



**BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASARINA
ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

İbrahim Fırat BALKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2014

İbrahim Fırat BALKAYA tarafından hazırlanan “BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASARINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metal Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ferhat GÜL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Prof. Dr. Halil ARIK

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 24/09/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İbrahim Fırat BALKAYA

BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASARINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

İbrahim Fırat BALKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2014

ÖZET

Bu çalışmada, alüminyum basınçlı dökümünde kalıp hasar mekanizmaları ve buna etki eden unsurlar araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, basınçlı döküm kalıp davranışının simüle etmek amacıyla AlTiN, CrN ve CrN-AlTiN gibi PVD yöntemiyle kaplanmış H13 çeliği numuneler, nitrürlenmiş H13 ve Ç1020 çeliği kullanılmıştır. Kaplamasız ve AlTiN, CrN ve CrN-AlTiN kaplamalı numuneler birbirleri ile kıyaslanmıştır. Deneysel çalışma başlamadan önce döküm şartlarını simüle etmek adına bir deneysel düzenek yapılmıştır. 5 mm çap ve 100 mm boya sahip özdeş numuneler farklı sıcaklık ve sayılarda önce ergiyik metale, akabinde 100°C'lik sıcak suya olmak üzere döngüsel olarak daldırılmış ve numune yüzeyindeki hasar incelenmiştir. Bu incelemeler önce kaba olarak gözle, daha sonra stereo mikroskopta yapılmıştır. Son olarak, hassas kesim makinesiyle kesilen numuneler parlatılarak stereo mikroskop altında mikroyapı kıyaslaması yapılmıştır. Kaplamalı numuneler için ileri inceleme taramalı elektron mikroskobu altında yapılmıştır. Kaplamasız Ç1020 numunelerin yüzey dayanım ömrünün oldukça kısa olduğu, PVD yöntemiyle kaplanmayan tüm H13 numunelerinde nispeten uzun ömürlü olmalarına rağmen, yetersiz oldukları görülmüştür. PVD kaplanmış H13 numunelerin başarılı yüzey dayanımı sergiledikleri gözlenmiş, yüzey pürüzlülüğü nispeten fazla olan AlTiN-CrN (multilayer) kaplamanın en başarılı kaplama olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 710.1.093

Anahtar Kelimeler : PVD Yüzey Kaplamaları, DIN 1.2344, Basınçlı döküm

Sayfa Adedi : 115

Danışman : Prof. Dr. Ferhat GÜL

INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING DIE DAMAGE IN HIGH
PRESSURE DIE CASTING

(M. Sc. Thesis)

İbrahim Fırat BALKAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2014

ABSTRACT

In this study, damage mechanisms and affecting factors in dies used for aluminium die casting were investigated. In the experimental study, coated H13 steel samples like AlTiN, CrN, and CrN-AlTiN by PVD were used for extending the lifetime of samples to simulate of behavior of pressure casting die. coated with AlTiN, CrN, and CrN-AlTiN, nitrided H13 and AISI 1020 steel were used. The samples uncoated and coated with AlTiN, CrN, and CrN-AlTiN were compared with each other. Before starting experimental study, experimental set-up is designed to simulate casting conditions. Identical samples which have 5 mm diameters and 100 mm lengths are cyclically dipped into the melted alloy and then into 100°C degree hot water. And damage on sample surface is examined. These examinations were made first roughly in macro scale and followed by a stereo microscope. Finally, samples which are divided into sections by fine cutting machine were polished and comparison of microstructure was done under optical microscope. Further examination for coated samples were made under SEM (Scanning Electron Microscope). The results showed that non-coated AISI 1020 sample's lifetime of surface resistance was rather short and the H13 sample that was non-coated was relatively long-lived but they didn't showed sufficient lifetime. It was also observed that H13 samples coated by PVD shows successful surface resistance and that AlTiN-CrN (multilayer) coating is the most successful coating.

Science Code : 710.1.093

Key Words : Pvd coating, DIN 1.2344, High Pressure Die Casting

Page Number : 115

Supervisor : Prof. Dr. Ferhat GÜL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Ferhat GÜL'e, deney düzeneğinin yapılması aşamasında imkânlarını esirgemeyen Yener-San firmasına, kaplamalar konusunda bize yol göstericilik yapan Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş. firmasına, refrakter malzeme ve fırın yapımı konusunda yardımcı olan Kalaçlar firmasına, çalışmalarım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. BASIÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ VE KALIP MALZEMELERİ	3
2.1. Geleneksel Kalıp Malzemeleri	5
2.2. Geleneksel Olmayan Kalıp Malzemelerinin Davranışlarına Bakış	11
2.2.1. Nikel esaslı süper alaşımlar.....	11
2.2.2. Titanyum alaşımları	12
2.2.3. Bakır alaşımları	12
3. BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASAR MEKANİZMALARI	15
3.1. Kalıba Yapışma Mekanizması ve Kimyasal İlişkiler	16
3.1.1. Temel kimyasal ilişki	16
3.1.2. Kalıba yapışma mekanizması.....	17
3.2. Diğer Hasar Türleri	19
3.2.1. Çarpma erozyonu hasarı.....	19
3.2.2. Isıl hasar	20

4. BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASAR MEKANİZMALARININ OLUŞMASINI ÖNLEME YÖNTEMLERİ	23
4.1. Kullanılan Kaplama Türleri ve Metotları	24
4.1.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi	24
5. KALIP HASARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK DENEYSEL YÖNTEMLER	29
5.1. Simülatif Deney Yöntemleri	29
5.1.1. Batırıp çıkarma (immersion) yöntemi	29
5.1.2. Dinamik batırıp çıkarma (dynamic immersion) yöntemi	35
5.1.3. Daldırma (dipping) yöntemi	41
5.2. Gerçek Yöntem	43
5.3. Yapılmış Deneysel Çalışmalara Bakış	46
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
6.1. Amaç ve Yöntem	49
6.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Kaplamalar	49
6.3. Deney Düzenegi	50
6.4. Deneyin Uygulanması	54
6.5. Metalografik İnceleme	56
6.6. Yüzey Pürüzlülük İncelemesi	59
6.7. Sertlik Ölçümü	59
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	61
7.1. Metalografik İnceleme Sonuçları	61
7.1.1. Pilot deneylerin mikroyapı ve SEM inceleme sonuçları	62
7.1.2. Asil deney numunelerinin metalografik inceleme sonuçları	65
7.1.2. Yüzey pürüzlülük testi sonuçları	99

	Sayfa
7.1.3. Sertlik deneyi sonuçları.....	100
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	103
8.1. Sonuçlar.....	103
8.2.Öneriler	104
KAYNAKLAR	105
EKLER.....	110
EK-1 Ellingham diyagramı	111
EK-2 Islatma açısındaki değişim	112
EK-3 Damla çapının % olarak değişimi	113
ÖZGEÇMİŞ	114
DİZİN.....	115

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sıcak iş takım çelikleri ve kimyasal bileşimleri	7
Çizelge 2.2. Sıcak iş takım çeliklerinin ısıtılma durumu ve mekanik özellikleri.....	7
Çizelge 2.3. H11, H13 ve H10'a ait ısıtılma ortamları ve süreleri.....	8
Çizelge 2.4. Deneyde kullanılan demirdışı malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	13
Çizelge 3.1. Fazlara göre Al'nin çözünme miktarları.....	17
Çizelge 5.1. Karbon içeriğinin etkisinin araştırıldığı çalışmada kullanılan üç tip ticari çeliğin kimyasal bileşimleri.....	36
Çizelge 5.2. Alüminize olan numunenin bileşimi.....	43
Çizelge 5.3. Pim malzemelerinin kimyasal bileşimi.....	44
Çizelge 5.4. Pim malzemelerinin mekanik özellikleri	44
Çizelge 6.1. Numuneler üzerine yapılan kaplamalara ait veriler	50
Çizelge 6.2. Etial 171 döküm alaşımının kimyasal bileşimi.....	54
Çizelge 6.3. Pilot deneylerde kullanılan numunelerin numaralandırılması.....	55
Çizelge 6.4. Asil deneylerde kullanılan numunelerin numaralandırılması.....	55
Çizelge 7.1. CrN kaplamalı H13 numunede meydana gelen hasarın sayısal büyüklükleri.....	90
Çizelge 7.2. AlTiN kaplamalı H13 numunede meydana gelen hasarın sayısal büyüklükleri.....	92
Çizelge 7.3. CrN-AlTiN kaplamalı H13 numunede meydana gelen hasarın sayısal büyüklükleri	94
Çizelge 7.4. Kaplama türü ve döngü sayısına göre hasar büyüklükleri.....	95
Çizelge 7.5. Kaplama türü ve döngü sayısına göre piksel- μm^2 çevirim tablosu	95
Çizelge 7.6. Kaplama türüne göre H13 numunelere döngü sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış	99
Çizelge 7.7. Kaplamalı H13 numunelere döngü sayısına bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişim	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Basınçlı döküm prosesinin şematik gösterimi	3
Şekil 2.2. Şematik olarak sıcak iş takım çeliklerinin ısıtma işlem uygulaması	6
Şekil 2.3. 1.2343 (AISI H11) malzeme için “TTT” diyagramı	8
Şekil 2.4. 1.2343 (AISI H11) malzeme için “temperleme” diyagramı	9
Şekil 2.5. 1.2344 (AISI H13) malzeme için “TTT” diyagramı	9
Şekil 2.6. 1.2344 (AISI H13) malzeme için “temperleme” diyagramı	10
Şekil 2.7. 1.2365 (AISI H10) malzeme için “TTT” diyagramı	10
Şekil 2.8. 1.2365 (AISI H10) malzeme için “temperleme” diyagramı	11
Şekil 2.9. Demirdışı malzemelerde 15 000 döngü sonrası oluşan ortalama çatlak boylarının demir esaslı olanlarla karşılaştırılması	14
Şekil 2.10. Geleneksel kalıp malzemesi alaşımı örneklerde 15 000 döngü sonrası oluşan ortalama çatlak boyları	14
Şekil 3.1. Kalıpta meydana gelen hasarlar	15
Şekil 3.2. Al-Fe Faz diyagramı	16
Şekil 3.3. Beş aşamalı yapışma olayının şematik gösterimi	18
Şekil 3.4. Sıvı damlasının kalıp yüzeyine çarpması ile oluşan darbe basıncı ve çarpma sonrası yüzeyi yatay olarak yalayan hızlanmış sıvı akışı	19
Şekil 4.1. Fiziksel buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi	24
Şekil 4.2. Fiziksel buhar biriktirme yönteminde kaplama kalınlığının hesaplanması	25
Şekil 4.3. PVD süreci teknikleri	26
Şekil 4.4. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi	27
Şekil 5.1. Batırıp çıkarma yöntemi	29
Şekil 5.2. Batırıp çıkarma deneyinde kullanılan numuneye ait teknik detay.....	30
Şekil 5.3. Yüksek sıcaklıklarda çalışma rejiminde malzemenin yüksek sıcaklık dayanımının azalması sonucu plastik şekil değiştirmenin artması.....	31

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Yüksek sıcaklıklarda çalışma rejiminde kesitlere göre malzemeye giren ısı ile sıcaklığın değişimi	31
Şekil 5.5. İnce ve keskin köşelerde zamana bağlı oluşan gerilimler	32
Şekil 5.6. 20 000 Döngü sonrası kenar mikro çatlakları	32
Şekil 5.7. Döngü sayısı ile ortalama çatlak boyutunun karşılaştırılması	34
Şekil 5.8. Döngü sayısı ile ortalama çatlak yoğunluğunun karşılaştırılması	34
Şekil 5.9. H13 çeliğine oluşan aksenal gerilimler.....	34
Şekil 5.10. %14 Ni içeren martemperlenmiş çelikte oluşan aksenal gerilimler	35
Şekil 5.11. Dinamik batırıp çıkarma yönteminin şematik gösterimi	35
Şekil 5.12. Karbon içeriğine göre gerçekleşen kütle kaybı	37
Şekil 5.13. Daldırma süresi baz alınarak yapılan incelemelerde karbon içeriğine göre gerçekleşen malzeme kaybı	37
Şekil 5.14. Çelik numune kütlesi ile en tepedeki Al alaşım tabakasının arasında kalan metaller arası bileşik katmanları.....	38
Şekil 5.15. Daldırma zamanı ve karbon içerisine bağlı olarak intermetalik katmanın kalınlığındaki değişim.....	39
Şekil 5.16. Dinamik daldırma deneyi sonrası kaplamasız H13 numunenin kesit SEM görüntüsü	40
Şekil 5.17. Dinamik daldırma deneyi sonrası nitrasyon yapılmış H13 numunenin kesit SEM görüntüsü.....	40
Şekil 5.18. Dinamik daldırma deneyi sonrası CrN kaplanmış H13 numunenin kesit SEM görüntüsü	41
Şekil 5.19. Daldırma yönteminin şematik gösterimi	41
Şekil 5.20. Tipik alüminize edilmiş mikroyapı.....	42
Şekil 5.21. Deney numunesi olarak seçilen farklı malzemelerden iki adet pimin kalıp boşluğu ile yolluk arasındaki meme bağlantısına yerleştirilmesi	43
Şekil 5.22. Üç basım sonrası Cu esaslı ve gri dökme demir pimde görülen aşırı hasar	45

Şekil	Sayfa
Şekil 5.23. 50 basım sonrası üzerinde yapışma olan ve yapışmadan arındırılmış pimlerin görüntüsü	45
Şekil 5.24. Sertleştirilmemiş H13 ve Ni-718 alaşımlarında 30 döngü sonrası şiddetli yapışma ve nispeten düşük ısıl dayanım nedeniyle boyutsal değişim	46
Şekil 5.25. Basınçlı alüminyum dökümde farklı yüzeylerin muamelesinde yapılan baskı sayıları	47
Şekil 6.1. Deneyde kullanılan pimplere ait katalog bilgileri	49
Şekil 6.2. Mekanik düzeneğin 3D çizim görseli	51
Şekil 6.3. Direnç fırınının 3D programında çizilmiş teknik resmi	52
Şekil 6.4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	52
Şekil 6.5. Metalografik incelemenin yapıldığı (a) pim kesitinin ve (b) yüzeyel inceleme bölgesinin şematik gösterimi	56
Şekil 7.1. CrN kaplamalı H13 numunede ortalama hasar bölgesi ebadı ile hasar bölgesi sayısının kıyaslanması	90
Şekil 7.2. AlTiN kaplamalı H13 numunelerde ortalama hasar bölgesi ebadı ile hasar bölgesi sayısının kıyaslanması	92
Şekil 7.3. CrN-AlTiN kaplamalı H13 numunelerde ortalama hasar bölgesi ebadı ile hasar bölgesi sayısının kıyaslanması	94
Şekil 7.4. Tüm kaplamalı H13 numunelerde kaplama türü ve döngü sayısına göre (a) hasar bölgesi sayısının ve (b) ortalama hasar ebadının kıyaslanması	97
Şekil 7.5. Tüm kaplamalı H13 numunelerde kaplama türü ve döngü sayısına göre (a) alan kesrinin ve (b) toplam hasar ebadının kıyaslanması	98
Şekil 7.6. Kaplama türüne göre H13 numunelerde döngü sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim	99
Şekil 7.7. Kaplama türüne göre H13 numunelerde döngü sayısına bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişim	101

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş örnek parçalar.....	4
Resim 6.1. Deney düzeneğinin gösterimi ve pimlerin ergiyik içine daldırılması.....	53
Resim 6.2. Metale daldırma işleminin gerçekleştiği açıklığın üstten görüntüsü	53
Resim 6.3. ATM Brillant 250 model kesme cihazı	57
Resim 6.4. ATM Saphir 330 model zımparalama-parlatma cihazı	57
Resim 6.5. LEICA DM 4000M metal mikroskobu.....	57
Resim 6.6. JEOL marka JSM-6060 LW model SEM (tarama elektron mikroskobu)	58
Resim 6.7. Yüzey pürüzlülük cihazı	59
Resim 6.8. EMCO TEST marka Duravision 200 model universal sertlik ölçme cihazı	60
Resim 7.1. Metale daldırma işleminden sonra pim üzerine yapışan Al kütleler, (a) pilot deneyler, (b) asil deneyler	61
Resim 7.2. (a) 1No’lu numunenin deney sonrası yapışma görünümü, (b) 1 No’lu numunenin yüzeyine yapışan Al malzemenin mekanik olarak temizlenmesi	62
Resim 7.3. 1 No’lu numuneye ait deney sonrası yanal yüzey stereo mikroskop görüntüsü	63
Resim 7.4. 1 No’lu numuneye ait deney sonrası mikroyapı incelemesinde malzeme kaybı görüntüsü	63
Resim 7.5. (a) 2 No’lu numunenin deney sonrası yapışma görünümü, (b) 2 No’lu numunenin yüzeyine yapışan Al malzemenin mekanik olarak temizlenmesi	64
Resim 7.6. 2 No’lu numuneye ait deney sonrası yanal yüzey stereo mikroskop görüntüsü.....	64
Resim 7.7. 2 No’lu numuneye ait deney sonrası mikroyapı görüntüsü	65
Resim 7.8. H13 nitrürlü malzemenin mikroyapı görüntüsü	66
Resim 7.9. CrN kaplı H13 numunenin deney öncesi mikroyapı görüntüsü	67
Resim 7.10. 3-a No’lu numunenin 3 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü	68

Resim	Sayfa
Resim 7.11. 3-b No’lu numunenin 6 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü	68
Resim 7.12. 3-c No’lu numunenin 9 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü	69
Resim 7.13. 3-a No’lu numunenin 3 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	70
Resim 7.14. 3-b No’lu numunenin 6 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	71
Resim 7.15. 3-c No’lu numunenin 9 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	72
Resim 7.20. 4-a No’lu numunenin 3 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	77
Resim 7.21. 4-b No’lu numunenin 6 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	78
Resim 7.22. 4-c No’lu numunenin 9 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	79
Resim 7.23. CrN-AlTiN kaplı H13 numunenin deney öncesi mikroyapı görüntüsü	80
Resim 7.24. 5-a No’lu numunenin 3 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü	80
Resim 7.25. 5-b No’lu numunenin 6 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü	81
Resim 7.26. 5-c No’lu numunenin 9 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü	81
Resim 7.27. 5-a No’lu numunenin 3 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	82
Resim 7.28. 5-b No’lu numunenin 6 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	83
Resim 7.29. 5-c No’lu numunenin 9 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme	84
Resim 7.30. CrN kaplı 3 000 döngülük numunenin orjinal SEM görüntüsünün Image-j programında açılması	87
Resim 7.31. CrN kaplı 3 000 döngülük numunenin “treshhold” komutu sonrası görüntüsü	87
Resim 7.32. CrN kaplı 3000 döngülük numunenin “make binary” komutu sonrası görüntüsü	88

Resim	Sayfa
Resim 7.34. CrN kaplı 6 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü	89
Resim 7.35. CrN kaplı 9 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü	89
Resim 7.36. AlTiN kaplı (a) 3 000, (b) 6 000, (c) 9 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü	91
Resim 7.37. CrN-AlTiN kaplı (a) 3 000, (b) 6 000, (c) 9 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
α	Ortalama ısı genleşme katsayısı (kcal.m / h.m ² .°C)
σ	Gerilim (N/mm ²)
ν	Poisson oranı
E	Elastik modül (N/mm ²)
ϵ_f	Kırılma gerçek deformasyon miktarı (malzemeye özgün)
C	Sabit
n	Malzeme sabiti (0-1)
N	Döngü sayısı
a	Çatlak boyu
ρ ve q	Malzemeye bağlı pozitif sabitler
P_{avg}	Ortalama basınç (MPa)
V_i	Sıvı çarpma hızı (m /s)
ρ	Sıvı yoğunluğu (kg /m ³)
C	Sıvının akustik hızı (m /s)

Kısaltmalar	Açıklama
PVD	Physical Vapour Deposition - Fiziksel Buhar Biriktirme
CVD	Chemical Vapour Deposition - Kimyasal Buhar Biriktirme
SEM	Scanning Electron Microscope - Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Genellikle, alüminyum basınçlı döküm parça maliyetinin önemli bir kısmını kalıp maliyeti oluşturmaktadır. Basınçlı döküm yönteminde kalıp ömrü dikkate alınması gereken başlıca konudur. Kalıp hasarı, sıvı metal ile temas halinde bulunan kalıp yüzeyinde ısıl çatlaklar, erozyon ve yapışmadan kaynaklanmaktadır. Yapışma; ergimiş metalin kalıp ya da maça yüzeyine adezyonu olarak tanımlanır. Erozyon; kalıp içine enjekte edilen yüksek basınç ve hıza sahip ergimiş metalin akışı sırasında oluşan vurma-çarpma etkisinden kaynaklanır. Erozyon, sıvı metal akışının olduğu tüm yüzeylerde, özellikle de kalıp boşluğuna açılan yolluk sisteminde daha fazla görülmektedir. Isıl çatlaklar; yüzeyin zamanla maruz kaldığı ani sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yorulma, yüzey gerilimleri, kimyasal ilişkiler, kalıp malzemesinin dayanımının düşük olması ve yüzeysel düzensizlikler gibi nedenlerle meydana gelmektedir.

Basınçlı döküm sürecinde kalıbın maruz kaldığı genel şartlar; en çok kullanılmakta olan Al alaşımları için sıvı metal sıcaklığı 670–710 °C, demirdışı alaşımlar için genel olarak 30–100 m/s akış hızı ve 50–80 MPa basınç olarak verilebilir. Bu şartlar, hasar türlerinin temel kaynağını oluşturmaktadır [1–3]. Bununla birlikte yapışma konusunda demir-alüminyum arasındaki yüksek kimyasal ilgi ayrıca dikkate alınmalıdır. Bu süreçte birçok farklı metallerarası bileşik oluşması söz konusudur.

Basınçlı dökümde kalıp maliyeti oldukça yüksektir. Genellikle, kalıp maliyeti bir alüminyum basınçlı döküm parça maliyetinin %20'sini oluşturmaktadır. Basınçlı döküm yönteminde kalıp ömrü başlıca dikkate alınması gereken bir konudur. Kalıp ömrünün %20'ye kadar artışı ABD'de 200 milyon \$ tasarruf sağlamaktadır [4]. Tek bir kalıptan üretilen parça sayısı artarken yöntem daha ekonomik hale gelmektedir. Kalıp ömrü alüminyum alaşımlarının dökümü için 20.000 ile 250.000 döküm sayısı arasında değişebilmektedir [5].

Sonuç olarak dökülecek malzemenin kimyasal bileşimi, döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, kalıp malzemesi ve bu malzemeye uygulanan ısıl işlem, kalıp ömrünü doğrudan etkileyen parametreleri oluşturmaktadır. Ayrıca sıvı metalin akış hızı ve basıncı da büyük önem

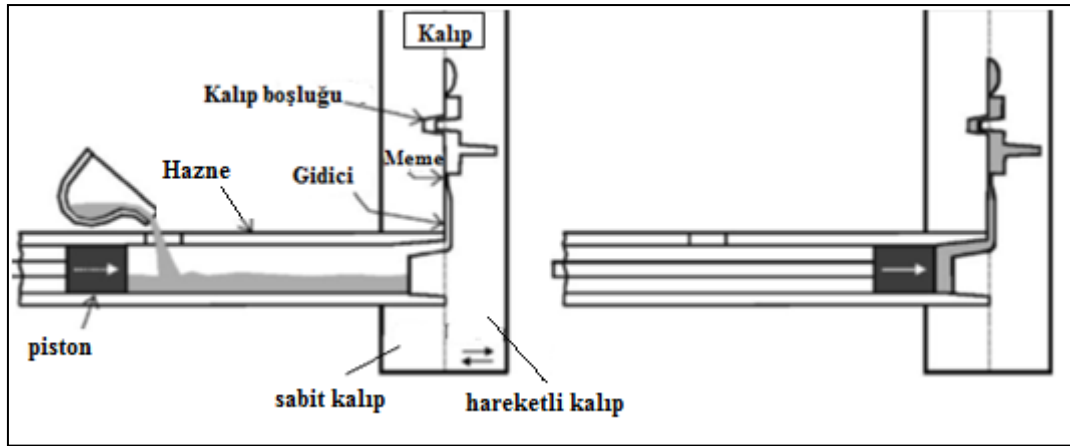
taşımaktadır. Tüm bu parametreler aynı zamanda basınçlı döküm yönteminde sürecin başarısını da etkileyen unsurlardır.

Hangi üretim yöntemi olursa olsun, araç ve gereçlerdeki yüzeysel bozulmalar malzeme maliyeti olarak doğrudan ya da zaman kaybı olarak dolaylı şekilde üretim maliyetlerini etkilemektedir.

Bu çalışmadaki amaç, basınçlı dökümde kalıp hasar mekanizmalarını incelerken, koruma yöntemi olarak zaman içinde gelişmiş olan özel kaplama yöntemleri ile kaplanan numunelerin dayanımlarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır. Ortaya çıkan deneysel veriler ışığında amaç, kalıp hasarının en aza indirgenmesi suretiyle basınçlı döküm sektöründe fiyat ve kalite açısından rekabet şansını arttırmak ve dolayısıyla ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır.

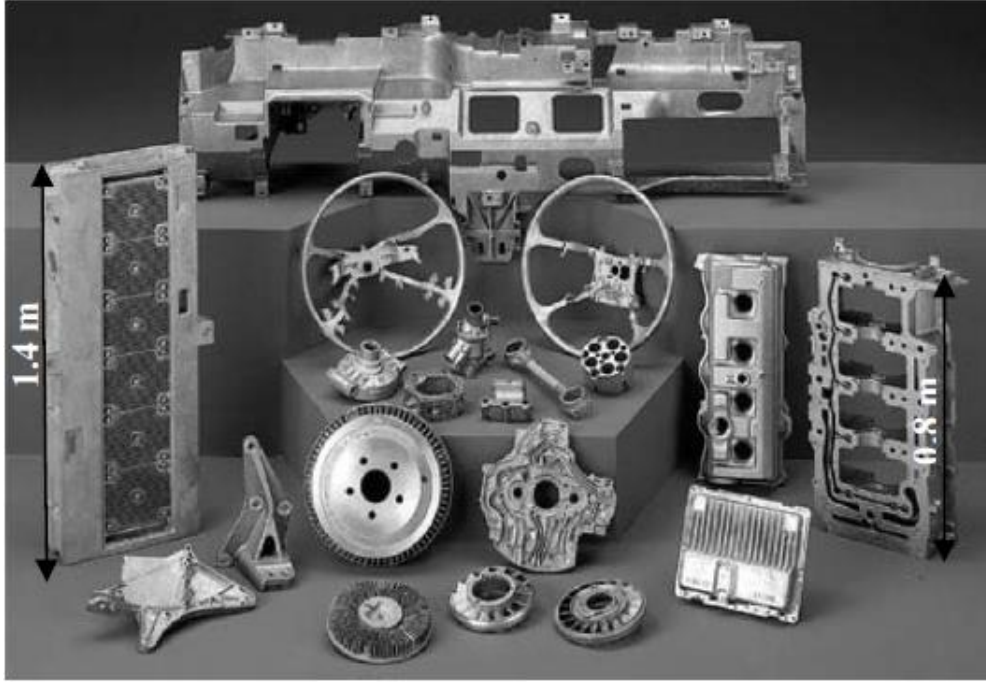
2. BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ VE KALIP MALZEMELERİ

Basınçlı döküm; ergimiş metalin, su veya yağ soğutmalı metal kalıp içine yüksek basınç altında ve yüksek hızda enjekte edilmesi kalıp boşluğunun doldurulması sonrası, katılaşmanın tamamlanması ve iş parçasının hızlı bir şekilde soğutulması akabinde kalıbın açılıp mekanik olarak tahrik edilen pimler sayesinde iş parçası kalıptan çıkartılması sürecidir. Basınçlı dökümün başlıca ekonomik avantajı çok dar ölçüsel toleranslarda ve pürüzsüz yüzey kalitesine sahip parçaların yüksek hızda üretimine olanak sağlamasıdır.



Şekil 2.1. Basınçlı döküm prosesinin şematik gösterimi [6]

İşlem sonucu elde edilen parçalarda genellikle talaşlı imalata gerek kalmamaktadır. Üretilen parçalar hızlı soğuma sonucunda ince taneli ve yüksek mukavemetli olurlar. Kalıp malzemesi olarak alaşımlı çelik ve bazen de demirdışı malzemeler kullanılabilir. Dökülen metalin ergime sıcaklığı yüksek ise alaşımlı sıcak iş takım çeliğinden yapılan kalıplar, düşük ise karbonlu çelik kalıplar kullanılır. Kalıpların sıcaklığının sabit kalması için genellikle su ile soğutulur. Böylece hem kalıp ömrü artar, hem de katılaşma esnasında hızlı soğuma sağlanır. Basınçlı dökümde kurşun, kalay, çinko, alüminyum ve magnezyum gibi demirdışı alaşımlar kullanılır.



Resim 2.1. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş örnek parçalar [7]

Yöntemin avantajları [7];

- Karmaşık biçimli küçük parçaların dökümüne uygundur.
- İnce cidarlı parçalarda kalıbın tam olarak dolması sağlanır.
- Üretim hızı yüksektir.
- Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok yüksek olduğundan genellikle ek bitirme işlemlerine gerek kalmaz.
- Hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli içyapının mekanik özellikleri iyidir.

Yöntemin dezavantajları [7];

- Genelde küçük parçaların üretimine uygundur.
- Kalıp tasarımı güçtür.
- Döküm makinesi için yüksek bir ön yatırım gereklidir.
- Kalıp masrafı nedeniyle ancak seri üretimde ve çok sayıda parça için ekonomiktir.
- Yüksek sıcaklıkta ergiyen malzemelerin dökümü yapılamaz.

2.1. Geleneksel Kalıp Malzemeleri

Basınçlı dökümde kullanılan kalıp malzemeleri döküm alaşımına bağlı olarak değişir. Çünkü kullanılacak olan kalıp döküm maliyetinin %20'si kadardır ve alaşımın kimyasal bileşimi, döküm sıcaklığı, basıncı ve buna bağlı olarak gelişecek olan kimyasal ve fiziksel olay zincirlemeleri değişiklik gösterdiğinden, uygunsuz veya aşırı mukavim kalıpların seçimi dayanıklılık-ekonomiklik ilişkisine ters düşecektir. Yani temel etmen döküm alaşımının kimyasal bileşimi ve bunun yan etkenleri basınç, sıcaklık, kimyasal ilgi, fiziksel etkenler ve mekanik zorlamalardır.

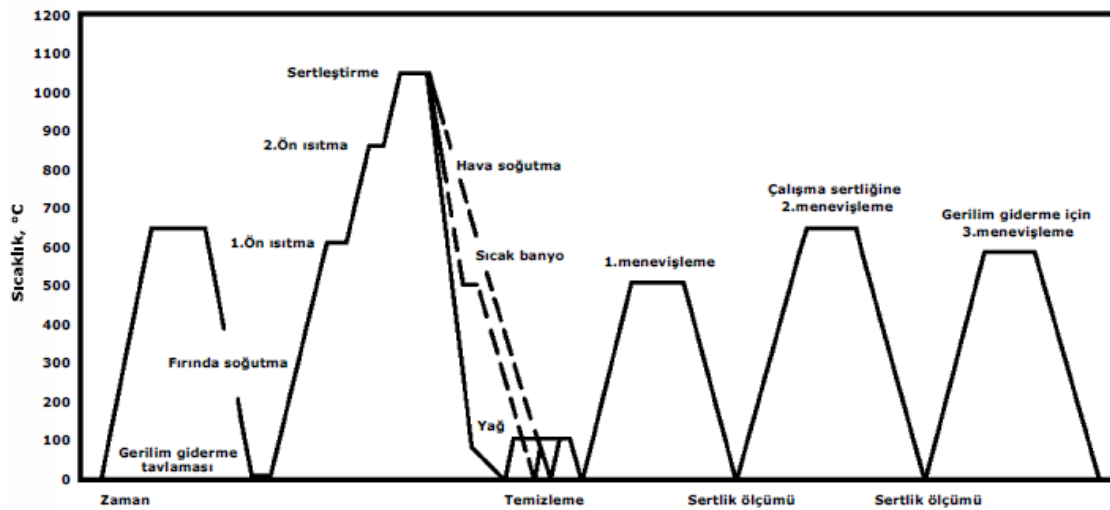
Basınçlı dökümde kullanılan döküm alaşımları ergime derecesi düşük alaşımlardır. Bunların başında alüminyum alaşımları gelirken, bunu magnezyum alaşımları, çinko alaşımları, çinko-alüminyum alaşımlarını takiben bakır alaşımları, kalay ve kurşun alaşımları takip eder. Kalıp hasar mekanizmaları irdelenirken alüminyum alaşımlarının dökümü esas alınmaktadır. Bunun sebebi, diğer alaşım gruplarının kimyasal ilgilerinin olmamasıdır. Bu nedenle, akademik çalışmalar alüminyum esaslı alaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Magnezyum esaslı alaşımlarda yapılan çalışmalarda dahi alüminyum ihtiva eden alaşımlar seçilmiştir [8].

Örneğin silisyum gibi alaşım elementleri ve bunların oranları demirin alüminyum içerisinde çözünme hızını etkiler. Yapılan bir çalışmada Si miktarının artmasıyla Al atomlarının difüzyon hızının azaldığı, metaller arası bileşik oluşturma eğiliminin gerilediği görülmüştür [9].

Geleneksel olarak kullanılan basınçlı döküm kalıp malzemeleri; 1,2365 (AISI H10), 1,2343 (AISI H11) ve 1,2344 (AISI H13) olarak bilinen sıcak iş takım çelikleridir. Bu çelikler yüksek ısı şartlarında mekanik özelliklerini korudukları için doğal olarak tercih edilmektedir. Bu mekanik özelliklerinin ısıl işlemle geliştirilebilmesi yüzeye yapılan koruma amaçlı sert kaplamaların fiziksel direncinin, döküm şartlarındaki mekanik zorlamalara karşı kararlı kalmasını mümkün kılmaktadır. Bu kaplamalar sert ve zor okside olan, kimyasal reaksiyonlara ve fiziksel etkenlere karşı kalıp ömrünü uzatmaya yardım eden AM_xBN_y şeklinde nitrür bileşiği kaplamalardır. Bu kaplamalar kalıp korumada birincil öneme sahiptirler. İkinci koruma yöntemi, ısı şoku asgariye indirme amaçlı soğutma sıvısı kanalları açılmasıdır.

Şekil 2.2’de östenitleme sıcaklığı 1020–1060°C arasında olan sıcak iş çeliklerinin ısıl işlem şeması görülmektedir [10].

Bu tür çeliklerin ısıl işleminde birinci aşama imalat öncesi gerilim gidermedir. Bunun amacı malzemenin dökümünü takiben katılaşma ve farklı kesit soğumasından oluşacak olan gerilimlerin giderilmesidir [10]. Eğer dövülerek bir şekil verme söz konusu olacaksa, parçanın 1050–1100°C arasında uzun süre tutularak 900°C’ye düşene dek dövülmesi ve bu döngünün parça şeklini alana dek tekrar etmesi gerekir [11]. Buradan sonraki gerilim giderme tavlaması 850–900°C’ye kadar yavaş ısıtma, 500–550°C’ye kadar yavaş (4°C/dk), sonrasında havada soğutmadır [11,12]. Talaşlı imalat sonrası gerilim giderme ki; ısıl işlem şeması buradan başlar. Yapılan bu işlemde oluşan iç gerilimler ortadan kaldırılır [10,11]. Ayrıca; bu safha, döküm sonrası yapılan gerilim giderme tavlamasını da tarif eder. Bu tavlama sayesinde hem parça iç gerilimleri giderilir, hem de parça talaşlı imalata girdiğinde takım ömrü uzatılmış olur [10].



Şekil 2.2. Şematik olarak sıcak iş takım çeliklerinin ısıl işlem uygulaması [10]

Çizelge 2.1, Çizelge2.2 ve Çizelge2.3 sırasıyla H11, H13 ve H10’a ait kimyasal bileşimlerini, ısıl işleme dayalı mekanik özelliklerini ve ısıl işlem ortamlarını göstermektedir [13,14]. Aynı sırayla TTT ve temperleme diyagramları Şekil 2.3 - Şekil 2.8 [15] arası verilmiştir.

Çizelge 2.1. Sıcak iş takım çelikleri ve kimyasal bileşimleri [13]

Malzeme No	Sembol	Kimyasal bileşim (ağırlıkça %)						
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
1.2343	X38Cr5Mo1V	0,36–0,42	0,90–1,20	0,30–0,50	4,8–5,50	1,10–1,40	-	0,25–0,50
1.2344	X40Cr5Mo1V	0,37–0,43	0,90–1,20	0,30–0,50	4,80–5,50	1,20–1,50	-	0,90–1,10
1.2365	X32Cr5Mo3V	0,28–0,35	0,10–0,40	0,15–0,45	2,70–3,20	2,60–3,00	-	0,40–0,70

Çizelge 2.2. Sıcak iş takım çeliklerinin ısıtılma durumu ve mekanik özellikleri [13]

Isıl İşlem Şartları					Çekme Dayanımı													
Malzeme No	Sembol	Sıcak şekil verme sıcaklığı °C	Yumuşak tavlama	Meneviş sıcaklığı °C	Sertleştirme ortamı				Sertleşmiş halde MPa	Meneviş sıcaklığına (°C) göre çekme dayanımı (MPa)							Kullanma dayanımı	
					su	yağ	hava	Sıcak Banyo °C		400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C		
1.2343	X38Cr5Mo1V	1100-900	760-780	235	550-650	-	*	*	*	1960	-	1960	2060	1910	1620	1230	980	1180-1770
1.2344	X40Cr5mo1V	1100-900	750-780	235	550-650	-	*	*	*	2010	-	1960	2060	1960	1720	1320	1130	1180-1770
1.2365	X32Cr5mo3V	1050-900	760-780	235	550-650	-	*	*	*	1720	-	-	1670	1620	1570	1320	1030	1180-1670

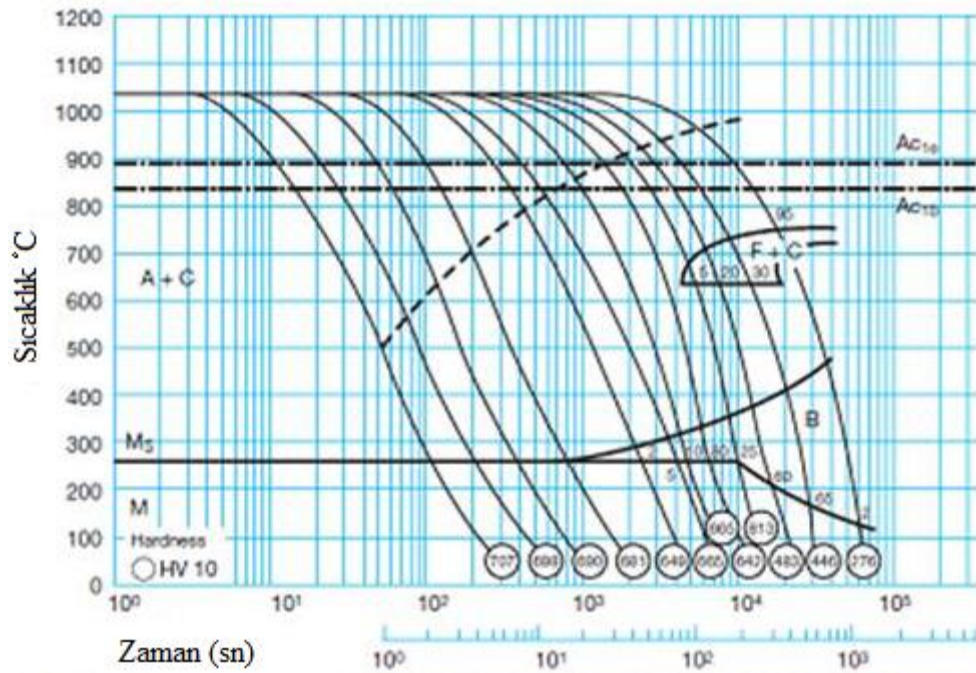
H11, H13 ve H10 sıcak iş çeliklerinin ısıtılma ortam ve süreleri benzerdir [13,14].

Bununla ilgili değerleri gösterir tablo Çizelge2.3’de verilmiştir [14].

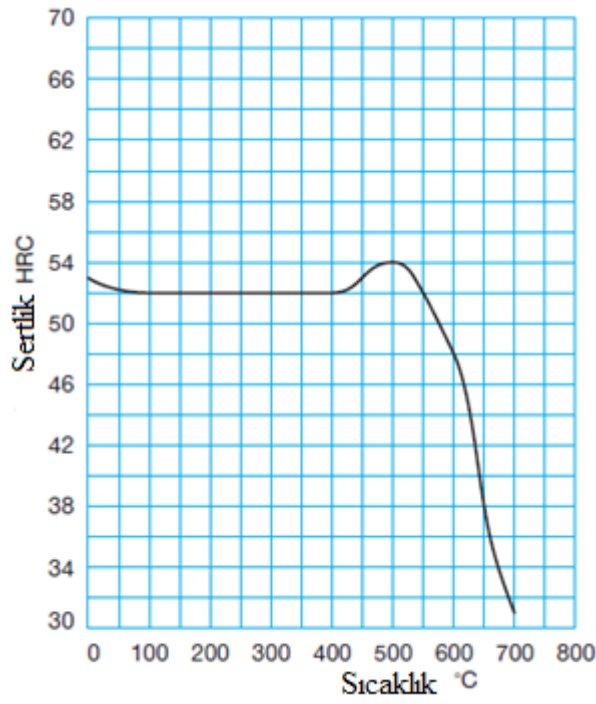
Çizelge 2.3. H11, H13 ve H10'a ait ısıt işlemleri ortamları ve süreleri [14]

Malz. No	Sembol	Sembol			
		Yumuşatma tavlama	Gerilim giderme	Sertleştirme	Menevişleme
1.2343	X38Cr5Mo1V	2-5 saat	2 saat	Grup 1	Her 20mm 1 saat min. 2 saat
1.2344	X40Cr5Mo1V	2-5 saat	2 saat	Grup 1	Her 20 mm 1 saat min. 2 saat
1.2365	X32Cr5Mo3V	2-5 saat	2h	Grup 1	Her 20 mm 1 saat min. 2 saat

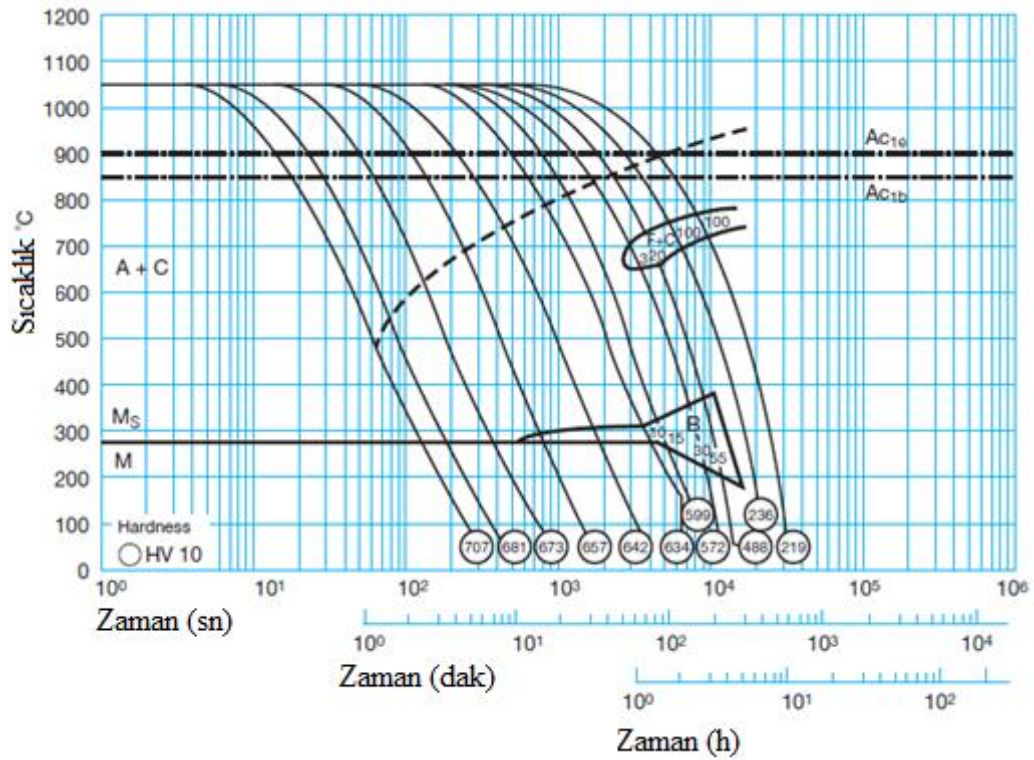
↑	↑	↑	↑
Fırında	Fırında	Yağ, hava, sıcak banyo (500°C)	Durgun hava
Soğuma ortamı			



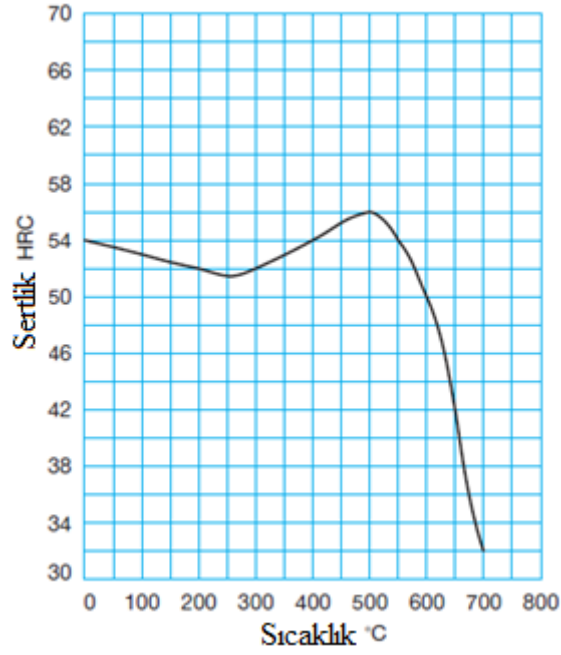
Şekil 2.3. 1.2343 (AISI H11) malzeme için “TTT” diyagramı [15]



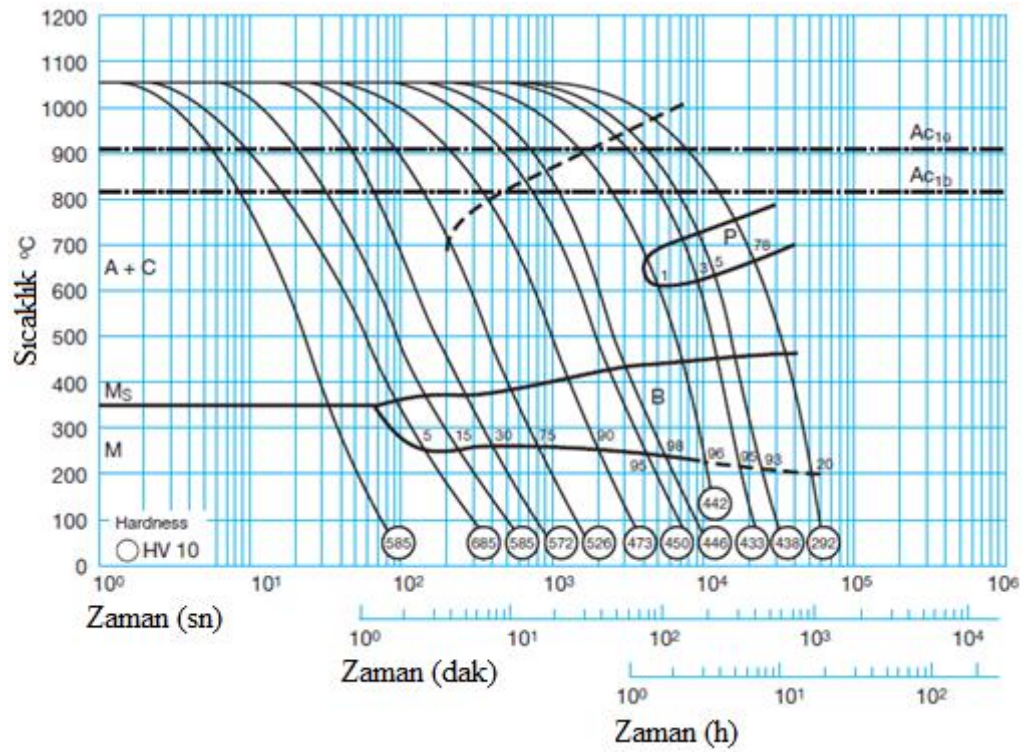
Şekil 2.4. 1.2343 (AISI H11) malzeme için “temperleme” diagramı [15]



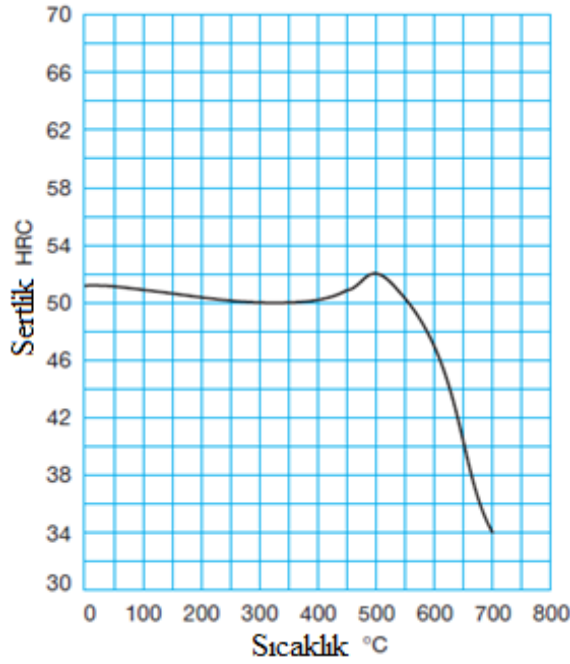
Şekil 2.5. 1.2344 (AISI H13) malzeme için “TTT” diagramı [15]



Şekil 2.6. 1.2344 (AISI H13) malzeme için “temperleme” diagramı [15]



Şekil 2.7. 1.2365 (AISI H10) malzeme için “TTT” diagramı [15]



Şekil 2.8. 1.2365 (AISI H10) malzeme için “temperleme” diagramı [15]

2.2. Geleneksel Olmayan Kalıp Malzemelerinin Davranışlarına Bakış

2.2.1. Nikel esaslı süper alaşımlar

Ni esaslı süper alaşımlar, üstün sürtünme ve iyi oksidasyon dayanımı ile yüksek sıcaklık uygulamaları için (özellikle türbin kanatlarında) yaygın olarak kullanılmaktadır. Süper alaşımlar bazı oda sıcaklığı fiziksel ve mekanik özelliklerini yüksek sıcaklık rejimlerde de koruyabilen karmaşık malzemelerdir [16].

Bu alaşımları, katı eriyik ve yaşlandırma ile mukavemet kazanan alaşımlar şeklinde ikiye ayırmak mümkündür. Yaşlandırma ile mukavemet kazanan alaşımları karakteristik olarak daha az kararlıdır. Bu malzemeler yapısal olarak denge haline geçiş durumundadır. Bu yüzden sıcaklık ve gerilim kaynaklı atomik hareketlenme yaşlanmanın devam etmesine ve bu şekilde dayanımın düşmesine neden olur. Mikroyapıda yer alan başlıca fazlar; γ matris, γ' metaller arası çökeltiler, MC, $M_{23}C_6$, M_6C türü karbürlerdir. $M_{23}C_6$, M_6C türü karbürler tane sınırlarında en çok görülenleridir. Diğerleri σ , μ veya Laves fazlarıdır. Başlıca yaşlanma fazı γ' $Ni_3(Al, Ti)$ 'dir. Ni esaslı bir süper alaşım artan sıcaklıklarda uzun süre gerilime maruz bırakıldığında önemli miktarlarda γ' kabalaşması oluşabilir [16].

Daha önceki ısı hasar çalışmaları, çatlakların taneler arası veya tane içinden başlayabildiğini göstermiştir. Taneler arası çatlaklar yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye maruz kalmış olan tane sınırlarında sürünmenin ve çevresel etkilerin katkısıyla başlar. Taneler içi çatlama daha düşük sıcaklıklarda ve yüksek frekanslarda yaşanır [16].

2.2.2. Titanyum alaşımları

Yüksek sıcaklıklarda başarılı oksidasyon direnci ve dayanımı kadar dayanım/ağırlık oranında çok dikkat çekicidir. Çeliklere ve Ni esaslı süper alaşımlara göre Ti alaşımlarının ergimiş Al'a olan direnci çok daha yüksektir. Ti iki kristalografik şekilde var olabilir; Ti- α , HSP oda sıcaklığında stabil olan bir fazdır ve 883 °C'de HMK yapıya sahip olan β fazına dönüşür. Görülen fazlar bağlamında Ti alaşımları α , yakın- α , α - β , yakın- β veya β alaşım olarak adlandırılırlar [16].

β fazı gibi mukavemetlendirici bir faz bulunmadığı için α alaşımlarına (Al ve Sn içeren) ısı ile dayanım kazandırılmaz. Bunlar tavlanmış veya yeniden kristalleştirilmiştir ve iyi kaynak edilebilirliğe sahiptirler. Yakın- α (Al, Zr, Mo ve Sn içeren) alaşımlar, ana faz olarak α ve biraz kalıntı β olması halinde ısı veya termomekaniksel işlem ile dayanım kazandırılabilir. α - β alaşımları çözündürme uygulaması ve yaşlandırma ısı işleminden gelen dayanım ve sünekliğin mükemmel kombinasyonu nedeniyle en çok kullanılanlardır. Yakın- β veya β alaşımları yüksek sertleşebilirliğe sahiptir. β alaşımları yüksek süneklik ve tokluğa sahiptirler [16].

Mükemmel kararlılığının ve korozyon direncinin yüksek sıcaklıklarda olmasına rağmen, alışla gelmiş dövme ve dökme Ti alaşımlarının sıcaklık sınırı 595°C'dir. Bu limit temel olarak uzun vadede yüzeysel ve kütsel metalurjik kararlılık sorunundan kaynaklanır. Bu limiti 700 °C'ye çıkarmak için titanyum-matris kompozitler, titanyum alüminatlar, toz metalurjisi gibi yeni alaşım sistemleri veya gelişmiş kaplamalar kullanılmalıdır [16].

2.2.3. Bakır alaşımları

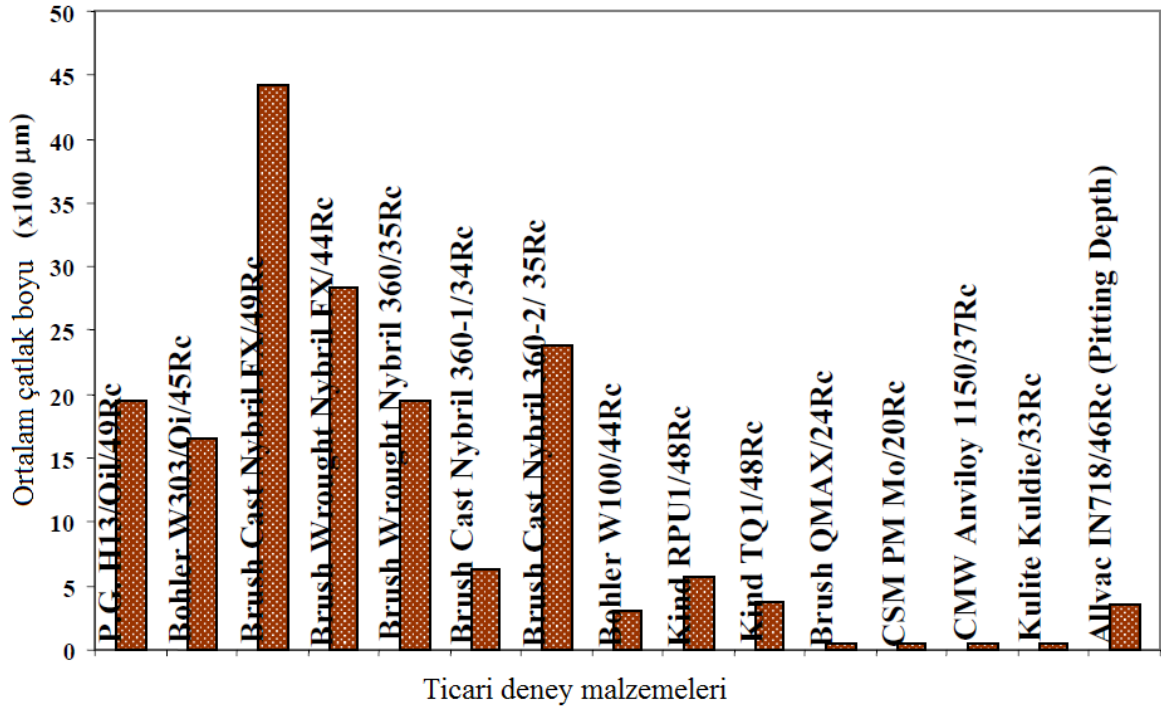
Bakır alaşımlarının en önemli özellikleri; iyi dayanım özelliğine ek olarak iyi korozyon direncine, mükemmel elektriksel ve ısı iletkenliğe sahip olmasıdır. Burada öne çıkan alaşım ergiyik Al'a olan direncine göre üstün özelliklere sahip bakır-berilyum (Cu-Be)

alaşımlarıdır. Bu direnç, yaşlandırma işlemi ile sağlanan yüksek dayanım ile ilişkilidir. Örnek olarak C17200 (98Cu–1.9Be–0.2Co) alaşımı 1460 Mpa gibi yüksek çekme dayanımına ulaşabilir. Cu-Be alaşımları kalıp ve maça yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Enjeksiyon piston kafası olarak da düşünülmüş ve uygulanmıştır. Sertleştirme fazı eşeksenli α -Cu matris içinde küresel uniform dağılımlı berilyum bileşikleridir ((Cu,Co)Be). Bu faz 8 saat üzeri veya yüksek sıcaklıkta (315 °C) yaşlanma ile tane sınırlarında hücrel çökelti bantları oluşturma eğilimindedir. Birçok uygulama ince dağılımlı çökelti alaşımların geliştirilmesi odaklıdır. Bakır alaşımlarında ince dağılımlı çökelti içermesindeki sınırlılıklarından biri 500 °C üzerindeki dayanım eksikliğidir. Bunun nedeni çökeltilerin aşırı büyümesidir. Rejim sıcaklığını artırmak için metaller arası bileşik çökeltileri iyi kararlılık ve yüksek sıcaklıkta büyümeye direnç göstermelidirler [16]. Yani tane sınırları ve/veya tane yapısı ve/veya sınırlardaki çökeltilerin ince yapısı korunmalı, sınır fazının tane büyümesiyle ters orantılı olarak azalması ya da bununla birlikte sınırlardaki çökeltilerin kararlılığını kaybetmesi engellenmelidir.

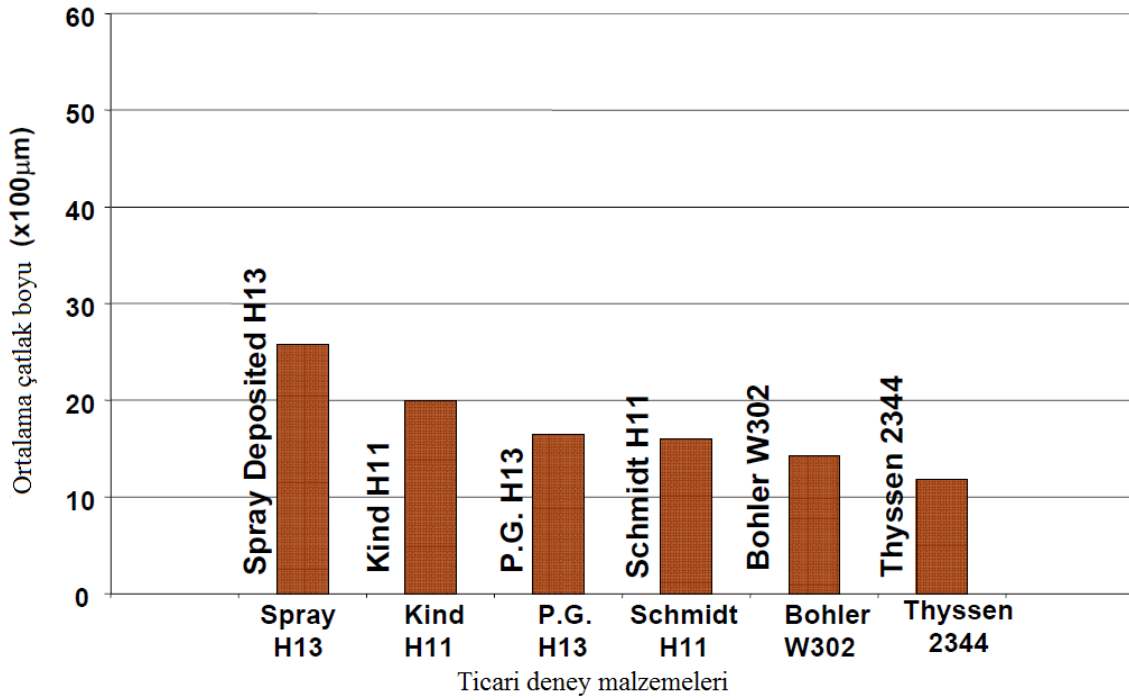
Çizelge 2.4’de yapılan bir çalışmada kullanılmış farklı türlerdeki kalıp malzemelerinin kimyasal bileşimleri verilmektedir. Şekil 2.9’da wolfram (W) esaslı malzemelerin ve Cu-Be alaşımlarının çatlak oluşumuna karşı oldukça başarılı oldukları görülmektedir. Keza titanyum esaslı ve saf molibdenden ibaret kalıp malzemeleri de aynı derecede başarılıdır. Deney sonucunda bu kalıp malzemelerinde oluşan çatlak boyları birkaç yüz μm ’yi geçmezken Şekil 2.10’da geleneksel kalıp malzemelerine baktığımızda çatlak boyunun 1000-2500 μm arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.4. Deneyde kullanılan demirdışı malzemelerin kimyasal bileşimleri [16]

Malzeme	Kimyasal Bileşim (ağırlıkça %)										
	C	W	Mo	Fe	Ni	Ti	Cu	Be	Cr	Nb	Sn
Cmw-anviloy1150		90	4	2	4						
Kulite-kuldie		90	4	2	4						
Allvac 718L	0,01		3,1	18,2	53,8	0,93			17,9	5,06	
Csm-pm Mo			100								
Brush-QMAXCu-Be					0,2		kalan	2			
Brush-Nybril360 Ni-Be					kalan	0,5		2			
Brush-Nybril-FX1 Ni-Be					kalan	0,5	12,5	1			
Brush-NBCX Ni-Be					kalan	0,5	12,5	1,2			
Brush-M220C Ni-Be	0,4				kalan			2			
Brush ToughMet2					9		kalan				6
Brush ToughMet3					15		kalan				8



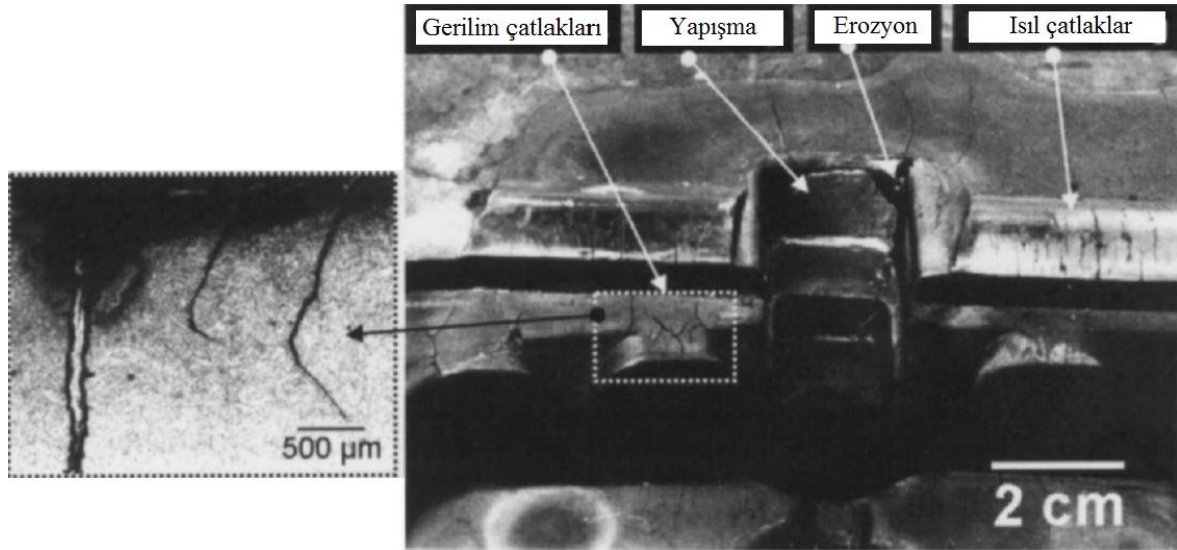
Şekil 2.9. Demirdışı malzemelerde 15000 döngü sonrası oluşan ortalama çatlak boylarının demir esaslı olanlarla karşılaştırılması [16]



Şekil 2.10. Geleneksel kalıp malzemesi alaşımı örneklerde 15000 döngü sonrası oluşan ortalama çatlak boyları [16]

3. BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASAR MEKANİZMALARI

Alüminyum-Silisyum (Al-Si) alaşımları mükemmel döküm özellikleri, kaynak edilebilirlikleri ve korozyon direnci nedeniyle en önemli Al esaslı döküm alaşımlarıdır [17,18]. Bu özelliklere ek olarak, Al-Si alaşımlarının yüksek aşınma direncine, düşük ısı genleşme katsayısına, iyi korozyon direncine ve geniş sıcaklık aralığında iyi mekanik özelliklere sahip olması [19,20], mühendislik malzemelerinde öne çıkmasını sağlamıştır. En yaygın şekilde kullanılan Al-Si alaşımları ötektik altı veya ötektik bileşime sahip olanlardır [21]. Örnek olarak Al-7Si alaşımları; denizcilik, elektrik, havacılık ve otomobil endüstrilerinde silindir blokları ve kafaları ve diğer motor gövde dökümleri olmak üzere geniş uygulama alanı bulmuştur [17,18]. Bu nedenle basınçlı döküm ve basınçlı döküm kalıp malzemeleri üzerine yapılan akademik çalışmaların büyük çoğunluğunda Al-Si döküm alaşımları, deneylerin temel unsuru olarak seçilmiştir. Basınçlı döküm sektörünün yaşadığı kalıp hasar türlerinin tümünü, daha önce birinci bölümde tasnifi yapılmış haliyle Şekil 3.1’de bir arada görmek mümkündür.

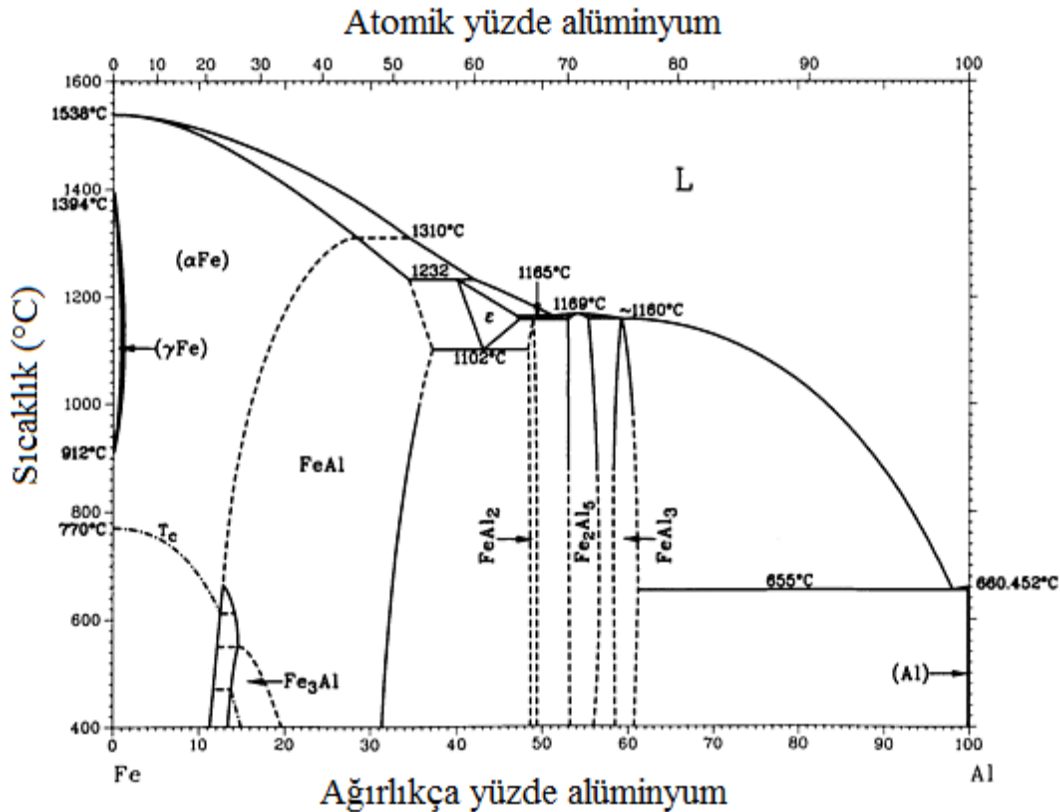


Şekil 3.1. Kalıpta meydana gelen hasarlar [23]

3.1. Kalıba Yapışma Mekanizması ve Kimyasal İlişkiler

3.1.1. Temel kimyasal ilişki

Demir, alüminyum alaşımlarında en önemli kirliliklerden biridir ve basınçlı döküm alaşımlarında daima bulunur. Alüminyumda demirin katı çözünebilirliği çok düşüktür. Basınçlı döküm için ötektik Al-Si alaşımları, kalıptan ayrılmayı temin etmek ve böylece yüzeyi korumak için belirli oranda demir içermektedir [22]. Alüminyum-Demir (Al-Fe) faz diyagramına göre alüminyum ile demir katı çözelti, metallararası bileşik ve ötektik reaksiyon oluşturmaktadır [24]. Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1’de [24] γ Fe içinde Al miktarının pek az olduğu ve Al döküm sıcaklığında oluşmadığı, α Fe içinde oldukça fazla Al çözünebildiği ve Al döküm sıcaklığında α Fe fazının var olduğu dikkat çekmektedir. Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1’e bakıldığında, kalıp malzemesinin α Fe fazının olumsuz etki yaratacağı konusunda kesin bir yargıya ulaşılırken, γ Fe içinde neredeyse hiç çözünme olmadığı görülmektedir. Buradan hareketle döküm sıcaklığında bulunabilecek tek γ Fe fazı; kalıntı östenit olabileceğinden kalıp malzemesinde martenzit plakaları arasında kalıntı γ bulunmasının olumlu olabileceği düşünülmelidir.



Şekil 3.2. Al-Fe Faz diyagramı [24]

Çizelge 3.1. Fazlara göre Al'nin çözünme miktarları [24]

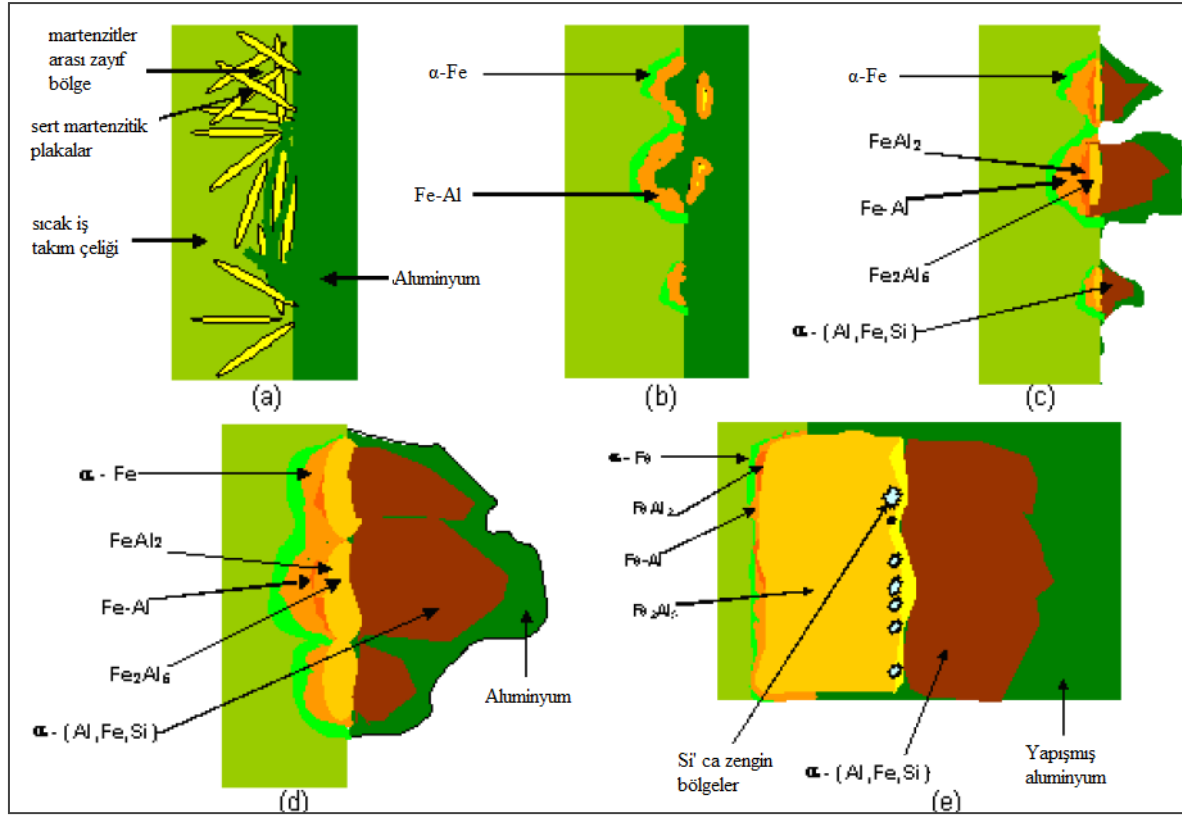
FAZ	KOMPOZİSYON (Ağırlıkça %AL)
α Fe	0–28
γ Fe	0–0,6
FeAl	12,8–37
Fe ₃ Al	13–20
ϵ	40–47
FeAl ₂	48–49,4
Fe ₂ Al ₅	53–57
FeAl ₃	58,5–61,3
Al	100

3.1.2. Kalıba yapışma mekanizması

Kalıp yüzeyi her döküm döngüsünde ergimiş metale maruz kalır. Kalıp malzemeleri genel olarak HRC29-HRC48 sertlik değeri elde etmek için ısıtılma işleminden geçirilir [23]. Her döküm döngüsü sırasında Al ergiyik kalıp yüzeyindeki daha yumuşak bölgelerde, difüzyon sonucu küçük nüfuziyet bölgelerinin oluşmasına yol açmaya başlar [25]. Bu beş aşamalı süreç Şekil 3.3'de gösterilmektedir [26].

Alüminyumun birincil etkisi; kalıp yüzeyinde, mikroyapıdaki nisbeten yumuşak bölgelerde oyuklar açmak şeklinde olur ve bu oyuklar üzerinde Fe-Al (FeAl₂, Fe₂Al₅ ve FeAl₃) metallerarası bileşikler oluşur [26, 27]. Bu bileşiklerin üzerinde, Al_xMe_ySi_z üçlü faz reaksiyonları ilerleyen evrelerinde oluşur [25-27]. Bu yumuşak bölgeler martenzitik plakalar ve karbürler arasında kalan α -Fe bölgeleridir (Şekil 3.3.a). Bu bölgelerin aşınması α -Fe katı çözeltisinin alüminyum tarafından aşındırılması ile gerçekleşir [26]. Bu noktada difüzyon eğilimi yavaşlamaya ve çözünme eğilimi hız kazanmaya başlasa da halen difüzyon, çözünme eğiliminden fazladır [25]. Tane sınırları ve yumuşak bölgeler bir kez Al tarafından çözünürken yarı küresel oyuklar şekillenmeye başlar (Şekil 3.3.b). Bu oyuklar üzerinde Fe-Al (FeAl₂, Fe₂Al₅ ve FeAl₃) metaller arası bileşikler oluşur. Bu şekillenme, oluşan fazların sürekli yenilenen sıvı metal nedeniyle reaksiyonu ve demirin kalıp yüzeyinden difüzyonu nedeniyle gerçekleşir (Şekil 3.3.b) [26].

FeAl_3 fazı Al ve Si ile reaksiyona girerek $\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$ üçlü fazını oluşturur. Bu faz piramit şeklinde büyür, komşu oyuklar üzerinde oluşan piramitlerle birleşir ve büyüme devam eder. Bu üçlü faz diğer oluşan fazlara göre en kalın olanıdır [26]. Bu fazın büyümesi ile birlikte artık difüzyon ihmal edilebilir boyutlara geriler, bu noktadan itibaren çözünme baskındır [25]. Kalıptan ve sıvı metalden gelen Si, Cr, Mn, V vb. elementler Fe_2Al_5 metallerarası bileşik fazının tane sınırlarında çökelmeye başlar. Silisyumca zengin çökeltiler ikili ve üçlü fazların sınırlarında yer alır (Şekil 3.3.c.). $\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$ üçlü fazı piramit şeklinde büyür, komşu oyuklar üzerinde oluşan piramitlerle birleşir ve büyüme devam eder (Şekil 3.3.d). Yüzeyde oluşan bu yapı üzerine yapışma gerçekleşir ve sonunda parçanın kalıptan ayrılmasına neden olur (Şekil 3.3.e.) [26].



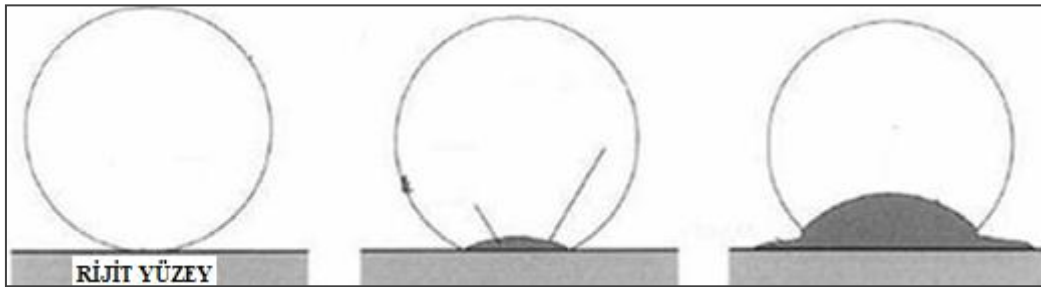
Şekil 3.3. Beş aşamalı yapışma olayının şematik gösterimi [26]

3.2. Diğer Hasar Türleri

3.2.1. Çarpma erozyonu hasarı

Çarpmanın etkisi erozyonun gerçekleşmesinde diğer bir etkindir. Chen ve Jahedi'nin çalışmasında atıf yapılan Lesse, 50 m/sn üzeri sıvı çarpma hızında çarpma erozyonunun meydana geldiğini ifade etmektedir. Yüksek basınçlı dökümde genelde kalıbın yüksek hızda doldurulması söz konusudur, bu bağlamda nisbeten daha düşük hızlarda doldurma tercih edilebilir [30].

Sıvı çarpma erozyonunun temel mekanizmasını anlamak için en önemli teori güdümlü akustik şok (GAS) teorisidir. Bu teori katı kalıp yüzeyine çarpan yüksek hızdaki sıvı damlasının etkisini tanımlar. Bu çarpmanın darbe basıncı ve çarpma sonrası yüzeyi yatay olarak yalayan hızlanmış sıvı akışı olmak üzere iki sonucu vardır. Bu durum Şekil 3.4'de gösterilmiştir [30].



Şekil 3.4. Sıvı damlasının kalıp yüzeyine çarpması ile oluşan darbe basıncı ve çarpma sonrası yüzeyi yatay olarak yalayan hızlanmış sıvı akışı [30]

Sünek malzemelerde bu iki etkinin sonucu olarak çöküntü, plastik deformasyon ve bunun sonucunda aşınmış yüzeyde oyuklar meydana getirir. Bu darbe etkisi sıvı çekiç baskısı olarak adlandırılır ve aşağıdaki Eş. 3.1'de verilen [30] formül ile ifade edilir.

$$P_{avg} = \rho C V_i \quad (3.1)$$

P_{avg} ortalama basınç, ρ sıvı yoğunluğu, C sıvının akustik hızı, V_i sıvının çarpma hızıdır. Şekil 3.4'te temas yüzeyinin çevresel büyümesi ile P_{max} değerine ulaşması gösterilmektedir. Ancak, P_{max}/P_{avg} değeri kesin değildir. Deneysel olarak 1,5 ve 1,8 olarak belirlenen çalışmalar olsa da, 1,1'den 2,8'e kadar farklı değerler alınabilmektedir. Bu

nedenle P_{max}/P_{avg} değerinin ≈ 2 alınması önerilmektedir. Akustik hız birçok metal için halen belirlenmiş değildir. Ergimiş Al için mevcut tavsiye edilen $C_{sıvı\ akustik}$ için 1000-2800 m/sn arası bir değer alınabilir. Ergiyik Al için $C_{sıvı\ akustik}$ değerinin 2500m/sn olarak alınması durumunda hesaplama aşağıda yapılmıştır [30].

$$P_{avg} = \rho C V_i = 2700 \text{ kg/m}^3 \times 2500 \text{ m/s} \times 50 \text{ m/s} = 338 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = 2P_{avg} = 676 \text{ MPa}$$

Buradan, kalıp iç yüzeyinin alanı ile elde edilen P_{max} değeri çarpıldığında, kalıbın kapatılması için gereken emniyetli basınç ve kalıp malzemesinin, türü ve dayanımına göre sahip olması gereken asgari kesit ölçüleri teorik olarak hesaplanabilir.

3.2.2. Isıl hasar

Döküm döngüsü süresince kalıp yüzeyi ile kalıp merkezi arasında bir sıcaklık gradyanı meydana gelir. Bu, kalıp yüzeyinde elastik ve plastik şekil değişimlerine sebep olan yüksek basınçlı gerilimlere neden olur [2,31]. Farklı kesitlerde oluşan farklı sıcaklık gradyanları nedeniyle genleşmeler, kalıp yüzeyinde daralmalar ve/veya yumuşamalar olmaktadır. Bu durum, dökümün basınç ve çarpma etkisiyle kalıp malzemesinin yapısal bütünlüğünün yanı sıra üzerindeki kaplama arasındaki yapısal uyumu bozacaktır.

Oluşan sıcaklık gradyanı nedeniyle oluşacak genleşme Eş. 3.2'den çekilebilir [32].

$$\alpha (T_2 - T_1) > 2 \frac{(1-\nu_1)\sigma}{E_1} + 2 \frac{(1-\nu_2)\sigma}{E_2} \quad (3.2)$$

α = Ortalama ısı genleşme katsayısı

σ = Gerilim

ν = Poisson oranı

E = Elastik modül

1 ve 2 indisleri max. ve min. vurgusu içindir.

Isıl çatlama üç aşama olarak tarif edilebilir. Çekirdeklenme, öncül büyüme ve büyümenin devam etmesi. Çatlağın çekirdeklenmesi için yerel plastik gerinim ve yüzeyden malzeme

kaybıyla takip edilen Al alaşımasının yapışması kaynaklar olarak sayılabilir. Isıl hasar çatlaklarının öncül büyümesi, çatlak yüzeylerinin oksitlenmesi sayesinde tetiklenir. Büyümenin devam etmesi, bu çatlakların ergimiş malzeme ile dolması, oksidasyon ve kalıp malzemesinin yumuşaması gibi nedenlerle gerçekleşir. Bu tür çalışma şartlarında tüm çelikler genel bir yumuşama eğilimi gösterir. Bazı durumlarda başlarda sertleşme görülse de sonunda yumuşama galip gelir [31].

Yapılan bir çalışmada [32] yer alan, çatlak oluşumu için Coffin-Manson tarafından geliştirilen/önerilen formül Eş. 3.3'de verilmiştir.

$$N_F^n \varepsilon_p = C \varepsilon_f \quad (3.3)$$

ε_p = plastik gerinim aralığı

ε_f = kırılma gerçek deformasyon miktarı (malzemeye özgün)

C = sabit (0-1)

n = malzeme sabiti (0-1)

N_F = döngü sayısı

a = çatlak boyu

ρ ve q = malzemeye bağlı pozitif sabitler

Çatlak büyümesi aşağıdaki Eş. 3.4'de verilmektedir [32].

$$\frac{da}{dN} = a\rho(\varepsilon_p)^q = a\rho \left[\alpha (T_2 - T_1) - \frac{(1-V_1)\sigma_1}{E_1} - \frac{(1-V_2)\sigma_2}{E_2} \right] \quad (3.4)$$

Yumuşama için de üç seviye gözlenmiştir. 1) Dislokasyon yoğunluğunda azalmayla kontrol edilen hızlı yumuşama, 2) Karbür dönüşümüyle güdümlü kısmi bölgesel yumuşama, 3) Büyük çatlaklar sebebiyle oluşan şiddetli gerilim azalması [31]. Sıcak iş takım çeliğindeki yumuşama ve çatlak miktarı, özellikle iyi yapılmamış ısıtma işlemle ilişkilendirilir [2,31].

4. BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP HASAR MEKANİZMALARININ OLUŞMASINI ÖNLEME YÖNTEMLERİ

Basınçlı dökümlerde ana maliyet kalemi olan kalıbın kullanım ömrünün uzatılması çabaları üç temel unsura odaklanmaktadır. Bunlardan birincisi döküm şartlarında (sıcaklık, basınç ve aşınma) mukavemet ihtiyacını karşılayacak nitelikte malzemenin seçimidir. İkinci olarak bu malzemenin uygun ısıtılma işlemi tabii tutulmasıdır ve bunun bir amacı da üçüncü unsur olan yüzey kaplamanın mekanik dayanımına katkıda bulunmasıdır. Yüzey kaplama işleminin amacı ana yapı diyebileceğimiz kalıp malzemesinin yüzeyinde gerçekleşmesi beklenen kimyasal, mekaniksel ve ısıtılma etkenlerinin meydana getirdiği hasar mekanizmalarını ve bu mekanizmaların çalışması sonucunda gerçekleşen yapışma olayını geciktirmektir.

Kalıp malzemesi olarak en çok kullanılan malzeme H13 (1.2344) sıcak iş takım çeliğidir. (Bölüm 2’de basınçlı döküm yöntemi ve kalıp malzemeleri irdelenirken geleneksel ve deneysel amaçlı malzemelerde açıklanmıştır). Gerçekte, H13 malzemenin ısıtılma işlemi görmemiş hali döküm sırasındaki mukavemet ihtiyacını karşılar niteliktedir. Ancak, yüzey reaksiyonlarını geciktirecek olan bir kaplamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kaplamanın kimyasal etkilere dayanıklı olması yanında erozyon direnci ihtiyacı nedeniyle de çok sert olması gerekmektedir. Bu kadar yüksek sertlik değerine sahip olması, altında ona yataklık edecek malzemenin de sertliğinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Aksi halde çok ince ve sert bir kaplamanın altındaki yumuşak yapı, düşük basma dayanımı nedeniyle üstündeki sert-kırılgan ince kaplamanın kırılmasına neden olacaktır. Bu nedenle ısıtılma işlemi sonrası yüzeyde, yaklaşık 50 HRC sertlik değeri aranmaktadır.

Bu kaplamalar esasen malzemenin yüzey ve/veya yüzeye yakın kısımlarının fiziksel özelliklerini değiştirmeyi amaçlayan yüzey mühendisliği teknolojilerinin bir kısmını oluşturur [34]. Bu amaçla yapılan diğer yöntemler, kabaca; difüzyonla ve ısıtılma işlemi yapılan çalışmalar olarak sınıflandırılabilir.

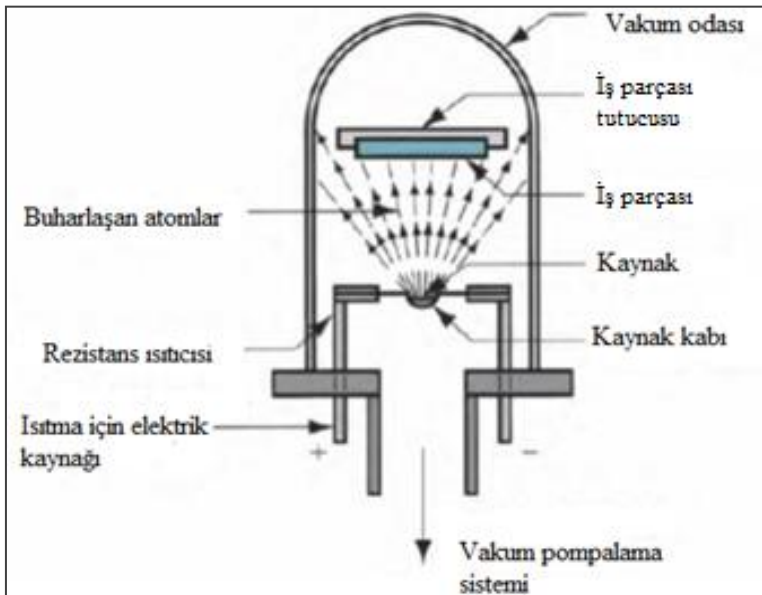
4.1. Kullanılan Kaplama Türleri ve Metotları

Bu kaplamaların amacı yukarıda bahsedildiği gibi yüzeyin fiziksel ve kimyasal dayanımını artırmak olup; bunu, malzeme üzerinde oluşturdıkları metalik bileşiklerden meydana gelen mukavim ince film sayesinde sağlarlar [34, 35]. Bu ve benzeri ağır hizmet çelikleri için kullanılan kaplama türleri genellikle Ti ve/veya N esaslı metal bileşikleridir.

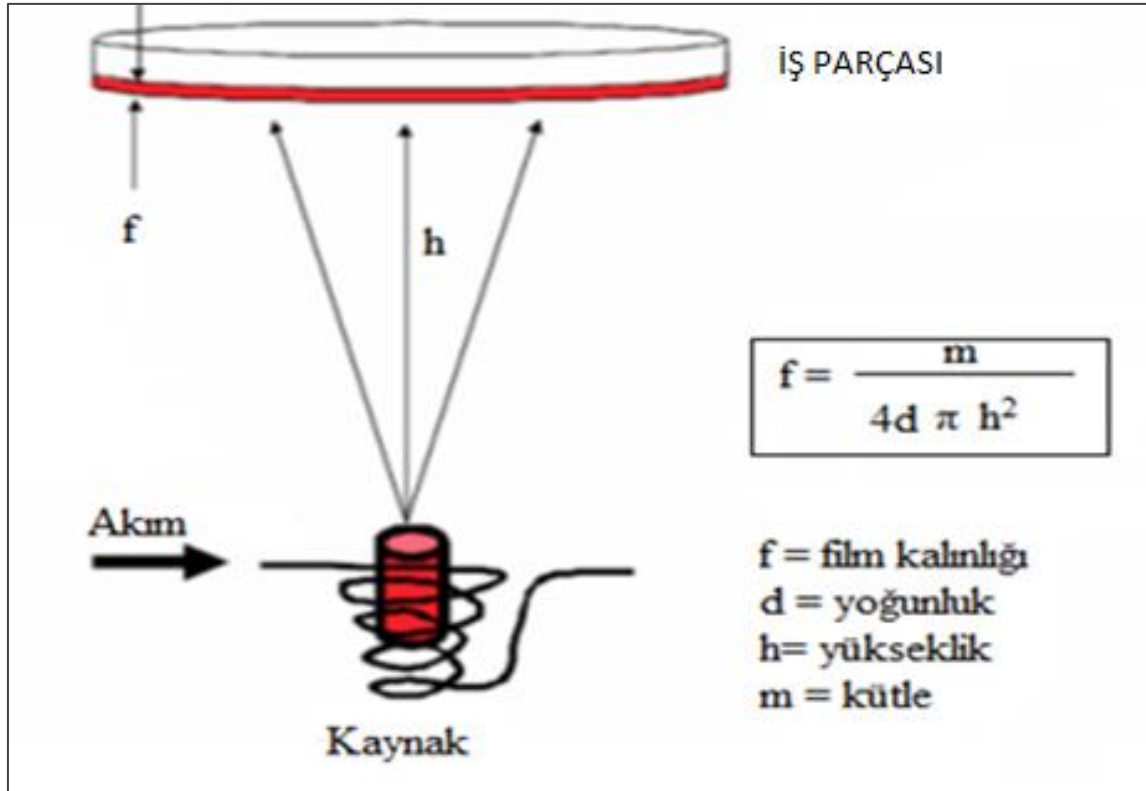
Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapour Deposition [PVD]) ve Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition [CVD]), bu sert kaplamaların uygulanmasını sağlayan günümüz yöntemleridir. Bu kaplama yöntemlerinde, buharlaştırma teknikleri farklı olsa da, temel uygulama kaplanacak malzemenin buharlaştırılması, bu malzemenin belli bir ortamda taşınması ve iş parçası üzerinde biriktirilmesi olmak üzere üç aşamalı bir süreçtir.

4.1.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi

Bu yöntem temel olarak sert kaplamayı oluşturacak olan malzemenin fiziksel yöntemle buharlaştırılarak kaplanacak iş parçası üzerine biriktirilmesi (yoğuşturulması) esasına dayanmaktadır [34-36]. Bu malzeme katı ya da sıvı halde bulunabilir ve tipik birikme hızı 1–10 nanometre/saniye arasındadır [34]. Yani buharlaşma veya süblimleşme gerçekleştirilir. Şekil 4.1 bu yöntemi genel hatlarıyla şematik olarak göstermektedir [37]. Bu kaplamanın kalınlığı Şekil 4.2’de görüldüğü gibi hesaplanabilir [38].



Şekil 4.1. Fiziksel buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi [37]



Şekil 4.2. Fiziksel buhar biriktirme yönteminde kaplama kalınlığının hesaplanması [38]

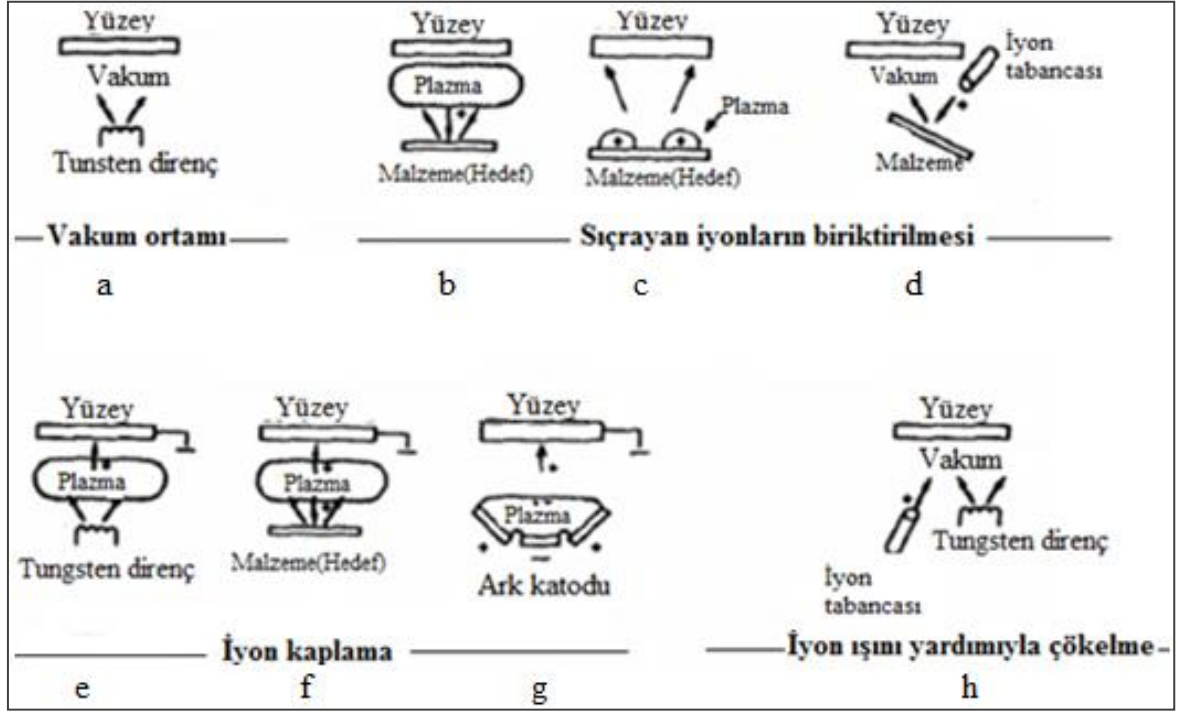
Buharlaştırma tekniğine göre PVD yöntemlerinin sınıflandırılması

Kaplamayı oluşturacak olan malzemenin buhar fazına geçirilme tekniğine göre “buharlaştırma veya sıçratma” ya da bu tekniğe bakılmaksızın kaplama malzemesinin iş parçası üzerine birikmesinde iyon bombardımanından yararlanılma durumuna göre “iyon kaplama” adı verilir [35]. Şekil 4.3’de bu yöntemler şematik olarak verilmektedir.

Şekil 4.3.a’da ısı yollarla elde edilen buharın vakum ortamının (enerji kaybı olmadan) taşımayı kolaylaştırıcı etkisi ile iş parçası üzerine yoğunlaşmasının sağlanması esası gösterilmektedir. Bu yöntemde ısı kaynağı olarak tungsten bir direnç kullanılır [34, 39].

Şekil 4.3.b, c ve d’de sıçratma yöntemlerinin türleri şematik olarak ifade edilmektedir. Bu yöntem kaplama malzemesinin ısı olmayan fiziksel yollarla buharlaştırılması ve iş parçası üzerine yoğunlaştırılması mantığına dayanır. Olayın gerçekleştiği ortam plazma ya da vakum ortamıdır. Şekil 4.3.b ve Şekil 4.3.c; katı yüzeyden atomik boyutta enerji yüklü bombardıman ile koparılan parçacıkların gaz fazındaki iyon ivmeli bir plazmadan belli bir enerji ile taşınması esasına dayalı sıçratma yöntemini göstermektedir. Şekil 4.3.d vakum

ortamında iyon tabancası ile enerji yüklü iyonların buharlaştırılacak malzeme üzerine yollanarak bir iyon bombardımanına maruz bırakılmasını, bu sayede katı yüzeyden buharın elde edilmesini ve iş parçası üzerine taşınmasını ifade etmektedir [34, 39].



Şekil 4.3. PVD süreci teknikleri [34]

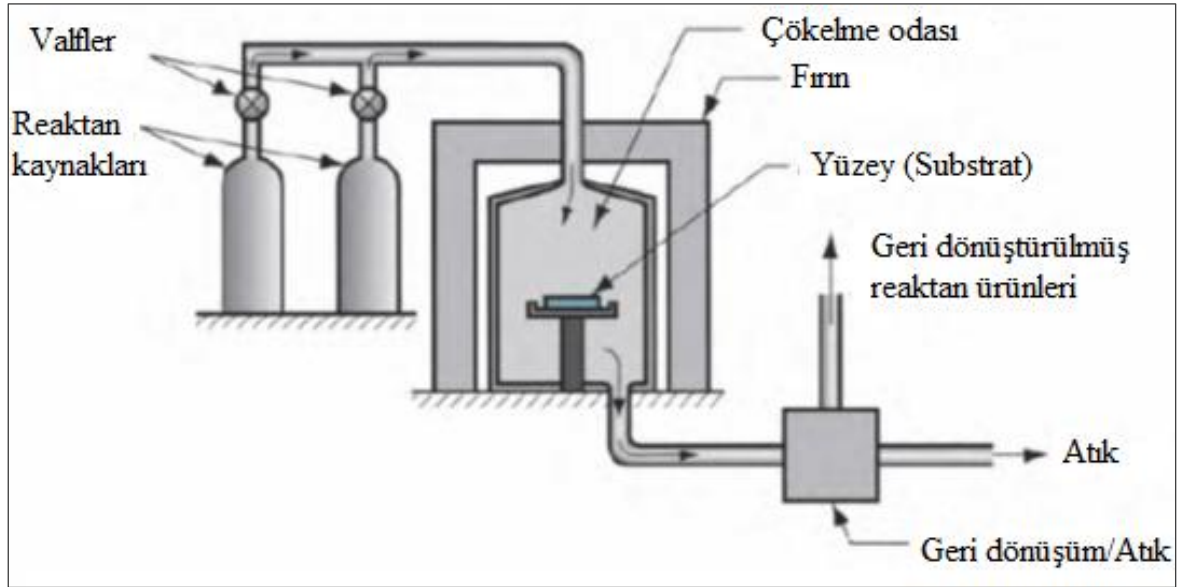
Şekil 4.3.e, f ve g iyon kaplama adıyla anılan yöntemi şematik olarak göstermektedir. Bu yöntem bazen iyon yardımıyla çökeltme veya iyon buharı çökeltmesi adıyla da anılmaktadır. Atomik boyuttaki enerji yüklü parçacıkların birikmesi sonucu oluşan bu film tabakası, periyodik bir bombardıman ile hem kontrollü olarak hem de modifiye edilerek verimli bir şekilde elde edilir. İyon kaplamada, enerji, yapışmayı artırıcı ajanlar (flakslar) ve taşınan/kaplayan kütle bombardıman sürecinin elemanları ve değişkenleridir. Bombardıman için kullanılan parçacıklar inert veya reaktif bir gazın iyonlarıdır. Ark iyon biriktirme yönteminde (Şekil 4.3.g) kaplama işlemi yüksek amperli düşük voltaja sahip bir ark oluşturularak yapılır. Elektrotun anodik veya katodik olmasına göre arkın adı da anodik veya katodik ark adını alır [34]. Buharlaştıran malzeme plazma ortam içinde yüksek oranda iyonlaşır [34, 39]. İyon kaplama, bombardımanın gerçekleşeceği ortam olan bir plazma ortamı gerektirir veya bombardıman iyonlarının bir iyon tabancasında ayrıca oluşturulduğu bir vakum ortamında gerçekleşir. Bu yöntemin geliştirilmiş versiyonu, iyon ışını yardımıyla çökeltme olarak adlandırılır. Bu yöntemde plazma içinde reaktif bir gaz

kullanılarak kaplama filmini oluşturacak olan malzemenin bileşenlerinin iş parçası üzerinde birikimi sağlanır (Şekil 4.3.h) [34].

4.1.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi

Bu yöntemde esas olarak kimyasal yöntemlerle bir buharlaştırma olsa da ısı etkinin yardımcı olarak kullanıldığı görülür. Bu etki iş parçasının ısıtılmasında önemlidir. Sistemin bileşenleri buharlaşan kaplama malzemesi, vakum ortamındaki taşıyıcı gaz ve ısıtılmış iş parçasıdır [34, 37, 39].

Bu gazlar asal veya reaktif gazlar olabilir [34, 39]. İndirgenme, artırılan sıcaklık altındaki hidrojen gazı ile sağlanır. Birikim malzemesi diğer gazlarla oksit veya nitrit bileşikler oluşturma eğiliminde olabilir [34]. Bu yöntemde parçanın ısıtılması iyi bir adezyon sağlarken, parçanın mekanik özelliklerini bozabildiğinden, kısıtlı hallerde tercih edilen bir yöntem olmasına neden olmuştur. Yöntem aşağıda Şekil 4.4’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi [37]

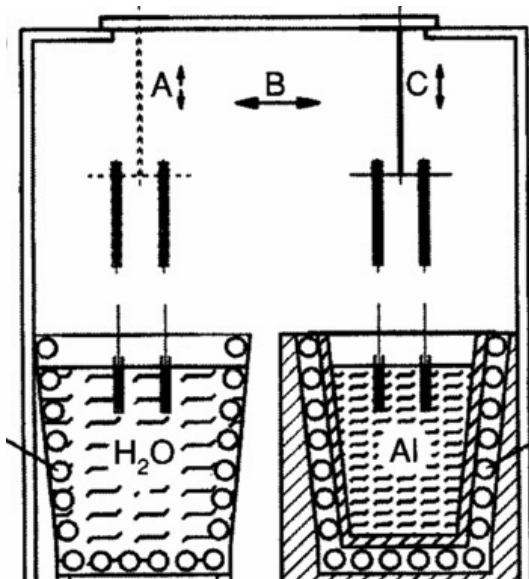
5. KALIP HASARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK DENEYSEL YÖNTEMLER

Konuyla ilgili yapılan literatür incelenmesinde birkaç deneysel yöntemle rastlanılmıştır. Bunlar batırıp çıkarma, dinamik batırıp çıkarma ve daldırma gibi test yöntemleridir. Bu yöntemler, esasen basınçlı döküm sisteminin simülasyonları niteliğindedir, ancak basınç eşliğinde hız ve/veya ısıl şok etkilerini içermemektedir. Bununla beraber, farklı numuneler ile çalışıldığında karşılaştırma imkânı sağladığından, oldukça iyi fikir verebilmektedir. Batırıp çıkarma yöntemleri ortalama bir döküm döngüsü periyotlarına sahip “tekrarlar” şeklinde yapılır.

5.1. Simülatif Deney Yöntemleri

5.1.1. Batırıp çıkarma (immersion) yöntemi

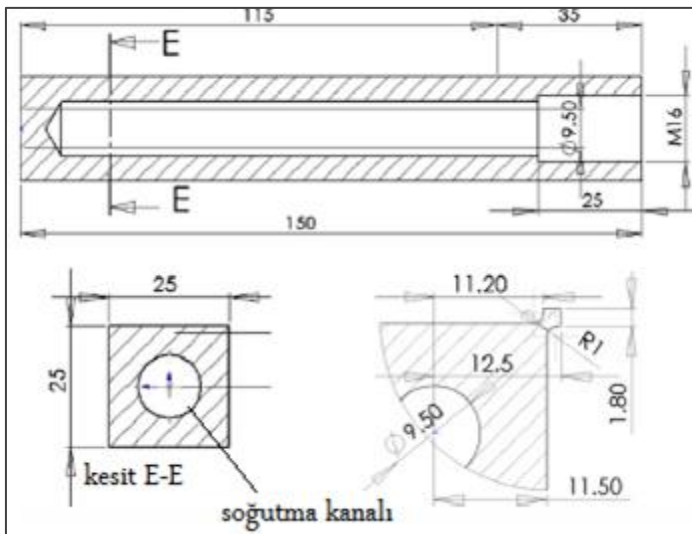
Bu yöntem deney numunesinin belli sürelerde önce sıvı metale daha sonra soğutma sıvısına daldırılması şeklinde yapılır (Şekil 5.1). Yapılan bu tür çalışmalarda, numune (Şekil 5.2) yüzeyinde ve/veya kesiti içinde kalan soğutma kanalındaki gerilim değişimleri incelenmiş ve grafiklerle ortaya konulmuştur. H13 çeliğinde yumuşama ve çatlak miktarı özellikle iyi yapılmamış ısıl işlemle ilişkisi Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da gösterilmektedir [2, 31, 40].



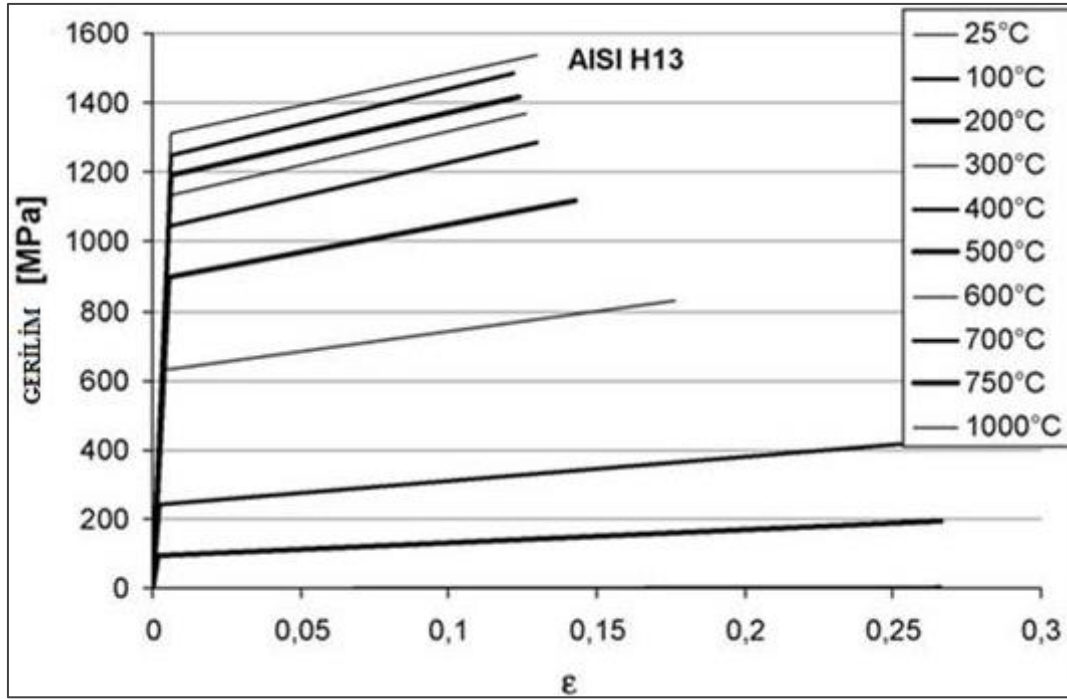
Şekil 5.1. Batırıp çıkarma yöntemi [2, 40, 41]

Şekil 5.3'ten plastik şekil değiştirmenin yüksek sıcaklıklarda çalışma rejiminde malzemenin yüksek sıcaklık dayanımının düşmesi nedeniyle artarak yaşandığı anlaşılmaktadır. İnce ve keskin köşelerde yüksek gerilim daha yüksek sıcaklık gradyanı ile oluşmaktadır (Şekil 5.4). Doğal olarak, bu gerilimin oluşma miktarının, döküm döngüsünün gerçekleştiği periyot sürecine bağlı bir şekilde değişiklik arz ettiği (Şekil 5.5) ve termal çatlaklara yol açtığı (Şekil 5.6) görülmektedir.

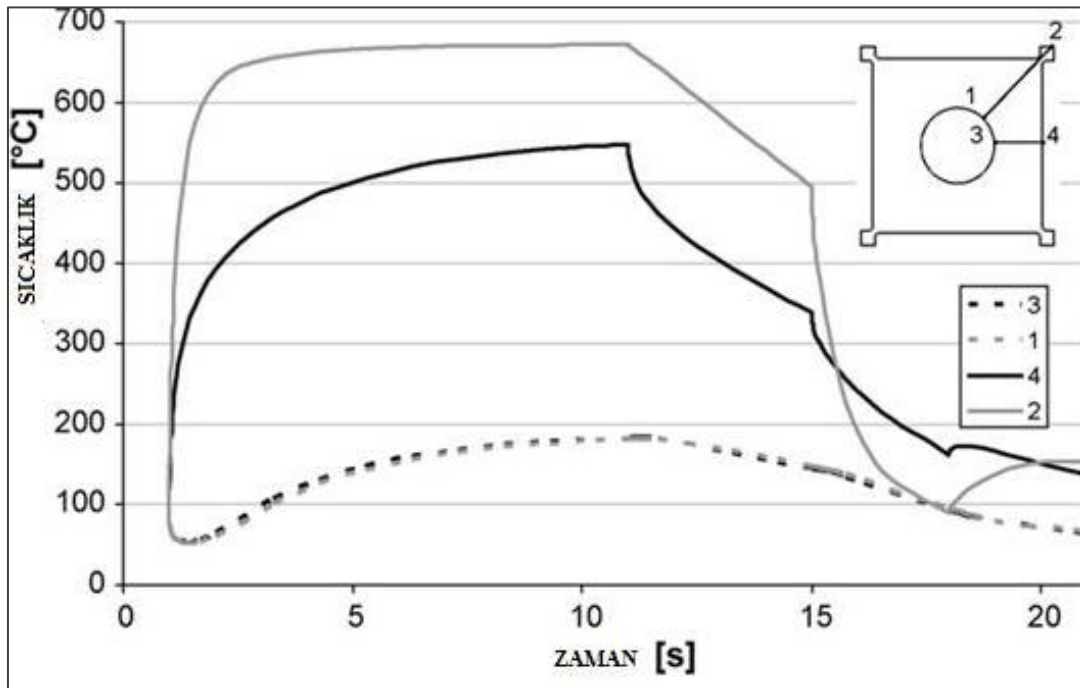
Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 birlikte incelendiğinde 12. saniyenin soğutma sıvısına batırıldığı an olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.4'te 1 ve 3 noktalarında yani kesitin soğutma kanalı rolünü üstlenen iç boşluğunda zamana dayalı ısı girişinin belli düzeyde kaldığı ve sıcaklıktaki değişimin hafif yükseliş ve düşüş gösteren bir eğriye sahip olduğu görülmektedir. En yüksek sıcaklık artışının 2 noktasında yani köşede olduğu, 4 noktasında ise yanal yüzey olması sebebiyle daha az ısı girdisi yaşandığından görece olarak daha düşük bir sıcaklık artışının yaşandığı görülmektedir. Şekil 5.5'e bakıldığında ilk saniyelerde sıcaklığın ani artmasıyla birlikte 2 ve 4 noktalarında max. değerlerde basma gerilmesi, 1 ve 3 noktalarında max. değerlerde çekme gerilmesi yaşandığı görülmektedir. 12. saniyeye kadar sıcaklığın artmasıyla birlikte 2 ve 4 noktalarındaki basma gerilmesinde ciddi bir düşüş görülürken, 1 ve 3 noktalarındaki çekme gerilmesindeki artışın hafifleyerek de olsa devam ettiği anlaşılmaktadır. Soğutma sıvısına daldırıldığı 12. saniye itibarıyla 1 ve 3 noktalarındaki çekme gerilmesinde şiddetli düşüşle birlikte, daldırmanın bittiği 18. saniyeye kadar 4 noktasındaki gerilimin sıfırlandığı, 3 noktasında ise basma gerilimin yerini 450 MPa değerindeki çekme gerilimine bıraktığı görülmektedir.



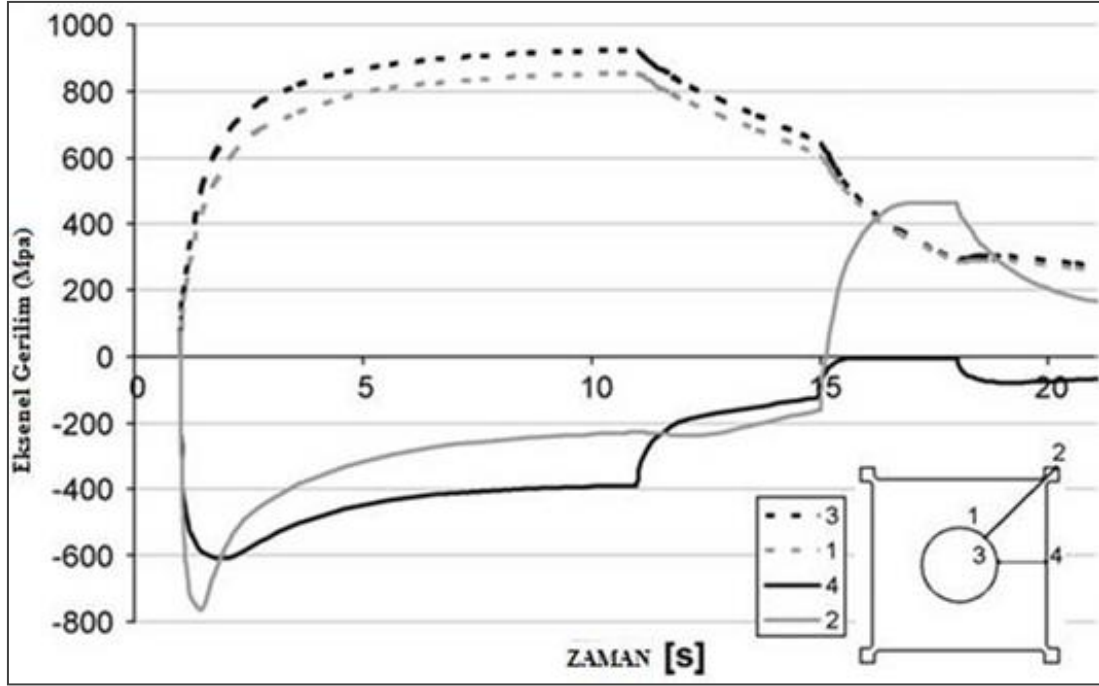
Şekil 5.2. Batırıp çıkarma deneyinde kullanılan numuneye ait teknik detay [2, 31]



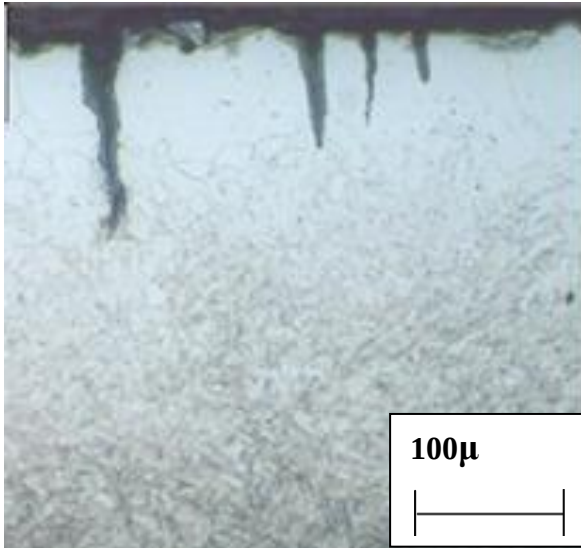
Şekil 5.3. Yüksek sıcaklıklarda çalışma rejiminde malzemenin yüksek sıcaklık dayanımının azalması sonucu plastik şekil değiştirmenin artması [2, 31]



Şekil 5.4. Yüksek sıcaklıklarda çalışma rejiminde kesitlere göre malzemeye giren ısı ile sıcaklığın değişimi [2, 31]



Şekil 5.5. İnce ve keskin köşelerde zamana bağlı oluşan gerilimler [2, 31]



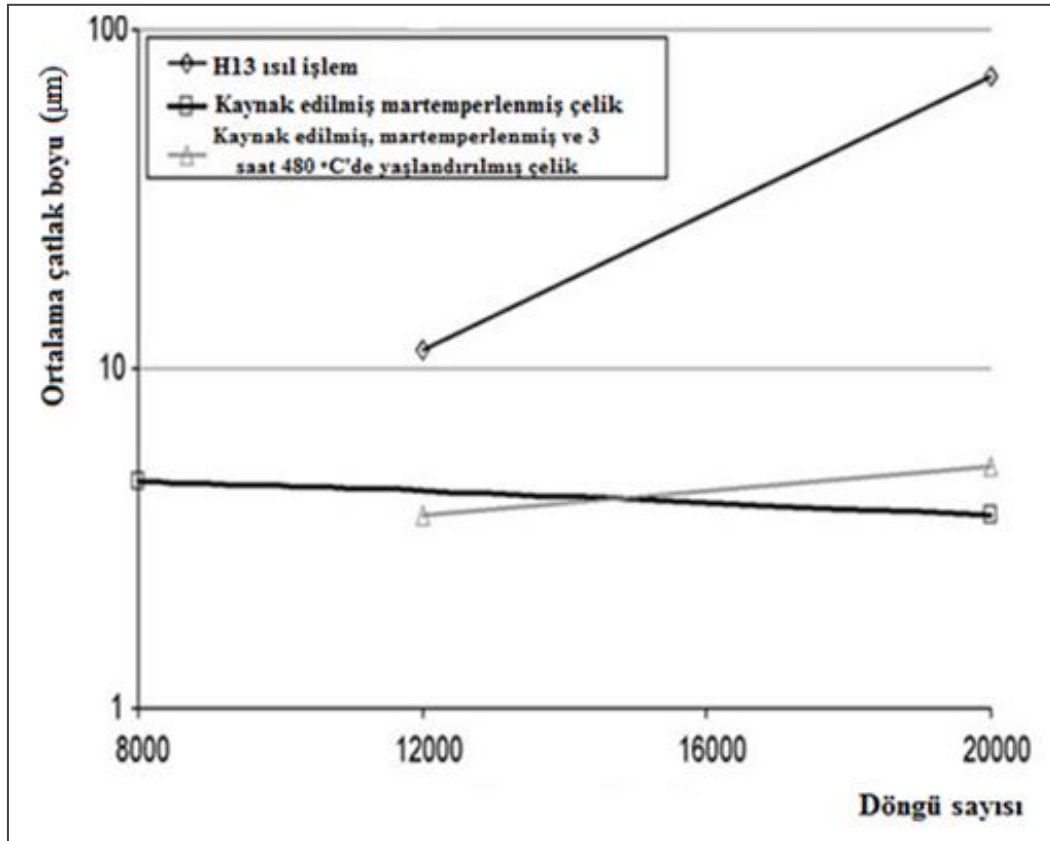
Şekil 5.6. 20 000 Döngü sonrası kenar mikro çatlakları [31]

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gerektiği gibi ısıtılmış H13, kaynak edilmiş martemperlenmiş çelik ve 480°C'de 3 saat yaşlandırılmış kaynak edilmiş martemperlenmiş çeliğin maruz kaldığı döngü sayısı bağlamında ortalama çatlak boyu ve ortalama çatlak sayısı arasındaki ilişki gösterilmektedir. H13 malzemede çatlak boyunun artmasıyla birlikte çatlak sayısında bir artış görülmemektedir. En uzun çatlak boyu ısıtılmış H13 malzemede görülürken, çatlak sayısındaki artışın da en az bu malzemede olduğu görülmektedir. Diğer iki malzemede çatlak boyu durağan iken çatlak sayılarında döngü ile

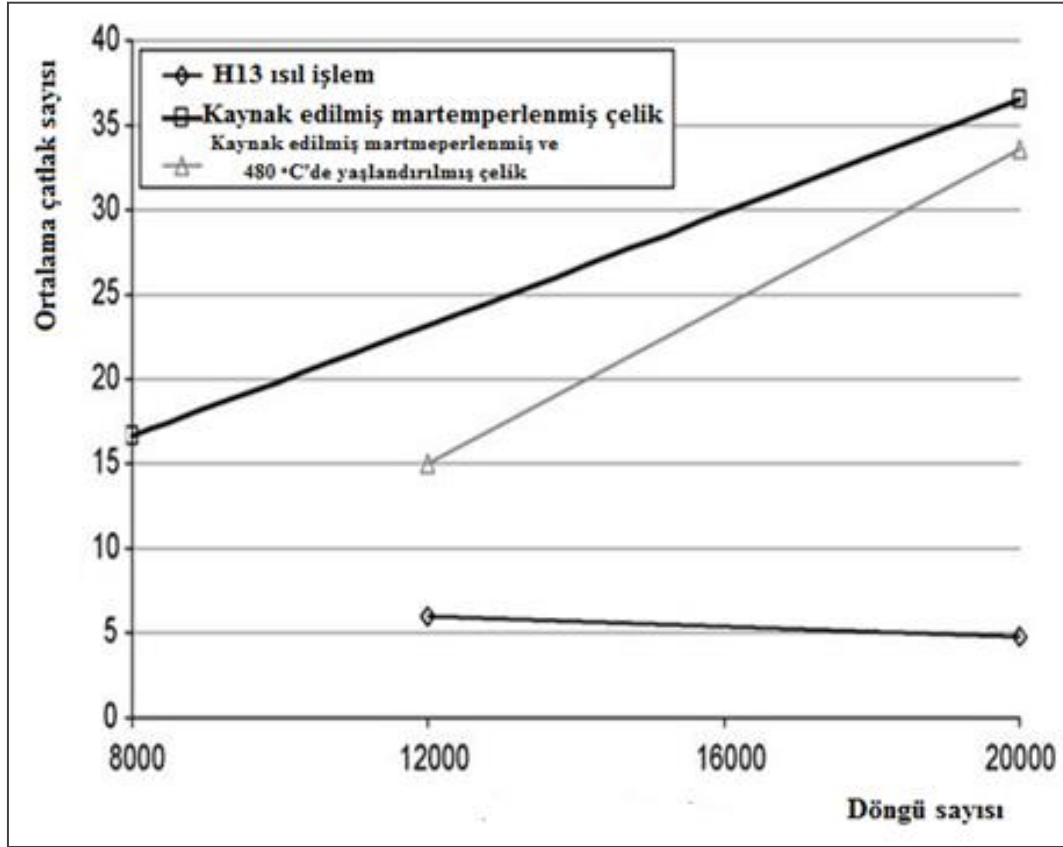
birlikte artış görülmektedir. H13 ve 480°C de 3 saat yaşlandırılmış kaynak edilmiş martemperlenmiş çeliklerin her ikisinde de çatlak oluşumunun 12 000 döngüden sonra meydana geldiği görülmüştür. Kaynak edilmiş martemperlenmiş çelikte ise 8 000 döngüden sonra çatlak oluşumu görülmüştür.

Şekil 5.9 ve 5.10'da H13 çeliği ile %14 Ni içeren martemperlenmiş çelikte oluşan aksenal gerilimler karşılaştırmaktadır. Al alaşımına daldırılan H13 çeliği örneklerinde yüzeyde -700 MPa basma geriliminin olduğu gözlenirken, %14 Ni içeren martemperlenmiş çelikte bu değer -450 MPa olduğu görülmektedir. Soğutma kanalı çevresinde oluşan çekme gerilimi martemperlenmiş çelikte 630 MPa iken H13 çeliğinde 900 MPa'dır [2].

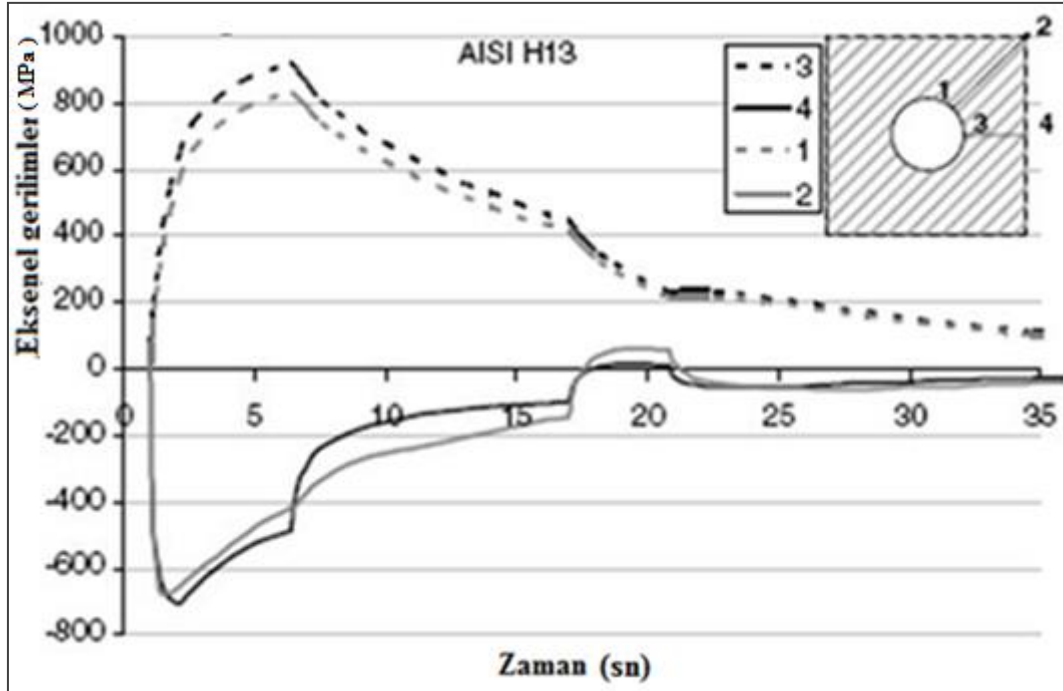
Şekil 5.9 ve Şekil 5.5 kıyaslandığında düzgün kesitli numunede (Şekil 5.9) daha olağan ve kararlı gerilim değişimi görülürken, karmaşık kesitli numunede (Şekil 5.5) 2 noktasında daha fazla ısı yoğun bölge oluşması sebebiyle gerilimdeki değişimin daha farklı yaşandığı görülmektedir. Bu durum 2 noktasındaki zamana bağlı ısınma ve soğuma eğrisinin daha dik bir seyir arz etmesiyle ilgili olduğu, yani diğer üç noktanın ısınma ve soğuma eğrilerine paralel bir eğri ortaya koymadığı anlaşılmaktadır.



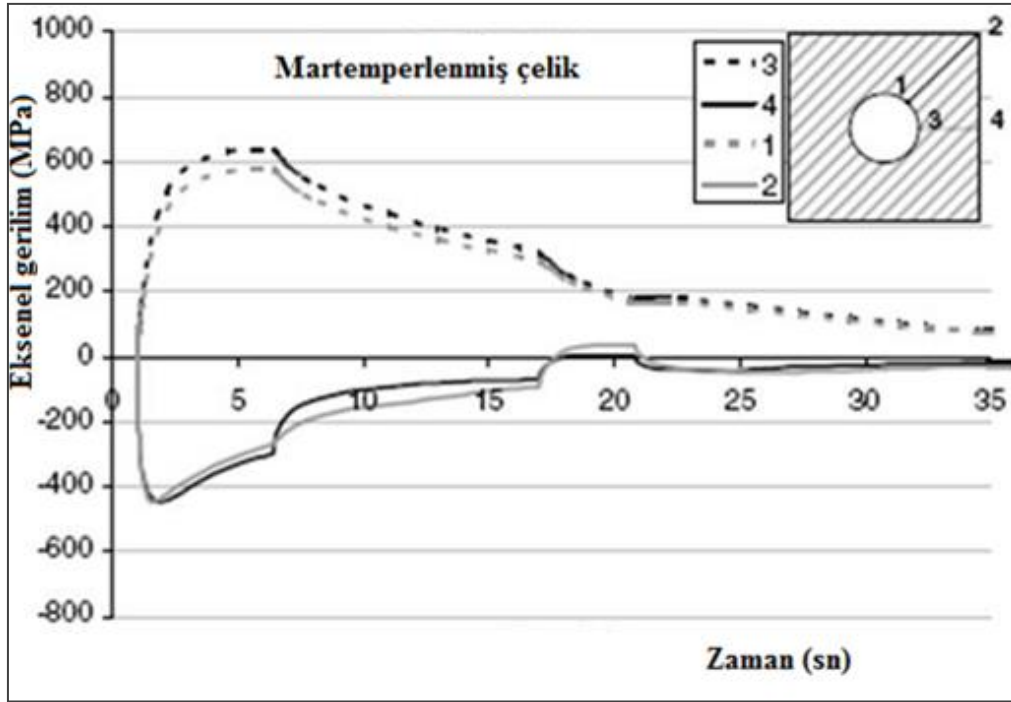
Şekil 5.7. Döngü sayısı ile ortalama çatlak boyutunun karşılaştırılması [31]



Şekil 5.8. Döngü sayısı ile ortalama çatlak yoğunluğunun karşılaştırılması [31]



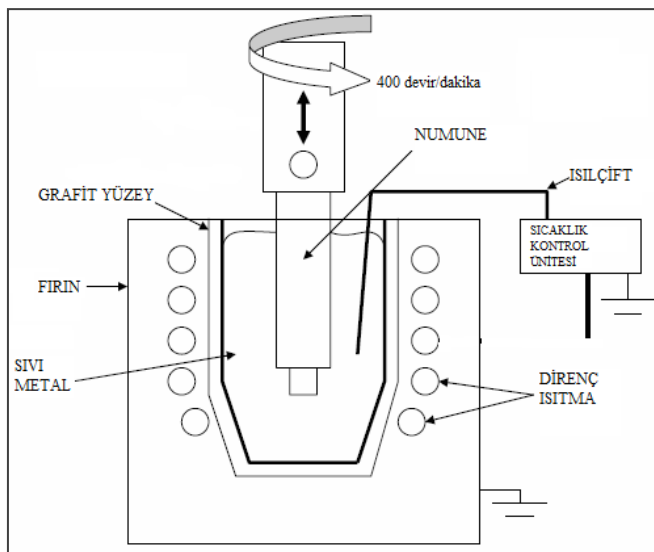
Şekil 5.9. H13 çeliğine oluşan eksenel gerilimler [2]



Şekil 5.10. %14 Ni içeren martemperlenmiş çelikte oluşan eksenel gerilimler [2]

5.1.2. Dinamik batırıp çıkarma (dynamic immersion) yöntemi

Bu yöntem sıvı metal içine daldırılan numunenin, dönme merkezine olan konumu ve/veya ebadına göre ortaya çıkabilecek döküm hızını simüle etmeye yakın ortalama bir hızla belli sürelerde döndürülmesi esasına dayanır. Bu hız, 30–100 m/sn arası bir değer olduğundan [1-3], örnek çalışmada 50m/s’yi verecek bir devir seçilmiştir [42].



Şekil 5.11. Dinamik batırıp çıkarma yönteminin şematik gösterimi [42]

Karbon içeriğinin etkisinin araştırıldığı diğer bir çalışmada ikisi yapı çeliği (SM20C ve SM45C) biri karbon çeliği olmak üzere farklı karbon içeriğine sahip üç tip ticari karbon çeliği kullanılmıştır. Bunların kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu üç çeliğin seçilme sebebi farklı C içeriğine sahip olmaları yanında, diğer alaşım elementlerini minimum seviyede barındırmalarıdır [29].

Çizelge 5.1. Karbon içeriğinin etkisinin araştırıldığı çalışmada kullanılan üç tip ticari çeliğin kimyasal bileşimleri [29]

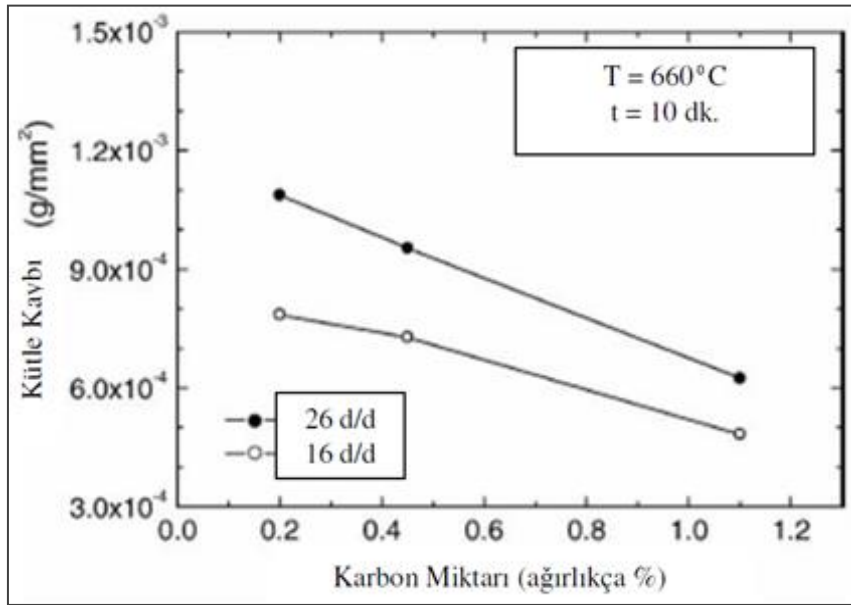
Bileşen Ticari çeliğin adı	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
SM20C	0,2021	0,21	0,53	0,017	0,0261
SM45C	0,456	0,22	0,73	0,013	0,04911
STC3	1,103	0,16	0,36	0,0084	0,0025

10 mm çap ve 10 mm yüksekliğe sahip numuneler kesilmeden önce normalize edilmiş, sonrasında taşlanmış ve parlatılmıştır. Daha sonra bu numuneler grafit içine gömülerek sadece alt yüzeylerinin ergiyik Al ile temasına izin verilmiştir. Al-%9,08Si-%0,98Fe bileşimi ergiyik banyosu olarak seçilmiştir. Ergitme sırasında flaks kullanılarak ergiyik oksidasyondan korunmuştur [29].

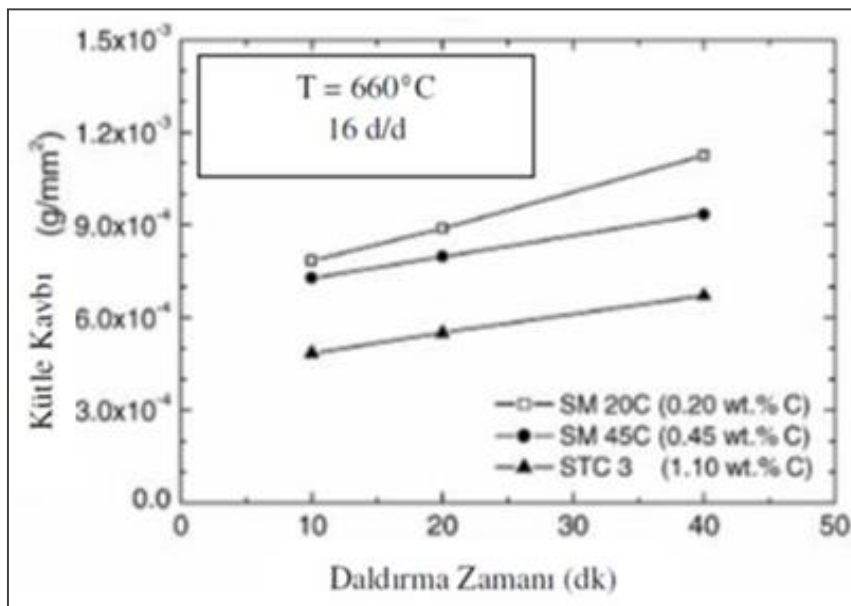
Yapılan döndürerek daldırma işlemi 16 ve 26 d/d olmak üzere iki farklı hızda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde karbon içeriğine göre kütle kaybına bakıldığında, karbon miktarının artmasıyla kütle kaybının azaldığı görülmektedir (Şekil 5.12) [29]. Yine aynı şekilde 16 d/d sabit hızda olmak üzere daldırma süresi baz alınarak yapılan incelemelerde, karbon içeriği en fazla olan malzemenin en az malzeme kaybetme eğrisine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.13). Ancak bu deneyde her üç numune de malzeme kaybının zamana bağlı olarak artan seyir izlediği açıkça görülmektedir [29]. Bu, bileşik oluşturmaya aday yeni/doymamış Al ile Fe’in reaksiyona girmesine bağlı olacağı düşünülmektedir.

Numunelerin kesitinin gösterildiği Şekil 5.14’de çelik numune kütlesi ile en tepedeki Al alaşım tabakasının arasında metaller arası bileşik katmanları görülmektedir. Görüldüğü

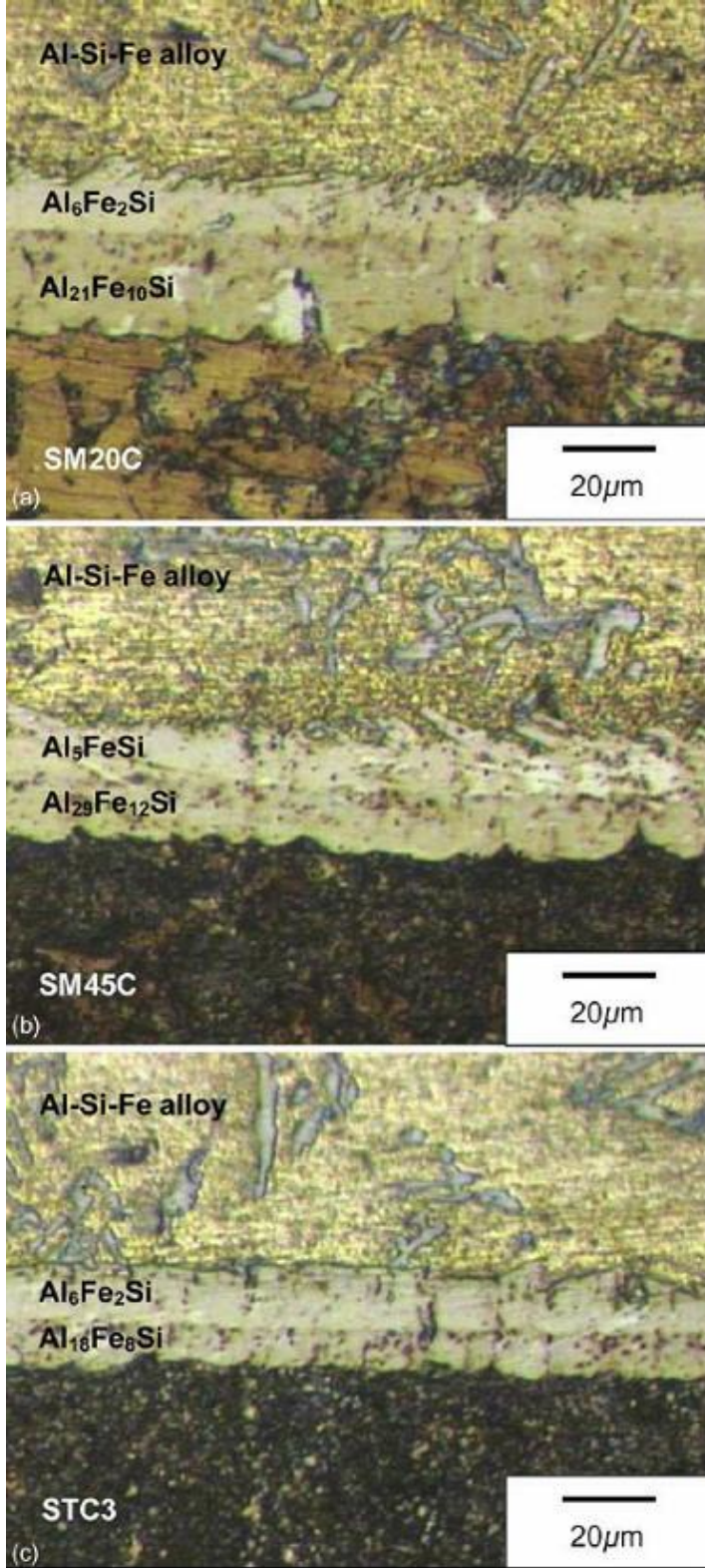
gibi iki malzeme daima iki metallerarası bileşik katmanı oluşturmaktadır. Şekilden anlaşıldığı üzere karbon içeriği arttıkça altta bulunan intermetalik katmanların kalınlığı incelmektedir. Üstte bulunan intermetalik katman belirgin bir görünüme sahip olmamaktadır. Alt intermetalik katman ile numune arasındaki arayüzey, üst katman ile katılmış Al malzeme arasındaki ara yüzeye göre daha düzdür ve bu düzgünlük karbon içeriği ile birlikte artmaktadır. Karbon içeriğinin bu etkileri sadece alt katman için geçerlidir [29].



Şekil 5.12. Karbon içeriğine göre gerçekleşen kütle kaybı [29]

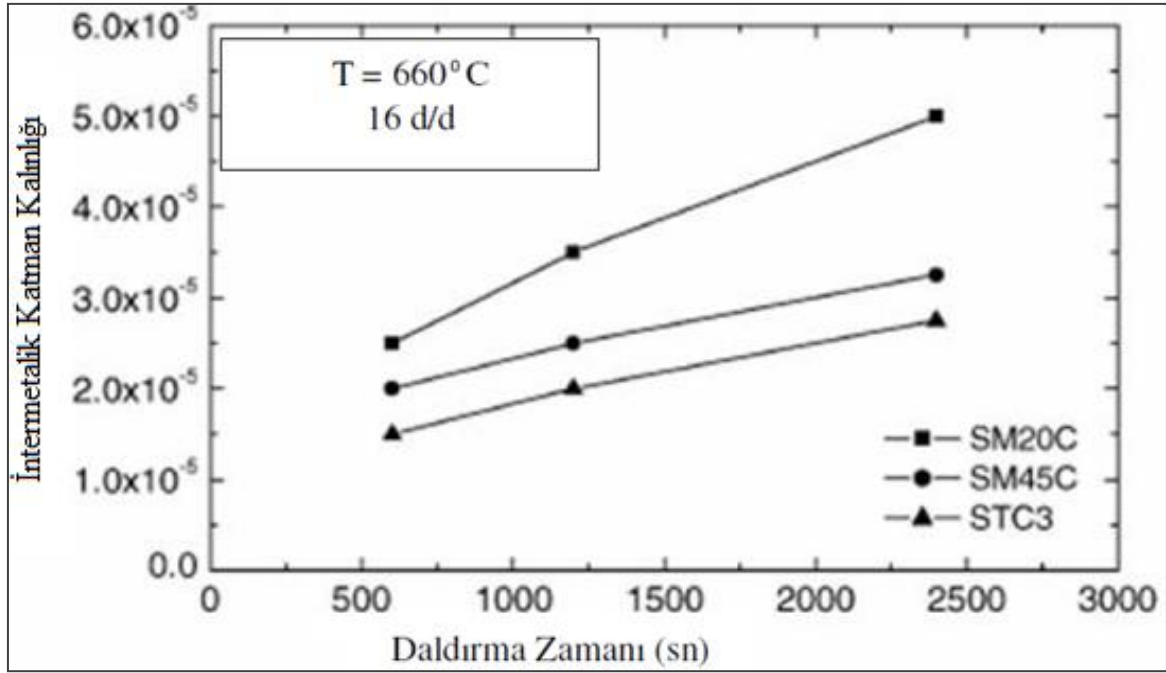


Şekil 5.13. Daldırma süresi baz alınarak yapılan incelemelerde karbon içeriğine göre gerçekleşen malzeme kaybı [29]



Şekil 5.14. Çelik numune kütlesi ile en tepedeki Al alaşım tabakasının arasında kalan metaller arası bileşik katmanları [29]

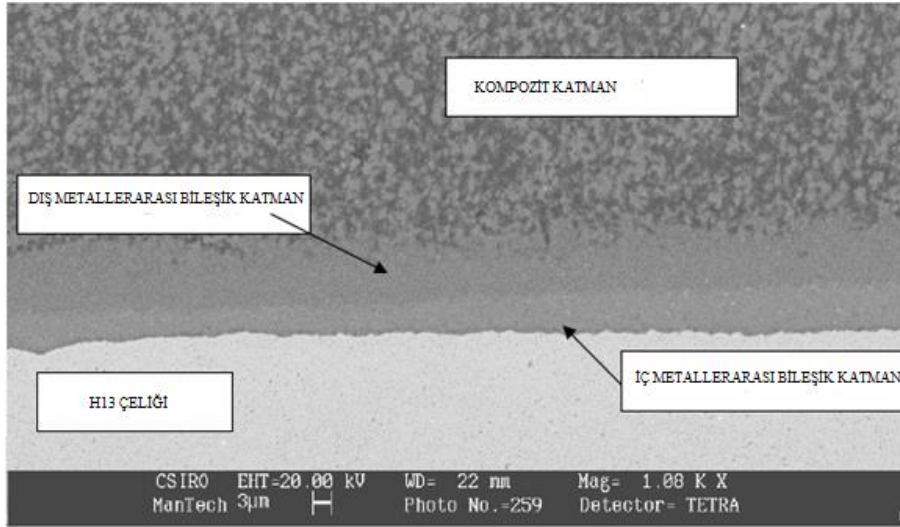
Yapışma yüzeyinin altında bulunan intermetalik katmanın kalınlığındaki zamana dayalı artış Şekil 5.15'te gösterilmektedir. Aynı zamanda, karbon içeriğinin artmasıyla intermetalik katmanın kalınlığın azalması arasındaki ilişki de açıkça görülmektedir [29].



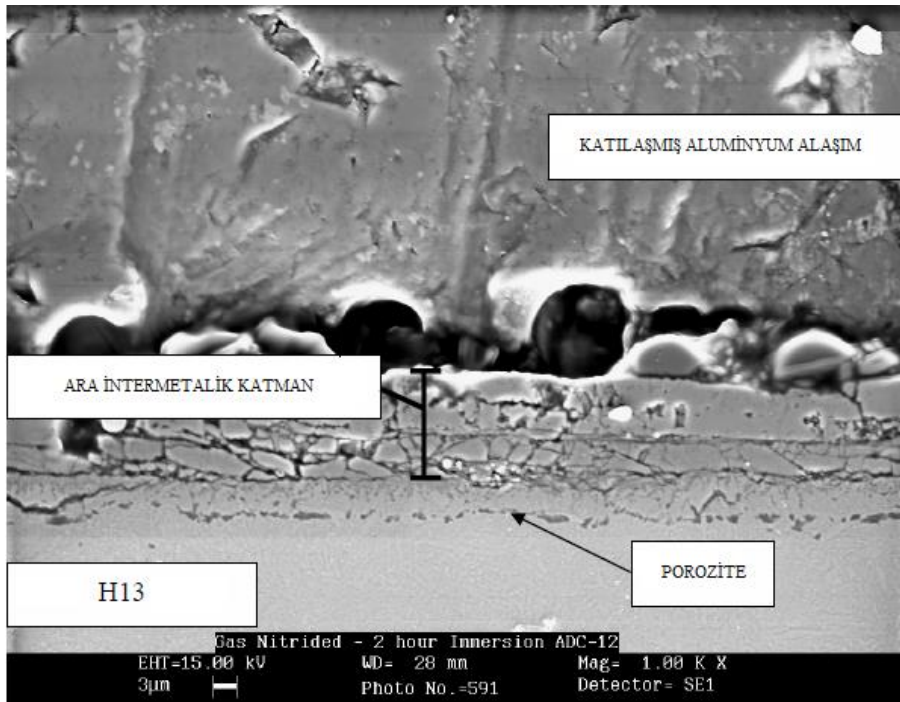
Şekil 5.15. Daldırma zamanı ve karbon içerisine bağlı olarak intermetalik katmanın kalınlığındaki değişim [29]

Yapılan başka bir dinamik daldırma çalışmasında; kaplamasız H13, nitrasyon yapılmış H13 ve pvd yöntemiyle CrN, TiN VE TiCN kaplanmış H13 sıcak iş takım çeliklerinden yapılan numunelerin dinamik daldırma yöntemiyle deneysel kıyaslaması yapılmıştır. Yüzeysel hasar ve yapışma olayı, 680°C'deki sıvı alüminyuma daldırılan numunelerin 2 saat boyunca 400d/d hızla döndürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplamasız ve nitrasyon yapılmış numunelerin yüzeylerinde metallerarası bileşik katmanların oluştuğu ve bu katmanların üzerinde yapışmış alüminyum görülmektedir [42]. Şekil 5.16'da [42] görülen kaplamasız numune yüzeyinde oluşan karakteristik yapının, Hwanga ve arkadaşlarının [29] karbon miktarının yapışma olayına etkisini araştırdığı çalışmadakine benzer olduğu görülmektedir. Aynı karakteristik yapı, nitrasyon yapılmış numunede görülememektedir (Şekil 5.17) [42].

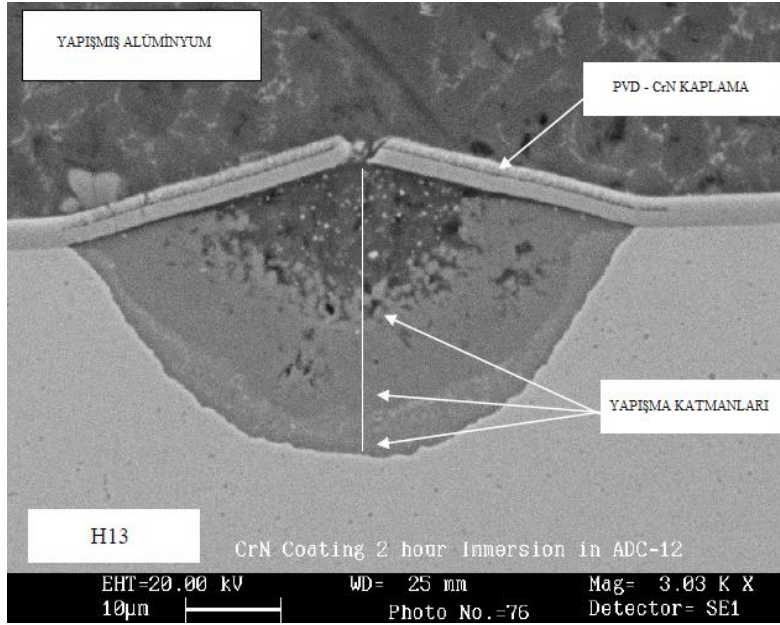
Kaplama yapılmış numunelerin yüzeylerindeki bozulmanın, kaplamaların hemen altında oluşan katmanların hacimsel artışı nedeniyle meydana gelen küçük yumruların oluştuğu bölgelerde meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5.18). Bu hasarın temelinde, kaplamanın sahip olduğu yapısal bozuklukların H13 ile sıvı metal arasındaki teması engellememesi yatmaktadır [42].



Şekil 5.16. Dinamik daldırma deneyi sonrası kaplamasız H13 numunenin kesit SEM görüntüsü [42]



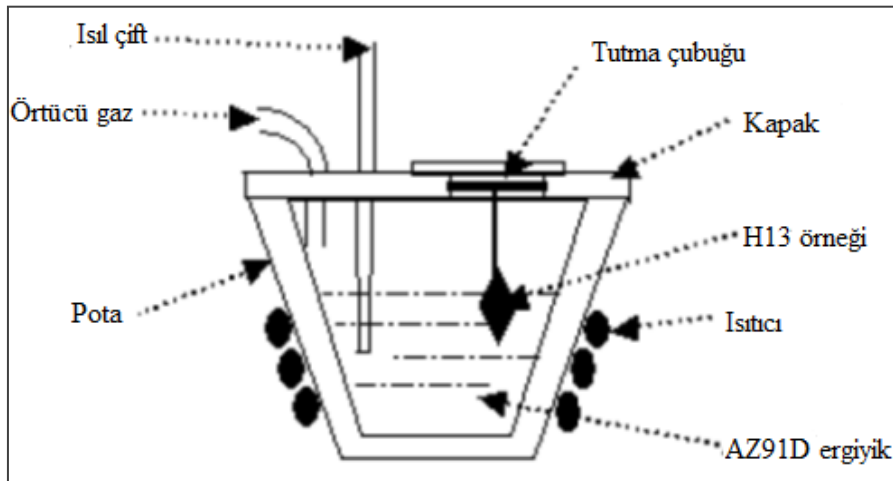
Şekil 5.17. Dinamik daldırma deneyi sonrası nitrasyon yapılmış H13 numunenin kesit SEM görüntüsü [42]



Şekil 5.18. Dinamik daldırma deneyi sonrası CrN kaplanmış H13 numunenin kesit SEM görüntüsü [42]

5.1.3. Daldırma (dipping) yöntemi

Bu yöntem numunenin bir aparat yardımıyla belirli periyotlarda sıvı metal içine daldırılıp bekletilmesi esasına dayanır. Bu deneylerde yapışma ve/veya akraba bir konu olan alüminize¹ olma gözlemlenir [28, 8]. Şekil 5.19’da daldırma yöntemini şematik olarak anlatılmaktadır [8].

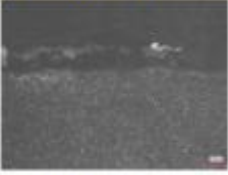
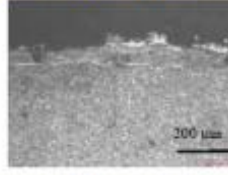
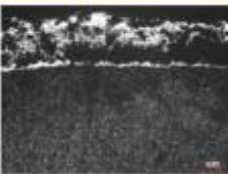
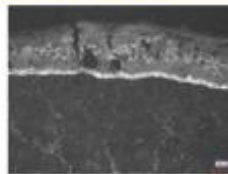


Şekil 5.19. Daldırma yönteminin şematik gösterimi [8]

¹Malzemenin uzun süre, sıcaklıkla birlikte Al’a maruz kalması sonucu yüzeyde Al_2O_3 esaslı tabakanın oluşmasıdır.

Daldırma yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada [28] 10 mm çapında ve 60 mm uzunluğa sahip orta karbonlu çelik pim numuneler 1, 3 ve 5 dakika süre ile 873K, 1023K ve 1173K sıcaklıktaki sıvı Al-11Si alaşımı içine daldırılmış ve havada soğutulmak üzere çıkarılmıştır. Bu iki parametrenin çaprazlanarak uygulanmasında üçüncü parametre olarak toplam daldırma süresi seçilmiş ve 2, 5 ve 8 saat olmak üzere üç ayrı süre belirlenmiştir. Belirtilen deneylerde kullanılan numunelerin bileşimi Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Bu yöntem sonrası pim numunelerin optik mikroskop incelemeleri ışığında yüzeyde oluşan difüzyon tabakası incelenmiştir. Şekil 5.20 tipik alüminize olmuş numunelerin mikroyapısını göstermektedir. 1023K’den daha yüksek sıcaklıklarda oluşan katmanlarda muhtemelen oksidasyon sebebiyle daha fazla porozite görülmektedir. Daha düşük daldırma sürelerinde, düşük difüzyon sıcaklığına rağmen tabakalar halinde ince katmanların oluştuğu gözlemlenmiştir (873K, 1023K). 3 ve 5 dakika gibi uzun daldırma sürelerinde ve düşük sıcaklıklarda (873K, 1023K) meydana gelen katmanların daha az porozite içerdiği görülmektedir [28].

Daldırma süresi Difüzyon parametreleri	1 dk.	3 dk.	5 dk.
düşük daldırma t düşük T ince kaplama (873°K-1023°K).			
Sıcaklık(T)/Zaman(t)	873 K / 2 h	873 K / 5 h	873 K / 8 h
3 ve 5 dak (873°K-1023°K) kaplama daha az porozite			
Sıcaklık(T)/Zaman(t)	1023 K / 5 h	1023 K / 8 h	1023 K / 2 h
yüksek T’de muhtemelen oksidasyon sebebiyle daha fazla porozite			
Sıcaklık(T)/Zaman(t)	1173 K / 8 h	1173 K / 2 h	1173 K / 5 h

Şekil 5.20. Tipik alüminize edilmiş mikroyapı [28]

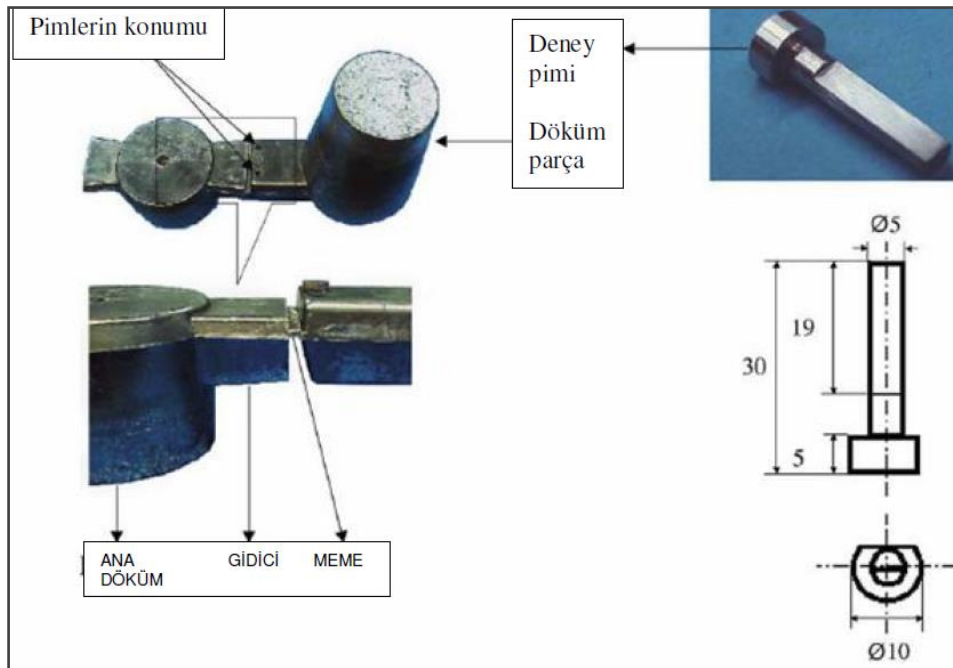
Çizelge 5.2. Alüminize olan numunenin bileşimi [28]

BİLEŞEN	C	Si	Mn	P	S	Fe
%	0,36	0,17	0,743	0,032	0,026	Kalan

5.2. Gerçel Yöntem

Simülatif yöntemler dışındaki yöntem ise gerçek şartların tümüyle var olduğu basınçlı döküm makinası ile deneysel çalışma yöntemidir.

Yapışma ve erozyon hasarının birlikte görülebileceği çalışmada [33], deney numunesi olarak seçilen farklı malzemelerden iki adet pim kalıp boşluğu ile yolluk arasındaki meme bağlantısına yerleştirilmiştir. Gerçek görünümü aşağıdaki Şekil 5.21’de verilmektedir. Her basımda, kalıp boşluğuna 2.5kg sıvı metal doldurulmuştur.



Şekil 5.21. Deney numunesi olarak seçilen farklı malzemelerden iki adet pimin kalıp boşluğu ile yolluk arasındaki meme bağlantısına yerleştirilmesi [33]

Hızlanma etkisi için meme ebadı 2.5 x 50 mm olarak belirlenirken, ergiyik alaşımı olarak A356 (%7.5 Si, %0.3 Mg, %0.1 Fe) seçilmiştir. Akış sırasında hasar etkisini artırmak ve daha iyi gözlemlemek için pimlere düz bir yüzey ve keskin köşeler verilmiştir. Ergiyik sıcaklığı 730°C, piston hızı 127 mm/sn, akış hızı 6000 mm/sn, kalıpta tutma süresi olarak

40 sn ve döngü süresi olarak 110 sn deney şartları olarak belirlenmiştir. Pim malzemelerinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.3.'de ve mekanik özellikleri Çizelge 5.4.'de verilmiştir. Kolay karşılaştırma yapmak ve yapışma-erozyon etkisinden kaçınmak amacıyla numuneler parlatılmıştır [33].

Çizelge 5.3. Pim malzemelerinin kimyasal bileşimi [33]

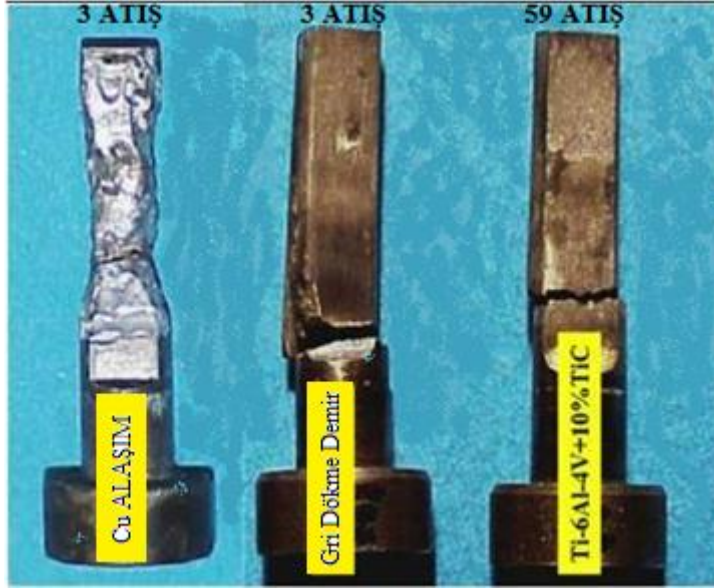
Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ti	Al	Fe	Ni	Nb	V	W	Hf	Zr
H13	0,40	0,35	1,00	5,25	1,50			Kalan			1,00			
Ni-718	0,02	0,05	0,05	17,60	2,86	1,01	0,48	18,7	53,6	5,09				
Mo-785					97,5	0,65							1,18	0,13
Ti-6Al-4V						90,0	6,0				4,00			
Anviloy1150					4,0			2,0	4,0			90,0		

Çizelge 5.4. Pim malzemelerinin mekanik özellikleri [33]

MALZEME	YOĞUNLUK	SERTLİK	Ergime Noktası	ISI İLETKENLİK	ISIL GENLEŞME	AKMA DAYANIM	ELASTİK MOD.
	(g/cm ³)	(HRC)	(°C)	(W/mK)	(µm/m°C)	(MPa)	(GPa)
Soft-H13	7,8	34-36	1500	24,5	12,2 – 13,5	1320	210
Hard-H13	7,8	51-54	1500	24,5	12,2- 13,5	900	210
Ni-718	8,19	42	1260-1336	11,4	12,9	1104	42
Mo-785	10,16	28	2620	140	5,94- 6,12	860	325
Ti-6Al-4V	4,43	41	1660	6,7	8,6- 9,7	880	114

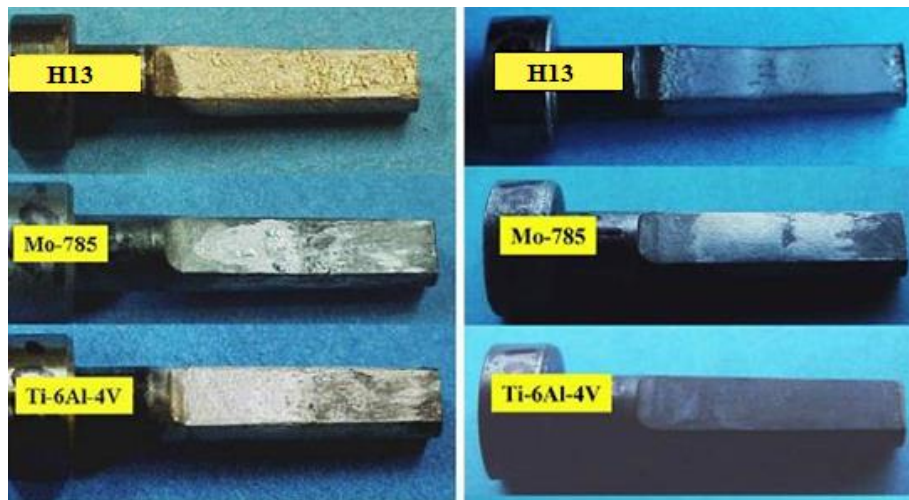
Şekil 5.22'de Zhu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın [33] ilk basamağı olan pilot deneylerde sınırlı sayıda basımdan sonra yapışma, erozyon ve kırılmanın yaşandığı görülmektedir. Cu esaslı alaşım, sıvı Al içindeki yüksek çözünürlüğü nedeniyle yalnız üç baskı sonrası aşırı erozyona ve yapışmaya maruz kalmış ve kırılmıştır. Gri dökme demir

pimde de aynı döngüde çok az yapışma ve erozyon görülmüş, düşük dayanım ve süneklilik nedeniyle kırılmıştır [33]. Bu nedenle, bu iki malzemeyi araştırma dışı bırakmışlardır.

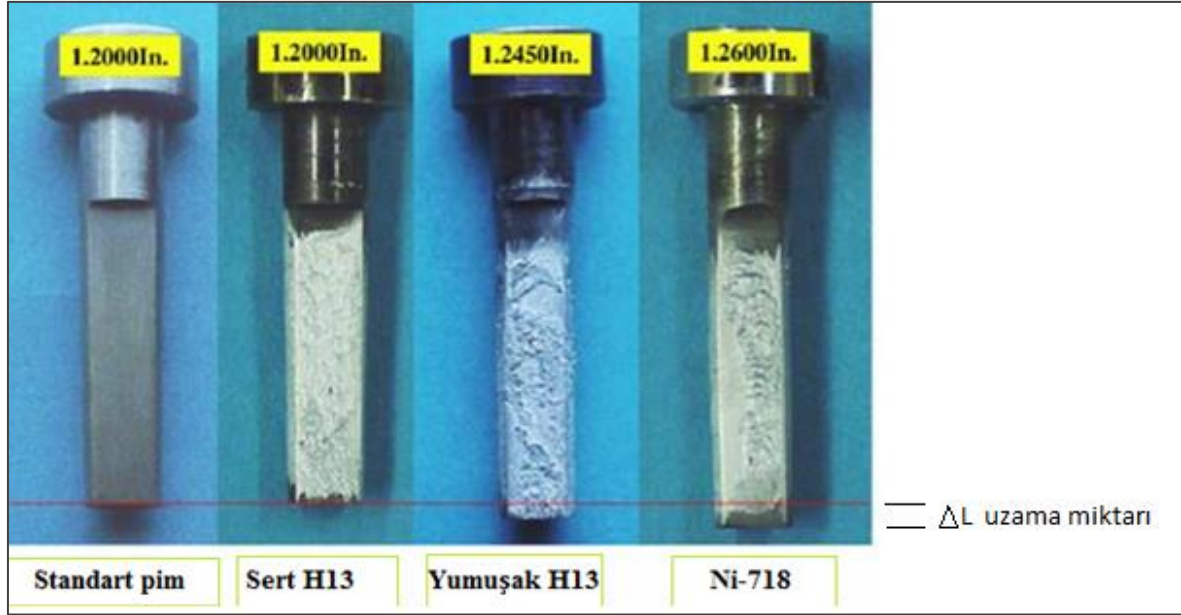


Şekil 5.22. Üç basım sonrası Cu esaslı ve gri dökme demir pimde görülen aşırı hasar [33]

Yapılan deneysel çalışma [33] sonucunda sertleştirilmiş H13 alaşımı pim yüzeylerinde aşırı yapışma ve orta seviyede erozyon görülmüştür. 50 basım yapılan bu deneyde Mo-785, Ti-6Al-4V alaşımlarında bir miktar yapışma ve çok az erozyon oluşmuştur (Şekil 5.23). Sertleştirilmemiş H13, sertleştirilmiş H13 ve Ni-718 alaşımlarında 30 döngü sonrası şiddetli yapışma ve nispeten düşük ısıl dayanım nedeniyle boyutsal değişim (uzama) Şekil 5.24'de ΔL ile gösterilmektedir.



Şekil 5.23. 50 basım sonrası üzerinde yapışma olan ve yapışmadan arındırılmış pimlerin görüntüsü [33]

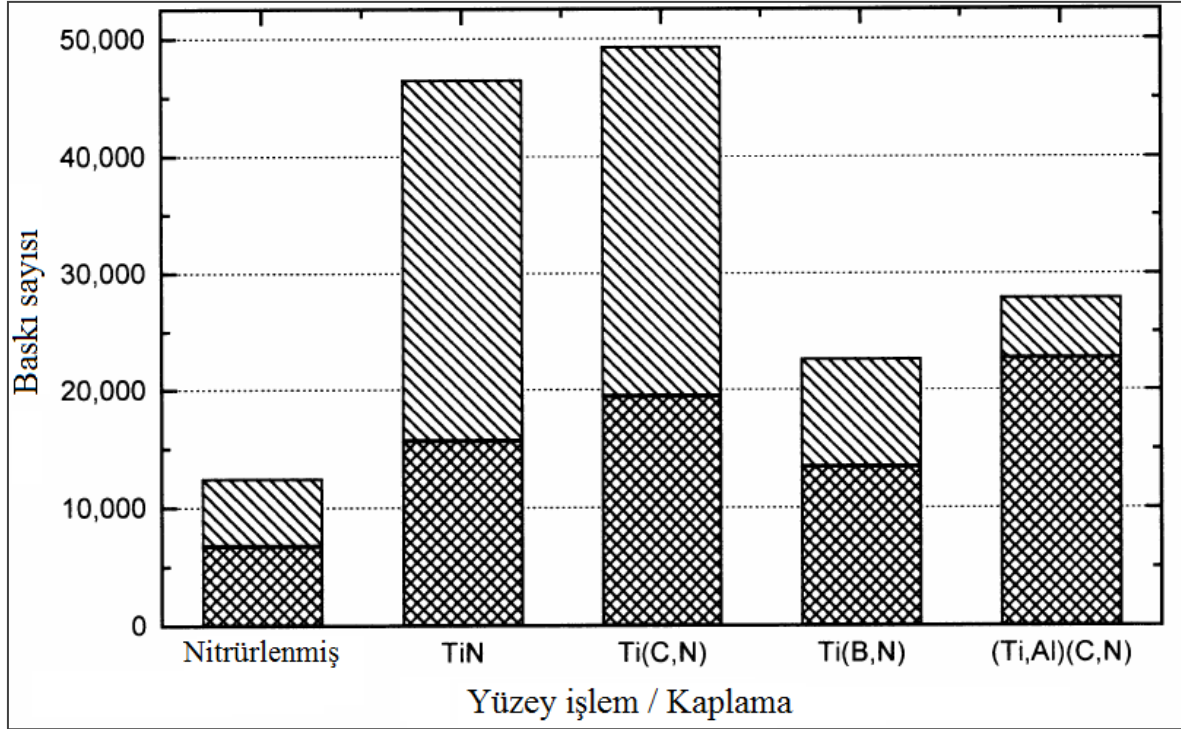


Şekil 5.24. Sertleştirilmemiş H13 ve Ni-718 alaşımlarında 30 döngü sonrası şiddetli yapışma ve nispeten düşük ısıl dayanım nedeniyle boyutsal değişim [33]

5.3. Yapılmış Deneysel Çalışmalara Bakış

Yapılan çalışmalarda farklı malzeme ve kaplamaların farklı şartlar altında davranışları irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır [2, 27, 40, 41, 8, 43]. Nitrürlenmiş, CrN, TiN gibi tek katmanlı kaplamalar veya bunların türevleri olan çoklu katmanlı kaplamalarla kaplanmış yüzeylere sahip numuneler kullanılmıştır [23, 27, 42, 43].

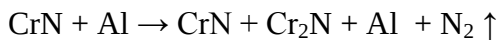
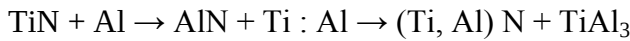
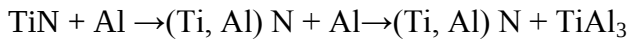
Yapılan bir çalışmada 1.2343 (H11) malzemeden imal edilmiş maça pimleri üzerine yapılan TiN esaslı kaplamaların ısıl hasar limitini artırması, erozyon ve yapışma olayını geciktirmesi [ısıl hasar limitinde artma, erozyon ve yapışma olaylarında gecikme] nedeniyle kalıp ömrünü uzattığı gözlenmiştir. Ayrıca TiN ve Ti(C,N) esaslı kaplamaların sertlik, yapışma davranışı ve oksidasyon direnci bağlamında optimum sonuç verdiği, daha üstün sonuçların ise Ti(B,N) ve (Ti,Al)(C,N) kaplamalarda elde edildiği görülmüştür. Şekil 5.25’de kaplamaların başarılı sonuçlar verdiği maksimum ve minimum döküm döngüsü sayısı sütun grafik olarak verilmiştir. Koyu renkli kısımlar minimum, açık renkli kısımlar maksimum değerleri vermektedir [23].



Şekil 5.25. Basınçlı alüminyum dökümde farklı yüzeylerin muamelesinde yapılan baskı sayıları [23]

Başka bir çalışmada Anviloy® 1150 H13 sıcak iş takım çeliği üzerine yapılan CrN ve TiN kaplamaların performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu CrN/Al ve TiN/Al sistemlerinde oluşan reaksiyonlar neticesinde oluşan bileşikler irdelenmiş ve CrN kaplamaların diğerlerine göre çok daha inert olduğu görülmüştür [27].

Bu muhtemel reaksiyonlar aşağıda verilmiştir [27].



Yapılan gerçel deneylerde, CrN kaplamanın Al ile metallerarası bileşik oluşturma eğilimine 1083K sıcaklığında sahip olmaması TiN kaplamaya göre daha başarılı bir difüzyon bariyeri görevi görmesine neden olmaktadır. Bu sayede daha üstün bir koruma sağlamaktadır [27]. Plazma yardımıyla CVD (plasma-assisted chemical vapour deposition-PACVD) kaplama yöntemiyle yapılan Ti(B,N) ve (Ti,Al)(C,N) kaplamaların 760°C olan oksidasyon sıcaklığının (ısıl direncinin), aynı yöntemle kaplanan TiN ve Ti(C,N)

kaplamalarda 680°C'ye gerilediği görülmüştür [23]. Dinamik daldırma deneylerinde PVD yöntemiyle kaplanan TiCN kaplamanın, oksidasyon sıcaklığının üretici firma tarafından 400°C olarak verilmesine rağmen başarılı görünmesinin sebebi; sıvı metal içerisinde oksitlenme ortamının oluşmamasıdır [42].

Yapılmış olan çalışmalar değerlendirildiğinde;

- Son şekle yakın üretim proseslerinin en önemlilerinden bir tanesi olan basınçlı döküm yönteminde, kalıbın en büyük maliyet unsuru olduğunu,
- Kalıp hasarının azaltılmasının, gerek üretim hızının artırılması gerekse parça başı maliyetinin azaltılması açısından önemli olduğunu,
- Döküm alaşımının kimyasal bileşiminin, Al'un Fe'e olan kimyasal ilgisini etkilediği; yani döküm alaşımı ile kalıp malzemesinin "metaller arası bileşik oluşturma eğilimi" nedeniyle kalıbın bozulması ve ilerleyen aşamalarda kalıba yapışma olayının gerçekleştiği,
- Kalıptaki bozulmanın aynı zamanda kalıp malzemesinin uygun ısııl işleme tabii tutulması ile ilgili olduğu,
- Kalıpta sıcaklık gradyanının aşırı ve yerel olarak artışına neden olabilecek tasarımlardan kaçınılması ve dengeli bir ısı dağılımı sağlamak için uygun soğutma sistemi uygulama zorunluluğunun varlığı,
- Çatlak yoğunluğunun döküm sayısı, kalıp malzemesi ve bu malzemenin uygun ısııl işlemine bağlı olarak değiştiği,

görülmektedir.

Mikroyapının östenit içermesinin olumlu sonuç vereceği düşünülmektedir. Ancak mikroyapının ferrit içermemesi gerektiği kesin bir yargı olacaktır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Amaç ve Yöntem

Basınçlı döküm yönteminde kalıp ömrünü etkileyen çok sayıda, birbiriyle kısmen bağlantılı ve bazen aynı anda işleyen farklı türde zorlayıcı hasar mekanizmaları vardır. Bu çalışmanın amacı; işletmelerin katlanmak zorunda olduğu üretimdeki en yüksek maliyet kalemi olan kalıp için az sayıda yapılmış çalışmalara yenisini ekleyerek daha derleyici bir yaklaşımla piyasanın seçimlerini kolaylaştırmaktır. Bu çalışmada, deneysel sürecin uzunluğu nedeniyle daha tutarlı ve gözlemlenebilir sonuçlar vermesi nedeniyle “Batırıp Çıkarma” yöntemi deneysel metot olarak seçilmiştir. Çalışma; malzeme türü, kaplama, sıcaklık ve daldırma döngü sayısı olmak üzere dört temel parametre üzerinden yürütülmüştür.

6.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Kaplamalar

Yapılan deneylerde karşılaştırma yapabilmek için üzerinde hiçbir kaplama bulunmayan Ç1020 çeliği ve Güvenal Teknik firmasından temin edilen, Şekil 6.1’de katalog bilgileri verilen nitrür kaplamalı H13 sıcak iş takım çeliğinden üretilmiş itici pimler [44], ayrıca; yine bu itici pimlerden Ionbond firmasına kaplatılmış farklı türlerde numuneler kullanılmıştır. Bunlar AlTiN, CrN ve AlTiN-CrN kaplamalardır. Bu kaplamalara ait veriler Çizelge 6.1’de verilmiştir [45]. Kullanılan pimler 5 mm çap ve 100 mm boya sahiptir.

Pim çapı D1 g6	Kafa çapı D2 -0.2	Kafa kln. H -0.05	Köşe Radyus R +0.2	Sipariş / Order: AV 03. D1 x L							
				100	125	160	200	250	315	400	
1.5	3	1.5	0.2	*	*	*	*	*	*	*	
2.0	4	2	0.2	*	*	*	*	*	*	*	
2.5	5			*	*	*	*	*	*	*	
3.0	6			*	*	*	*	*	*	*	
3.5	7			*	*	*	*	*	*	*	
4.0	8	3	0.3	*	*	*	*	*	*	*	
4.5				*	*	*	*	*	*	*	
5.0				*	*	*	*	*	*	*	

Malzeme: 1.2344 (X40CrMoVS1) Sıcak iş çeliği / Gerilim:1450 N/mm²

Şaft: HRC 44 (1400Mpa) taşlanmış ve plazma nitrürlenmiş HRC 70 sertliktedir. (950 – 1100 HV)

Kafa: HRC 45 ±5 (1250 – 1670 Mpa)

Şekil 6.1. Deneyde kullanılan pimlere ait katalog bilgileri [44]

Çizelge 6.1. Numuneler üzerine yapılan kaplamalara ait veriler [45]

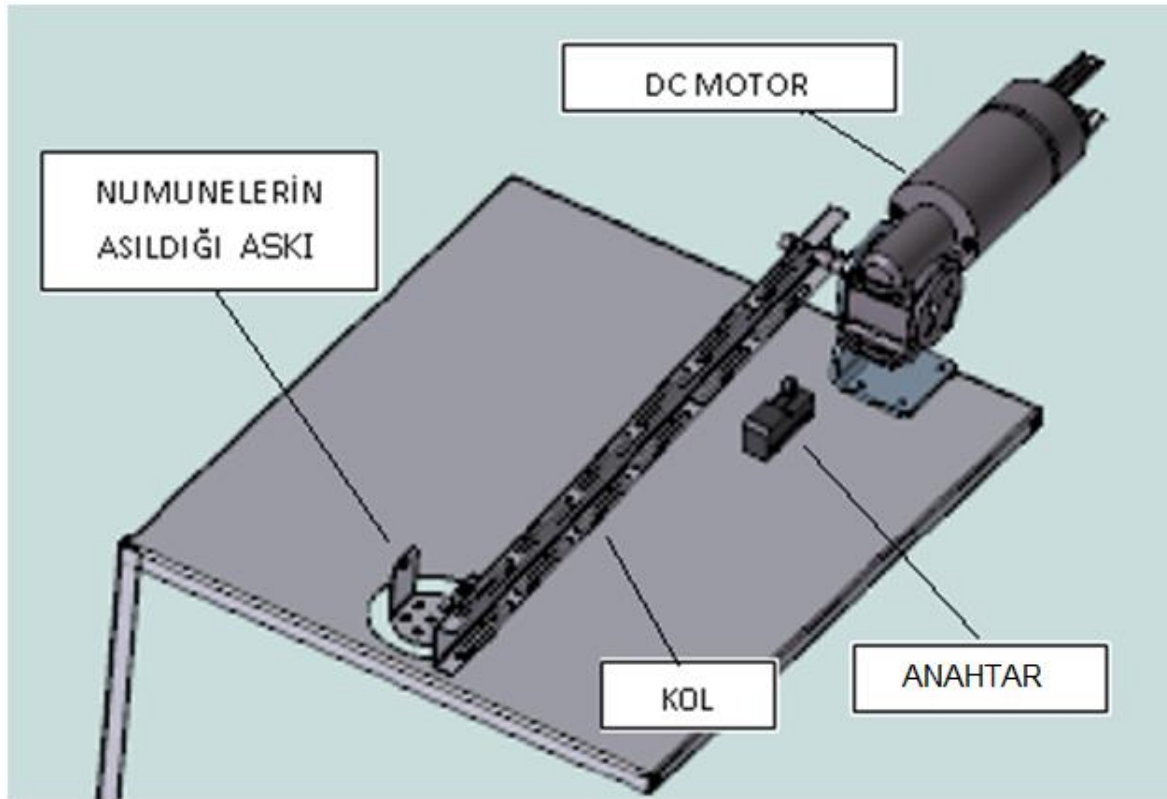
KAPLAMA	Kullanım yeri	Kaplama Kalınlığı (µm)	Sertlik (HV)	Oksidasyon sıcaklığı (°C)	Sürtünme katsayısı	Kaplama rengi
IonBond AlTiN	Özellikle derin delik delme, matkap ve son talaş operasyonları için geliştirilmiştir.	1–3	3300	900	0,30	Gri-Menekşe
IonBond CrN	Paslanmaz çelik şekillendirme işlemlerinde, metal sıvama kalıplarında ve soğuk şekil verme işlemlerinde, metal enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıp ve maçalarında 3.5 mm'den kalın St 37 sac malzemelerin delme zımbalarında	1–4	2400–2600	700	0,40	Gümüş
IonBond Ultracast (CrN- AlTiN)	Metal enjeksiyon kalıplarında kullanılır.	4–6	2800–3200	800	0,55	Siyah-Mor

6.3. Deney Düzeneği

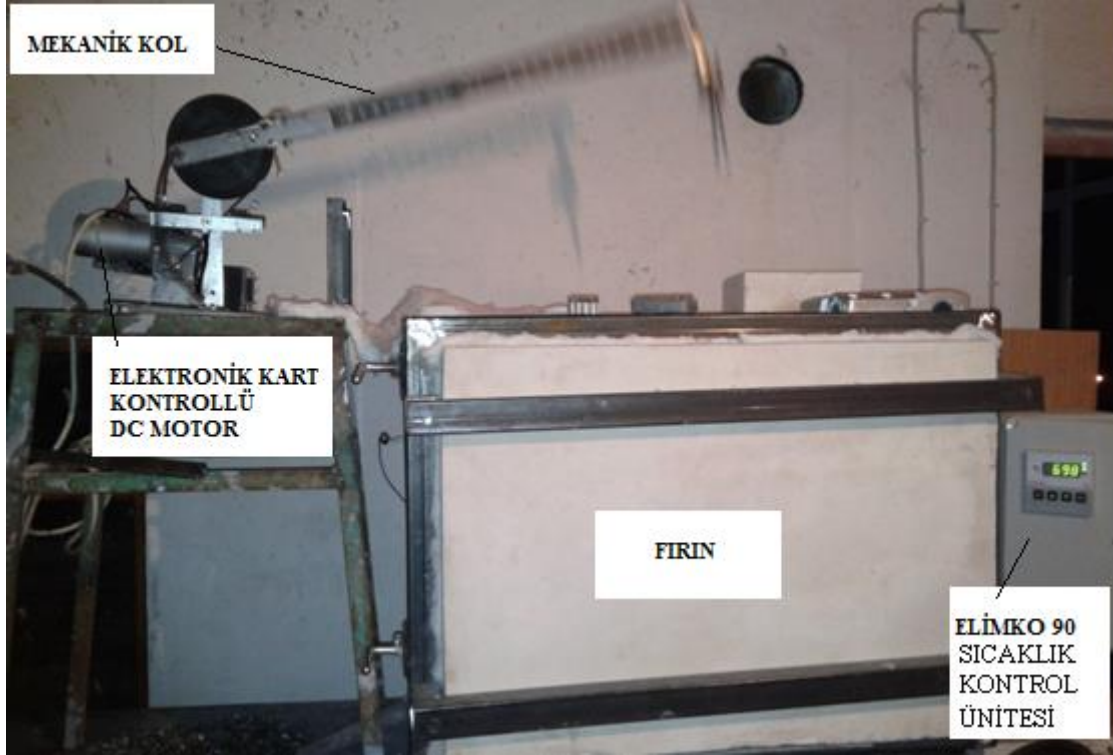
Mekanik düzeneğin konstrüksiyon tasarımı için Alibre Design üç boyutlu tasarım programı kullanılmıştır. Deney düzeneğinin üç boyutlu katı (3D) çizimi Şekil 6.2’de gösterilmektedir. Düzenek bileşenleri, Amada marka X1 model 4000W güce sahip CNC lazer tezgahında sac metalden kesilip, yine Amada marka CNC apkantta bükümü yapılmak suretiyle üretilmiştir. Mekanik daldırma sisteminin tahrik ünitesi olarak, Tapaş marka 100W gücünde kendinden redüktörlü bir DC motor ve bu motorun kontrol ünitesi olarak Mikrolift firmasının Yener-San için ürettiği kart kullanılmıştır. Bu kart sayesinde her bir döngü, 6 saniye sıvı metal içinde bekleme, 6 saniye sıvı metalden soğutma sıvısına geçiş

süresi olarak havada bekleme ve 6 saniye soğutma sıvısı (100°C'lik kaynar su) içinde beklemeden ibaret olmak üzere toplam 18 saniye olarak ayarlanmıştır. Bu sayede saatte 200 döngü gerçekleşmesi sağlanmıştır. Bu değer ortalama bir gerçek döküm döngüsünü simüle etmek için seçilmiştir. Resim 6.1'de pimlerin asılı olduğu askının sıvı metal içine daldırılması görüntülenmektedir. Resim 6.2'de ise metale daldırma işleminin gerçekleştiği üstteki açıklık görülmektedir.

Fırın olarak, 1300 Watt gücünde, çelik konstrüksiyon içine oturtulmuş 10 cm kalınlığındaki seramik-board ile izole edilmiş tek fazlı bir direnç fırını kullanılmıştır. Çelik konstrüksiyon 40x40x2 mm'lik kare profillerin kaynatılması ile imal edilmiştir. Bu fırın da imalat öncesi 3D programında tasarlanmıştır. Fırına ait teknik resim Şekil 6.3'de verilmiştir. Sıcaklık kontrol ünitesi olarak ± 5 °C hassasiyete sahip Elimko 90 K-tipi ısıtıcı çift ile birlikte kullanılmıştır. Şekil 6.4'de deney düzeneğinin çalışma döngüsünün şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 6.2. Mekanik düzeneğin 3D çizim görseli.



Resim 6.1. Deney düzeneğinin gösterimi ve pimlerin ergiyik içine daldırılması



Resim 6.2. Metale daldırma işleminin gerçekleştiği açıklığın üstten görüntüsü

6.4. Deneyin Uygulanması

Tüm deneylerde Etial–171 döküm alaşımı kullanılmıştır. Asil deneylere geçilmeden önce kaplamasız Ç1020 çeliği ve yüzeyi nitrürlenmiş H13 çeliği ile pilot deneyler yapılmıştır. Pilot ve esas (asil) deneylerde sıvı metal sıcaklığı 700°C olarak belirlenmiştir. Sıvı metalin kimyasal bileşimi Çizelge 6.2’de verilmiştir. Her numune türünden üç adet kullanılarak 3000, 6000 ve 9000 döngülük üç farklı daldırma süreci izlenmiştir. Numunelerin asıldığı askı kısmında 6 numunelik yer bulunmaktadır. Deney başlangıcında sepete iki farklı türden olmak üzere üçer adet numune asılmış ve her 3000 döngü sonunda sepette her türden numunelerden birer tanesi alınmıştır. Bu periyot, üç kez gerçekleştirilmiş, üçüncü ve son periyotta numuneler için 9000 döngü tamamlanmıştır. Çizelge 6.3’de pilot, Çizelge 6.4’de asil deneysel süreçle birlikte ortaya çıkan numune çeşitliliği ve buna bağlı numaralandırma verilmektedir.

Çizelge 6.2. Etial 171 döküm alaşımının kimyasal bileşimi

Alaşım Elementi	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ni	Ti	Al
Ağırlıkça %	0,10	0,50	9,0–10,0	0,10	0,4–0,6	0,3–0,45	0,1	0,15	kalan

Deney yukarıda anlatıldığı üzere dört temel parametre üzerinden yürütülmüştür. Bunlar; malzeme türü, kaplama türü, daldırma sıcaklığı, daldırma (döngü) sayısıdır. Bu deneydeki değişken parametreler; yüzey kaplaması ve döngü sayısıdır. Sabit parametreler ise sıcaklık ve malzeme türüdür. Her döngü sonunda soğutma sıvısına batırılan pimler, sıvı metalden ayrılırken üzerlerine yapışan tabaka şeklindeki küçük Al kütlelerden, ısı şok ve kaynamanın etkisiyle kurtulmuşlardır. Bu katılaşma ürünü yapışma kütleleri soğutma sıvısı kabının içinde biriktikçe toplamıştır. Bu katılaşma ürünleri; pimlerin yapısal bozulmalarını takiben oluşan metallerearası bileşik katmanları ile karıştırılmamalıdır. Çünkü bunlar, sadece mekanik yollarla pimler üzerinden ayrılabilir. Katılaşma kütlelerinin soğutma sıvısı kabına düşmesi sayesinde, her döngüde pimlerin temiz olarak sıvı metale daldırılması sağlanmıştır. Bu şekilde, kaplamaların kütle tarafından korunması gibi bir olumsuz etkinin ortaya çıkması engellenmiştir.

Bu isimlendirmeye göre;

- “a” indisi; 3000 döngüyü,
- “b” indisi; 6000 döngüyü,
- “c” indisi; 9000 döngüyü,
- “1” indisi; Ç1020 çeliği numuneyi,
- “2” indisi; nitrürlenmiş H13 çeliği numuneyi,
- “3” indisi; CrN kaplamalı H13 çeliği numuneyi,
- “4” indisi; AlTiN kaplamalı H13 çeliği numuneyi,
- “5” indisi; CrN-AlTiN kaplamalı H13 çeliği numuneyi,

ifade etmektedir.

Çizelge 6.3. Pilot deneylerde kullanılan numunelerin numaralandırılması

Numune No	Döngü Sayısı	Malzeme	Kaplama/işlem	Deney Sıcaklığı (°C)
1	3000	Ç1020	Yok	700
2	3000	1.2344	Nitrürlenmiş	700

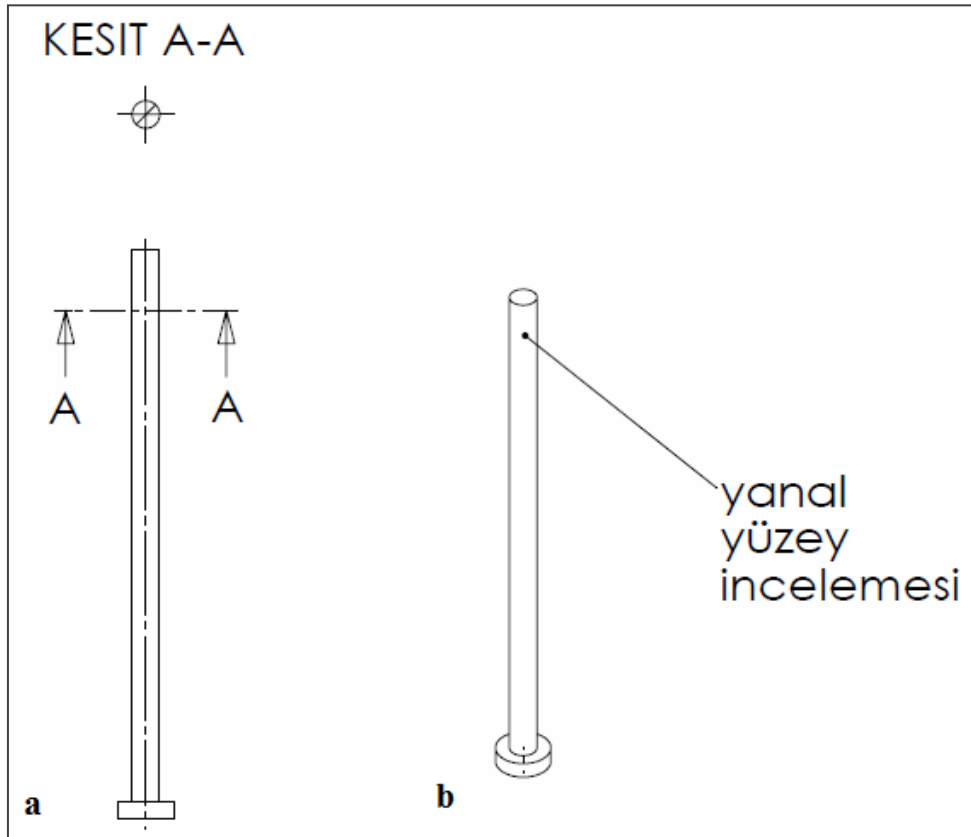
Çizelge 6.4. Asil deneylerde kullanılan numunelerin numaralandırılması

Numune No	Döngü Sayısı	Malzeme	Kaplama/işlem	Deney Sıcaklığı (°C)
3-a	3000	1.2344	CrN	700
3-b	6000	1.2344	CrN	700
3-c	9000	1.2344	CrN	700
4-a	3000	1.2344	AlTiN	700
4-b	6000	1.2344	AlTiN	700
4-c	9000	1.2344	AlTiN	700
5-a	3000	1.2344	CrN-AlTiN	700
5-b	6000	1.2344	CrN-AlTiN	700
5-c	9000	1.2344	CrN-AlTiN	700

6.5. Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme pilot ve asil deneylerin incelemesi olarak iki başlık altında yapılmıştır. Tüm görüntüleme ve bilgisayara aktarma işlemleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Pilot deneyler sonrası numuneler, yapışmış olan metal üzerlerinde olduğu halde fotoğrafları çekilerek görüntülenmiştir. Daha sonra, bu yapışma ürünleri mekanik olarak numune üzerinden ayrılmış ve numuneler tekrar görüntülenmiştir. Bu aşamadan sonra stereo mikroskop ile yüzeydeki kaplamalarda meydana gelen hasarlar gözlenmiş ve görüntülenmiştir. Görselleştirmenin üçüncü aşaması olarak, optik mikroskop yardımıyla mikroyapı incelemesi yapmak amacıyla Şekil 6.5.a'da gösterildiği şekilde numunelerin uç kısımlarına yakın kesitler alınmıştır. Kesit alma işlemi ATM marka Brillant 250 model kesme cihazında yapılmıştır (Resim 6.3).



Şekil 6.5. Metalografik incelemenin yapıldığı (a) pim kesitinin ve (b) yüzeysel inceleme bölgesinin şematik gösterimi



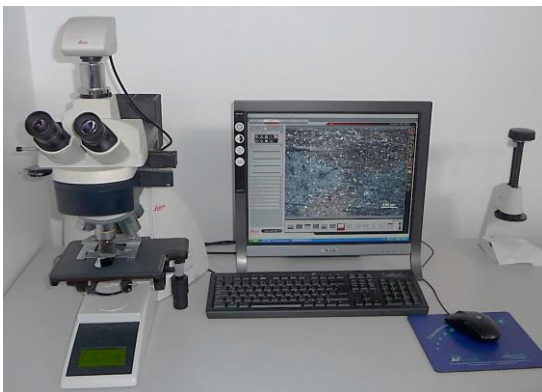
Resim 6.3. ATM Brilliant 250 model kesme cihazı

Kesilen numuneler ATM marka Saphir 330 model zımparalama-parlatma cihazında (Resim 6.4) 400, 800 ve 1200 mesh zımpara ile zımparalandıktan sonra 6 ve 3 μm elmas pasta ile parlatılmıştır.



Resim 6.4. ATM Saphir 330 model zımparalama-parlatma cihazı

Polisaj yapılan H13 numuneler pikralle, Ç1020 numune ise nital ile dağlandıktan sonra, LEICA marka DM 4000M model metal mikroskobu (Resim 6.5) ve kendine akuple CCD kamerası vasıtasıyla mikroyapı görüntüleri bilgisayar ortamına orijinal ölçek skalası ile birlikte aktarılmıştır.



Resim 6.5. LEICA DM 4000M metal mikroskobu

Asil deney numunelerinin (kaplamalı H13 numunelerin) metalografik mikroyapı incelemesinden sonra görselleştirmenin ikinci aşaması olarak Resim 6.6'da görüntüsü bulunan JEOL marka JSM-6060 LW model tarama elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla Şekil 6.5.b'de gösterilen yanal yüzeyden görüntüler alınmış ve bilgisayar ortamına ölçü skalası ile birlikte aktarılmıştır.



Resim 6.6. JEOL marka JSM-6060 LW model SEM (tarama elektron mikroskobu)

Yapılan tüm gözlemlerin sayısal olarak desteklenmesi adına çekilen yanal yüzey SEM resimleri Image-j görüntü analiz programı kullanılarak, hasar bölgelerinin piksel olarak ortalama ebadı, hasarlı bölge sayısı ve hasar alanı kesri bulunmuş, tablo ve grafikler elde edilmiştir. Ortalama ebat; hasar alanının hasarlı bölge sayısına oranıdır. Alan kesri; hasarlı alanın hasarsız alana oranıdır.

Çizelge 6.4'de verilen sıraya uygun olarak numunelerin görüntü analizi yapılmıştır. İlk olarak CrN kaplı 3000 döngüye sahip numune için görsel analiz yapılmıştır. Kullanılan programın dört aşamalı sürecinin basamaklarının da anlatıldığı program ekran çıktısı resimler verilmiş, daha sonraki numuneler için ise sadece son işlem basamağı resimlerine yer verilmiştir. Image-j görüntü analiz programı bu ekran çıktılarının yanı sıra bir Excel tablosu halinde analiz sonuçlarını yayımlamaktadır. Bu tablolar bir araya getirilerek her kaplama türü için döngü sayısı bağlamında bir kıyaslama grafiği oluşturulmuştur. Her üç

kaplama türü için aynı uygulama yapıldıktan sonra, son olarak tüm kaplamalı numunelerin döngü sayısı ekseninde değerlendirildiği tek bir grafik oluşturulmuştur. Hazırlanan grafiklerde yatay eksen döngü kategorisi için, dikey eksen ise hasar değerleri için kullanılmıştır. Hasar değerleri arasında büyük farklar olduğu için skalası logaritmik olarak düzenlenmiştir. Farklı türde değerlerin birbirleri ile ilişkilerini sergilemek adına aynı grafikte gösterilmesi sebebiyle, birim ifadesi eğri türlerinin adlandırıldığı gösterge alanında yer almıştır.

6.6. Yüzey Pürüzlülük İncelemesi

Kaplama türü ve döngü sayısına göre tasnif edilen numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde bulunan TIME marka TR200 model yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır (Resim 6.7). Ölçümler, Şekil 6.5.b'de gösterilen yanal yüzey üzerinde belirli aralıklarla çevrilerek üç farklı yüzeyden alınmış ve bu değerlerin ortalaması esas alınmıştır.



Resim 6.7. Yüzey pürüzlülük cihazı

6.7. Sertlik Ölçümü

Kaplama türü ve döngü sayısına göre tasnif edilen numunelerin sertlik ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan EMCO TEST marka Duravision 200 model universal sertlik ölçme cihazı kullanılarak yapılmıştır (Resim 6.8). Şekil 6.5.a'da gösterilen kesit yüzeyi üzerinde belirli aralıklarla doğrusal

hareket ettirilerek üç farklı noktadan Vickers 5 skalasına göre sertlik ölçümlü yapılmış ve bu üç değerin ortalaması alınmıştır.

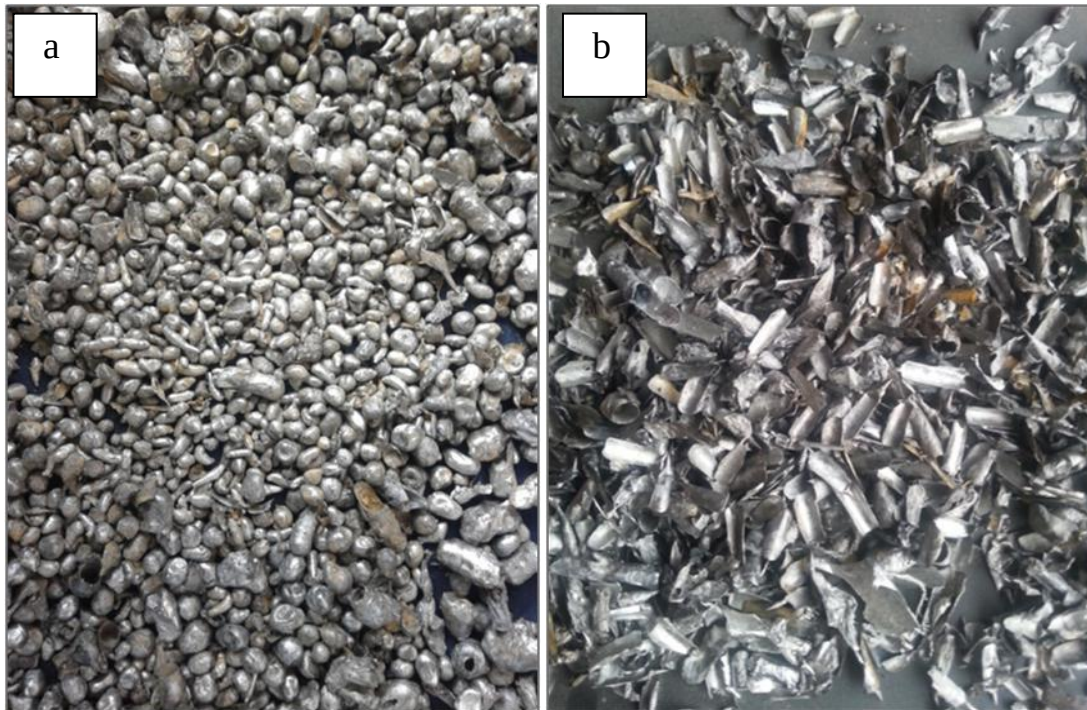


Resim 6.8. EMCO TEST marka Duravision 200 model universal sertlik ölçme cihazı

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Metalografik İnceleme Sonuçları

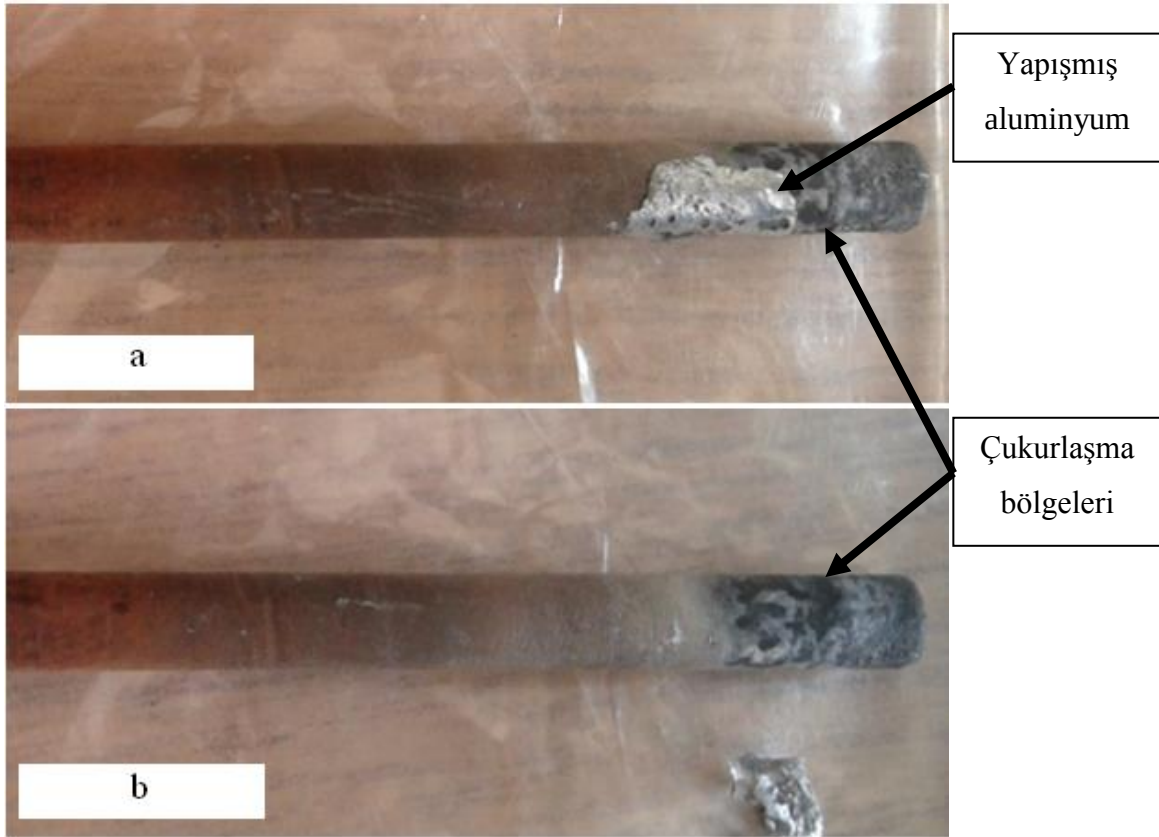
Metalografik incelemeye geçilmeden önce soğutma sıvısında biriken katılaşma ürünleri resimlendirilmiştir. Bu katılaşma ürünlerinin görüntülendiği resimlere baktığımızda (Resim 7.1.a. ve b.) kaplamasız numunelerin (No 1 ve No 2) üzerlerine yapışan kütlelerin daha küresel ve büyük olduğu, kaplamalı (No 3, No 4 ve No 5 grubu) numunelerin üzerlerine yapışan kütlelerin ise ince alüminyum folyo benzeri bir yapıda olduğu görülmektedir. Kearns [53], TiAlN, CrN, CrC kaplamalı yüzeylerde ve kaplamasız H13 çeliği numune yüzeyinde 360 alaşımının ıslatma kabiliyetini incelediği çalışmada, ıslatma açısındaki zamana bağlı düşüşle, yine zamana bağlı olarak yüzeye yayılan sıvı metal damlasının çapındaki artış yüzdesini grafiksel olarak (EK-2, EK-3) ortaya koymuş ve ıslatma açısının genişliği ile arayüzey enerjisinin büyüklüğü arasındaki orantılı ilişkinin varlığını ifade etmiştir. Islatma açısındaki düşüş eğrisi ile orijinal damla çapındaki yüzdelik artış eğrisi birbirlerinin ayna simetri görüntüsü şeklinde olduğu ve çap artışının en çoktan en aza doğru olmak üzere sırasıyla; TiAlN, CrC, CrN kaplamalı yüzeylerde ve kaplamasız H13 yüzeyde gerçekleştiği belirtilmiştir.



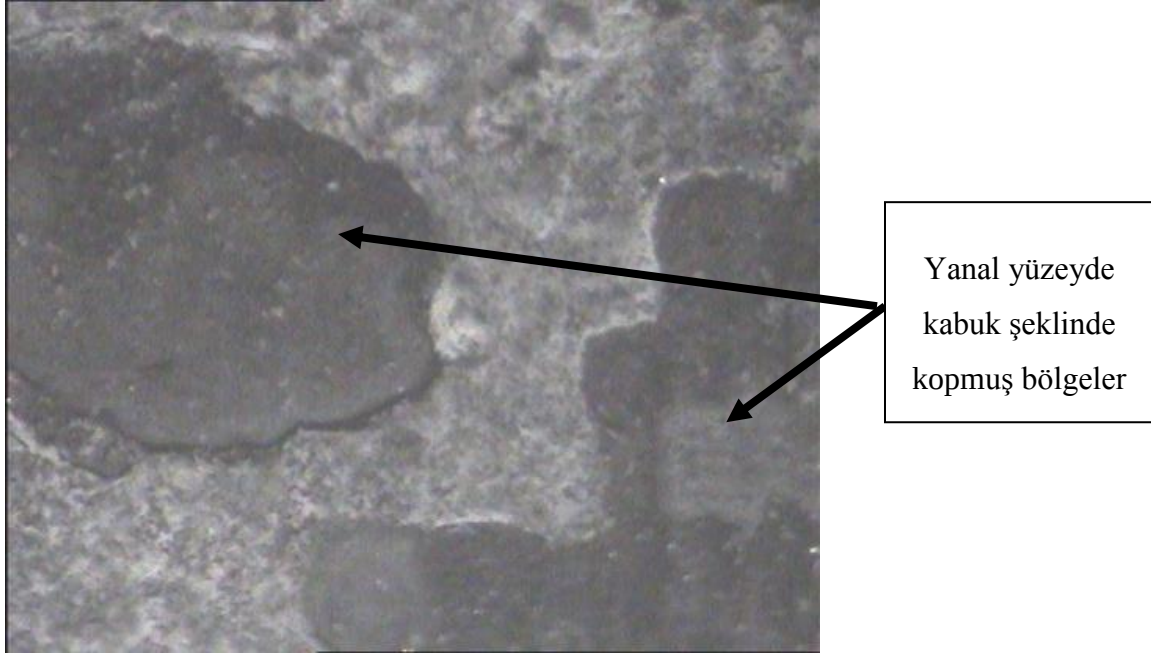
Resim 7.1. Metale daldırma işleminden sonra pim üzerine yapışan Al kütleleri, (a) pilot deneyler, (b) asil deneyler

7.1.1. Pilot deneylerin mikroyapı ve SEM inceleme sonuçları

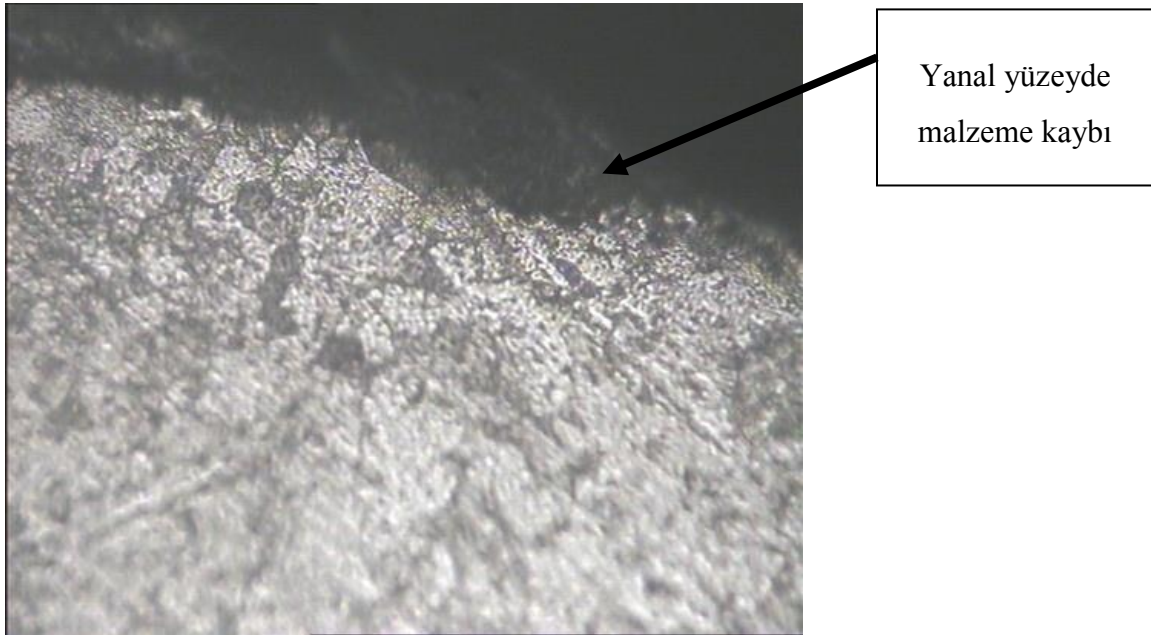
1 No'lu numuneye ait görseller (Resim 7.2, Resim 7.3, ve Resim 7.4) incelendiğinde büyük çukurlaşma bölgeleri ve bu bölgelerin üzerinde büyük miktarda yapışmış alüminyum olduğu görülmektedir. Çukur oluşumları derin ve pürüzlü olmayıp daha çok kabuk kopması şeklindedir (Resim 7.3). Yüzeye yakın kısımlarda tane büyümesi ve dış kısımda malzeme kaybı nedeniyle girintili yapı görülmektedir (Resim 7.4.).



Resim 7.2. (a) 1 No'lu numunenin deney sonrası yapışma görünümü, (b) 1No'lu numunenin yüzeyine yapışan Al malzemenin mekanik olarak temizlenmesi



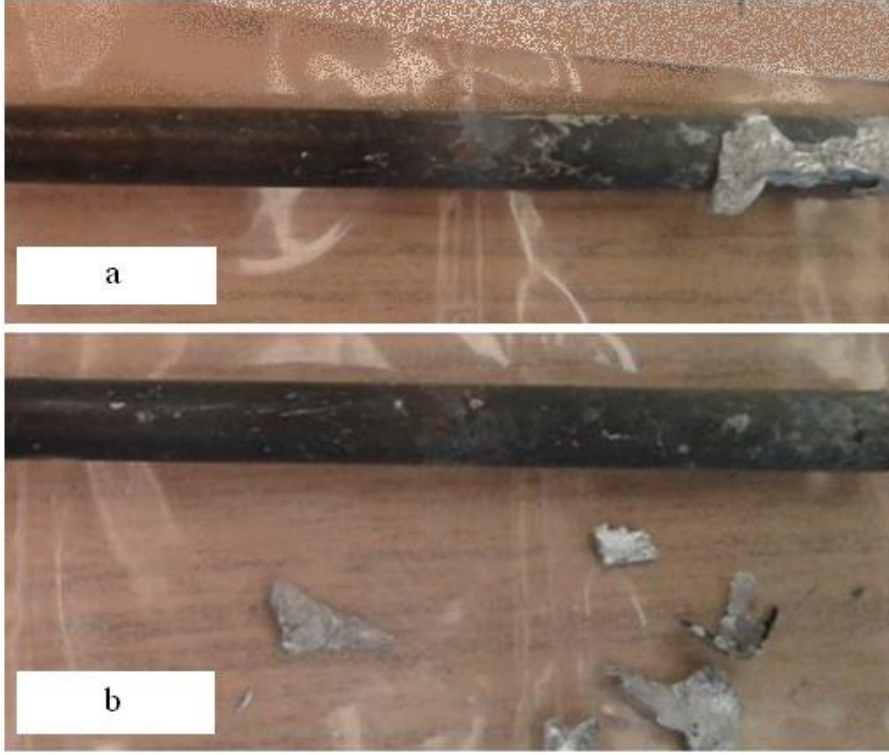
Resim 7.3. 1 No'lu numuneye ait deney sonrası yanal yüzey stereo mikroskop görüntüsü (X17,5)



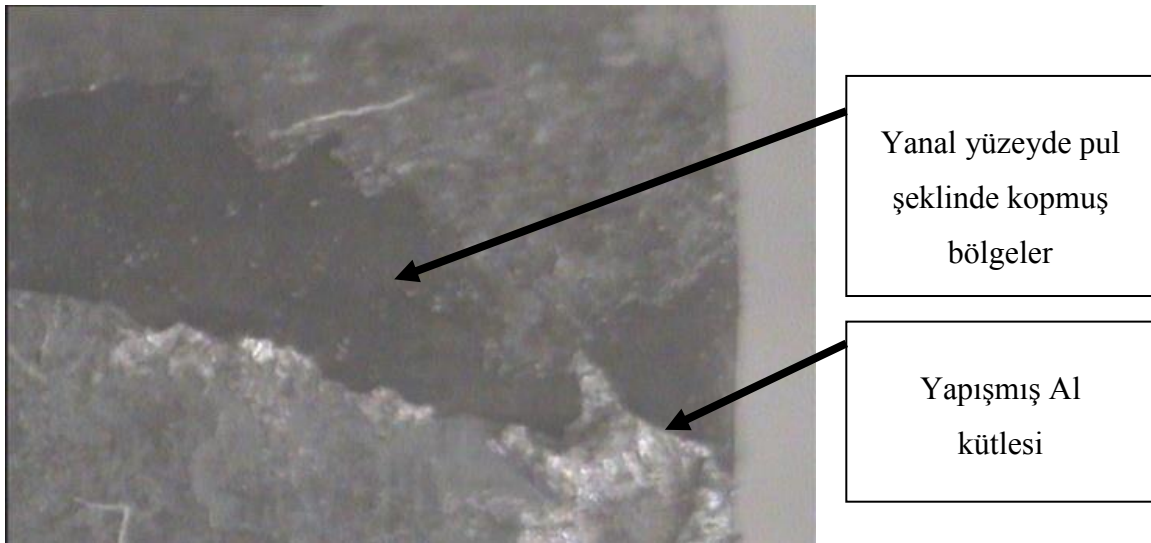
Resim 7.4. 1 No'lu numuneye ait deney sonrası mikroyapı incelemesinde malzeme kaybı görüntüsü (X280)

Resim 7.5, Resim 7.6 ve Resim 7.7'de 2 No'lu numuneye ait görseller yer almaktadır. 2 No'lu numunede de (Resim 7.6) pul şeklinde kopmaların olduğu, ancak hasarın Ç1020'deki kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Ayrıca, 2 No'lu numunede pul şeklinde kopmaların yaşandığı kısımların çevresinde küçük yapışma olaylarının gerçekleştiği gözlenmiştir (Resim 7.6). Resim 7.7'de 2 No'lu numunede meydana gelen sınırlı

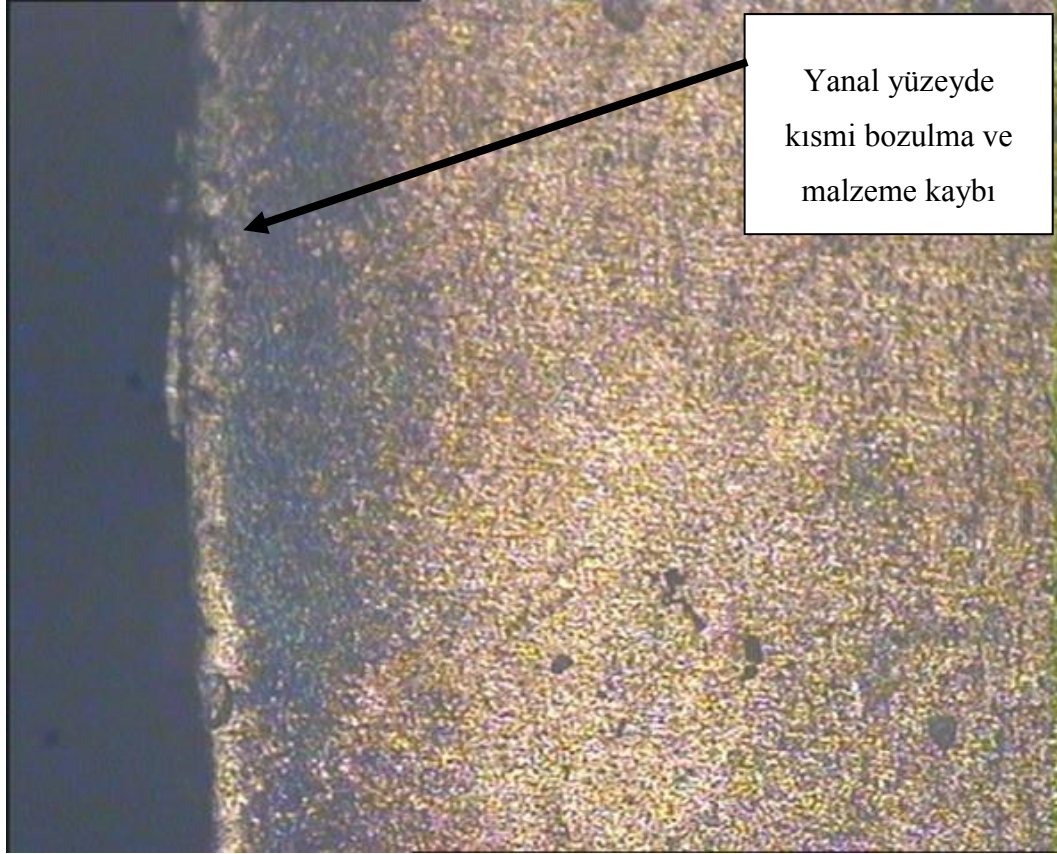
miktardaki malzeme kaybı ve bozulma görüntülenmektedir. Pürüzlülüğün, 1 No'lu numunedeki kadar rahat gözlemlenebilir düzeyde olmadığı, yapışan kütlenin alüminyum folyo inceliğinde olduğu ve rahatça numune yüzeyinden mekanik yolla rahatça ayrılabilirdiği görülmüştür.



Resim 7.5. (a) 2 No'lu numunenin deney sonrası yapışma görünümü, (b) 2 No'lu numunenin yüzeyine yapışan Al malzemenin mekanik olarak temizlenmesi



Resim 7.6. 2 No'lu numuneye ait deney sonrası yanıl yüzey stereo mikroskop görüntüsü (X17,5)



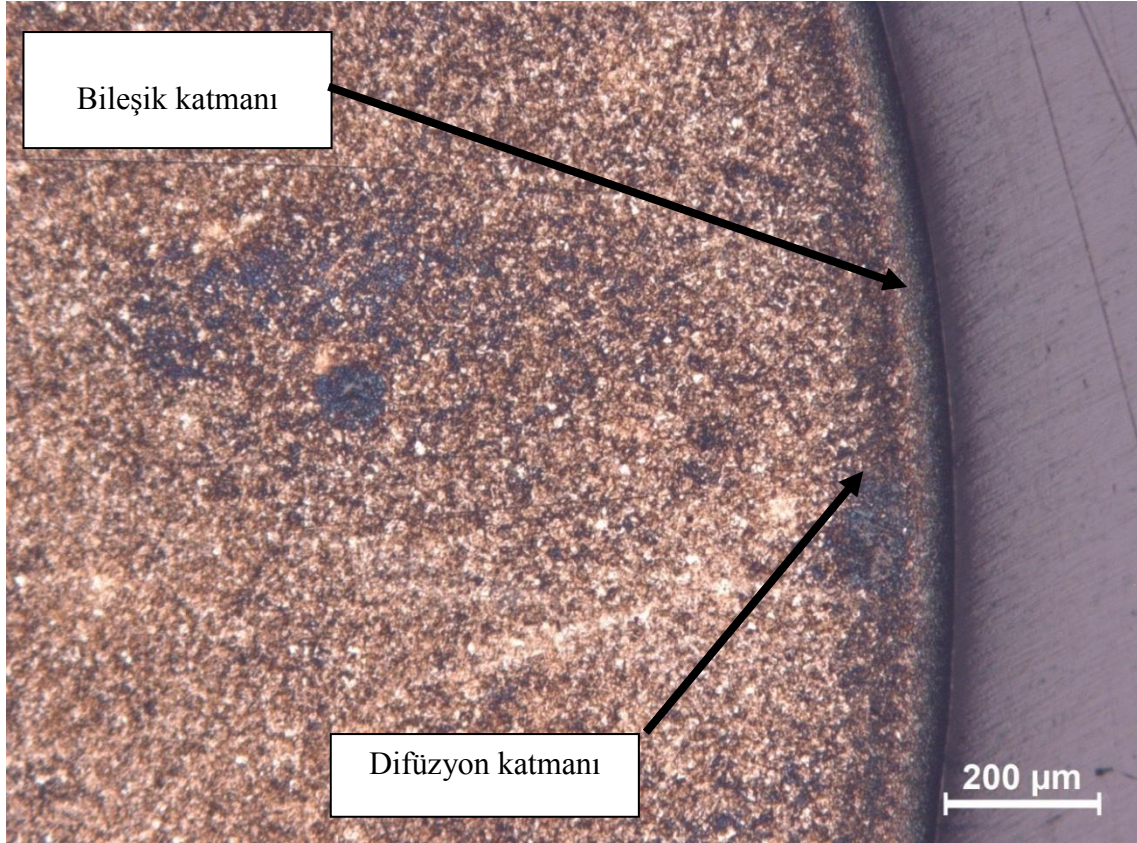
Resim 7.7. 2 No’lu numuneye ait deney sonrası mikroyapı görüntüsü (X70)

7.1.2. Asil deney numunelerinin metalografik inceleme sonuçları

3, 4 ve 5 numaralı numuneler ayrı bir sınıf olarak düşünüldüğünden aynı döngü ve sıcaklık şartları için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmek üzere farkı bir düzende görsellenerek tasnif edilmiştir.

Resim 7.8’de deney için Güvenal-teknik firmasından alınan, yüzeye nitrasyon uygulanmış H13 pimplere ait deney öncesi tipik mikroyapı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda ifade bulan [46-48], en dıştaki açık renkli katman; HMK yapıda difüzyon nedeniyle doygunluğa ulaşan nitrojence zengin katmandır. Bu katmanın bileşik katmanı veya beyaz katman olarak adlandırıldığı belirtilmiştir. Bu katmanın hemen arkasındaki ikinci koyu renkli bölge difüzyon bölgesi olarak adlandırıldığı, bunun sebebinin ise; artan tane sınırları ile birlikte, tane sınırlarında daha hızlı difüzyonun gerçekleşmesi ve nitrojence zengin bölgeler ve nitrid çökeltilerinin meydana gelmesinin olduğu ifade edilmektedir. Öz kısmının ise tipik temperlenmiş martenzitten ibaret olduğu belirtilmektedir [48]. Beyaz katmanın oluşması nitrürleme ortamındaki azot derişikliğine ve süreye bağlıdır, düşük

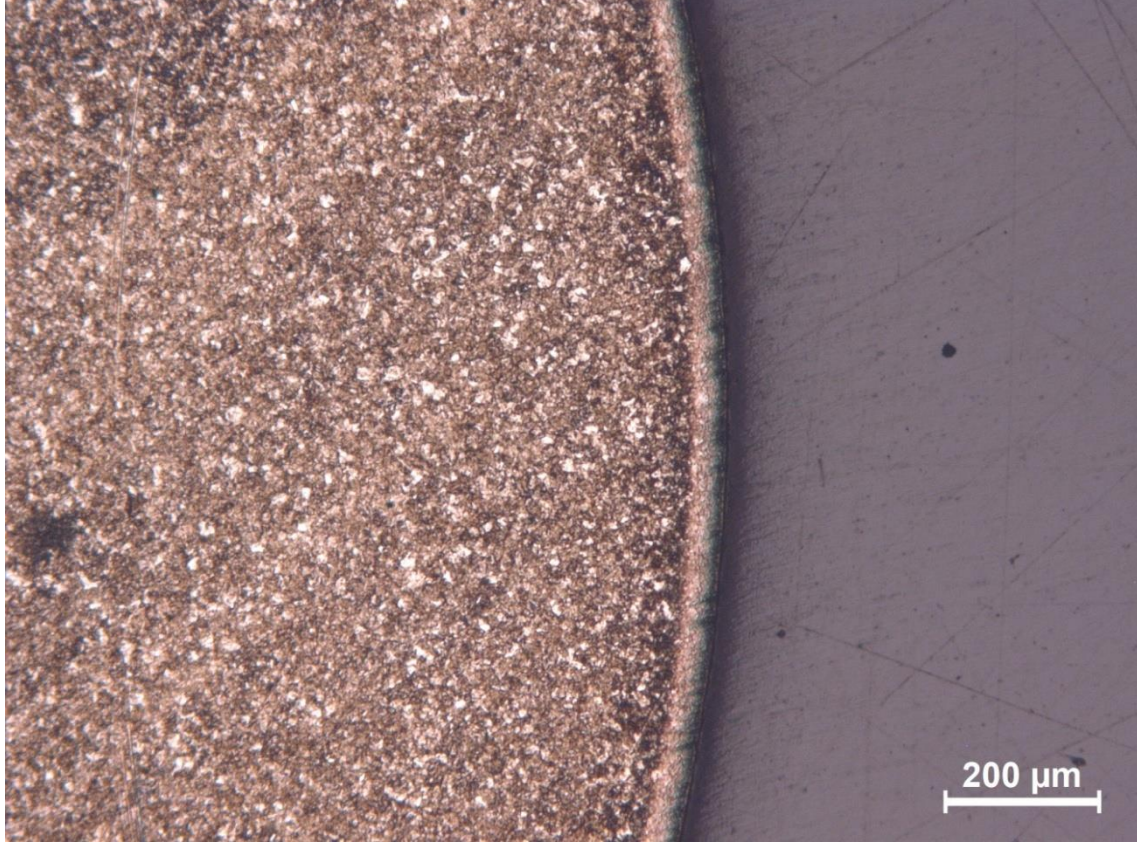
derişiklik ve/veya kısa süre sadece difüzyon katmanının görünmesine sebep olur[48, 54]. Beyaz katman olarak anılmasının sebebi dağlayıcılarla girdiği reaksiyon sonrası beyaz rengi almasıdır [54].



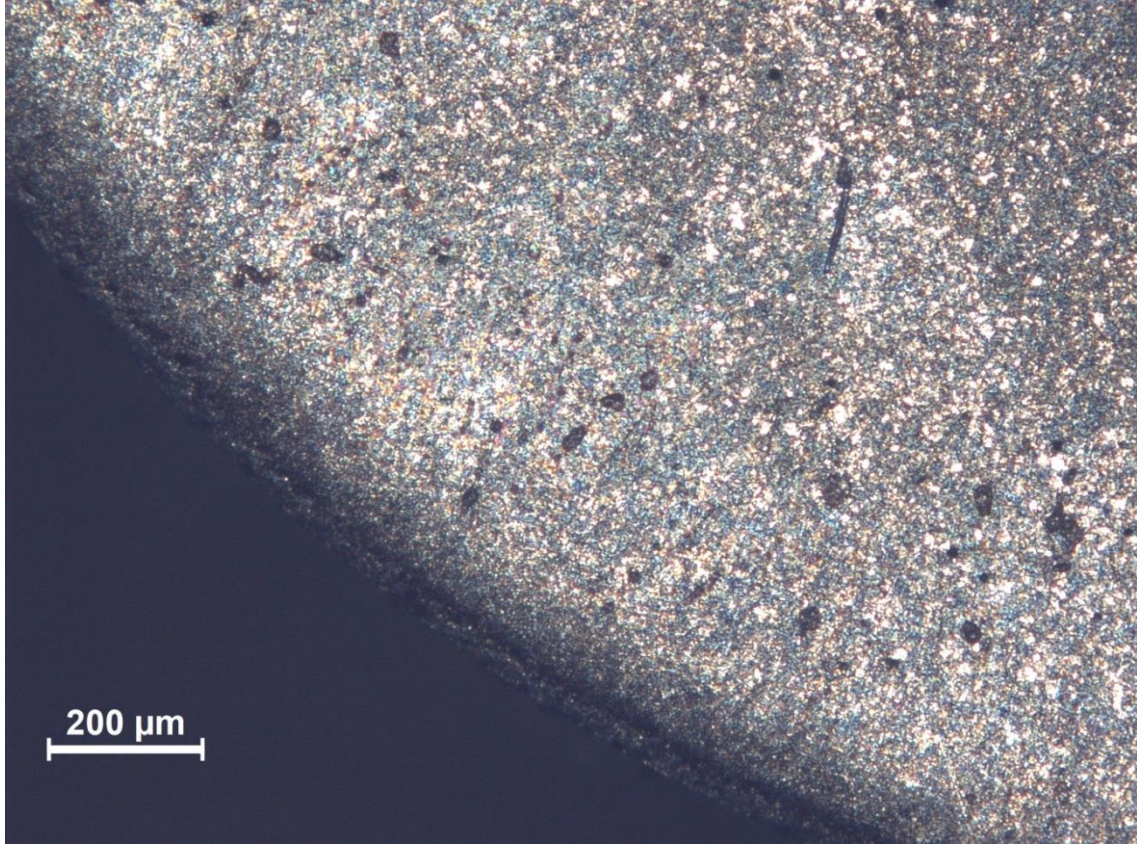
Resim 7.8. H13 nitrürlü malzemenin mikroyapı görüntüsü (X50)

Resim 7.9’da CrN kaplı numunede, beyaz katman ve nitrojence zengin difüzyon bölgesi görölmektedir, benzer mikroyapısal görüntüler daha önce yapılan çalışmalarda [46, 47] gözlenmiştir. Resim 7.9 ve Resim 7.10 kıyaslandığında, CrN kaplı numunede 3000 döngü sonrası kaplamanın hemen altındaki bölgede küçük gözenekliliklerin bir hat boyunca sıralandığı görölmektedir. Resim 7.11’den 6000 döngü sonrası CrN kaplama yüzeyinin hemen altındaki gözenekliliğin yerini uzun hat şeklinde boşlukların aldığı ve difüzyon bölgesinin derinliğinin arttığı anlaşılmaktadır. Resim 7.12’de 9000 döngü sonrası numune pimin her yerinde olmasa da bazı bölgelerinde derin çukurların oluştuğu ve bu çukurlardaki topografik yapının oldukça bozuk olduğu gözlemlenmiştir. Resim 7.13’de verilen yanal yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde, Resim 7.10’da görülen küçük gözenekliliğin yanal yüzey görünümüyle uyumlu olduğu görölmektedir. Resim 7.14’de 3-b No’lu numunenin yanal yüzey SEM görüntüsüne bakıldığında CrN kaplamada artan

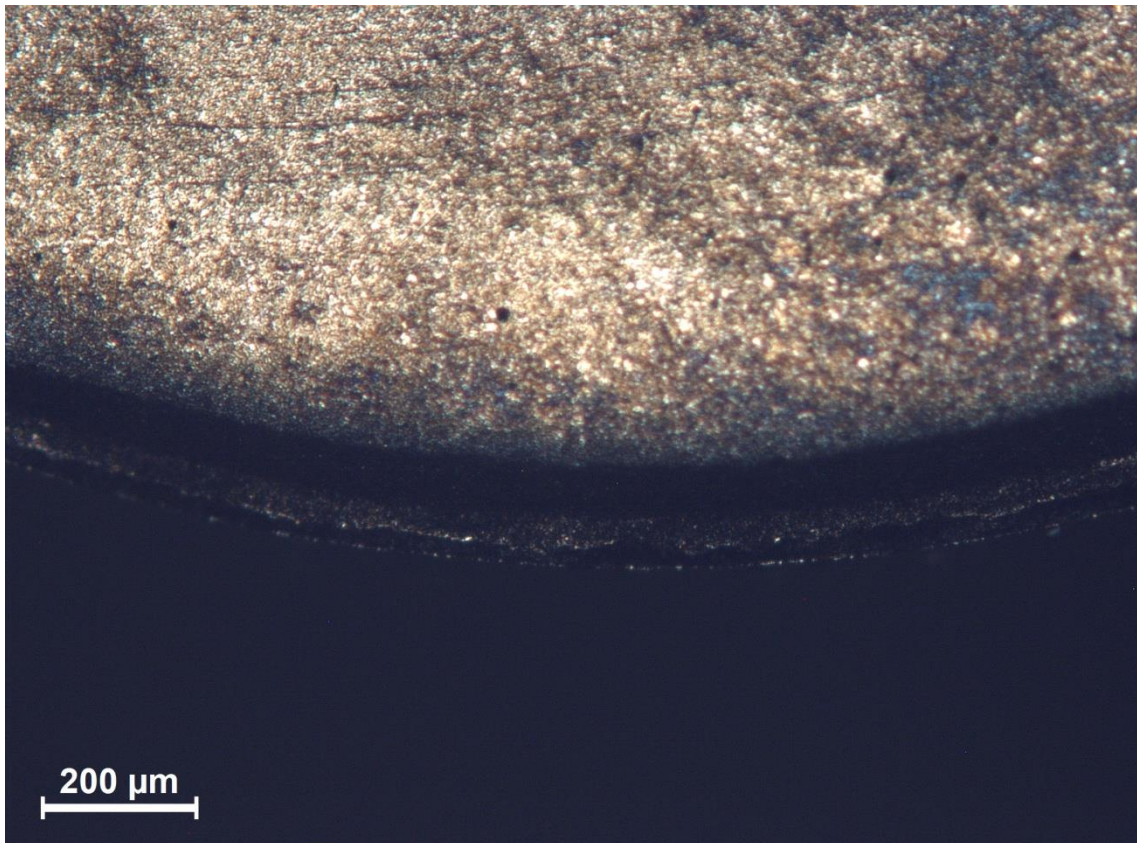
bozulma sonucu oluşan uzun gözenekler nedeniyle, kesit mikroyapı görüntüsü Resim 7.11’de bu boşlukların uzun hat şeklinde görüldüğü anlaşılmaktadır. CrN kaplamalı 9000 döngülük numunenin mikroyapı görüntüsü (Resim 7.12) ile yanal yüzey SEM görüntüsü Resim 7.15’e birlikte bakıldığında çukurların birbirleriyle birleşerek daha geniş bir alana yayıldığı ve derinleştiği görülmektedir.



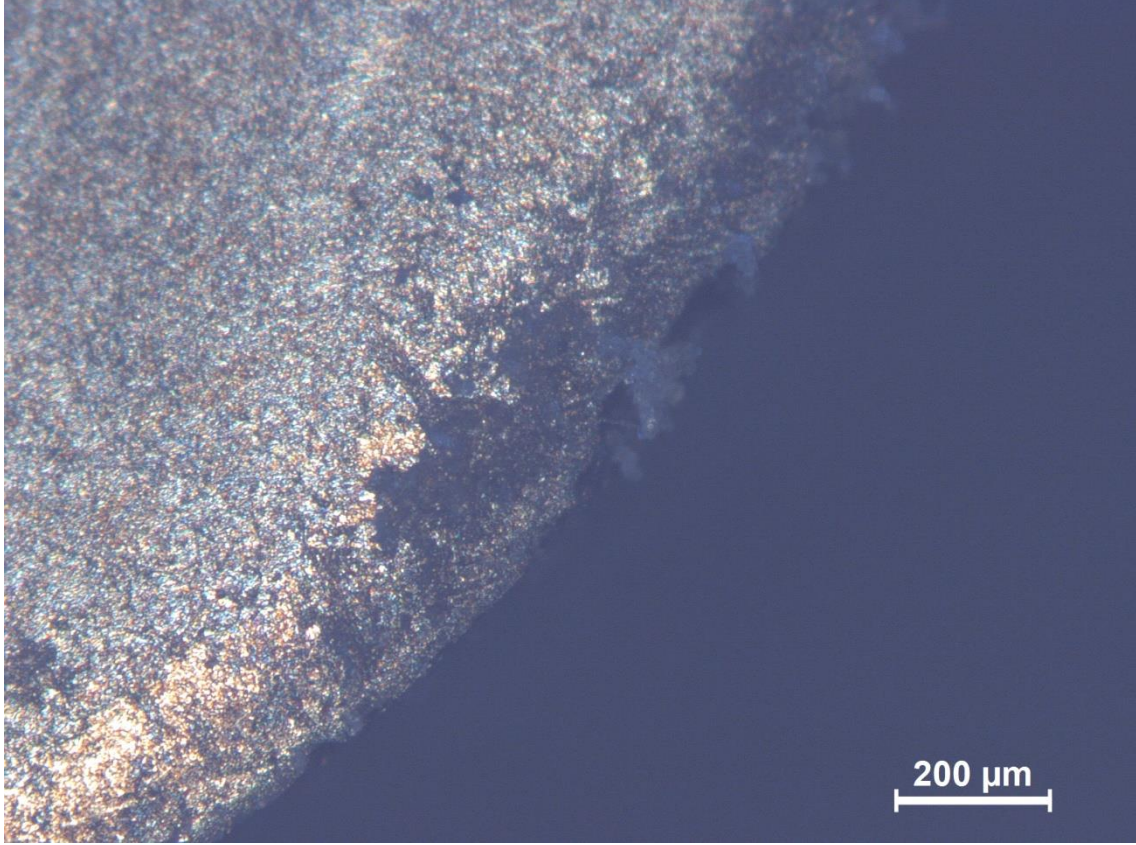
Resim 7.9. CrN kaplı H13 numunenin deney öncesi mikroyapı görüntüsü (X50)



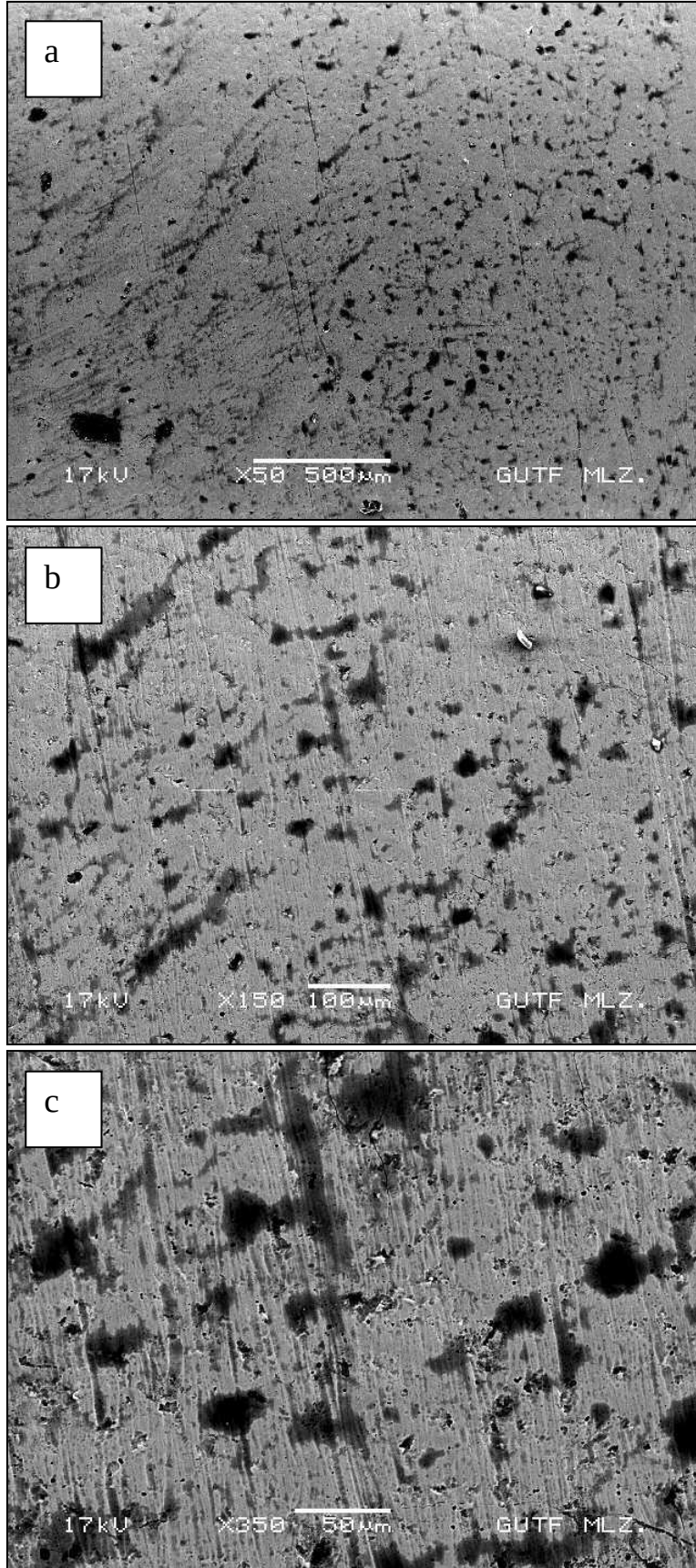
Resim 7.10. 3-a No'lu numunenin 3 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X50)



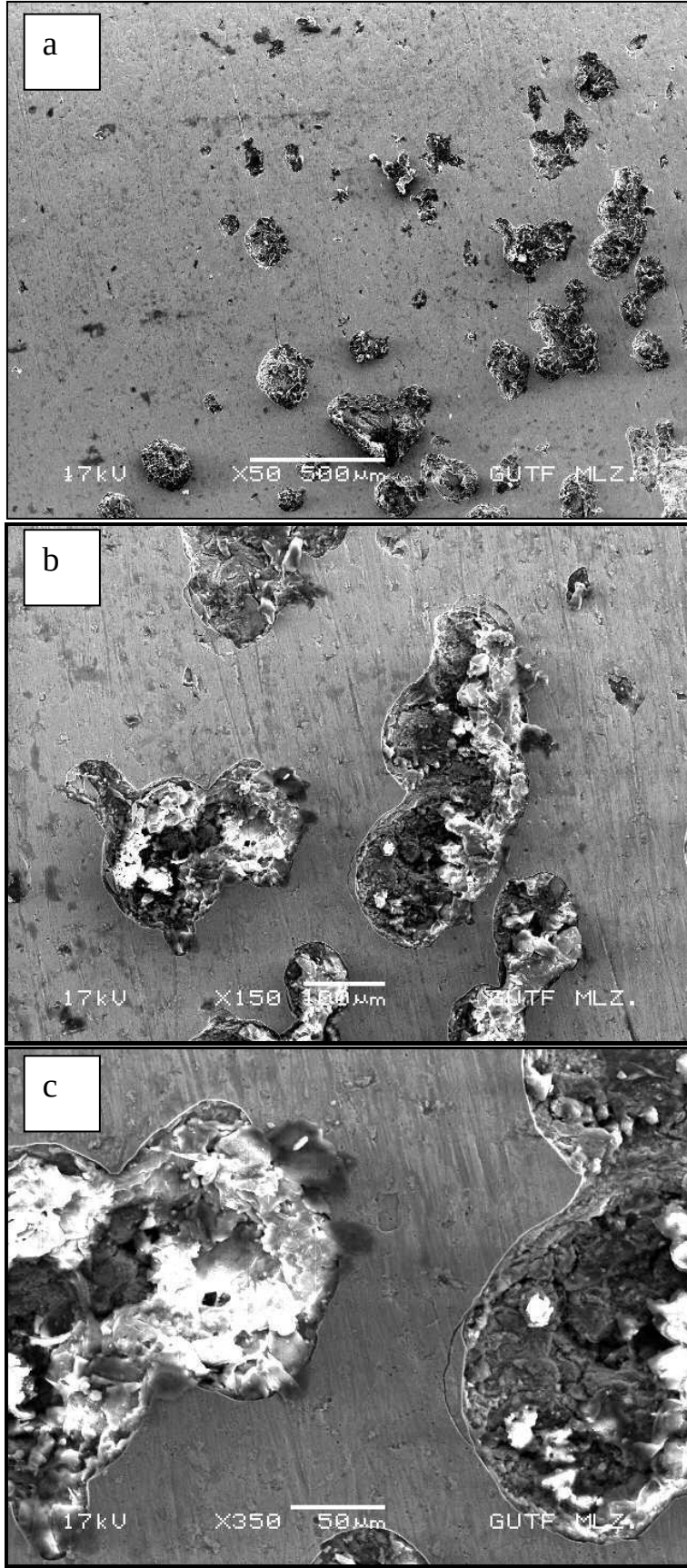
Resim 7.11. 3-b No'lu numunenin 6 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X50)



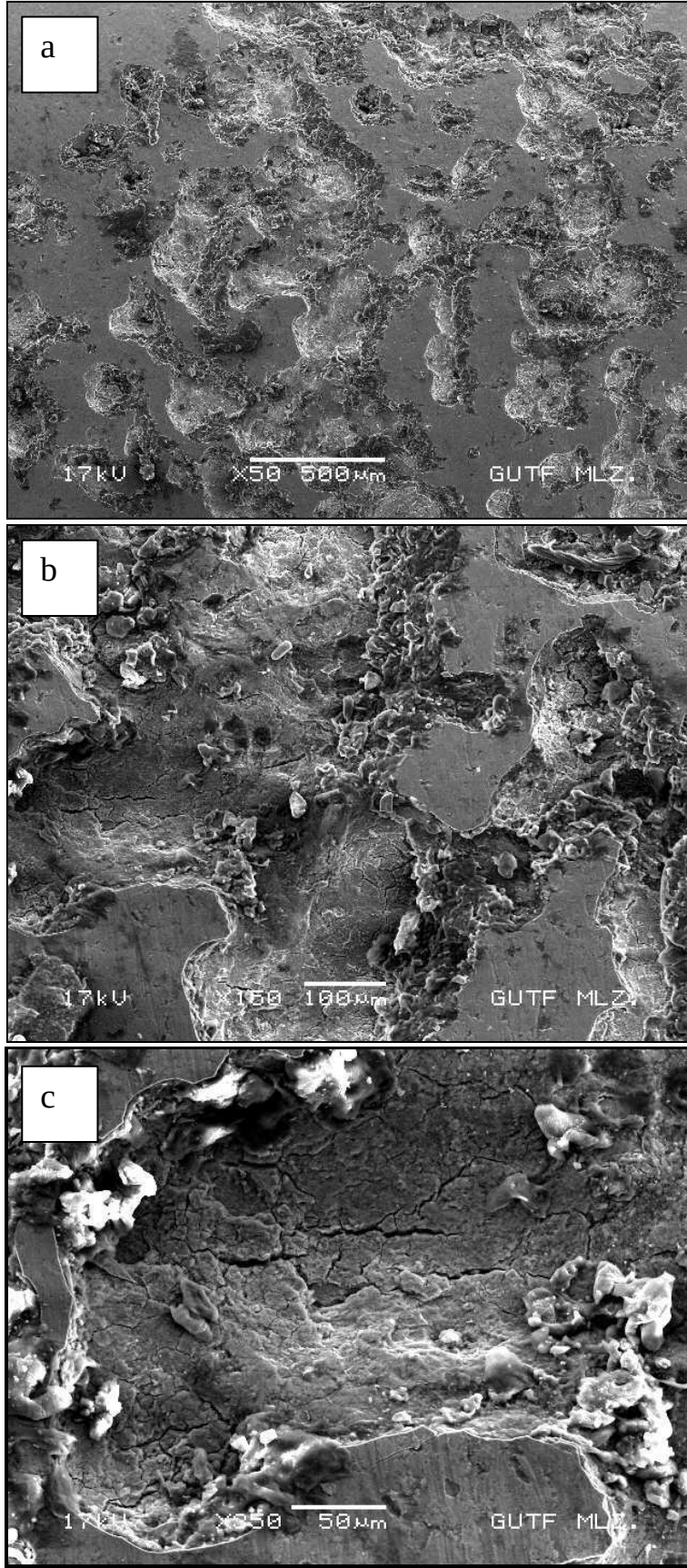
Resim 7.12. 3-c No'lu numunenin 9 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X50)



Resim 7.13. 3-a No'lu numunenin 3 000 döngü sonrası yanıl yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme

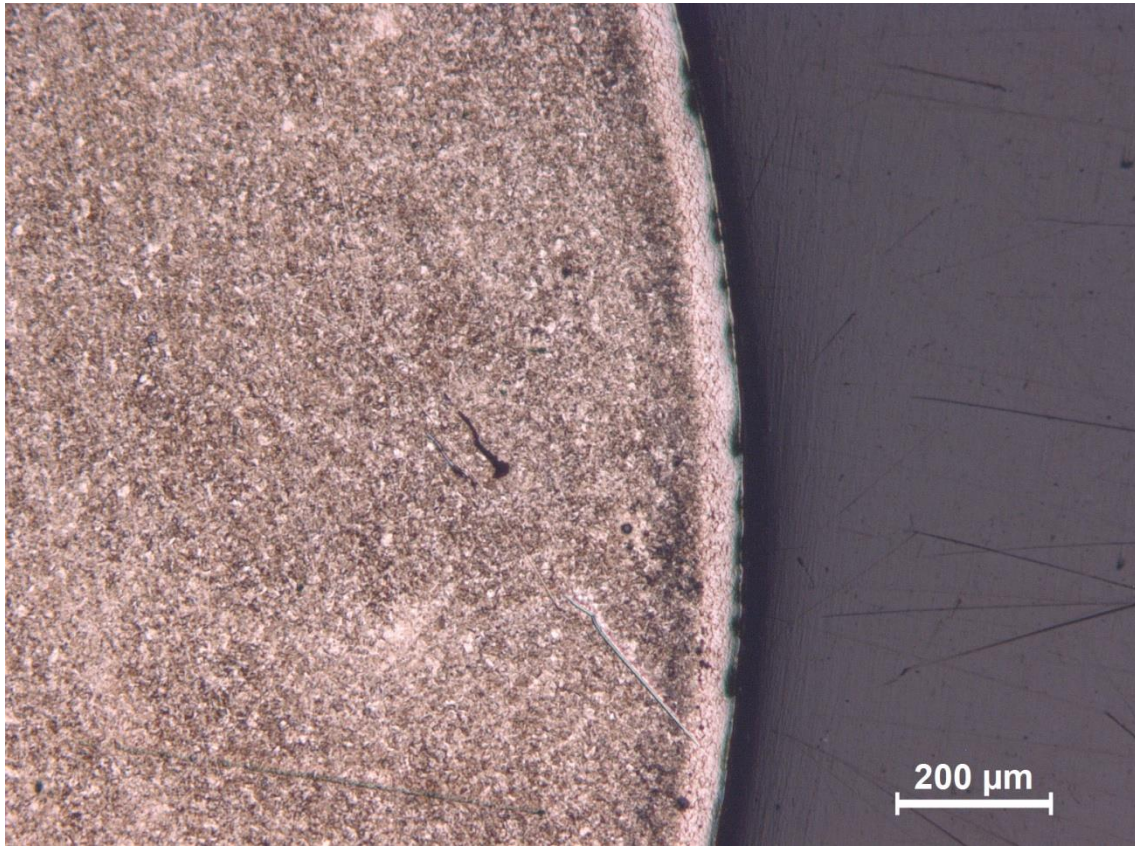


Resim 7.14. 3-b No'lu numunenin 6 000 döngü sonrası yanıl yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme

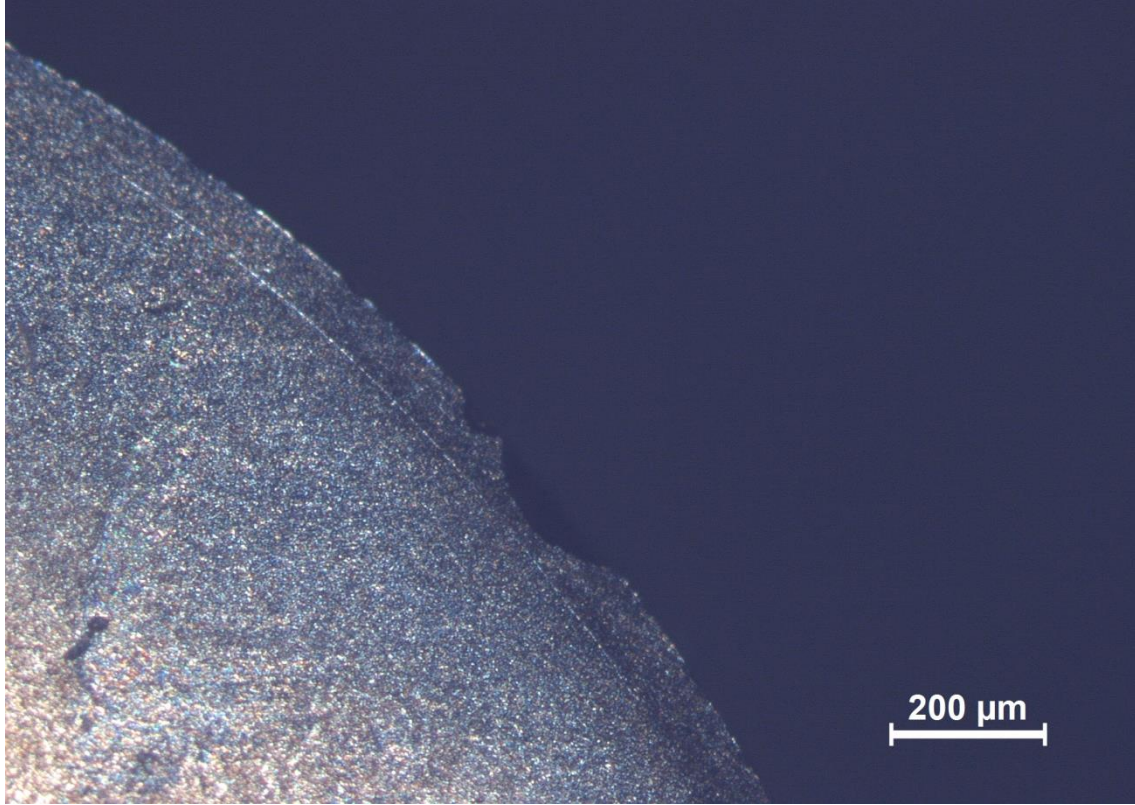


Resim 7.15. 3-c No'lu numunenin 9 000 döngü sonrası yanıl yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme

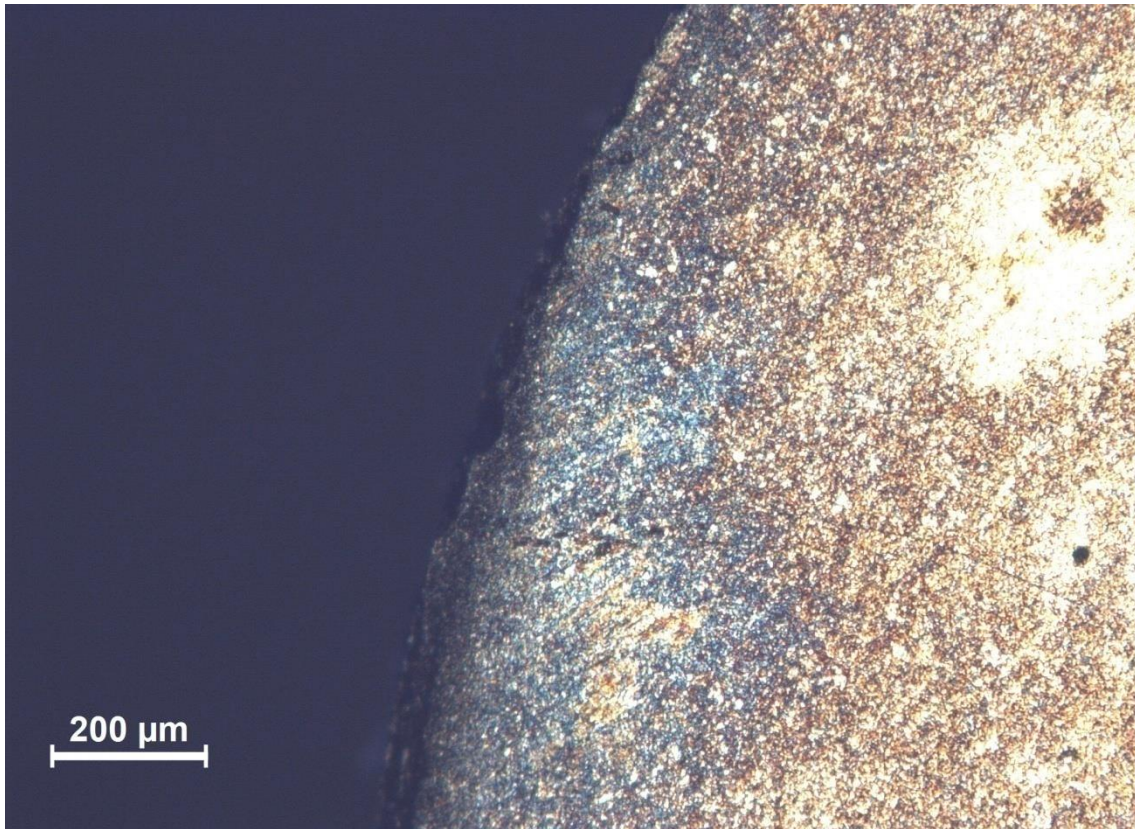
Resim 7.16’da AlTiN kaplı H13 numunenin deney öncesi mikroyapısı görülmektedir. Bu yapı, Resim 7.9’daki yapıya karakteristik olarak benzerlik göstermektedir. Resim 7.17’ye bakıldığında 4-a No’lu (AlTiN kaplı, 3 000 döngü geçirmiş) numunenin yüzeyinde küçük girintilerin olduğu görülmektedir. Buradan, 3-a No’lu numunedekinin aksine, bozulmanın kaplama altı gözeneklilik şeklinde olmayıp, yüzeyde çukurlaşma şeklinde olduğu, yani bozulmanın CrN kaplamadan farklı olarak yüzeyin hemen altına hızlıca sirayet etmediği, yüzey ile sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Resim 7.18’de, artan döngü ile birlikte çukurlaşma bölgelerinin çevresel olarak uzadığı görülmektedir. Resim 7.19’da, 9000 döngülük 4-c No’lu numunede 3-b No’lu numunedekine benzer, uzun hat şeklinde kanyon benzeri boşluğun varlığı görülmektedir, farklı olan husus ise bu boşluğunu 3-b’dekinin aksine dış yüzeye açık olmasıdır.



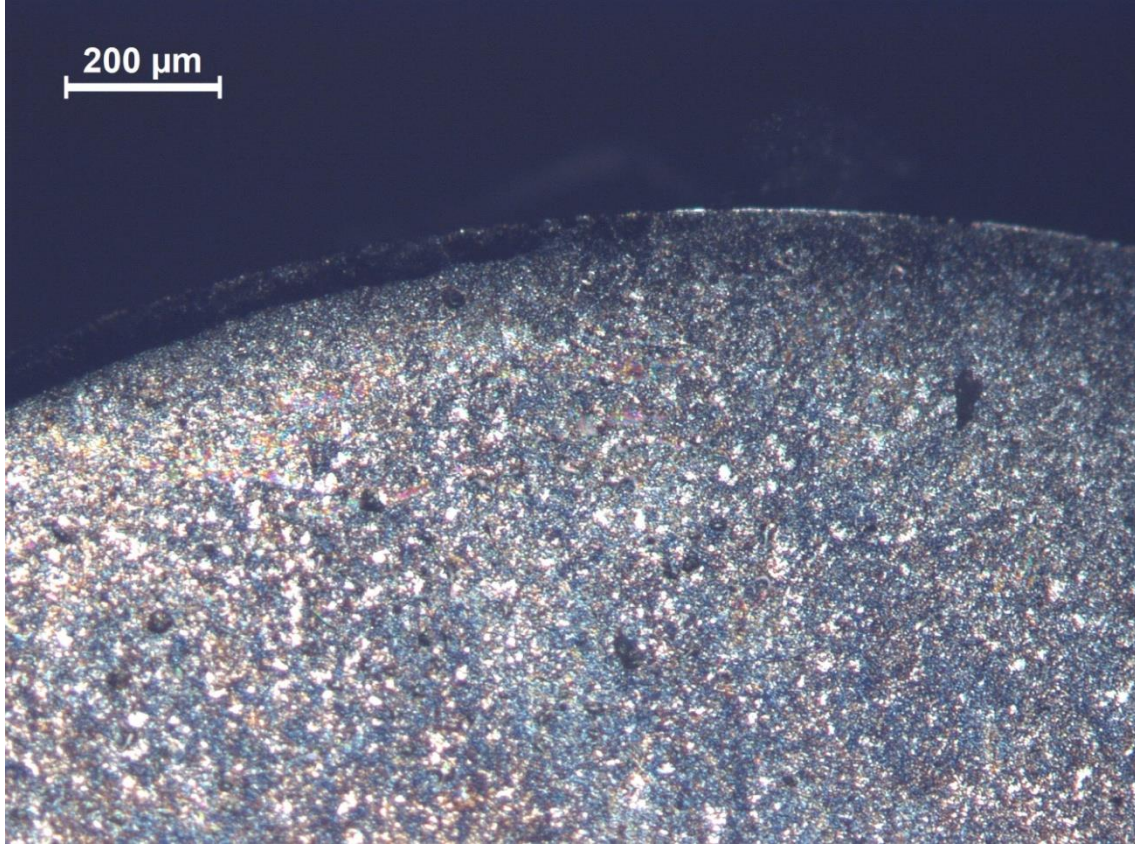
Resim 7.16. AlTiN kaplı H13 numunenin deney öncesi mikroyapı görüntüsü (X50)



Resim 7.17. 4-a No'lu numunenin 3 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X50)



Resim 7.18. 4-b No'lu numunenin 6 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X50)



Resim 7.19. 4-c No'lu numunenin 9 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X50)

Resim 7.20'ye bakıldığında 4-a No'lu numunede, çukurlaşma bölgelerinin 3-b No'lu numunedekine benzer karaktere sahip olduğu görülmüştür. Resim 7.21'den, 6 000 döngüye maruz kalmış AlTiN kaplı numunede, meydana gelen gözenekliliğin büyümeye başladığı, ancak; oluşan oyukların iç yüzeyindeki topografik yapının 6 000 döngülük CrN (Resim 7.14) kaplı numunedeki kadar bozuk olmadığı anlaşılmaktadır.

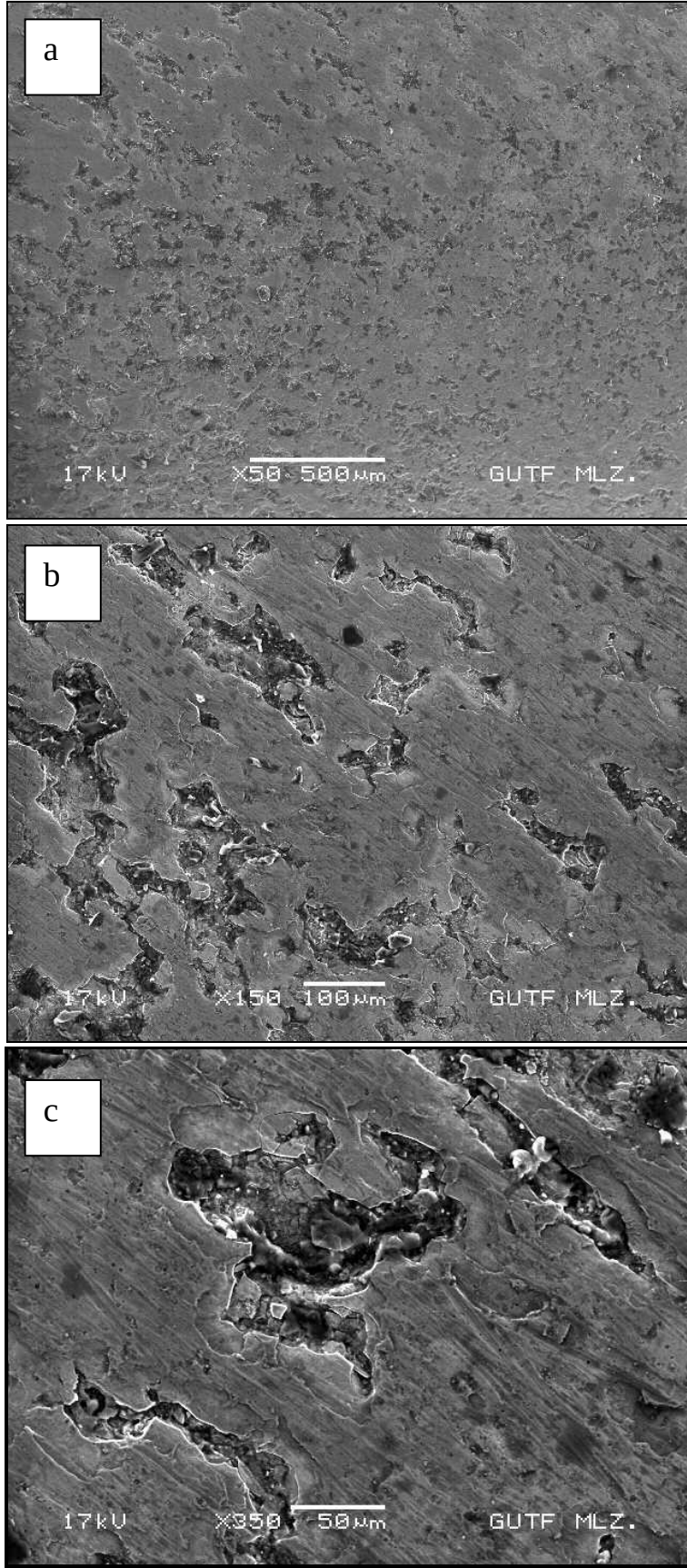
Bu noktada CrN ve AlTiN kaplamalı numunelere ait tüm SEM görüntülerine baktığımızda dikkati çeken husus, CrN kaplamada 9 000 döngüye kadar dahi, çukurlaşma bölgeleri dışında kalan yüzeyin, AlTiN kaplamanın 3 000 döngülük yanal yüzey görüntüsünden daha az pürüzlülüğe sahip olmasıdır. Ancak, bozulma alanı CrN kaplamalı numunelerde daha geniştir. Buna ek olarak AlTiN kaplamalı numunelerdeki çukur içi topografinin CrN kaplamalı numunelerinkine oranla daha düzgün olduğu görülmektedir. Bu durum, meydana gelen hasarın karakteristik açıdan Gulizia'nın [42] sonuçlarına benzediğini ve bozulmanın CrN kaplamanın altına doğru metalin nüfuziyeti şeklinde başladığını ortaya koymaktadır.

9 000 döngüye maruz kalan AlTiN kaplı (4-c No'lu) numunenin yüzeyinde oluşmuş olan gözeneklere bakıldığında (Resim 7.22), 4-b No'lu numunede görülen yapının daha ileri düzeyde zarar görmüş hali görülmektedir.

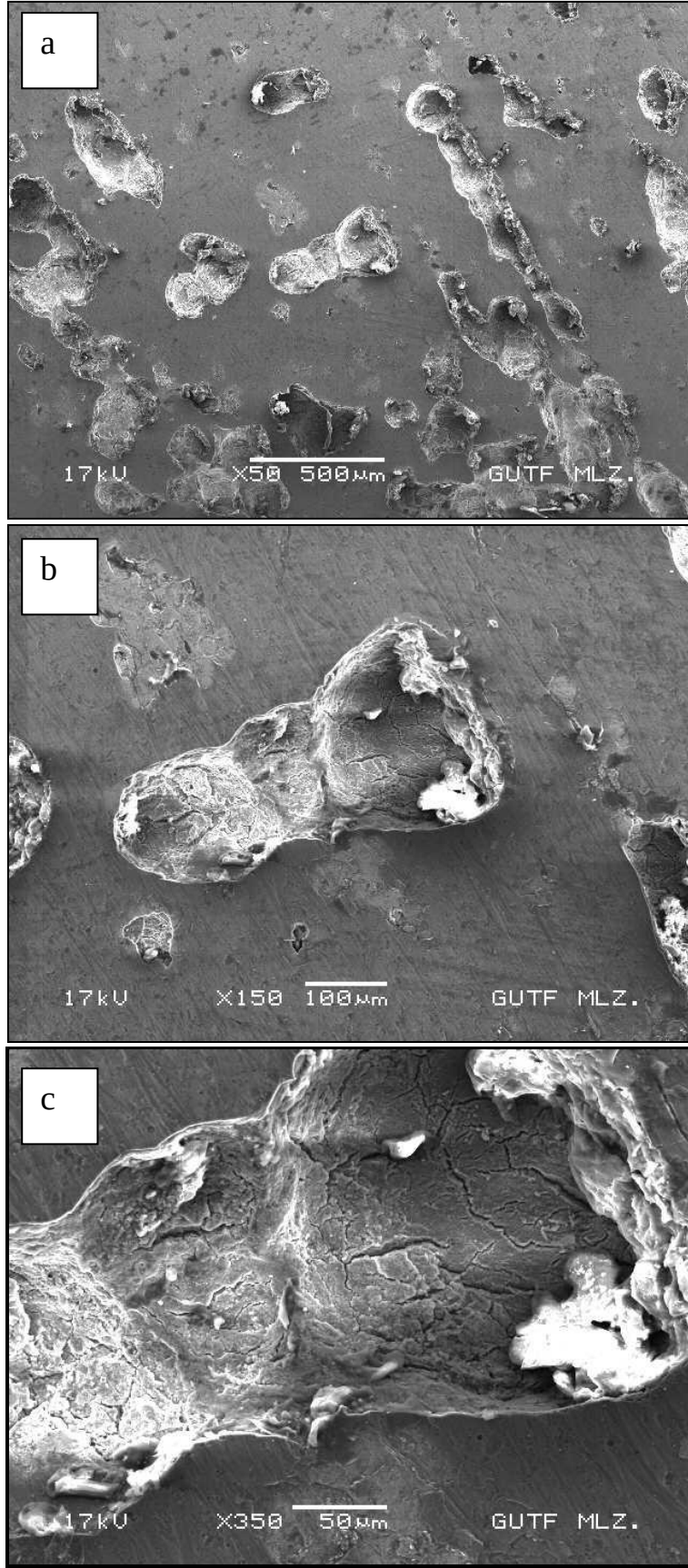
Tentardini ve arkadaşlarının [27] dinamik daldırma deneyi yaptığı çalışmada CrN kaplamanın daha inert görünmesinin nedeni CrN'ün Al ile metallerarası bileşik oluşturma eğiliminin düşük olmasıdır, deney numunesi sürekli sıvı içinde olduğundan oksitlenme gündem dışı olduğu ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasında uygulanan batırıp çıkarma deneyinde ise öne geçen etken oksitlenmedir. Literatür verilerine göre CrN'ün bileşik oluşturma eğilimi 800 °C civarında iken [27], oksidasyon sıcaklığı 700 °C'dir [45, 49]. AlTiN veya türevi olan TiAlN türü kaplamalar çok yüksek oksidasyon direncine ve ısı yalıtkanlığına sahiptir [47-50]. AlTiN ile TiAlN arasındaki fark Al/Ti oranıdır. AlTiN kaplamada bu oran 70/50 iken TiAlN kaplamada 50/50'dir [50]. Cehong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada TiAlN kaplamanın okside olmaya 800 °C'de başladığı ve bir saat sonra 1000 °C'ye ulaşıldığında yüzeyin tümüyle oksitlendiği görülmüştür [51]. AlTiN ve TiAlN kaplamalar kıyaslandığında AlTiN kaplamanın daha yüksek oksidasyon direncine sahip olduğu görülmektedir [50].

EK-1'de verilen Ellingham diyagramına [52] bakıldığında AlTiN (ya da TiAlN) kaplamanın yüzeyinde oluşan Al_2O_3 katmanının [49, 51], CrN kaplamada oluşan Cr_2O_3 katmanına [51] göre daha kararlı olduğu görülmektedir. Temel olarak söylenebilecek kesin sonuç Ellingham diyagramında daha negatif Gibbs Serbest Enerjisine sahip olan oksit bileşiğinin daha kararlı olduğudur. Oksidasyon direncinin fazla olması, aynı zamanda oluşan oksit bileşiğinin kararlılığını da ifade eder.

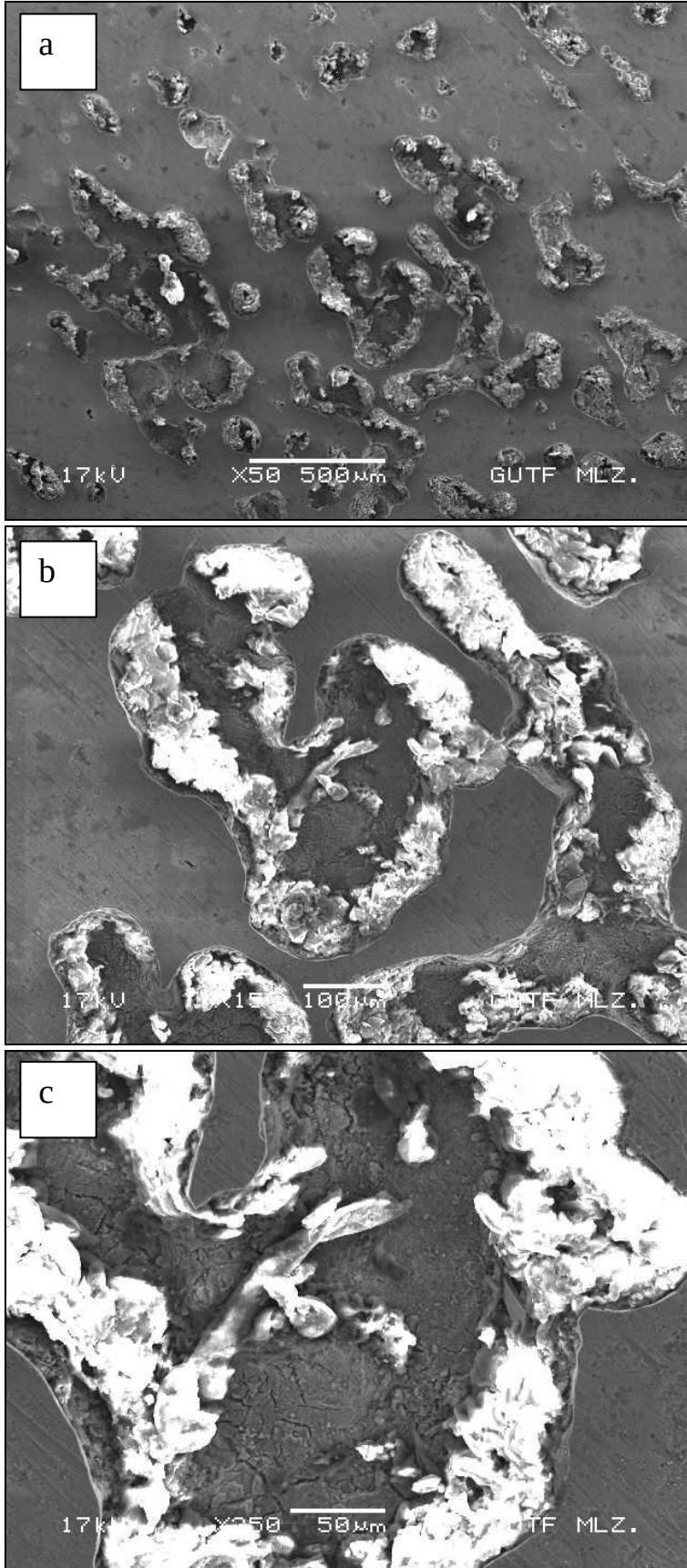
Resim 7.23'ye bakıldığında CrN-AlTiN kaplı H13 malzemenin diğer kaplama türlerinde de görülen tipik mikroyapısı görülmektedir. 3 000 döngülük 5-a nolu numune (Resim 7.24), 6 000 döngülük 5-b nolu numune (Resim 7.25) ve 9 000 döngülük 5-c nolu numunelerin (Resim 7.26) mikroyapılarına bakıldığında bozulmanın çok sınırlı düzeyde kaldığı görülmektedir. Aynı numune sırasını takip eden Resim 7.27, Resim 7.28 ve Resim 7.29'da verilen SEM görüntülerinde, bozulmama eğilimi daha net tesbit edilmiş ve artan pürüzlülükle birlikte çok az miktarda yapışma olayı görülmüştür.



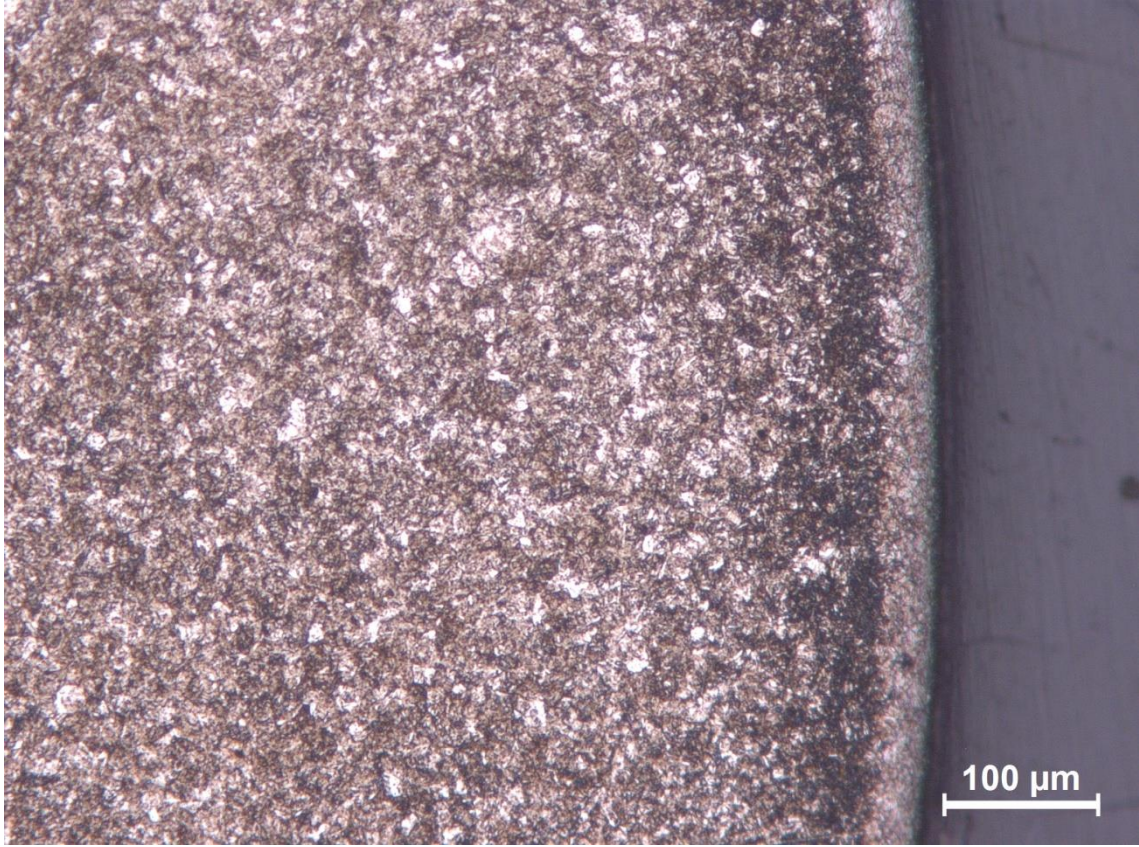
Resim 7.20. 4-a No'lu numunenin 3 000 döngü sonrası yanak yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme



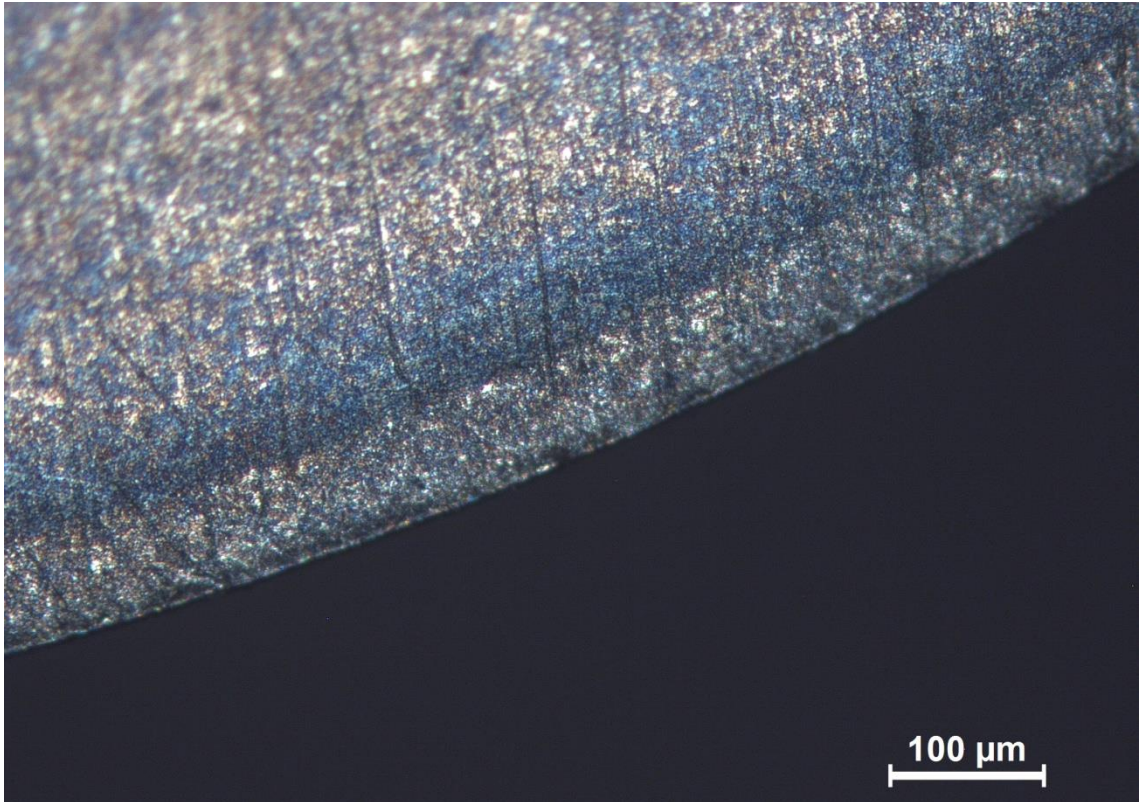
Resim 7.21. 4-b No'lu numunenin 6000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme



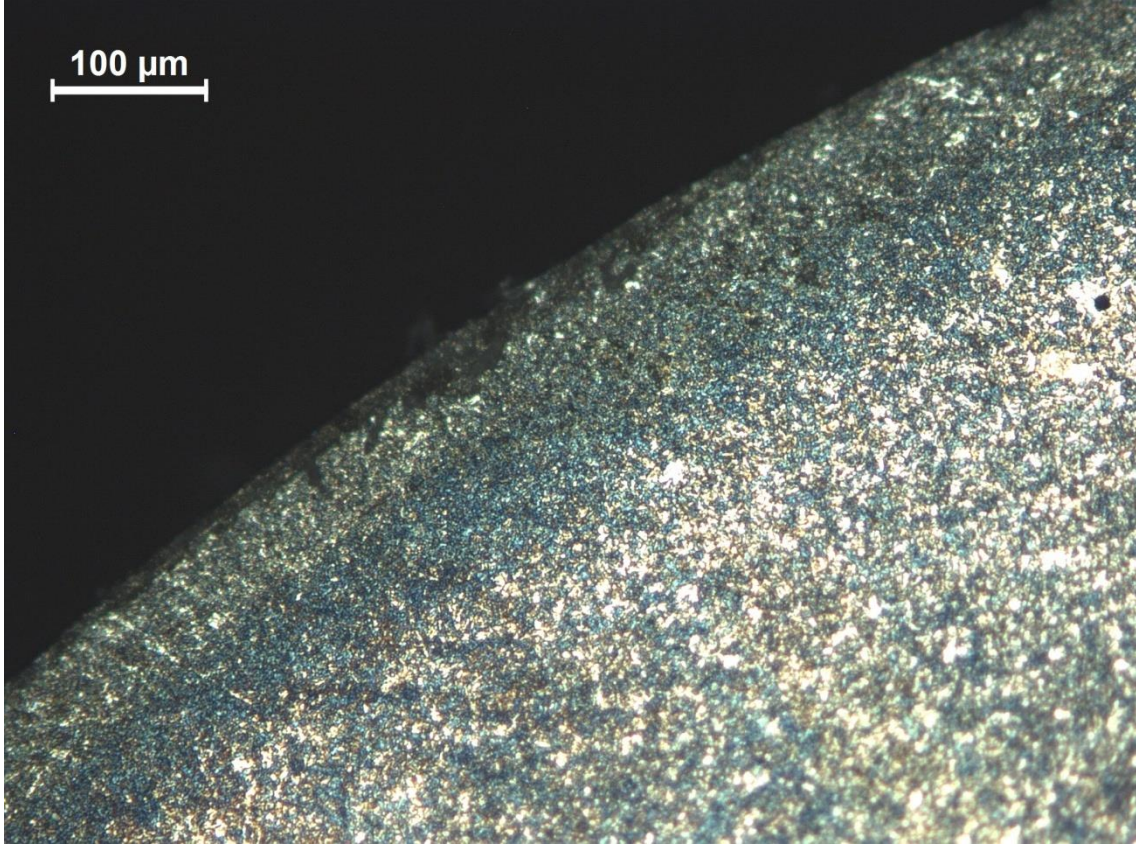
Resim 7.22. 4-c No'lu numunenin 9 000 döngü sonrası yanıl yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme



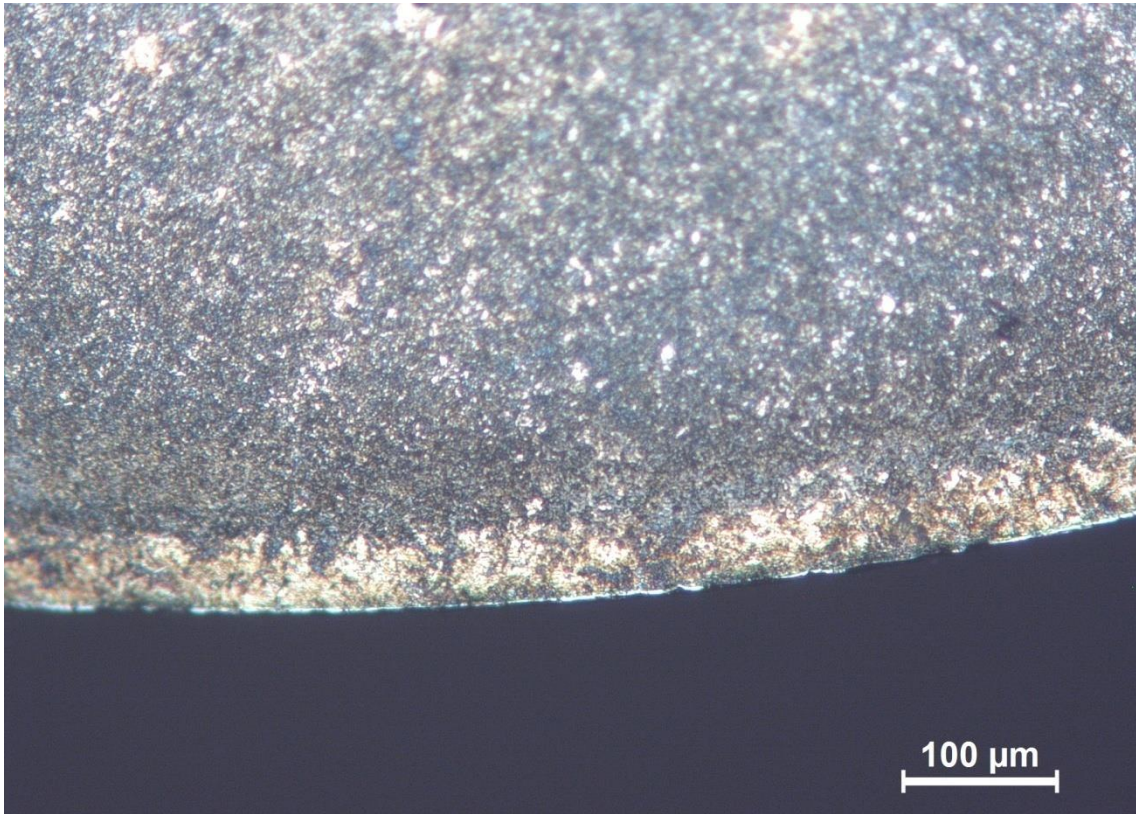
Resim 7.23. CrN-AlTiN kaplı H13 numunenin deney öncesi mikroyapı görüntüsü (X100)



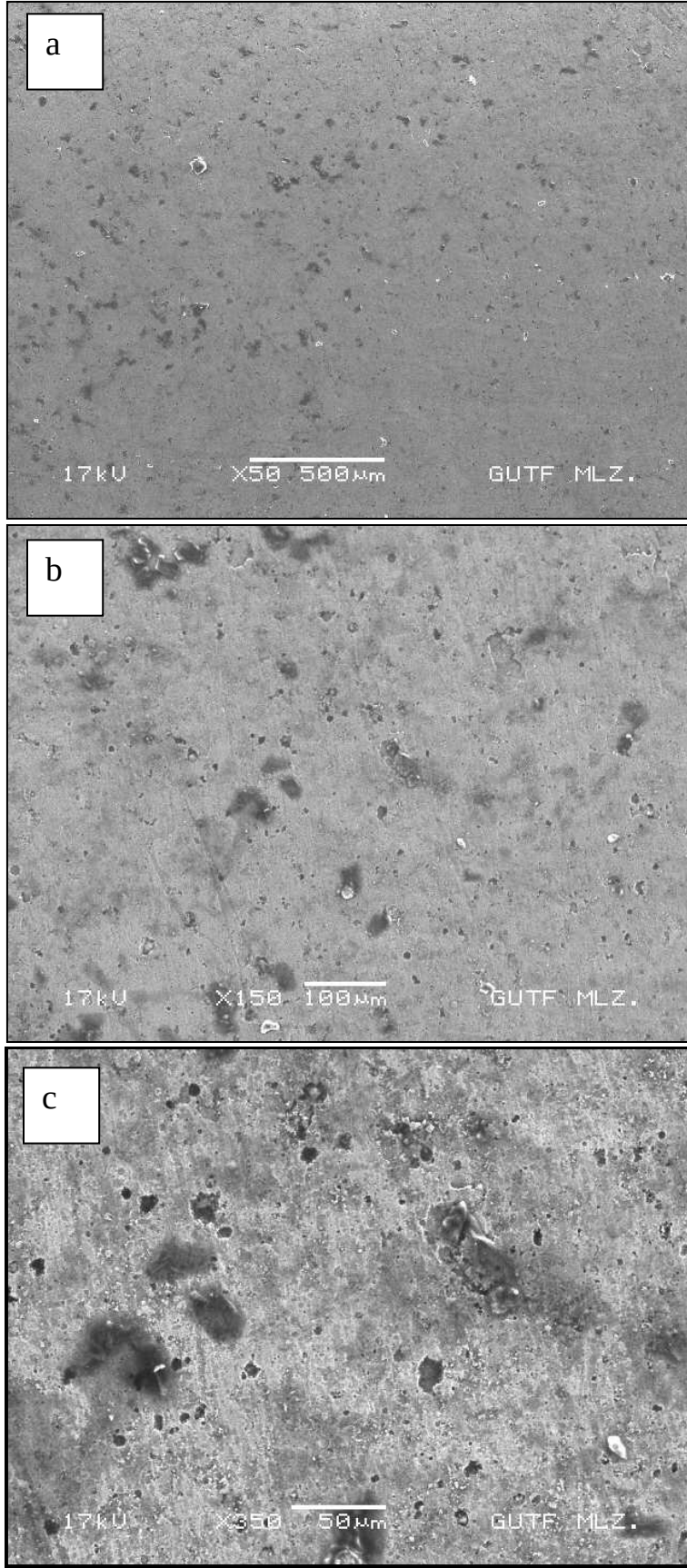
Resim 7.24. 5-a No'lu numunenin 3 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X100)



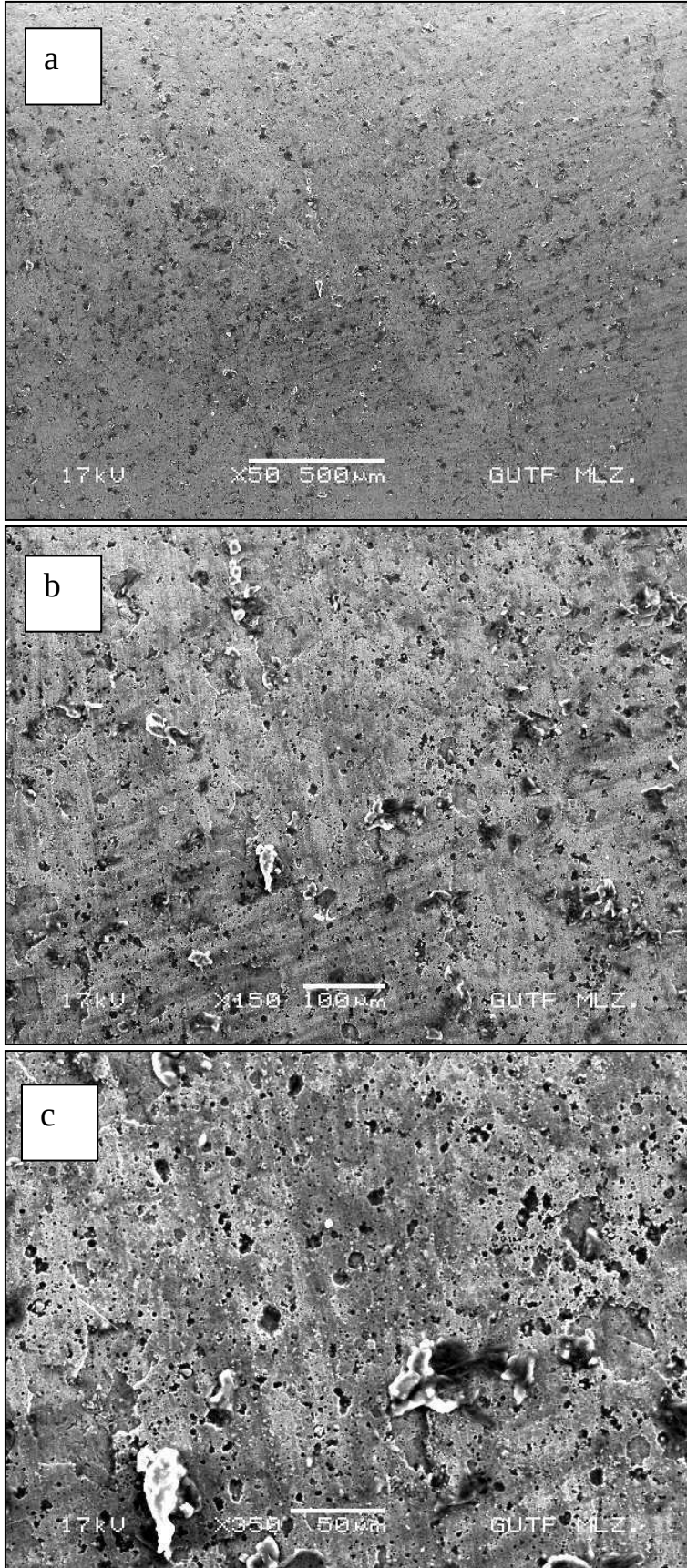
Resim 7.25. 5-b No'lu numunenin 6 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X100)



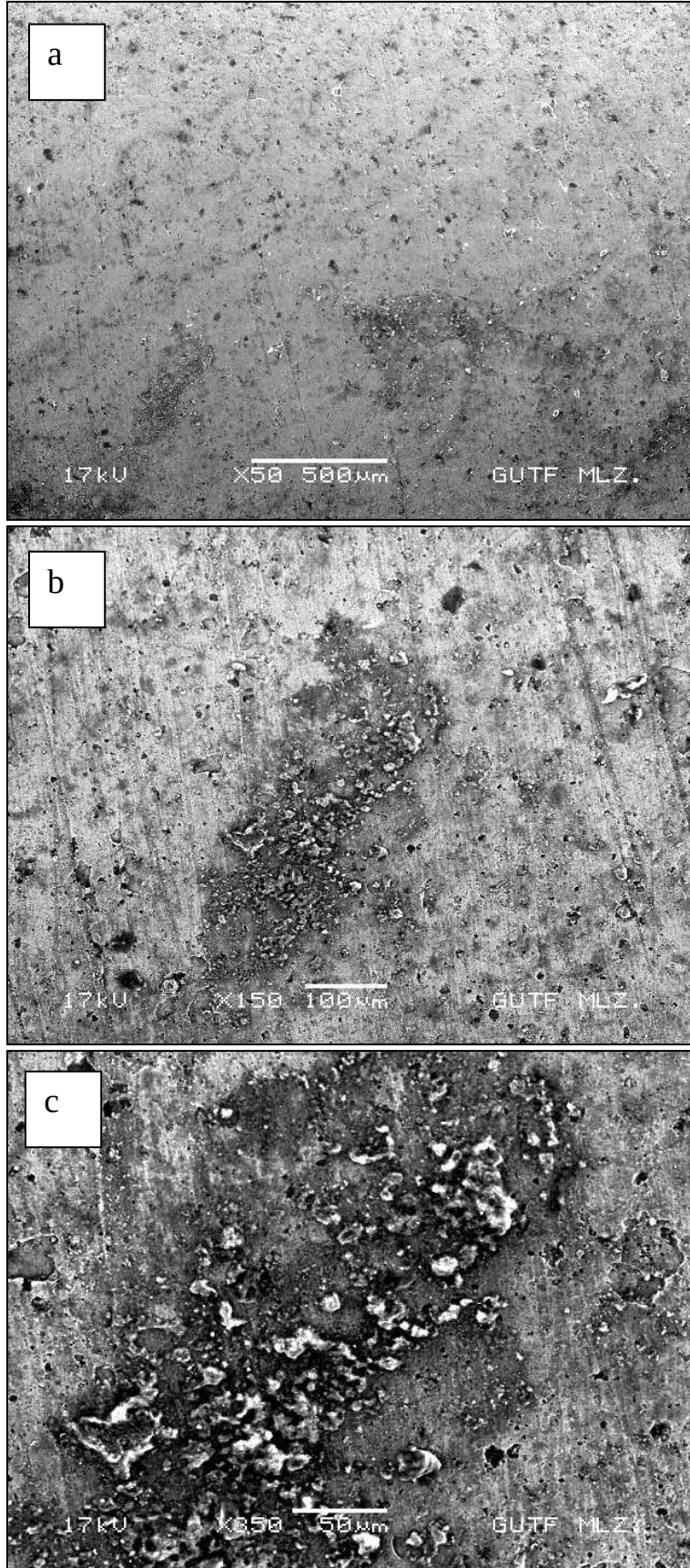
Resim 7.26. 5-c No'lu numunenin 9 000 döngü sonrası mikroyapı görüntüsü (X100)



Resim 7.27. 5-a No'lu numunenin 3 000 döngü sonrası yanal yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme



Resim 7.28. 5-b No'lu numunenin 6 000 döngü sonrası yanak yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme



Resim 7.29. 5-c No'lu numunenin 9 000 döngü sonrası yanıl yüzey SEM görüntüleri (a) X50, (b) X150, (c) X350 büyütme

Numune 3-a, 4-a ve 5-a'yı karşılaştırdığımızda 3-a ve 5-a No'lu numunelerin yüzey kaplamalarında bir bozulma olmadığını görülmektedir. Ancak 4-a'da küçük yüzeysel oyukların oluştuğu görülmüştür.

Numune 3-b, 4-b ve 5-b'nin karşılaştırılmasında "a" indisli numune grubunkinden fazla bir bozulma görülmüştür. Ancak, 3-b'de 3-a'nın aksine küçük yüzeysel oyukların oluştuğu, 4-b'de ise 3-b ve 4-a'ya göre daha derin oyukların oluştuğu ve yapışmanın henüz çok küçük seviyede oyuk içlerinde olduğu belirlenmiştir. 3-b'deki oyukların alanı 4-b'ye göre daha küçük ancak içleri daha pürüzlü iken, 4-a'daki oyukların büyüyüp birbirlerine kavuşmuş halleri 4-b'de gözlenmiştir. 5-b'nin artan döngüye rağmen yüzey bütünlüğünü koruduğu ancak artan pürüzlülükle birlikte küçük ebat ve az sayıda yapışma olayı tespit edilmiştir.

Deneyin son uç aşaması olan "c" grubu numuneleri 3-c, 4-c ve 5-c'yi karşılaştırdığımızda "b" indisli gruba oranla oldukça fazla bir bozulma görülmüştür. 3-c'deki oyukların 3-a ve 3-b'ye göre büyüdüğü ve içlerindeki pürüzlülüğün arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca oyuk oluşmamış komşu yüzeylerdeki kaplamanın pürüzlülüğünde de artış olduğu görülmektedir. 4-c'de, 3-c ve 3-b'ye göre oyuk içlerinde daha fazla yapışmaların görülmesiyle birlikte hasar bölgelerinin 3-c'ye göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir. 5-c'de artan döngüye rağmen yüzey bütünlüğünü koruması yanı sıra artan pürüzlülükle birlikte geniş ebatla olmayan yapışma alanlarının gerçekleştiği görülmektedir.

AlTiN (4 no grubu) kaplamalarda ilk 3 000 döngüden itibaren oyukların oluşmasına rağmen, oyuklar içerisinde yapışma 6 000 döngüden sonra gözlemlenmiştir. Bu durum; pürüzlülüğün, sıvının yüzey gerilimi nedeniyle temas yüzeyini azaltması ve daha önce bahsedildiği üzere oksit tabakasının kırılmasına yardım etmesi olarak açıklanabilmektedir.

Kaplamalı numunelerin tümünün 3 000 ve 6 000 döngülük mikroyapı görüntülerine bakıldığında bileşik katmanının yok olduğu; adeta, difüzyon katmanına dönüştüğü ve bu katmanın kalınlığının içeri doğru arttığı görülmektedir. 9 000 döngüye maruz kalmış tüm kaplamalarda koyu difüzyon bölgesinin merkeze doğru hareketinin sürdüğü, dış yüzeyin hemen altında bileşik katmanının yeniden oluştuğu görülmüştür. Deneyin her aşamasında yapısal bütünlüğünü koruyan yegane kaplamanın AlTiN-CrN (5 no grubu) kaplamanın olduğu görülmüştür. Yapışma olayının sadece pürüzlülükteki artışla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

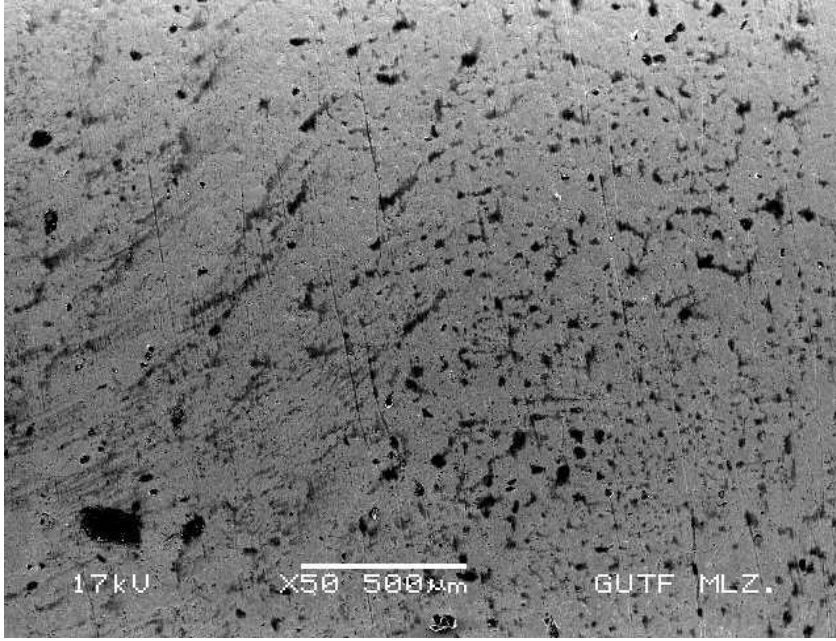
Resim 7.30-7.33 arası görüntülerde, CrN kaplı 3 000 döngülük numunelerin yanal yüzey SEM görüntülerinin görsel analiz programı ile analize uygun hale getirildiği aşamalar sonucu elde edilen ekran çıktıları sırasıyla verilmektedir.

İşlem basamakları sırasıyla;

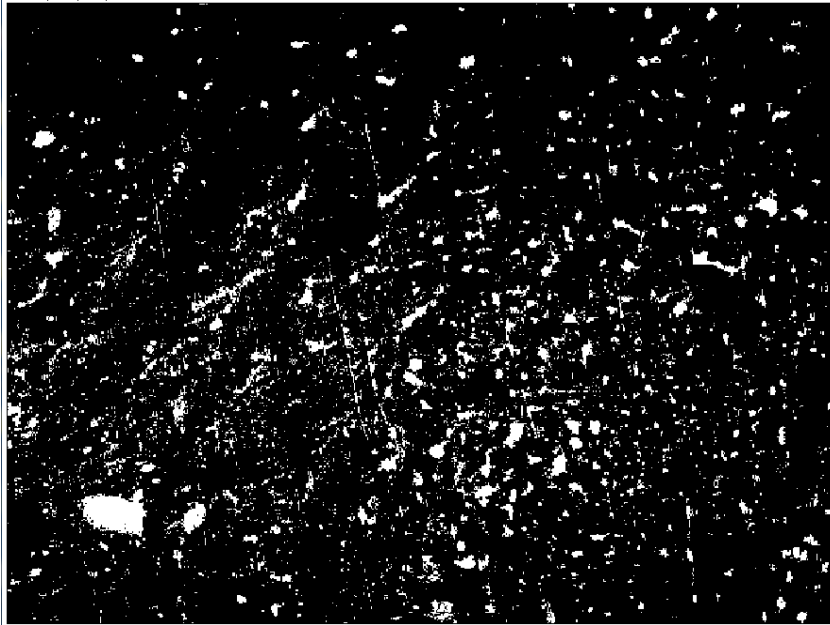
- Numunenin orjinal SEM görüntüsünün Image-j programında açılması,
- “Treshold” komutu sonrası görüntünün dönüştürülmesi,
- “Make binary” komutu sonrası görüntünün binary formatına dönüştürülmesi,
- “Analyze Particles” komutu sonrası analiz işleminin gerçekleştirilmesi, sonucun Excel tablosu ve ekran çıktısı olarak yayımlanması

şeklindedir.

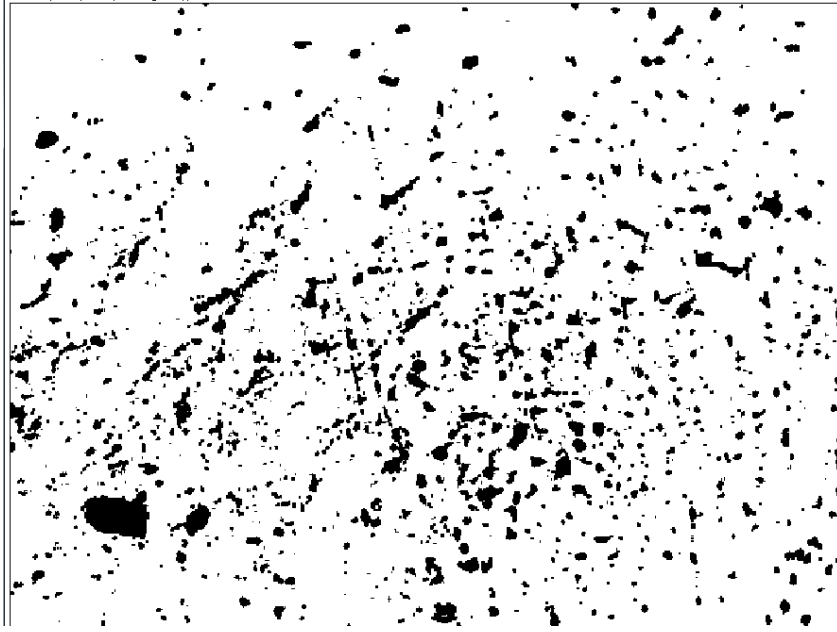
Resim 7.34’de CrN kaplı 6 000 döngülük numune, Resim 7.35’de CrN kaplı 9 000 döngülük numunenin “son aşama ekran görüntüleri” yer almaktadır. Programın verisel çıktı olarak yayımladığı Excel tablosu Çizelge 7.1’e göre, Şekil 7.1’de verilen grafik oluşturulmuştur. Bu grafiğe bakıldığında, alan kesri değerindeki artış kabaca; 3 000 döngü için “x” denirse, 6 000 döngü için “4x”, 9 000 döngü için “16x” olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, ortalama hasar bölgesi ebadı ile adedi arasındaki ters orantı dikkati çekmektedir. Yani, ortalama hasar bölgesi ebadı büyürken, adet azalmaktadır. Bu durum; hasar bölgelerinin birleşerek büyüdüğünü, alan kesrindeki artış ise yeni hasar bölgelerin de oluştuğunu göstermektedir. Hasar gelişimindeki bu seyir tüm kaplama grupları için geçerli olup, sadece sayısal büyüklüklerin değişiklik arz ettiği görülmektedir.



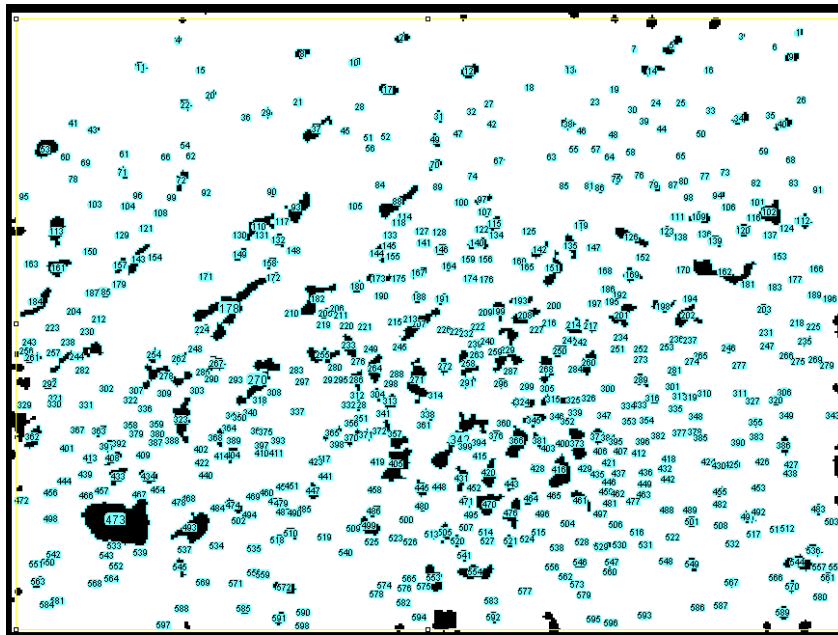
Resim 7.30. CrN kaplı 3 000 döngülük numunenin orjinal SEM görüntüsünün Image-j programında açılması



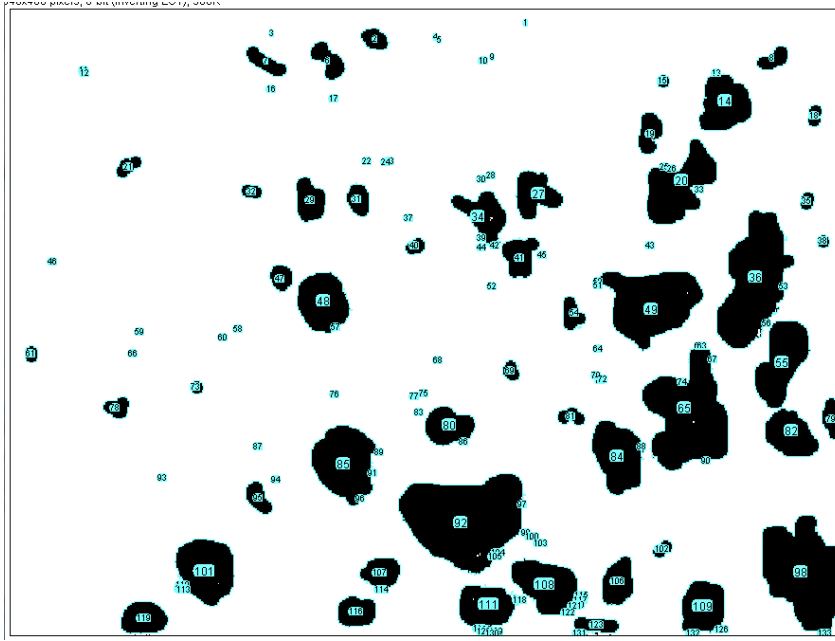
Resim 7.31. CrN kaplı 3 000 döngülük numunenin “treshhold” komutu sonrası görüntüsü



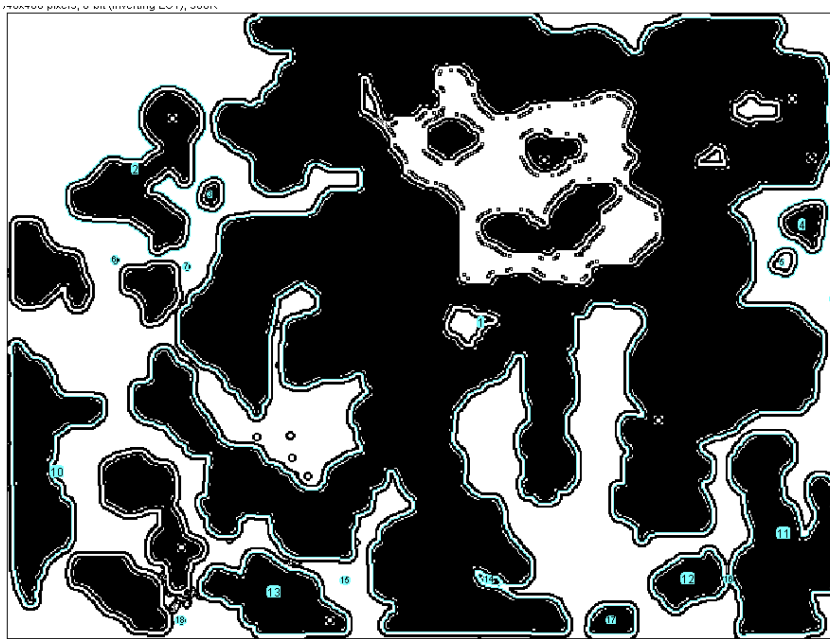
Resim 7.32. CrN kaplı 3 000 döngülük numunenin “make binary” komutu sonrası görüntüsü



Resim 7.33. CrN kaplı 3 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü (son adım)



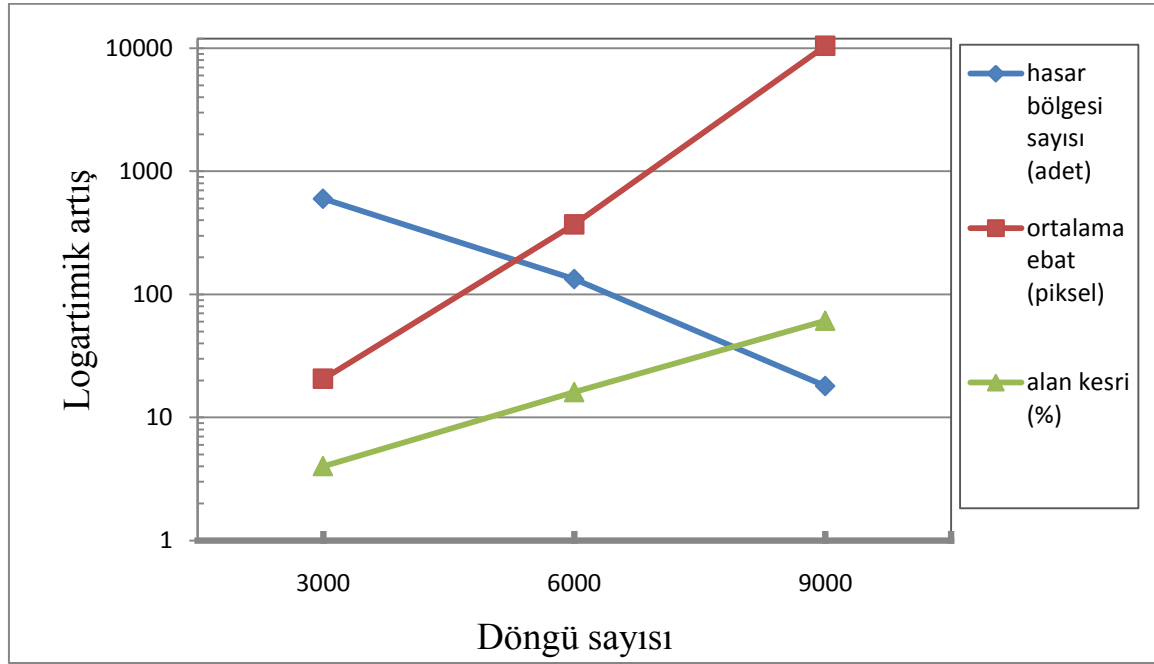
Resim 7.34. CrN kaplı 6 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü (son adım)



Resim 7.35. CrN kaplı 9 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü (son adım)

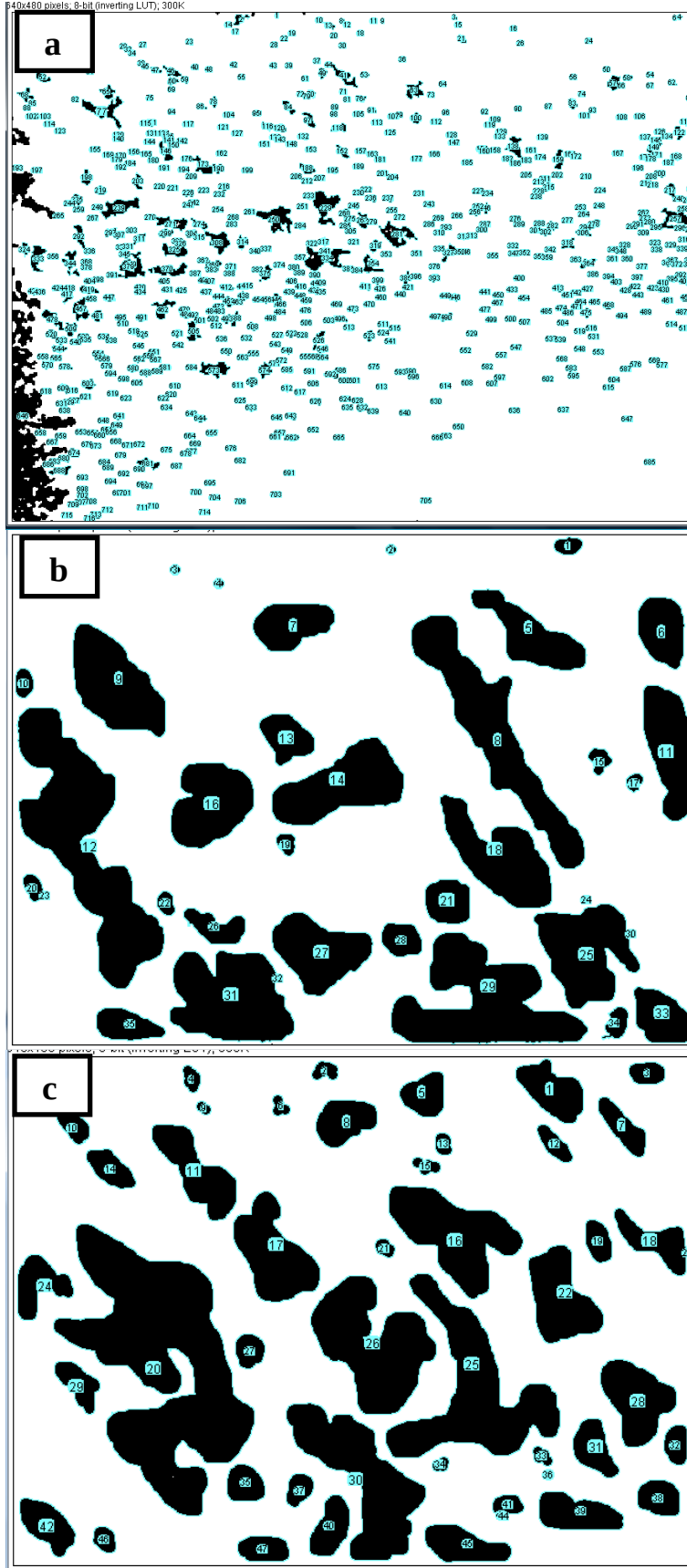
Çizelge 7.1. CrN kaplamalı H13 numunede meydana gelen hasarın sayısal büyüklükleri

Döngü	Hasar bölgesi sayısı (adet)	Toplam hasar alanı (piksel)	Ortalama ebat (piksel)	Alan kesri (%)
3000	598	12 316	20,595	4,01
6000	133	49 303	370,699	16,05
9000	18	187 731	10 429,50	61,13



Şekil 7.1. CrN kaplamalı H13 numunede ortalama hasar bölgesi ebadı ile hasar bölgesi sayısının kıyaslanması

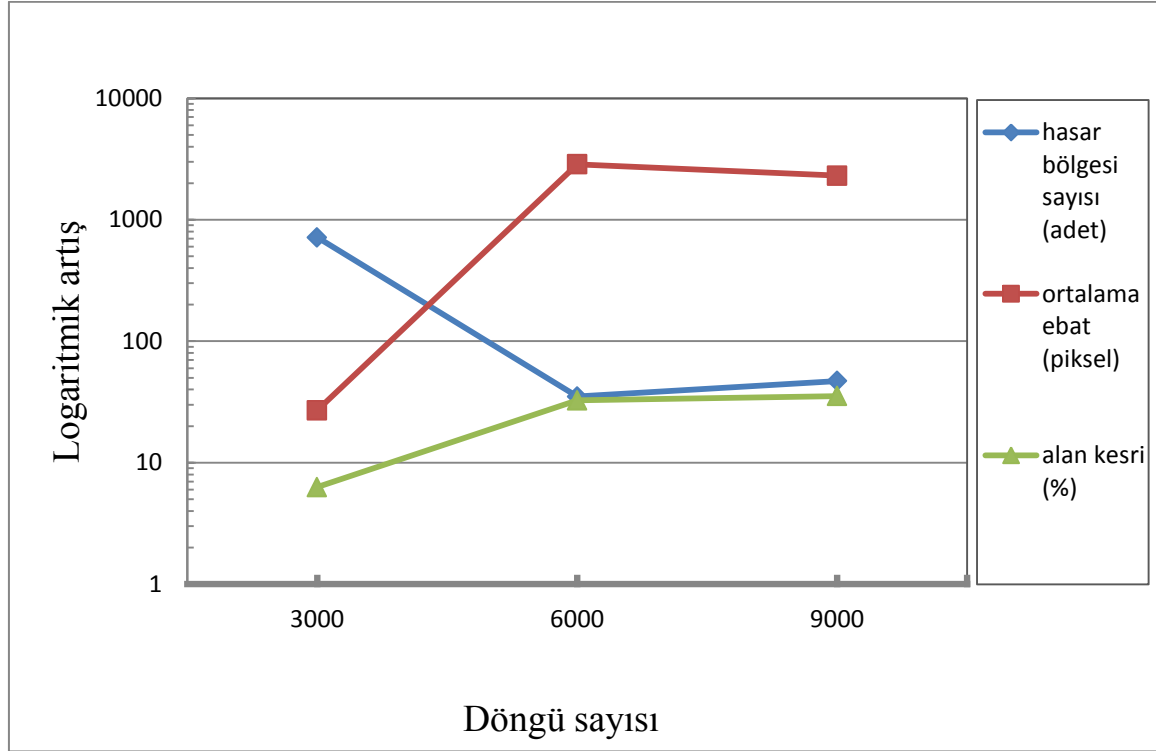
Resim 7.36'da sırasıyla, ALTİn kaplı 3 000, 6 000 ve 9 000 döngülük numunelerin yanal yüzey SEM görüntülerinin görsel analiz programı ile analize uygun hale getirildiği aşamalar sonucu elde edilen son basamak ekran çıktıları verilmektedir. Bu çıktılarından Çizelge 7.2'de verilen hasar büyüklüklerinin sayısal ifadesi olan tablo ve bu tablodan Şekil 7.2'de verilen grafik elde edilmiştir. Şekil 7.2'deki ortalama hasar bölgesi ebadı ile adet eğrileri arasındaki ters orantı, CrN numunelerde; Şekli 7.1'de görüldüğü gibi ayna simetrisi şeklindedir. ALTİn kaplı numunede 3 000 döngü sonrası oluşan 716 adet hasar bölgesinin, 6 000 ve 9 000 döngü sonunda 35 ve 47 adet olarak gerçekleşmesi, aynı şekilde ortalama hasar bölgesi ebadının 2861 ve 2309 gibi yatay seyretmesi bozulma miktarının bir noktadan sonra durağan hale geldiğini göstermektedir. Aynı durağanlık alan kesri değerlerinde de gözlemlenebilmektedir.



Resim 7.36. AlTiN kaplı (a) 3 000, (b) 6 000, (c) 9 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü (son adım)

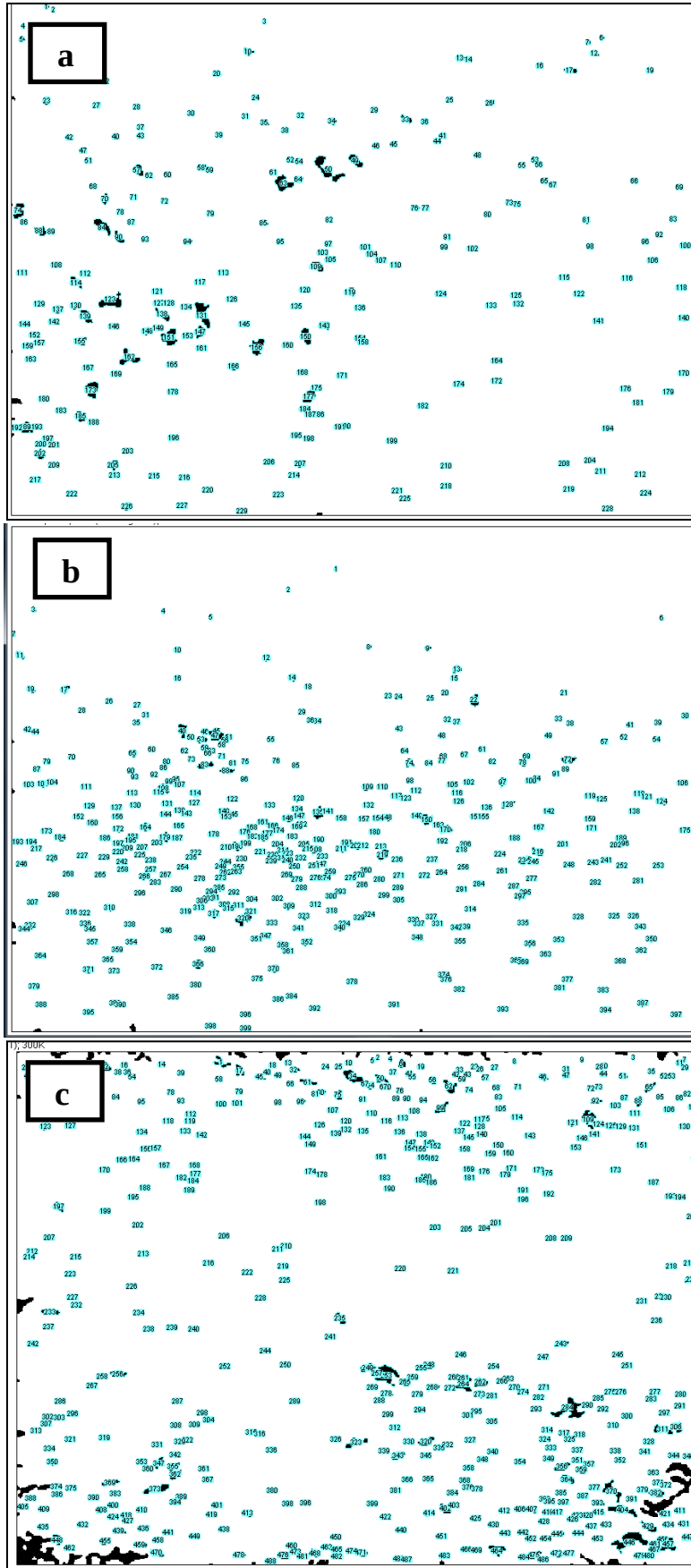
Çizelge 7.2. AlTiN kaplamalı H13 numunede meydana gelen hasarın sayısal büyüklükleri

Döngü	Hasar bölgesi sayısı (adet)	Toplam hasar alanı (piksel)	Ortalama ebat (piksel)	Alan kesri (%)
3000	716	19 316	26,978	6,29
6000	35	100 136	2 861,029	32,6
9000	47	108 542	2 309,404	35,343



Şekil 7.2. AlTiN kaplamalı H13 numunelerde ortalama hasar bölgesi ebadı ile hasar bölgesi sayısının kıyaslanması

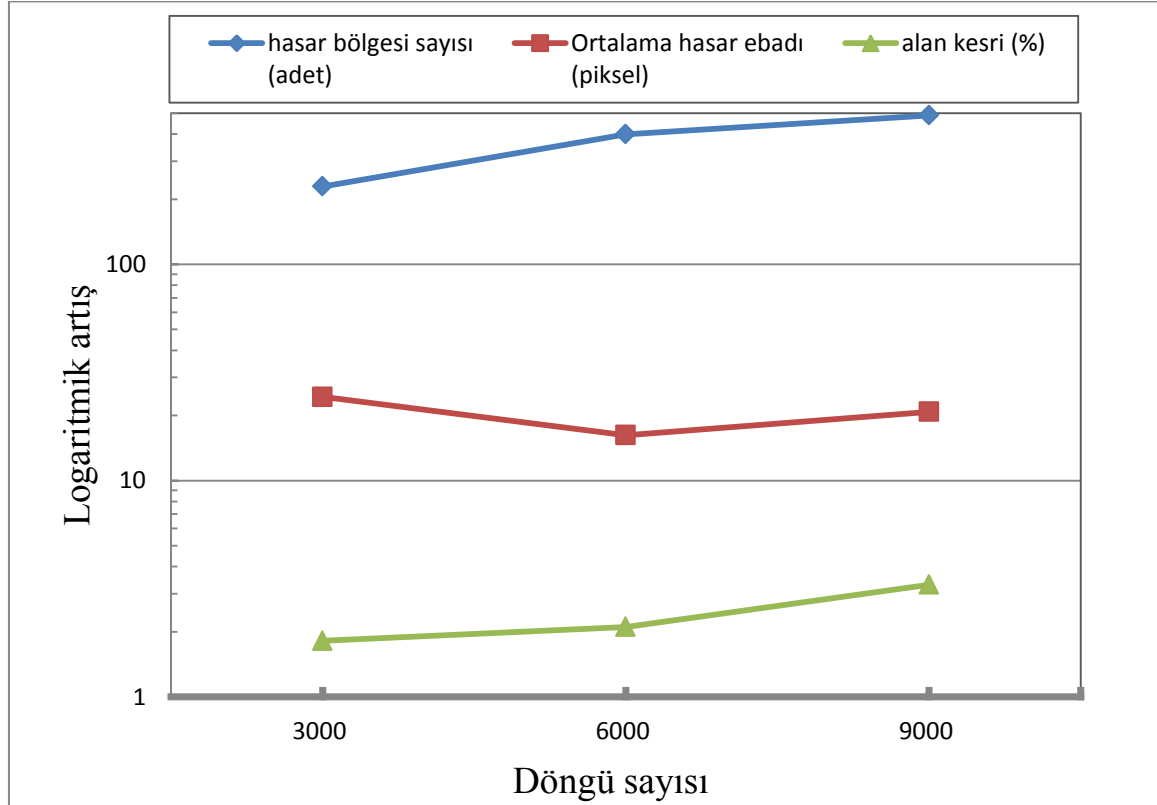
Resim 7.37; sırasıyla, 3 000, 6 000 ve 9 000 döngü CrN-AlTiN kaplamaların analiz programı ekran çıktılarını göstermektedir. Program verilerine göre oluşturulan Çizelge 7.3'te verilen tablo meydana getirilen grafik Şekil 7.3'te verilmiştir. Rutin bir görüntü olan, ortalama ebat eğrisi ile hasar bölgesi sayısı eğrisi arasındaki ayna simetrisi görüntüsü dışında, çok küçük oranda ve neredeyse durağan seyir gösteren alan kesri eğrisi dikkat çekmektedir.



Resim 7.37. CrN-AlTiN kaplı (a) 3 000, (b) 6 000, (c) 9 000 döngülük numunenin analiz sonrası görüntüsü (son adım)

Çizelge 7.3. CrN-AlTiN kaplamalı H13 numunede meydana gelen hasarın sayısal büyüklükleri

Döngü	Hasar bölgesi sayısı (adet)	Toplam hasar alanı (piksel)	Ortalama ebat (piksel)	Alan kesri (%)
3000	229	5 579	24,362	1,8166
6000	399	6 466	16,206	2,105
9000	488	10 143	20,785	3,303



Şekil 7.3. CrN-AlTiN kaplamalı H13 numunelerde ortalama hasar bölgesi ebadı ile hasar bölgesi sayısının kıyaslanması

Çizelge 7.4'te tüm kaplama türlerinin eş döngü sayısında gösterdikleri performans tablo halinde sunulmuştur. Bu tablodan elde edilen, hasar bölgesi sayısının ve ortalama hasar ebadının kıyaslanmasına imkan veren grafikler Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.4.a'da 3 000 döngüde CrN ve AlTiN kaplamalarda hasar bölgesi sayısı çok yakın değerlere sahipken, Şekil 7.4.b'de ortalama ebadın da aynı şekilde yakın değerlerde olduğu görülmektedir. 6 000 döngüde hasar bölgesi sayısındaki artış fazla CrN-AlTiN kaplamada olduğu görülürken, bunu sırasıyla CrN ve AlTiN kaplamalar takip etmektedir. 6 000 döngüde ortalama hasar ebadı değerlerinin kıyaslamasında, CrN-AlTiN kaplamada oldukça düşük değerler ve durağan bir eğri görülürken, AlTiN kaplamada en fazla ortalama hasar bölgesi alanının olduğu görülmektedir. Buradan; CrN-AlTiN kaplamanın

bozulmama yönünde çok kararlı bir performans sergilediği, AlTiN kaplamada ilk 3 000'lik döngüde oluşan hasar bölgelerinin CrN kaplamaya göre daha çok büyüyerek, birbirlerine katılarak genişlediği anlaşılmaktadır. 9 000 döngüde CrN-AlTiN kaplamanın hasar bölgesi sayısı ve ortalama hasar ebadı anlamında kararlılığını korurken, CrN ve AlTiN kaplamalardaki durumun 6 000 döngüde durumdaki sıralamaya göre yer değiştirdiği; CrN kaplamada ortalama hasar ebadı en büyük olduğu için hasar bölgesi sayısının en düşük değerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.4. Kaplama türü ve döngü sayısına göre hasar büyüklükleri

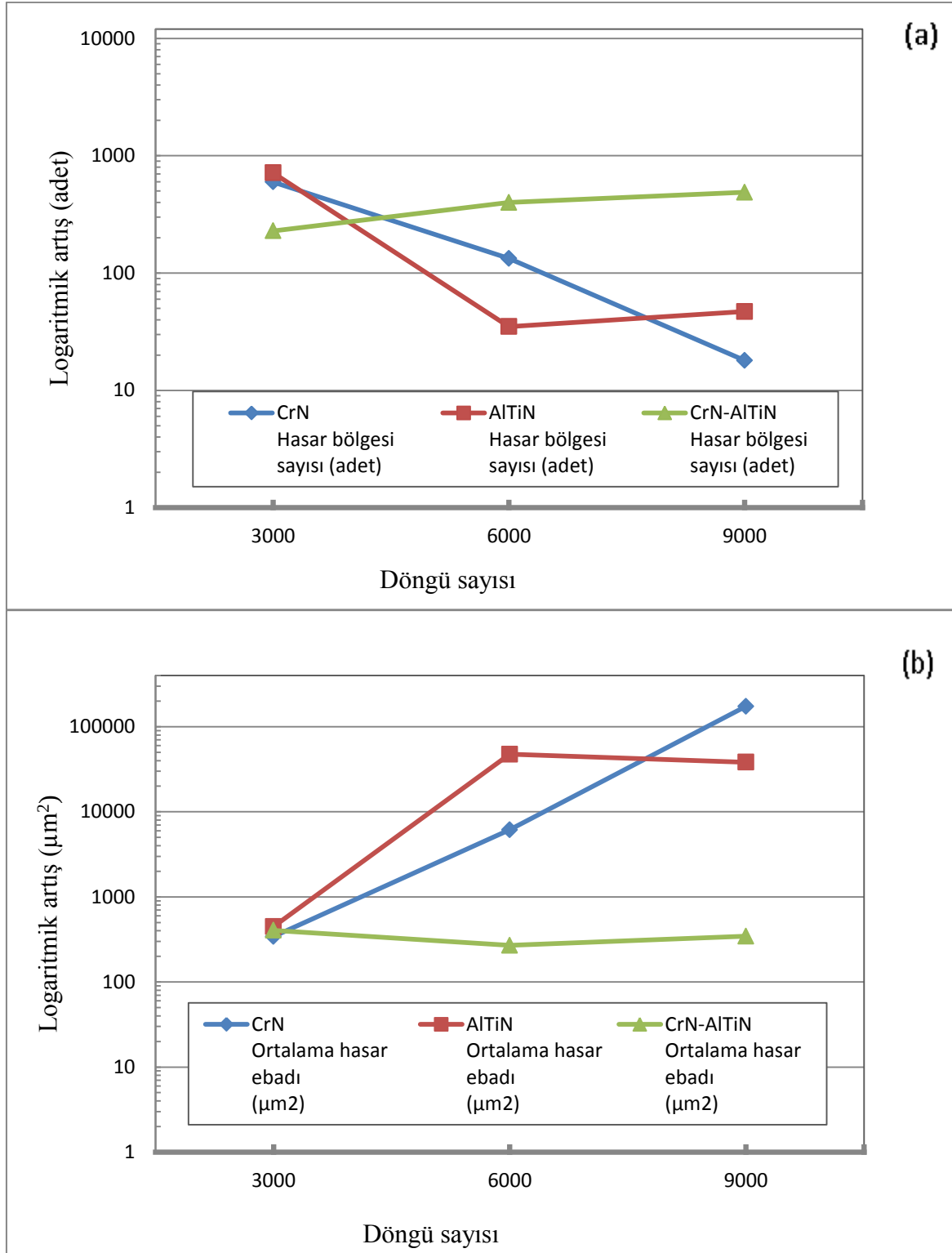
Hasar nicelik tanımı	3 000 Döngü	6 000 Döngü	9 000 Döngü
CrN kaplamada hasar bölgesi sayısı (adet)	598	133	18
AlTiN kaplamada hasar bölgesi sayısı (adet)	716	35	47
AlTiN-CrN kaplamada hasar bölgesi sayısı (adet)	229	399	488
CrN kaplamada alan kesri (%)	4,01	16,05	61,13
AlTiN kaplamada alan kesri (%)	6,29	32,6	35,343
AlTiN-CrN kaplamada alan kesri (%)	1,8166	2,105	3,303
CrN kaplamada ortalama ebat (piksel)	20,595	370,699	10 429,5
AlTiN kaplamada ortalama ebat (piksel)	26,987	2 861,03	2 309,40
CrN-AlTiN kaplamada ortalama ebat (piksel)	24,362	16,206	20,785
CrN kaplamada toplam hasar alanı (piksel)	12 316	49 303	187 731
AlTiN kaplamada toplam hasar alanı (piksel)	19 316	100 136	108 542
CrN-AlTiN kaplamada toplam hasar alanı (piksel)	5 579	6 466	10 143

Çizelge 7.5. Kaplama türü ve döngü sayısına göre piksel- μm^2 çevirim tablosu

Hasar nicelik tanımı	3 000 Döngü	6 000 Döngü	9 000 Döngü
CrN kaplamada ortalama ebat (μm^2)	341,910	6 154,197	173 146,387
AlTiN kaplamada ortalama ebat (μm^2)	448,027	47 497,659	38 339,801
CrN-AlTiN kaplamada ortalama ebat (μm^2)	404,448	269,046	345,064
CrN kaplamada toplam hasar alanı (μm^2)	204 465,306	818 508,685	3 116 634,970
AlTiN kaplamada toplam hasar alanı (μm^2)	320 676,506	1 662 417,818	1 801 970,867
CrN-AlTiN kaplamada toplam hasar alanı (μm^2)	92 620,326	107 345,946	168 390,029

CrN kaplamada 3 000 döngü sonucunda 598 adet hasar bölgesi gözlenirken, 6 000 döngüde hasar bölgelerinin büyüyerek birleşmesi sonucu 133 adet değerine, döngü sayısının 9 000 döngüde ise 18 adete düştüğü belirlenmiştir. Benzer şekilde AlTiN kaplamada ise 3 000, 6 000 ve 9 000 döngü için hasar bölgesi sayısı sırasıyla 716, 35 ve 47 olarak değişmektedir. AlTiN malzemede 9 000 döngüde hasar bölgesi sayısının arttığı gözlenmektedir. Öte yandan CrN-AlTiN kaplamada ise döngü sayısındaki artışa bağlı olarak hasar bölgesi sayılarının 229, 399 ve 488 adet olmak üzere sürekli olarak arttığı belirlenmiştir. Sonuçlara alan kesri açısından bakıldığı zaman ise CrN kaplamanın 3 000 döngüde % 4,1'i hasarlı yüzeye sahip iken, 6 000 döngüde %16 değerine ulaştığı, 9 000 döngüde ise radikal bir artış ile yüzeyin % 61'nin hasarlı bölgeden oluştuğu belirlenmiştir. Bu değişim, döngü sayısına bağlı olarak AlTiN kaplamada 6,29, 32,6, 35,343 olarak gerçekleşmiştir. Oysa CrN-AlTiN kaplamada ise bu değerler 1,8166, 2,105 ve 3,303 olarak değişmektedir. Dolayısıyla hasarlı yüzey oranı anlamında CrN kaplama ile CrN-AlTiN arasındaki fark yaklaşık 2 kat iken 9 000 döngünün sonucunda bu fark yaklaşık olarak 18 kat değişim göstermektedir.

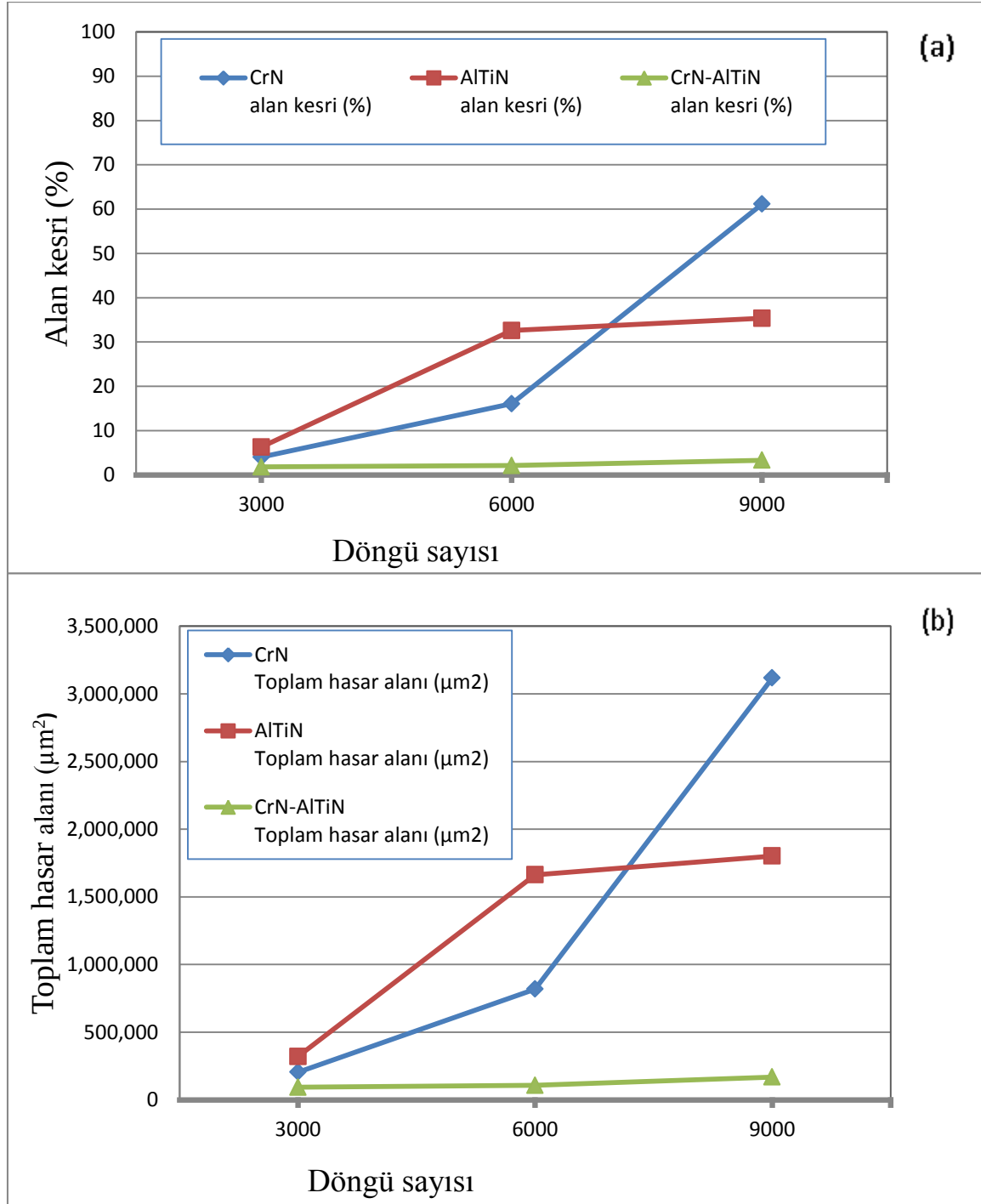
CrN ve AlTiN kaplamalarda, hasar bölgesi adeti ile hasarlı alan kesri arasındaki ters orantı, hasar bölgelerinin birbirleri ile birleşerek büyüdüğünü göstermektedir. CrN-AlTiN kaplamada ise değişimin hafif bir eğimle gerçekleşmesi birbirine katılarak büyüme olayının diğer iki kaplamadaki gibi olmadığını; hasarın, yeni bölge oluşumu şeklinde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 7.4. Tüm kaplamalı H13 numunelerde kaplama türü ve döngü sayısına göre (a) hasar bölgesi sayısının ve (b) ortalama hasar ebadının kıyaslanması

Alan kesri ve toplam hasar alanının kıyaslandığı Şekil 7.5'te, alan kesri eğrileri ile (Şekil 7.5.a) toplam hasar alanı eğrileri (Şekil 7.5.b), hasar miktarının farklı ifadeleri oldukları için benzerdir. CrN-AlTiN kaplamada Şekil 7.4'deki gibi düşük değerler ve kararlı eğriler

görülürken, büyük değişikliklerin yine CrN ve AlTiN kaplamalarda olduğu görülmektedir. 3000 ve 6000 döngüde, CrN kaplamada AlTiN kaplamaya göre daha düşük hasar alanı aynı zamanda daha düşük alan kesri olduğu, 9 000 döngüde alan kesrinin ve toplam hasar alanındaki artışın AlTiN kaplamada hasar oluşumunun yavaşladığı, CrN kaplamanın en fazla hasara uğrayan kaplama olduğu görülmüştür.



Şekil 7.5. Tüm kaplamalı H13 numunelerde kaplama türü ve döngü sayısına göre (a) alan kesrinin ve (b) toplam hasar ebadının kıyaslanması

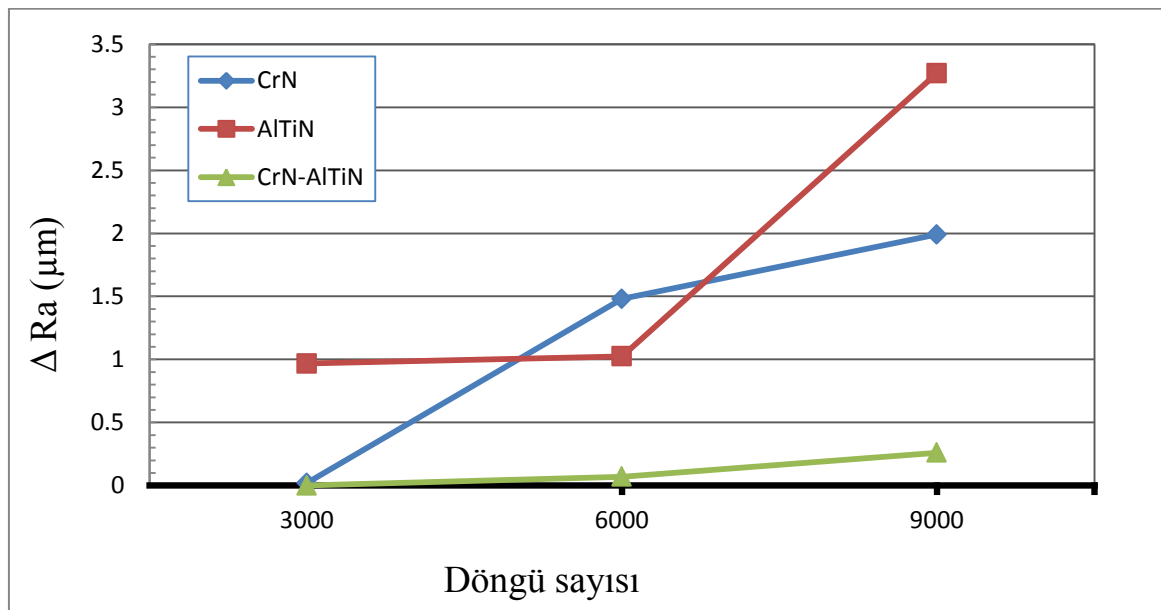
7.1.2. Yüzey pürüzlülük testi sonuçları

Üç ölçüm değerinin ortalaması alınarak elde edilen Ra pürüzlülük değerleri, kaplama türü ve döngü sayısına göre Çizelge 7.6’da gösterilmiştir. Bu tablodan elde edilen, pürüzlülük değerlerindeki artışı gösteren grafik Şekil 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6 ve Şekil 7.6’da CrN kaplı numunenin deney öncesi ve 3 000 döngüde sonrası en pürüzsüz yüzeye sahip olduğu, 3 000 döngüde AlTiN kaplamanın, 6 000 döngüde CrN kaplamanın pürüzlülük değerinde ani artış olduğu ve bu kaplamalarda 9 000 döngüde maksimum pürüzlülüğün meydana geldiği görülmektedir. CrN-AlTiN çok katmanlı kaplamada 3 000 döngüye kadar bir pürüzlülük artışının olmadığı, 6 000 ve 9 000 döngüde numunelerde pürüzlülüğün hafif bir eğimle arttığı görülmektedir. Bu durumun, Şekil 7.5’de verilen analiz grafiği ile benzerlik arz ettiği görülmüştür.

Çizelge 7.6. Kaplama türüne göre H13 numunelere döngü sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış

Döngü Sayısı	Kaplama Türüne Göre Ortalama Ra Pürüzlülük Değeri (μm)		
	CrN	AlTiN	CrN-AlTiN
0 (deney öncesi)	0,28	0,33	0,35
3000	0,30	1,298	0,35
6000	1,76	1,354	0,42
9000	2,27	3,60	0,61



Şekil 7.6. Kaplama türüne göre H13 numunelerde döngü sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişim

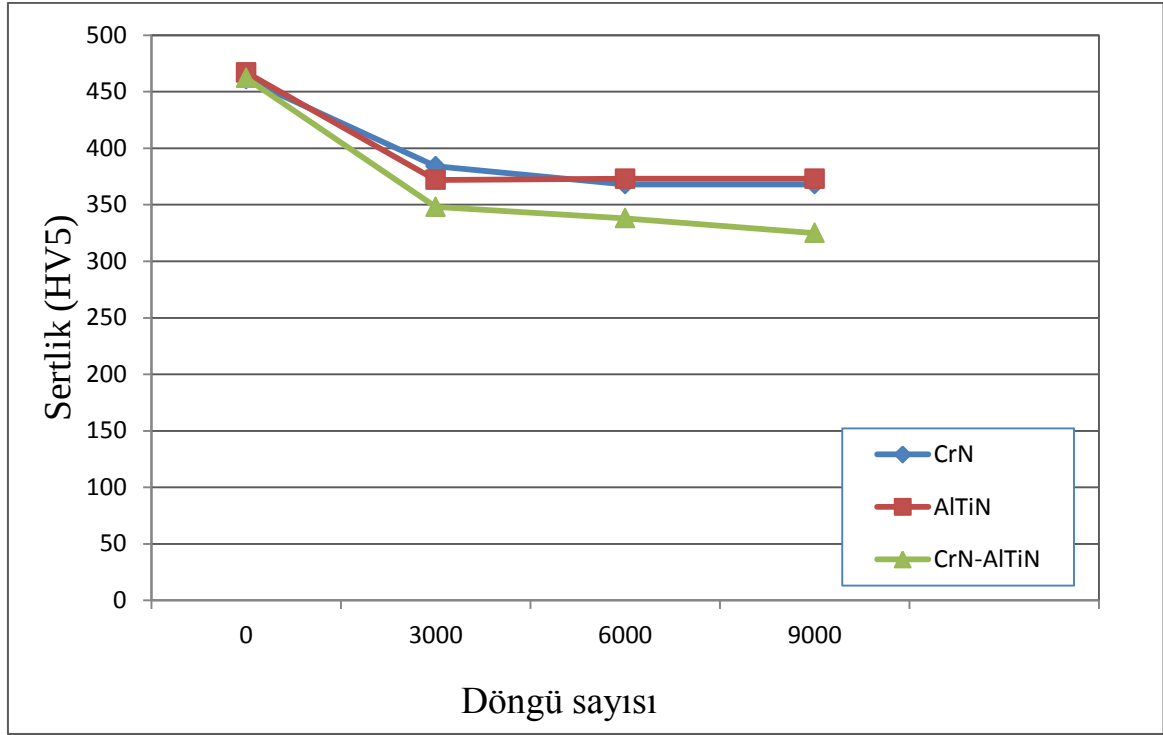
7.1.3. Sertlik deneyi sonuçları

Üç ölçüm değerinin ortalaması alınarak elde edilen sertlik değerleri, kaplama türü ve döngü sayısına göre Çizelge 7.7’de verilmiştir. Bu tablodan döngü sayısına bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimi gösteren Şekil 7.7’de verilen grafik elde edilmiştir.

Tüm kaplama türlerinde H13 çelik malzeme ana yapısının 3 000 döngü sonrası büyük oranda sertlik kaybı yaşadığı görülmektedir. Deneye girmemiş orijinal numunelerin sertlik değerleri 461-467 HV5 iken 3 000 döngü sonrası CrN kaplamalı numunede 384 HV5 ve AlTiN kaplamalı numunede 372 HV5 ölçülmüştür. CrN-AlTiN kaplamalı numunede ise 348HV5 sertlik ölçümü ile yumuşamanın daha fazla olduğu görülmektedir. CrN ve AlTiN kaplamalı numunelerde 6 000 ve 9 000 döngülük deneyler sonrası yumuşamanın, sırasıyla 368 ve 373 HV5 sertlik değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Buna karşılık dikkati çeken durum CrN-AlTiN kaplamalı numunede yumuşamanın devam etmesidir. Bu durum, Uysal [48] ve Cehong ve arkadaşlarının [50] çalışmalarında bahsettiği AlTiN veya türevi olan TiAlN türü kaplamaların çok yüksek oksidasyon direncine ve ısı yalıtkanlığına sahip olmasıyla ilintilendirilmiştir. Yani tek katmanlı CrN ve AlTiN kaplamalı numunelerin soğutma sıvısına daldırıldığında bünyesinde tuttuğu ısıyı daha kolay bıraktığı, çok katmanlı CrN-AlTiN kaplamalı numunenin ise daha fazla ısıyı ısı yalıtkanlık nedeniyle bünyesinde tuttuğu anlaşılmaktadır. Bu durum 3 000 döngülük CrN ve AlTiN kaplamalı numunelerin sertlik kıyaslamasından da çıkarılabilir. CrN kaplamalı numunenin sertlik değeri 384 HV5 iken, AlTiN kaplamalı numunenin sertlik değeri 372 HV5 olarak ölçülmüştür. Her iki numune de tek katmanlı olmasına rağmen AlTiN kaplamalı numunenin az da olsa fazla yumuşadığı görülmektedir.

Çizelge 7.7. Kaplamalı H13 numunelere döngü sayısına bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişim

Döngü Sayısı	Kaplama Türüne Göre Sertlik Ana Yapıdaki Sertlik Değişimi (HV5)		
	CrN	AlTiN	CrN-AlTiN
0(deney öncesi)	461	467	462
3000	384	372	348
6000	368	373	338
9000	368	373	325



Şekil 7.7. Kaplama türüne göre H13 numunelerde döngü sayısına bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişim

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

1. Yüzey koruma ya da alaşımlama önlemi olmayan Ç1020 çeliğinin kimyasal ilgisi nedeniyle alüminyuma karşı savunmasız olduğu görülmektedir. Bu sebepten yüzey pürüzlülüğünde aşırı artış ve yüzeyde yapışma görülmüştür.
2. Sadece nitrüleme işleminin yapıldığı 1.2344 çeliğinden numunenin Ç1020'ye göre nisbeten dayanıklı olduğu ancak yüzeyde oluşan katmanın kuvvetli bir şekilde matrise bağlı kalamadığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, savunmasız Ç1020'ye göre daha iyi olmasına rağmen yapışma olayının gerçekleştiği görülmektedir.
3. CrN ve CrN-ALTiN kaplamanın pürüzlülük ve yapısal bütünlülük anlamında 3 000 döngülük testlerde ALTiN kaplamaya göre daha başarılı olduğu görülmüştür.
4. 6 000 döngü sonunda CrN kaplamada ALTiN kaplamaya göre daha küçük hasar alanı oluşmuş, ancak pürüzlülük değeri ALTiN kaplamaya göre nisbeten fazla artış göstermiştir. Oksidasyon direncindeki zayıflık ve buna bağlı ısı dayanıklılık neticesinde 9 000 döngü sonunda durumun tersine döndüğü, CrN kaplamada daha büyük alanda bozulma olduğu ancak, ALTiN kaplamaya göre daha düşük pürüzlülük değeri olduğu görülmüştür. Pürüzlülük ile hasar alanı arasındaki ters orantının, SEM resimlerinde görülen oyukların içlerine yapışma olayının gerçekleşip gerçekleşmediğine bağlı olduğu anlaşılmıştır. 6 000 döngüde CrN kaplamada oyuk içi yapışma olayı görülürken, ALTiN kaplamada yapışmanın meydana gelmediği görülmüştür. 9 000 döngüde ise aksi durum; CrN kaplamada oyuk içi yapışma olayı görülmezken, ALTiN kaplamada yapışma oluşumları görülmüştür.
5. Yüzey koruma önlemi alınmış olan CrN, ALTiN ve CrN-ALTiN çok katmanlı kaplamaların kıyaslanmasında 9 000 döngü sonunda yapısal bütünlüğünü koruyan kaplamanın sadece CrN-ALTiN kaplama olduğu görülmüştür. Bu kaplamada yapışma alanının çok bölgesel ve zayıf olduğu gözlenmiştir.

6. 6 000 döngülük testlerde CrN ve AlTiN kaplamalarda düşük miktarlarda yapışma gözlenmiştir.
7. Alüminyumun, CrN ve AlTiN kaplamaları düşük açıyla ısıtması nedeniyle pimlerin sıvı metalden çıkışı sırasında üzerlerinde az ve ince katılaşma ürünleri elde edilmiş ve buna bağlı olarak numunelerin kaplamalarındaki yapısal bozulmaya rağmen sınırlı düzeyde yapışmanın gerçekleştiği görülmüştür. CrN-AlTiN grubundaki numunelerin kaplamalarındaki bozulmanın sadece pürüzlülük artışı ile sınırlı olması ve yapışmanın sadece 9 000 döngüde sınırlı bir alanda ve zayıf bir şekilde görülmüştür.
8. Isıl yalıtkanlık nedeniyle ergimiş metalin ısını bünyesinde daha çok tutan AlTiN kaplamalı numunenin CrN kaplamalı numuneye göre daha fazla sertlik kaybı yaşadığı, en fazla sertlik kaybının ise CrN-AlTiN kaplamalı numunede gerçekleştiği görülmüştür.

8.2. Öneriler

1. Alüminyum döküm alaşımının etkilerini belirlemek amacıyla farklı bileşimlerde çalışma yapılabilir.
2. Tane inceltme, modifikasyon gibi sıvı işlemlerinin hasar mekanizmaları üzerine etkileri incelenebilir.
3. Farklı kaplama türlerinin davranışları incelenebilir.
4. Mikroyapının daha kararlı hale getirilmesi için farklı ısı işlem uygulamaları araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Chen, Z. W. (2005). Formation and Progression of Die Soldering High Pressure Die Casting. *Materials Science and Engineering*, A397, 356–369.
2. Klobčar, D., Tušek, J. (2008). Thermal Stresses in Aluminium Alloy Die Casting Dies. *Computational Materials Science*, 43, 1147–1154.
3. Joshi, V., Srivastava, A., Shivpuri, R. (2004). Intermetallic Formation and Its Relation to Interface Mass Loss and Tribology in Die Casting Dies. *Wear*, 256, 1232–1235.
4. Zhu, Y., Schwam, D., Wallace, J. F., Birceanu, S. (2004). Evaluation of Soldering, Washout and Thermal Fatigue Resistance of Advanced Metal Materials for Aluminum Die-Casting Dies. *Materials Science and Engineering*, A379, 420–431.
5. Zhua, H., Guob, J., Jiab, J. (2002). Experimental Study and Theoretical Analysis on Die Soldering in Aluminum Die Casting. *Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Journal of Materials Processing Technology*, 123, 229–235.
6. Chen, Z. W. (2005). Formation and Progression of Die Soldering During High Pressure Die Casting. *Materials Science and Engineering*, A397, 356–369
7. Mohammed, A. H. (2012). *Experimental Simulation of Reduction of Erosion Damage in Dies Used in Aluminium Castin*, Master's Thesis, University of Sheffield, Sheffield, 8-18
8. Tang, C., M. Jahedi, Z., Brandt, M. *Investigation of the Soldering Reaction in Magnesium High Pressure Die Casting Dies*. Paper presented at the First 6th International Tooling Conference, 161-172
9. 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
10. Ay, İ., Okoldan, G. (1997, Kasım-Aralık). Sıcak İş Takım Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler ve Bir Uygulama. *Balıkesir Üni. Müh. Mim .Fak. Malzeme Makine*, 94-98
11. İnternet: Walter Metals Corporation. Walter Metals Corporation, datasheet. Walter Metals Corporation. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwaltermetals.elwd.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F10%2FH13_commercial.pdf&date=2014-10-12 Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
12. İnternet: Cincinnati Tool Steel Company. Cincinnati Tool Steel Company, hot work steel datasheet. Cincinnati Tool Steel Company. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fcintool.com%2Fcatalog%2Fmold_quality%2FH13.pdf&date=2014-10-12, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
13. Topbaş M. A. (1998). *Çelik ve Isıl İşlem Atlası*. İstanbul: Prestij Yayıncılık

14. İnternet: AUTHORNAME. saglammetaldata. saglammetal. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.saglammetal.com%2F1-2344%2F&date=2014-10-12>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
15. İnternet: SCHMOLZ-BICKENBACH. SCHMOLZ-BICKENBACH, datasheets. SCHMOLZ-BICKENBACH. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.schmolz-bickenbach.de%2Ffileadmin%2Ffiles%2Fschmolz-bickenbach.de%2Fdocuments%2Fbroschueren%2FBroschueren_2013%2FSUB_Werkzeugstahl_P11_070813.pdf&date=2014-10-12, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
16. Schwam D., Wallace, J. F., Birceanu,S. (2002). *Die Materials For Critical Applications and Increased Production Rates*. Work Performed Under Contract DE-FC07-98ID13693 Case Western Reserve University, For U.S. Department Of Energy Assistant Secretary For Energy Efficiency And Renewable Energy Washington D.C.
17. Kori, S. A., Murty, B. S., Chakraborty, M. (2000). Development of an Efficient Grain Refiner for Al–7Si alloy. *Materials Science and Engineering*, A280, 58–61
18. Kori, S.A., Murty, B.S., Chakraborty, M. (2000). Development of an Efficient Grain Refiner for Al–7Si Alloy and Its Modification with Strontium. *Materials Science and Engineering*, A283, 94–104
19. Saheb, N., Laoui, T., A. Daud, R., Harun, M., Radiman, S., Yahaya, R. (2001). Influence of Ti Addition on Wear Properties of Al–Si Eutectic Alloys. *Wear*, 249, 656–662
20. Rao, A. K. P., , Das, K., Murty, B.S., Chakraborty, M. (2004). Effect of Grain Refinement on Wear Properties of Al and Al–7Si Alloy. *Wear*, 257, 148–153
21. Asensio-Lozano, J., Sua´rez-Penâ, B., Effect of The Addition of Refiners and/or Modifiers on The Microstructure of Die Cast Al–12Si alloys. (2006). *Scripta Materialia*, 54, 943–947
22. Sua´rez-Penâ, B, Asensio-Lozano, J. (2006). Influence of Sr modification and Ti Grain Refinement on The Morphology of Fe-Rich Precipitates in Eutectic Al–Si Die Cast Alloys, *Scripta Materialia*, 54, 1543–1548
23. Mitterer,C., Holler,F., Heim, D. (2000). Application of Hard Coatings in Aluminium Die Casting-Soldering, Erosion and Thermal Fatigue Behaviour. *Surface and Coatings Technology*, 125, 233–239
24. ASM International Alloy Phase Diagram and the Handbook Committees. (1992). *Volume 3 of the ASM Handbook*. Cleveland, Ohio: ASM Internatinol, 294
25. Joshi, V., Srivastava, A., Shivpuri, R. (2004). Intermetallic Formation and Its Relation to Interface Mass Loss And Tribology in Die Casting Dies. *Wear*, 256, 1232–1235

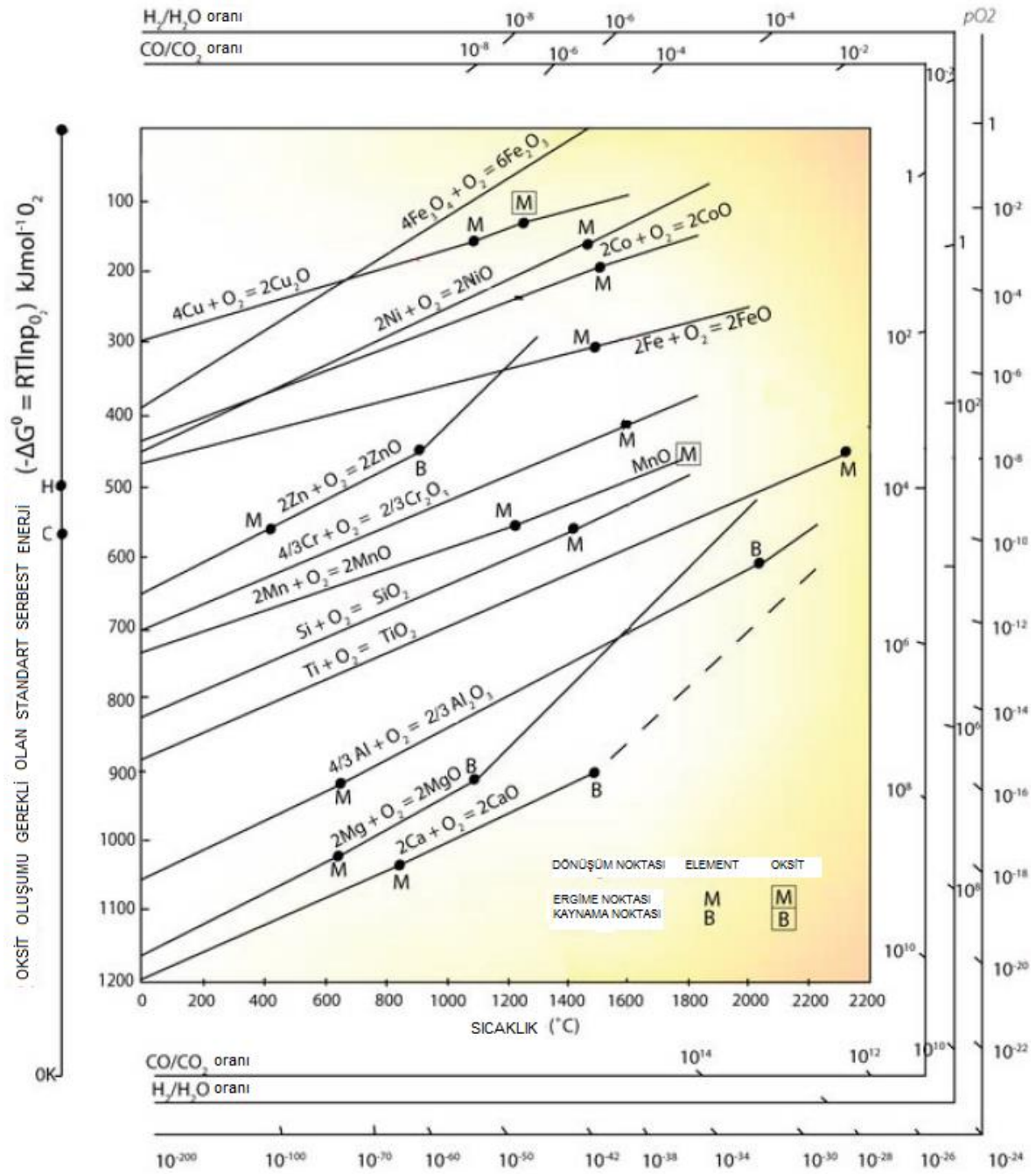
26. Shankar, S., Apelian, D. (2002). Mechanism of the Interface Reaction between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel. *Met. Trans*, 33B, 465-476
27. Tentardini, E. K., Kunrath, A. O., Aguzzoli, C., Maria, Castro ,J., Moore, J., Baumvol, I. J. R. (2008). Soldering Mechanisms in Materials and Coatings for Aluminum Die Casting. *Surface & Coatings Technology*, 202, 3764–3771
28. Rajendran, R., Venkataswamy, S., Jaikrishna, U., Gowrishankar, N., Rajadurai, A. (2006). Effect Of Process Parameters in Hot Dip Aluminizing of Medium Carbon Steel [abstract]. *B.S.A. Crescent Engineering College, IP Rings Ltd., and Anna University, India*
29. Hwanga, S., Songb J., Kima,Y. (2005). Effects of Carbon Content of Carbon Steel on Its Dissolution into a Molten Aluminum Alloy. *Materials Science and Engineering*, A390, 437–443
30. Chen, Z. W., Jahedi, M. Z. (1999). Die Erosion and Its Effect on Soldering Formation in High Pressure Die Casting of Aluminium Alloys. *Materials and Design*, 20, 303-309
31. Klobčar, D., Tušek, J., Taljat, B. (2008). Thermal Fatigue of Materials for Die-Casting Tooling. *Materials Science and Engineering*, A472, 198–207
32. Babu, S. (2004). *A Material Based Aproach to Creating Wear Resistant Surface for Hot Forging*, Doctoral Thesis, Graduate School of the Ohio State University, Ohio, 24-25
33. Zhu,Y., Schwam, D., Wallace, J. F., Birceanu, S. (2004). Evaluation of Soldering, Washout and Thermal Fatigue Resistance of Advanced Metal Materials For Aluminum Die-Casting Dies. *Materials Science and Engineering*, A379, 420–431
34. Mattox, D. M. (1998). *Handbook Of Physical Vapor Deposition (Pvd) ProcessingFilm Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control*. New Jersey: Noyes Publications, 29-35.
35. Keleşoğlu,E. (2011). *Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, 32
36. Moarrefzadeh, A. (2012). Simulation and Modeling of Physical Vapor Deposition (PVD) Process. *WSEAS Transactions On Applied and Theoretical Mechanics*, Issue 2 Vol.7, 106-111
37. İnternet: Zhu, Yuntian . Surface Processing. ncsu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mse.ncsu.edu%2Fresearch%2Fzhu%2FClass-Teaching%2FMSE440%26540%2FLecture%2FLecture16.pdf&date=2014-10-12>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014

38. İnternet: Fuller, Dr. Lynn . Unit Processes for MEMs Deposition. Rochester Institute of Technology. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpeople.rit.edu%2Fffeee%2FMEM_DEP.pdf&date=2014-10-12, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
39. İlivan, M. (2012). *Kaplamasız, Pvd Tekniği ile Tin ve CrN Kaplanmış DIN1.2550 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının DeneySEL İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara: 47-49
40. Fauzun, F., Aqida, S. N., Naher, S., Brabazon, D., Calosso, F., Rosso, M. (July, 2013). *Effects of Thermal Fatigue on Laser Modified H13 Die Steel*. Paper presented at the First International Conference on Mechanical Engineering Research, Pahang, Malaysia.
41. Klobčar, D., Kosec, L., Kosec, B., Tušek, J. (2012). Thermo Fatigue Cracking of Die Casting Dies. *Engineering Failure Analysis*, 20, 43–53
42. Gulizia, S. (2008). *Soldering in High Pressure Die Casting (Hpdc); Performance Evaluation and Characterisation of Physical Vapour Deposition (Pvd) Coatings*, Master's Thesis, School of Engineering and Science, Swinburne University of Technology Hawthorn, Victoria, Australia, 12-32
43. Tang, C. (2007). *Soldering in Magnesium High Pressure Die Casting and Its Prevention by Surface Engineering*, Doctoral Thesis, Industrial Research Institute of Swinburne University of Technology, Victoria, Australia, 2
44. İnternet: [guvenalteknik.](http://www.guvenalteknik.com) [guvenal-kalip-itici-pimler.](http://www.guvenal-kalip-itici-pimler.com) URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.guvenal.net%2Furunler.asp%3Fb%3Ddetay%26KatID%3D2%26AltKatID%3D79%26ID%3D195&date=2014-10-12>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
45. İnternet: [ionbond-tinkap.](http://www.ionbond-tinkap.com) [ionbond-kaplama.](http://www.ionbond-kaplama.com) [ionbond-tinkap.](http://www.ionbond-tinkap.com) URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ionbond-tinkap.com%2Findex.php%253Foption%253Dcom_content%2526task%253Dview%2526id%253D2%2526Itemid%253D25&date=2014-10-12, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
46. Birol, Y., Yuksel, B. (2012). Performance of Gas Nitrided and AlTiN Coated AISI H13 Hot Work Tool Steel in Aluminium Extrusion. *Surface & Coatings Technology*, 207, 461–466
47. Shengli, M., Yanhuai, L., Kewei, X. (2001). The Composite of Nitrided Steel of H13 and TiN Coatings by Plasma Duplex Treatment and the Effect of Pre-Nitriding. *Surface and Coatings Technology*, 137, 116-121
48. Gaitan, G. B., Botero, M. G., Franco, M. A., Deposition and Characterization of Duplex Treated Coating System Applied on Hot Work Steel AISI H13, Rev. Latinam. Metal. Mater. V.32 N.2 Caracas Dic. 2012

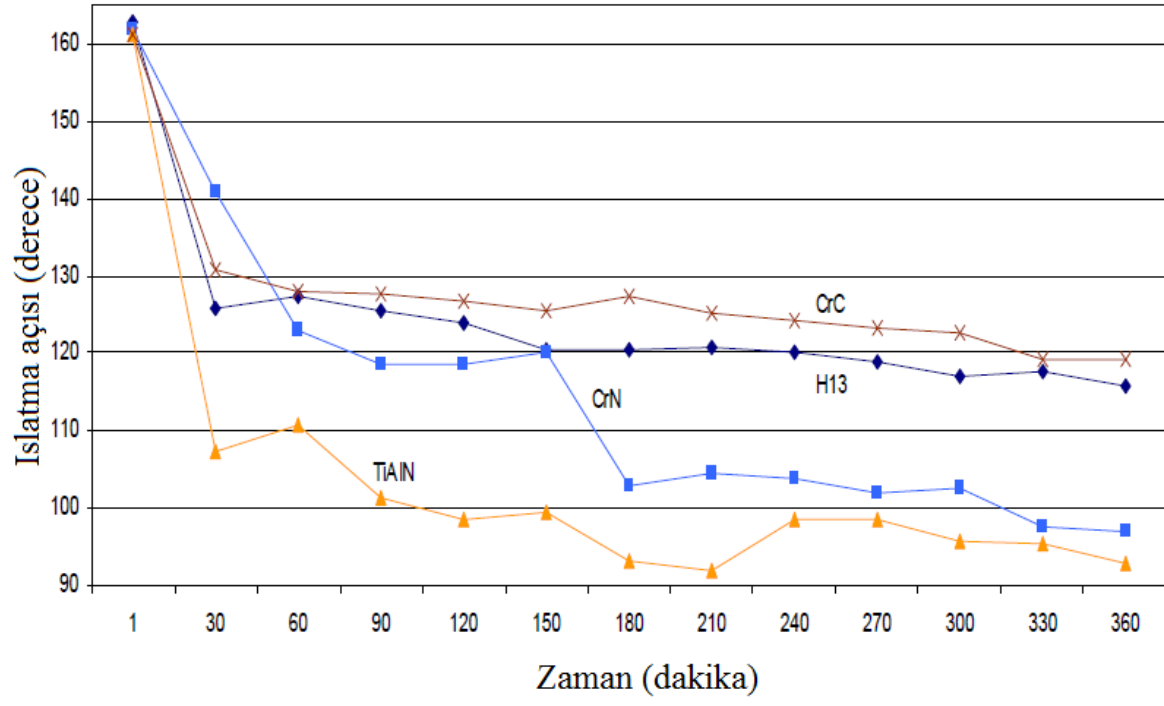
49. Uysal, M. (2006). CrN, TiN Kaplanmış ve Kaplanmamış AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Korozyon Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
50. İnternet: tincoat. AlTiN-TiAlN-difference. tincoat. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tincoat.net%2FTiAlN.html&date=2014-10-12>, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
51. Cheong, J. Y., Ding, X. Z., Tay, B. K., Zeng, X. T. (2010). Thermal Stability and Oxidation Resistance of CrAlSiN Nano-structured Coatigs Deposited by Lateral Rotating Catode Arc. *Key Engineering Materials*, Vol. 447-448, 725-729
52. İnternet: ellingham-diagrams. doipoms. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.doipoms.ac.uk%2Ftlib%2Fellingham_diagrams%2Fellingham.php&date=2014-10-12, Son Erişim Tarihi: 12.10.2014
53. Kearns, K., Design of Experiments for the Measurement of Aluminum Interactions With Die Casting Surfaces, Advance Coatings and Surface Engineering Labroratory
54. Tosun, M., Trabzon, L., İğdil, M. C. (2012). Plazma Nitrüleme İşleminin 316L Ostenitik Paslanmaz Çeliğinin Malzeme Özelliklerine Mikro ve Nano Etkisi. *Mühendis ve Makine*, 630, 54-68

EKLER

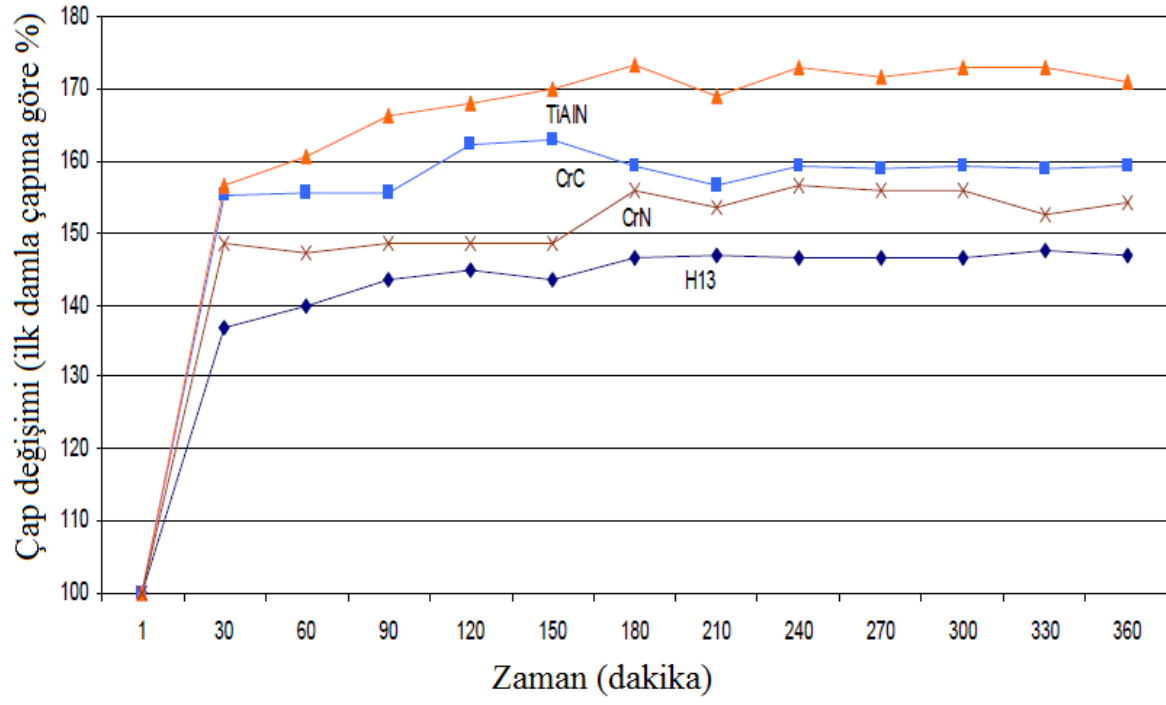
EK-1. Ellingham diyagramı [51]



EK-2. Islatma açısındaki değişim [53]



EK-3. Damla çapının % olarak değişimi [53]



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BALKAYA, İbrahim Fırat
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 28.06.1977, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0535 939 54 63
 Faks :
 e-mail : if.balkaya@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi Böl.	2014
Lisans	Gazi Üniversitesi / Döküm Öğretmenliği	2006
Lise	Anıttepe Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2014	Yener-san	Lazer-Proje Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Balkaya, İ. F., Gül, F., Basınçlı Dökümde Kalıp Hasarına Etki Eden Parametreler, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009
2. Balkaya, İ. F., Özmen, L., Karaağaç, R., Gül, F., 33MnCrB5 Borlu Çelik ve Ç1050 Çelik Malzemenin Adhesive Aşınma Direncinin Araştırılması, 3. Demir Çelik Kongresi, 339-344, Karabük, 1-3 Kasım 2007

Hobiler

3D yat tasarımı, Bahçe işleri.

DİZİN

1

1.2343 · 7, 8, 9
 1.2344 · iv, 7, 8, 9, 10, 51, 57, 105
 1.2365 · 7, 8, 10, 11
 1020 · 6, 51, 57

A

Al · 5, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 20,
 21, 33, 37, 39, 43, 45, 47, 48,
 49, 105, 108
 Al-Fe · 16, 108
 AlTiN · iv, 51, 52, 57, 105, 106
 AlTiN-CrN · iv, v

B

Bakır · 12

C

CrN · iv, 47, 48, 51, 52, 57, 105,
 106, 109
 CVD · 24

Ç

Çarpma erozyonu · 19

D

Danışman · II
 dipping · 42

E

Etial 171 · 56

H

H10 · 5, 6, 7, 8, 10, 11
 H11 · 5, 6, 7, 8, 9, 47
 H13 · 5, 6, 7, 8, 9, 10, 23, 29, 33,
 35, 45, 46, 47, 48

i

immersion · 29, 36
 intermetalik · 40

K

Kalıba yapışma · 17, 49
 Karbon · 37, 38, 39
KeyWords · v

N

Nikel · 11

P

PVD · iv, 24, 26, 109

S

SEM · v, xvii

T

Termal hasar · 20, 21
 Titanyum · 12

A

α · xvii, 12, 13, 17, 20, 21



GAZİ GELECEKTİR...