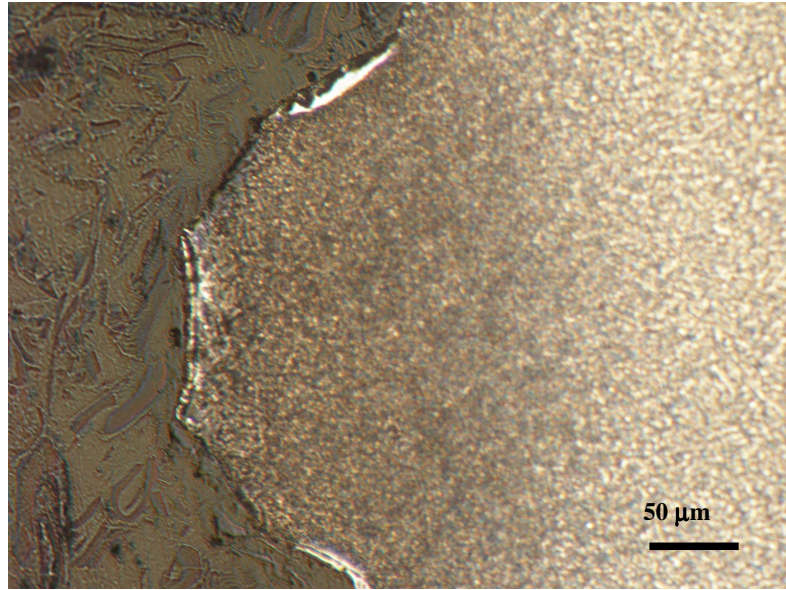
Şekil A. 13: Yüzeyi nitrülenmiş, 680 °C’de 6 saat korozyona maruz kalmış numune



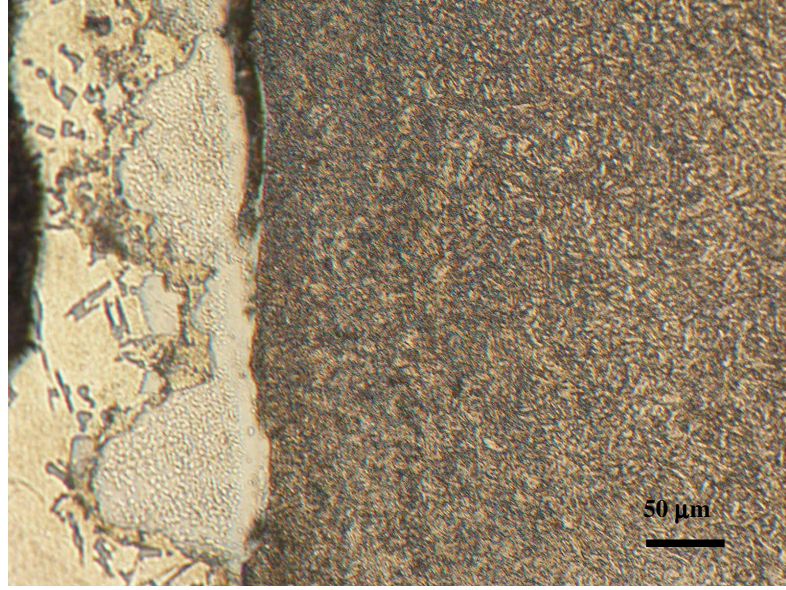
Şekil A. 14: Yüzeyi krom nitrülenmiş, 680 °C’de 6 saat korozyona maruz kalmış numune



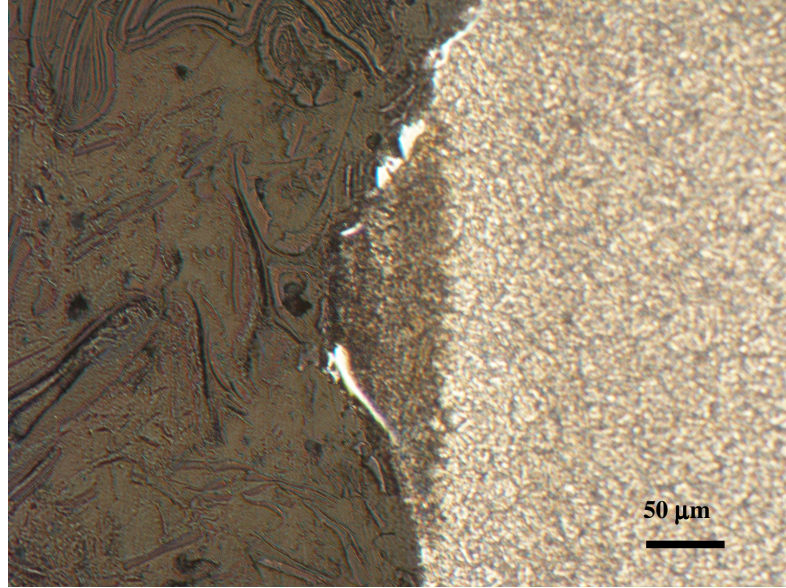
Şekil A. 15: Yüzeyi krom karbürlenmiş, 680 °C’de 6 saat korozyona maruz kalmış numune



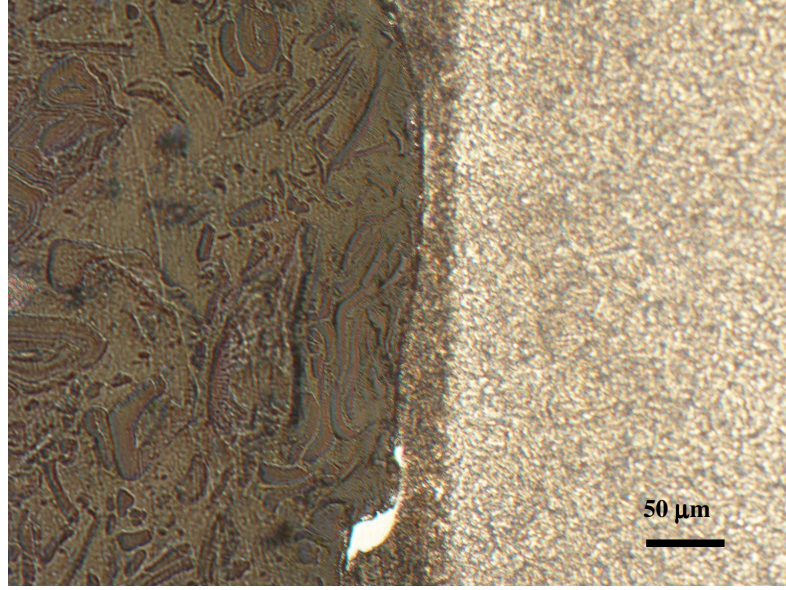
Şekil A. 16: Yalnız ısıtılma işlemi uğramış, 680 °C’de 8 saat korozyona maruz kalmış numune



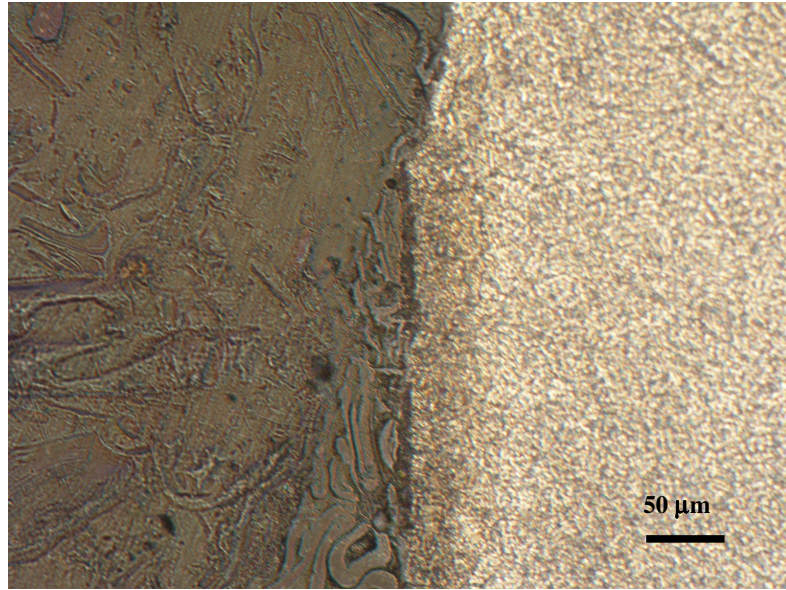
Şekil A. 17: Yüzeyi oksitlenmiş, 680 °C’de 8 saat korozyona maruz kalmış numune



Şekil A. 18: Yüzeyi nitrürlenmiş, 680 °C’de 8 saat korozyona maruz kalmış numune



Şekil A. 19: Yüzeyi krom nitrülenmiş, 680 °C’de 8 saat korozyona maruz kalmış numune



Şekil A. 20: Yüzeyi krom karbürülenmiş, 680 °C’de 8 saat korozyona maruz kalmış numune

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İzmir’de doğmuştur. 1999 yılında Teğmen Ali Rıza Akıncı Lisesi’nden mezun olmuştur. 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamlamış, aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.