

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMO-KİMYASAL YÖNTEMLE KAPLANMIŞ
FARKLI KESİCİ TAKIM MALZEMELERİNİN
TALAŞLI İŞLEM KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek.Öğr. Şenol ERTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL

Şubat 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMO-KİMYASAL YÖNTEMLE KAPLANMIŞ
FARKLI KESİCİ TAKIM MALZEMELERİNİN
TALAŞLI İŞLEM KABİLİYETİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek.Öğr. Şenol ERTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

Bu tez 03 / 02 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şaduman ŞEN **Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL** **Yrd. Doç. Dr. Ahmet DEMİRER**
Jüri Başkanı **Jüri Üyesi** **Jüri Üyesi**



TEŞEKKÜR

Öncelikle benden eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu aşamaya gelmemde en büyük paya sahip olan sevgili babam, annem ve fedakar kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında bana her türlü desteği veren, fikir ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL' a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında benden desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Fehim FINDIK' a, Doç. Dr. Şaduman ŞEN'e, Doç. Dr. Uğur ŞEN'e, Yrd. Doç. Dr. Özkan ÖZDEMİR'e, Doç. Dr. Hüseyin UZUN' a ve Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK' a teşekkür ederim.

Çalışmalarımda her türlü kolaylığı sağlayan Arş. Gör. Ferit FIÇICI' ya, Ömer SAVAŞ'a ve Murat ÇOLAK' a, teşekkür ederim.

Öğrencisi olduğum ve çalışmalarını gerçekleştirdiğim Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi' nde görevli olan kıymetli öğretim üyelerine ve herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xx
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TERMOREAKTİF DİFÜZYON YÖNTEMİ (TRD).....	4
2.1. TRD Pprosesindeki Temel Prensipler.....	5
2.2. Kullanılan Malzemeler.....	7
2.3. Kaplama Kutusunun Ddizaynı.....	8
2.4. TRD İşleminin Uygulama Alanları.....	10
2.5. TRD Yönteminin Üstünlükleri.....	10
BÖLÜM 3.	
TAKIM ÇELİKLERİ.....	12
3.1. Takım Çeliklerinin Tanımı ve Genel Özellikleri.....	12

3.1.1. Soğuk İş Takım Çelikleri.....	15
3.1.2. Sıcak iş takım çelikleri (H grubu).....	15
3.1.3. Yüksek hız çelikleri (T ve W grubu).....	16
3.1.4. Suda soğutmalı takım çelikleri.....	17
3.1.5. Şoka dirençli takım çelikleri.....	19
3.1.6. Kalıp çelikleri (Pgrubu).....	19
3.1.7. Özel alaşımlı takım çelikleri(L ve F grubu).....	20
3.2. Kesici Takım Malzemeleri.....	20
3.2.1. Kesici takımların özellikleri.....	20
BÖLÜM 4.	
BORLAMA VE ÖZELLİKLERİ.....	23
4.1. Giriş.....	23
4.2. Borlama.....	25
4.3. Borür Tabakası.....	27
4.4. Geçiş Bölgesi.....	28
4.5. Borlama Yöntemleri.....	28
4.5.1. Katı (Paket) borlama yöntemi.....	28
4.5.2. Sıvı borlama yöntemi.....	29
4.5.3. Gaz borlama yöntemi.....	31
4.5.4. Plazma borlama.....	32
4.6. Borlama İşleminin Avantajları.....	33
4.7. Borlama İşleminin Dezavantajları.....	34
4.8. Borlu Tabakanın Özellikleri.....	35
4.8.1. Borlu tabakanın tribolojik özellikleri.....	37
4.8.2. Borlu tabakanın korozyon özellikleri.....	37

BÖLÜM 5.

TİTANYUM NİTRÜR KAPLAMALAR.....	38
5.1. Giriş.....	38
5.2. TiN Kaplamaların Üstün Özellikleri.....	39
5.3. TiN Kaplama Tabakasının Altlık Malzemeye Yapışması.....	40
5.4. TiN Kaplamaların Uygulama Alanları ve Uygulama Örnekleri.....	40
5.4.1. TiN Kaplamaların Uygulama Alanları.....	40
5.4.2. TiN Kaplamaların Uygulama Örnekleri.....	41
5.5. Titanyum (Ti)- Azot (N) Esaslı Kaplamalar.....	43
5.5.1. Titanyum-nitrür (TiN) kaplamalar.....	43
5.5.2. Titanyum-karbon-nitrür (TiCN) kaplamalar.....	43
5.5.3. Titanyum-alüminyum-nitrür (TiAlN) kaplamalar.....	44
5.5.4. Titanyum-zirkonyum-nitrür (TiZrN) kaplamalar.....	44
5.5. Titanyum-alüminyum-vanadyum-nitrür (TiAlVN) kaplamalar.....	45
5.6. TRD Prosesi ile Titanyum Nitrür Kaplama Tabakasının Oluşumu...	45
5.7. Titanyum Nitrür Tabakası Oluşturulmuş Çeliklerin Özellikleri.....	46
5.7.1. Korozyon direnci.....	46
5.7.2. Sertlik.....	46
5.7.3. Aşınma direnci.....	46

BÖLÜM 6.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	48
6.1. Giriş.....	48
6.2. Deneylede Kullanılan Numuneler ve Kimyasal Analizleri.....	48
6.3. Deneylede Kullanılan Numunelerin Hazırlanışı.....	51
6.4. Deneylede Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar.....	52
6.4.1. Kaplama fırını.....	52
6.4.2. Borlama ve titanyumlama potaları.....	53
6.5. Borlama İşlemi.....	53

6.6. Termo Reaktif Difüzyon İşlemi ile Titanyumlama (Titanyumlama Bileşiklerinin Elde Edilmesi).....	54
6.7. Sertleştirme.....	55
6.8. Metalografik İnceleme.....	56
6.9. X-Işınlari Difraksiyon Analizi.....	56
6.10. Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM) ve Elementel Analiz İncelemesi.....	56
6.11. Sertlik Ölçümleri.....	57
6.12. Talaş Kaldırma Deneyi.....	57
6.13. Kesme Kuvveti ve İlerleme Kuvveti Ölçümleri.....	58
6.14. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri.....	60

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE İRDELEME.....	61
7.1. Giriş.....	61
7.2. Borlanan Malzemelerin Mikroyapı Özellikleri.....	62
7.3. Titanyumlanan Malzemelerin Mikroyapı Özellikleri.....	64
7.4. X Işınlari Difraksiyon Analizi.....	65
7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi.....	68
7.6. Sertlik Ölçümü.....	78
7.7. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	79
7.8. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	81
7.9. Takım Malzemesinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	82
7.10. Kesme Hızının ortalama talaş kaldırma kuvvetine etkisi.....	83
7.11. İlerleme miktarının ortalama talaş kaldırma kuvvetine etkisi.....	84
7.12. Kesme Hızının aşınma üzerindeki etkisi.....	86
7.13. İlerleme Miktarının aşınma üzerindeki etkisi.....	87
7.14. Takım Malzemesinin Aşınmaya Etkisi.....	88
7.15. Takım- Serbest Yüzey Aşınması.....	88

BÖLÜM 8	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	97
8.1. Sonuçlar.....	97
8.2. Öneriler.....	99
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	102

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	: American Iron Steel Institute
Al ₂ O ₃	: Alümina
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
EDS	: Enerji dağılımı x- ışınları spektroskopisi
F	:İlerleme miktarı
HV	:Vickers sertlik
M	:Metal
m	: Metre
r	:Yarıçap
PVD	:Fiziksel buhar biriktirme
t:	:Zaman
T	:Sıcaklık
SEM	:Taramalı electron mikroskobu
TRD	:Termoreaktif difüzyon
TD	:Termo difüzyon
TiBCN	:Titanyum Bor Karbo Nitrür
TiN	:Titanyum Nitrür
TiB	:Titanyum Borür
TiBN	:Titanyum Bor Nitrür
XRD	:X-ışınları difraksiyon analizi
V	:Kesme hızı
Ø	:Çap

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	TRD prosesinde işlem sırası.....	7
Şekil 2.2.	TRD Proseslerinde kutu dizaynları.....	9
Şekil 4.1.	Demir-bor denge diyagramı.....	25
Şekil 4.2.	Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi.....	27
Şekil 4.3.	Katı (paket) borlama işleminin şematik görünüşü.....	29
Şekil 4.4.	Sıvı borlama işleminin şematik görünüşü.....	30
Şekil 4.5.	Gaz borlama ünitesi.....	31
Şekil 5.1.	Titanyum ile azot arasındaki denge diyagramının gösterimi.....	39
Şekil 6.1.	Deneysel çalışmada kullanılan çelik malzemelerin spektral analizlerinin yapıldığı cihaz.....	50
Şekil 6.2.	Deneysel çalışmada kullanılan kesici uçların boyutları.....	51
Şekil 6.3.	Deneysel çalışmada kullanılan kesici uçların görüntüsü.....	51
Şekil 6.4.	Kaplama Fırını.....	52
Şekil 6.5.	Kaplama işlemlerinde kullanılan borlama ve titanyumlama potası.....	53
Şekil 6.6.	Borlama potasının hazırlanması.....	54
Şekil 6.7.	TiN kaplama potasının hazırlanması.....	55
Şekil 6.8.	Deney numunesi olarak kullanılan otomat çeliğinin torna tezgahındaki görüntüsü ve kesme kuvveti, ilerleme kuvvetinin ölçüldüğü sistem.....	58
Şekil 6.9.	Kesme işleminde kesici uç üzerine etki eden kuvvet bileşenleri ..	59
Şekil 6.10	Torna tezgahında talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvveti ile ilerleme kuvvetinin ölçüldüğü sistem.....	59

Şekil 7.1.	950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çeliğinin mikroyapısı.....	
Şekil 7.2	1000 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan kaplanan AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	63
Şekil 7.3.	950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan D2 çeliğinin mikroyapısı.....	64
Şekil 7.4.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan M2 çeliğinin mikroyapısı.....	65
Şekil 7.5.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çeliğinin x ışını difraksiyon paterni.....	66
Şekil 7.6.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan ardından 1050 °C’ de 1 saat titanyumlanan AISI D2 çeliğinin x ışını difraksiyon paterni.....	66
Şekil 7.7.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan AISI M2 çeliğinin x ışını difraksiyon paterni	67
Şekil 7.8.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan ardından 1050 °C’ de 1 saat titanyumlanan AISI M2 çeliğinin x ışını difraksiyon paterni.....	67
Şekil 7.9	950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	69
Şekil 7.10.	950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C’ 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	69
Şekil 7.11.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	70
Şekil 7.12.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan ve ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	70
Şekil 7.13.	950 °C’ de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler	71
Şekil 7.14.	950 °C’ de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	71

Şekil 7.15.	950 °C ' de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 2. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	72
Şekil 7.16.	950 °C ' de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	72
Şekil 7.17.	950 °C ' de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 4. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	73
Şekil 7.18.	950 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler.....	73
Şekil 7.19.	950 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	74
Şekil 7.20.	950 ° C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapıgörüntüsü üzerinden alınan 2. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	74
Şekil 7.21.	950 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	75
Şekil 7.22.	1000 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından Titanyumlanan 1050 °C' de 1 saat AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler.....	75
Şekil 7.23.	1000 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından Titanyumlanan 1050 °C' de 1 saat AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler.....	76
Şekil 7.24.	1000 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 2. noktanın noktasal analiz	

	diyagramı.....	76
Şekil 7.25.	1000 °C’ de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C2 de Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	77
Şekil 7.26.	1000 °C’ de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı.....	77
Şekil 7.27.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C ’de 1 saat Borlanan veTitanyumlanan , Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev. ilerlemede, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	80
Şekil 7.28.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C ’de 1 saat Borlanan veTitanyumlanan , Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev. ilerlemede, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	80
Şekil 7.29.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C ’de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan ve Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V=38-73-138 m/dk. kesme hızında, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki İlerleme-Yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	81
Şekil 7.30.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk. ‘da , F= 0.08-0.12-0,16 mm/dev.’de, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Takım-yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	82
Şekil 7.31.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan, 1050 °C de 1 saat TiN kaplı ve ısıl işlem görmüş AISI M2 kesici uç ile V=38-73-138m/dk. ‘da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.’de, 0,25 mm talaş	

	derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Takım-yüzey pürüzlülüğü.....	83
Şekil 7.32.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan ve Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile $F= 0.08-0.12-0.16$ mm/dev. ilerlemede , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki kesme hızı-ortalama talaş kaldırma kuvveti değişim.....	83
Şekil 7.33.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile $F=0.08- 0.12- 0.16$ mm/dev. ilerlemede , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki kesme hızı-ortalama talaş kaldırma kuvveti değişimi.....	84
Şekil 7.34.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan , Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile $V=38-73-138$ m/dk. 'da , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki İlerleme-Ortalama talaş kaldırma kuvveti değişimi.....	85
Şekil 7.35.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile $V= 38-73-138$ m/dk. 'da , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki ilerleme-ortalama talaş kaldırma kuvveti değişim.....	85
Şekil 7.36.	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile $V= 38-73-138$ m/dk.' da , $F= 0.08-0.12-0.16$ mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımda meydana gelen Kesme hızı – Aşınma değişimi.....	86
Şekil7.37.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile $V= 38-73-138$ m/dk.' da , $F= 0.08-0.12-0.16$ mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin	

	işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen Kesme hızı – Aşınma değişimi.....	86
Şekil 7.38	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.' de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen İlerleme Miktarı –Aşınma değişimi.....	88
Şekil7.39.	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile V= 38-73-138m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen İlerleme Miktarı –Aşınma değişimi.....	88
Şekil 7.40	950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk.' da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen Takım –Aşınma değişimi.....	88
Şekil 7.41	1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile V= 38-73-138m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen Takım –Aşınma değişimi	89
Şekil 7.42.	Talaş kaldırma işlemi sonrasında kesici takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmalar	89
Şekil 7.43.	950 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 38 m/dk. kesme hızında,0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında	

	kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	90
Şekil 7.44.	950 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 38 m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	90
Şekil 7.45.	950 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 138 m/dk kesme hızında, 0.08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	90
Şekil 7.46.	950 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 138 m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	91
Şekil 7.47.	1050 °C’de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 38 m/dk. kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	91
Şekil 7.48.	1050 °C’de 1 saat süre Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 38m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş onrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	91
Şekil 7.49.	1050 °C’de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile V= 138 m/dk kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....	92

- Şekil 7.50. 1050 °C’de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 92
- Şekil 7.51. 1000 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 92
- Şekil 7.52. 1000 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 93
- Şekil 7.53. 1000 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 93
- Şekil 7.54. 1000 °C’de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 93
- Şekil 7.55. 1050 °C’de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 94
- Şekil 7.56. 1050 °C’de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan,

- AISI M2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 94
- Şekil 7.57. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan , AISI M2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk. kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 94
- Şekil 7.58. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 95
- Şekil 7.59. 1210 °C'de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 38 m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey 95
- Şekil 60. 1210 °C'de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 38 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 95
- Şekil 7.61. 1210 °C'de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 138 m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey..... 96
- Şekil 7.62. 1210 °C'de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 138 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş

sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a)
talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey.....

96

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Tipik takım malzemeleri ve bileşenlerinin sertlikleri.....	21
Tablo 3.2.	Takım malzemelerinin mekanik özellikleri.....	22
Tablo 4.1.	Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikro sertlikleri....	26
Tablo 6.1.	M 2 çeliğine ait ısı ve mekanik özellikler.....	49
Tablo 6.2.	D 2 çeliğine ait ısı ve mekanik özellikler.....	49
Tablo 6.3.	Deneysel çalışmada kullanılan çelik malzemelerin spektral analizleri.....	50
Tablo 6.4.	EKabor Borlama ürünleri.....	53
Tablo 6.5.	Fe-Ti Analizi.....	55
Tablo 6.6.	Sertlik ölçüm değerleri	78

ÖZET

Anahtar kelimeler:, Termokimyasal kaplama, Borlama, Titanyumlama, Takım aşınması, İşlenebilirlik, Yüzey pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici takımların ömürleri aşınma nedeniyle sınırlıdır. Aşınma direncinin artırılması ekonomik kayıpların en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Uygulanan farklı kaplama yöntemleriyle, takımlar çok daha sert bileşiklerden oluşan malzemelerle kaplanıp aşınma direnci geliştirilebilmektedir. Kaplama sayesinde bir yandan takım sertliği artarken diğer yandan tokluğu muhafaza edilebilmesi önemli bir avantajdır.

Sert seramik film kaplamaların en önemlileri kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleridir. Bu yöntemlerde çalışma ileri teknoloji gerektirmekte olduğundan oldukça pahalıdır. Termo-reaktif difüzyon (TRD) yöntemi ise bazı durumlarda daha ekonomik ve kolay uygulanabilir bir yöntem olup diğerlerine kıyasla yüksek maliyetli ön yatırım gerektirmez. ,

Bu çalışmada, termo-reaktif difüzyon yöntemi ile AISI D2 ve M2 çeliklerinin yüzeylerine borlama ve titanyumluma işlemi uygulanmıştır. AISI D2 çeliğine 950 °C' de 1 saat süre ile, AISI M2 çeliğine 1000°C'de 1 saat süre ile borlama işlemi uygulanmış, borlamadan sonra numunelerin yüzeyine 1050°C' de 1 saat süre ile titanyumluma işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmanın amacı aşınmaya dayanıklı yüksek sertlikte borür/nitrür/karbür tabakaları oluşturmaktır.

Elde edilen kaplama tabakaları üzerinde, elektron mikroskobu, x-ışını, EDS ve mikro sertlik analizleri yoluyla karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kaplamalı ve kaplamasız numuneler kesme (talaş kaldırma) testlerine tabi tutularak aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından kıyaslanmıştır.

MACHINING BEHAVIOR OF THERMO -CHEMICALLY COATED DIFFERENT CUTTING TOOL MATERIALS

SUMMARY

Key Words: Thermo-chemical coating, Boride coating, Titanium compounds, Tool wear, machinability, Surface Roughness

Tool wear is an important phenomena that restricts the tool life of cutting tools. Therefore it is of prominent importance to increase the wear resistance of cutting tools in terms of production cost. By applying different coating techniques, tool materials can be coated with much harder compounds in order to increase wear resistance. One of the particular advantages of coating process is that the tool toughness can be retained, even increased, together with the improvement in hardness..

Although CVD and PVD coating techniques are widely used processes, they require high initial investment costs and technology. On the other hand, thermo-chemical reaction process (TRD) is much cheaper, easier to apply and requires no high investment costs.

In this study, two different steels, AISI D2 and M2, used generally for cutting applications, have been subjected to reaction with boron and titanium by means of TRD process. Boronized D2 steel has been processed at 950 C for 1 hour, boronized M2 at 1000 C for 1 hour. Some of the boronized samples from both materials were subjected to titaniumizing at 1050 C for 1 hour to obtain titanium based compounds

The coated samples were characterised by SEM, x-ray, EDS analysis and micro hardness testing. Then a machinability test was carried out by the coated samples on a free cutting steel to observe the wear resistance, surface roughness and cutting forces

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Aşınma ve korozyondan dolayı dünyada her yıl önemli kayıplar olmaktadır [1]. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik özellikleri yanında sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme işlemi uygulanmaktadır. 1982 yılında Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü' nün araştırmasına göre korozyon ve aşınmadan dolayı meydana gelen zarar, gayri safi milli hasılanın % 6' sını (178,5 milyar dolar) teşkil ettiği görülmüştür [2]. Ülkelerin korozyon nedeni ile kayıpları gayri safi milli hasıllarının %3,5-5 arasında değişmektedir.

Bu kadar yüksek kayıpların oluşu, buna paralel endüstrinin gelişimi, dayanıklı ve kararlı malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu amaçla son yıllarda özellikle seramik esaslı malzemeler büyük ilgi toplamaktadır. Fakat bunlarda, tüm mekanik özelliklere, konvansiyonel malzemeler gibi cevap vermemekte, hammadde üretimi ve şekillendirmedeki zorluklar fiyatın yüksek oluşuna sebep olmaktadır. Bu sebeple mümkün olduğu kadar ucuz ve gerekli yapısal özellikleri sağlayan, buna karşılık yüzey özellikleri gelişmiş malzemelerin üretilmesi ağırlık kazanmıştır [3].

Yüzey işlemleri, sertlik, yorulma, aşınma, korozyon, ısı ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özelliklerin bir veya birkaçını geliştirmek ve üretim maliyetini düşürmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler arasında parçanın aşınma ve korozyona karşı direncinin artırılması önem açısından ilk sırada yer alır. Bu amaçla son yıllarda oksit, karbür, borür ve nitrürlere dayalı seramik kaplamalar büyük ilgi toplamaktadır. Özellikle karbürler ilk insan yapısı refrakter olması sebebi ile en ilgi çekici bileşikler sınıfını oluştururlar. Bu sınıf malzemeler ergime noktalarının, sertliklerinin yüksek oluşu, yeterli mukavemet ve kimyasal pasiflikleri dolayısıyla

aşınma ve korozyon şartlarının en umut verici bileşikleri durumuna gelmişlerdir. Bu amaçla çok çeşitli kaplama yöntemleri geliştirilmiştir [1].

Malzemede hasar oluşturan sebeplerden olan aşınmaya karşı alınan önlemlerin en başında ise seramik kaplamalar gelmektedir. Metalik malzemelerin abrazif, adhesif, ve erozif aşınmaya karşı, çeşitli prosesler ile özellikle karbür, nitrür ve borür gibi sert kaplamada denilen seramik kaplamalar yapılarak çok başarılı sonuçlar alınmaktadır. Ayrıca seramik kaplamalar, metalik malzemelerin korozyon dirençlerinin artırılması yanında yüksek sıcaklık uygulaması, enerji tasarrufu gibi amaçlarla da tatbik edilmektedir. Fakat bu proseslerin çoğunun uygulanabilirliği için yüksek teknolojiler, yani yüksek maliyetler gerekmektedir. Buna karşılık malzeme yüzeyinde, pratik ve ekonomik bir şekilde termokimyasal işlemlerle oksit olamayan seramiklerden olan borür tabakasının oluşturulması oldukça avantajlıdır. Termokimyasal bir yüzey işleme olan borlama neticesinde, metalik malzemelerin; yüzey sertliği, aşınma, oksidasyon ve korozyon direnci oldukça yüksek seviyelere çıkmaktadır [4].

Borlama işlemi katı, sıvı, gaz, plazma gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemde toz karışım sızdırmaz bir kutuya doldurulur ve içine numuneler yerleştirilir. Kutu gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta gerektiği kadar tutulur ve soğutulur. Sıvı borlamada boraks, borik asit ve ferro silis karışımından oluşan erimiş tuz banyosuna numune daldırılır ve bu sıcaklıkta bir süre bekletilir. Gaz ve plazma borlamada BCl_3 , TEB (trietil boran) ve BF_3 gibi bor kaynakları ile H_2 ile Ar gazları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, AISI D2 ve AISI M2 çeliklerinden üretilmiş torna kesici takımları termokimyasal yöntemle önce borlandı, daha sonra borlanan takımlar titanyum ile reaksiyona sokuldu. D2 malzemeleri $950\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 1 saat, M2 malzemeleri de $1000\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanmıştır. Borlama işleminin ardından aynı D2 ve M2 kesici takımları $1050\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 1 saat süre Titanyum ile reaksiyona sokulmuştur. Çalışmada D2 ve M2 çeliği seçilmesinin nedeni düşük maliyeti ve işlenebilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Seçilen kaplama sıcaklığına ve süresine karar vermeden önce bazı bazı ön kaplama deneyleri yapılmıştır.

D2 ve M2 çeliklerine (950 °C, yarım saat, 1 saat, 2 saat) ve (1000 °C' de 2 saat) borlama işlemleri yapılmıştır. Borlanan bu çelikler daha sonra (950 °C, 2 saat), (1000 °C, 2 saat), (1050 °C, 1 saat), (1050 °C, 1.5 saat) ve (1100 °C, 30 dk.)' da titanyum ile reaksiyona sokulmuşlardır. Kaplama sonuçlarında borür fazında oluşan FeB fazının fazlalığı ve bundan dolayı kaplama da kılcal çatlakların oluşmasından ve kaplama tabaka kalınlığının idealden yüksek olmasından dolayı bu kaplama şartları uygulanmamıştır.

Kaplama işlemi uygulanmamış D2 ve M2 çeliklerine sadece sertleştirme işlemi uygulanarak, elde edilen üç farklı yüzey işlemleri (borlanmış, borlanmış ve titantumlanmış, sertleştirilmiş) kesici uçlar ile torna tezgahında otomat çeliği üzerinde kesme testleri yapılarak takım aşınmaları incelenmiştir. Kesme deneyleri sırasında kesici takıma gelen kesme ve ilerleme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan çalışmada kesici takımlara titanyum kaplama yapılmasının sebebi, titanyum kaplamaların üstün özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Titanyum kaplamaların üstün özelliklerini şu şekilde sıralamak mümkündür.

Yüksek sertliğe sahiptirler (2400-3000 HV).

Isı geçirgenliği düşüktür. Bu özelliğinden dolayı ısının takıma geçmesini önler. Sürtünme katsayısı düşüktür. Kesme sürtünme kuvvetleri azalır. Kimyasal reaksiyona girmediği için iş parçasının çalışma yüzeyleri daha uzun süre aktif kalır. Kaplama yüzeyi mükemmel yapıştığından kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz.

BÖLÜM 2. TERMOREAKTİF DİFÜZYON YÖNTEMİ (TRD)

Genellikle çelik malzemeler, mekanik etkileşimler sonucu aşınma, kimyasal reaksiyonlar sonucu korozyon türü hasarlarla servis dışı kalarak, ülke ekonomilerinde büyük kayıplara yol açmaktadırlar. Aşınma ve korozyonun neden olduğu hasarın, ülke ekonomilerine bu denli yük getirmesi bilimsel ve endüstriyel çevreleri harekete geçirmiş ve daha dayanıklı malzemeler arayışına itmiştir. Bu amaçla endüstride yoğun olarak kullanılan çelik malzemeler üzerine, difüzyonla ve/veya kimyasal ve fiziksel çökeltme ile kaplama teknikleri geliştirilerek 2-10 µm kalınlığında sert tabakalar elde edilmiştir. Seramik karakterli olan bu tabakalar, aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklık uygulamalarına karşı oldukça dirençlidir. Bundan dolayı, sert yüzey kaplama yöntemleri, hem bilimsel hem de endüstriyel çevrelerde önem kazanmıştır [5].

1970' li yıllarda Japonya' da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Difusion) veya TD (Toyota Difusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerinin ömürleri 2 ile 20 kat arttırılmıştır [5].

Termoreaktif difüzyon prosesi; karbür, nitrür, karbo-nitrür ve intermetalikler gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturduğu bir metoddur. TRD prosesinde çelik altlık malzemedeki karbon ve azot; titanyum, vanadyum, tantalum, krom, niyobyum, molibden veya tungsten gibi karbür veya nitrür oluşturu elementlerle biriken bir tabaka oluşturmak için yayınır . Yayınan karbon ve azot biriken tabakada karbür ve nitrür oluşturu elementlerle altlık malzeme yüzeyinde metalurjik olarak bağlanmış olan karbür ve nitrür kaplamaları yoğun bir şekilde oluşturacak şekilde reaksiyona girer [5].

TRD prosesi geleneksel yüzey sertleştirme metotlarına benzemez. Çünkü geleneksel yüzey sertleştirme metotlarında karbon ve azot, altlık malzemenin yüzeyini

sertleştirmek amacıyla dışarıdan difüze edilmektedir. TRD prosesi konvansiyonel difüzyon metoduna benzemesine rağmen, bu proseste altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir [5].

TRD prosesinde elde edilen kaplama tabaka kalınlıklarına kimyasal buhar biriktirme (CVD) veya fiziksel buhar biriktirme (PVD) teknikleri kullanılarak ulaşılabilmektedir. Kıyaslanacak olursa, CVD kaplamaların kalınlıkları (2,5µm), PVD kaplamaların kalınlıkları (3µm)' dur. TRD prosesinde elde edilen kaplamaların kalınlıklarına yakındır [5].

2.1. TRD Prosesindeki Temel Prensipler

TRD yönteminde iş parçasının içine gömüldüğü toz karışımları üç ana bileşenden oluşmuştur: Kaplama element kaynağı (verici malzeme, örn. Fe-Cr, Fe-V, Cr), karışımın tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi (Al_2O_3 veya SiO_2) ve bir aktivatördür. (genellikle NH_4Cl) [6].

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri bir çok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır [7].

Bu parametreler aşağıda sıralanmışlardır;

- 1) Difüzyon sıcaklığı
- 2) Difüzyon süresi
- 3) Verici malzemenin miktarı
- 4) Aktivatör miktarı
- 5) Numune malzemesinin yapısı (alaşım elementleri, karbon içeriği)
- 6) Son işlemler (ısı işlemleri)

Difüzyonel kaplama işlemleri bir kutu içerisinde 900-1000°C'deki bir fırında genellikle 2 ile 5 saat süre ile uygulanır. Bu süre ve sıcaklıklar üretilecek tabaka cinsi ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değiştirilebilir. Numunenin soğuması genellikle

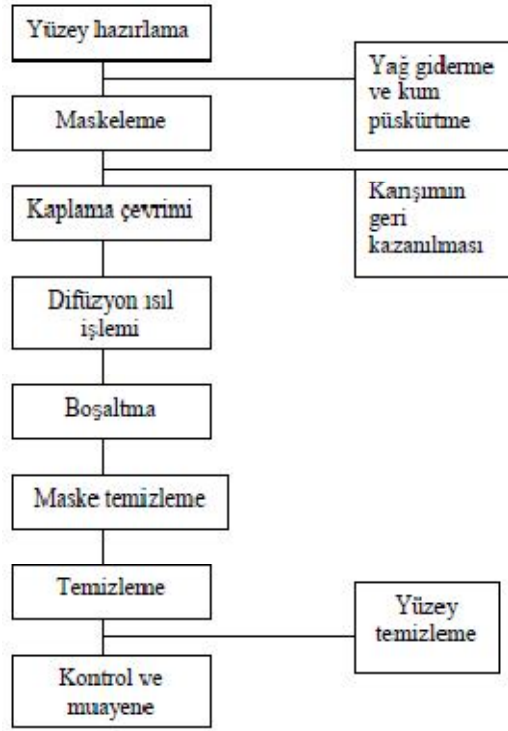
kutu tozları içinde olmaktadır. Ayrıca fırın dışında uygulanan soğutma çalışmaları da mevcuttur.

TRD prosesinde verici (kaynak) olarak genellikle bulunması kolay ve ucuz olan ferro alaşımlar kullanılmaktadır. Ferro alaşımları mümkün olan en yüksek metalik elementlere sahip olanları seçilir. Ayrıca ferro alaşımlara nazaran daha pahalı fakat saflığı yüksek metal tozları ile çalışmak da mümkündür [8].

Karışım bileşenlerinin önemli bir elemanı da aktivatördür. Aktivatör; izotermal ısıtma esnasında ferro alaşım elementi ile reaksiyona girer ve uçucu metalik halojenürleri oluşturur. Bu şekilde aktif gaz ortamı sağlanmış olur. Aktivatör olarak muhtelif halojenür tuzları (NaF,-Cl,-Br,-I; MgF, -Cl, -Br, -I; NH₄F, -Cl, -Br, -I) kullanılır, Aktivatör seçiminde, kullanılan altlık malzemesinin cinsi ve aktif gaz ortamını oluşturacak ferro alaşım elementinin kısmi basıncı rol oynar [8].

Proseste kullanılan altlığın karbon içeriğine bağlı olarak, düşük karbon miktarında metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), yüksek karbon içeriğinde ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) elde edilir. Ortamdan gelen alaşım elementlerine bağlı olarak, karbon, azot içeriğinin fazla olmasına rağmen var olan intermetalik bileşiklerde oluşmaktadır (Fe₂Al₅ gibi).

TRD prosesi ile fırında soğutularak üretilen kaplamalar, altlığın mukavemetinin artırılması amacıyla ısıtma işlemi tabi tutulur. Isıtma işlemleri tuz banyosunda 800-850°C arasında yapılır. Kutu sementasyonu tekniğinin genel akım şeması Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.



Sekil 2.1. TRD prosesinde işlem sırası [5]

2.2. Kullanılan Malzemeler

Karbon içeren bir çok malzeme altlık malzeme olarak kullanılabilir. Çelikler, dökme demirler, kobalt alaşımları, sementit karbürler, karbür ve metal esaslı sermetler, karbür seramikler ve karbon, karbür kaplama için altlık malzeme olarak kullanılmaktadır. Karbon seviyesi düşük olan demir ve nikel alaşımları önce sementasyon işlemine sonra karbür kaplama işlemine tabi tutulabilir. Karbonitrür kaplamalar öncelikle nitrürlenmiş çeliklere uygulanabilir.

Çeşitli takım çelikleri çoğu zaman talaşlı imalatla şekillendirilmektedir. Düşük ve orta karbonlu yapısal çelikler talaşlı imalat elemanı olarak kullanılmaktadır. Kaplamanın bileşimi ve özellikleri genellikle altlık malzemenin kimyasal bileşiminden bağımsızdır. Bu sebeple pahalı olmayan ve kolayca işlenebilen malzemeler seçilmektedir [6].

2.3. Kaplama Kutusunun Dizaynı

TRD prosesinde toz bileşimi, altlığın kimyasal bileşimi, difüzyon sıcaklığı ve süresi gibi işlem parametreleri yanında, numunenin karışıma gömülme şekli ve pozisyonu da önemlidir. Proses, geleneksel olarak bir kutu içerisinde gerçekleştirildiği için, oksijen girişine karşı kutu sızdırmazlığının çok iyi bir şekilde sağlanması önemlidir. Kutu karışımı içinde bulunan veya dışarıdan içeriye giren oksijen demir esaslı numuneler üzerinde bölgesel oksitlenmeler meydana getirir. Bu şekilde kısmi oksitlenmiş yüzeylerde herhangi bir kaplama tabakası ya oluşmaz yada yeterli adhezyon göstermeksizin oluşabilir [6].

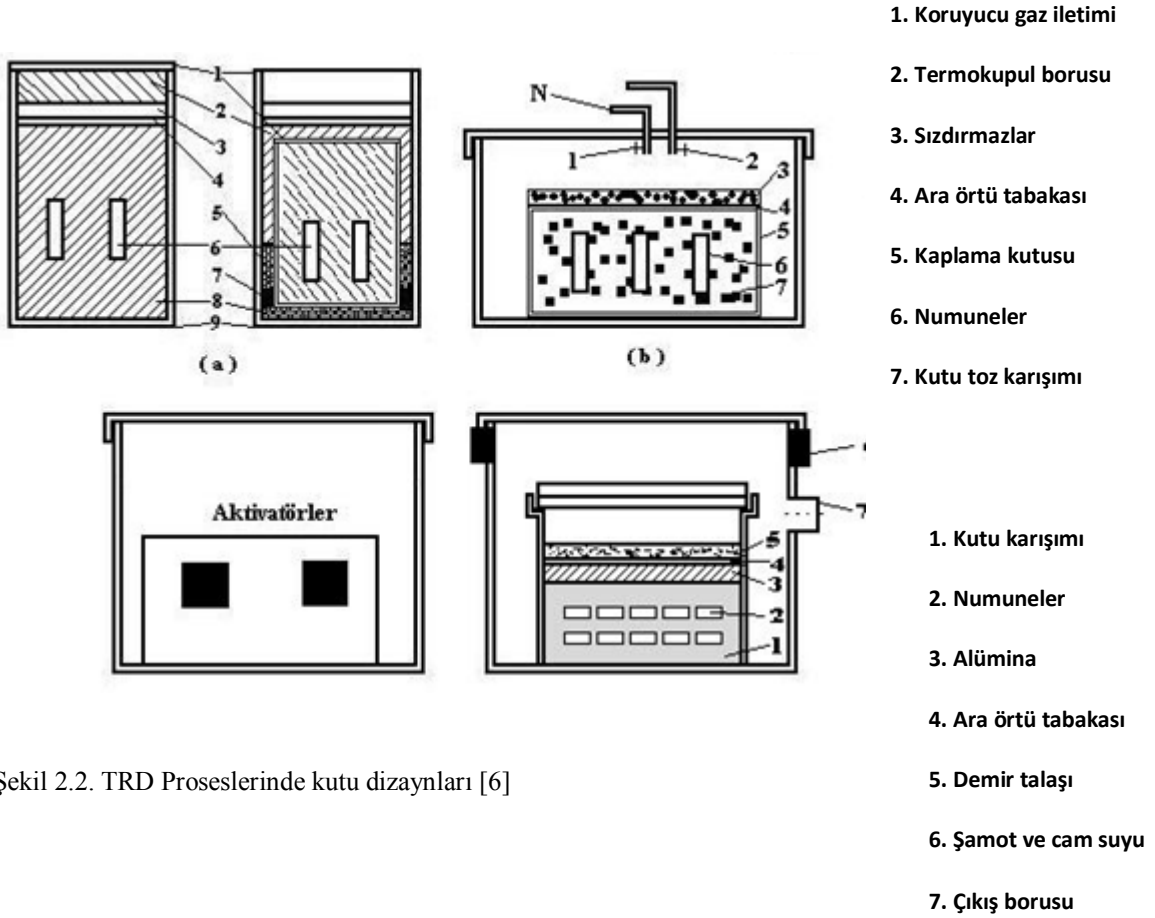
Kutu sızdırmazlığının sağlanması için çeşitli kutu dizaynları geliştirilmiştir (Şekil 2.2). Bazı kutu dizaynlarında sızdırmazlık, "akışkan ventil" üzerinden sağlanırken, bazı uygulamalarda NaSiO_4 ile karıştırılan şamotun kullanılmasıyla sağlanır. Karışım ve bileşenlerinin üstü cam ile örtülür Bunun altında bulunan demir talaşı veya odun kömürü prosesin başlangıç aşamasında oksijeni bağlar. Diğer bir uygulama da, işlem kutusunu koruyucu bir gaz atmosferi ile çevrelemektir. Bu işlem, birbiri içine geçen iki kutu ile kolayca gerçekleştirilebilir .

Harterei Enstitüsü tarafından sıkça kullanılan kutu dizaynları Şekil 2.2. 'de gösterilmiştir. Asıl sementasyon kutusu bir başka kutunun içine konulmuştur. Özellikle aktivatörün prosesin başlangıcında buharlaşmasıyla kutu içindeki oksijen dışarı çıkar ve dıştaki kutudan bir akışkan ventil üzerinden tahliye borusu vasıtasıyla dışarıya verilir Bu tahliye borusu tek yönlü ventil gibi davranır ve işlem kutusu içinde sabit bir basınç sağlar.

Kutu sızdırmazlığının sağlanmasında şamot tozu ve cam suyunun kullanılması, zaman ve emek harcanması gereken bir iştir ve özel hazırlanmış kutular gerektirir. Prosesin başlangıcında buhar fazına geçen aktivatör, kutu içinde bulunan oksijeni dışarı taşır. İşlem sırasında kutu içerisinde küçük bir basınç oluşur. Ergime noktası difüzyon sıcaklığının altında olan ($T:100-500^\circ\text{C}$) sızdırmazlık malzemesi oksijenin kutu dışına çıkarılmasından sonra katılaşıp; böylece oksijenin içeri girişi engellenir.

Bundan dolayı daha basit dizaynlar araştırılmıştır. Diğer bir yol da numunenin sert folyo içindeki karışıma gömülmesidir. Burada folyonun katlamalar sırasında hasar görmemesi gerekir; oksijenin numuneye ulaşmaması için folyo kutucuğunun üzeri odun kömürü ile örtülmüştür.

Numunelerin kutudan çıkarılmasından sonra, numune yüzeylerinde parçaların birbirine sürtülmesiyle veya fırçalamayla temizlenen sinterleşmeler görülür. Bu sinterleşmeler parçaların görünüşüne zarar verir ve yüzeylerin pürüzlülüğünü artırır. Yüzeide yapılan EDX analizleri bu yapışan partiküllerin verici metal tozları olduğunu ve yüzeide soğuma sırasında kaynaklandığını göstermiştir. Fakat difüze olan elementlerin gaz fazından yüzeide taşındığı bilinmektedir. Bu, karışım tozlarının numuneye temas etmesinin zorunlu olmadığını gösterir. Daha sonra ifade edileceği gibi, numunenin bir Al_2O_3 katmanı arasına gömülerek muamele edilmesiyle yüzeide sinterleşmeleri ortadan kaldırılabılır [6].



Şekil 2.2. TRD Proseslerinde kutu dizaynları [6]

2.4. TRD İşleminin Uygulama Alanları

TRD için en iyi uygulamalar yüksek aşınma ve kazıma problemlerine sahip takımlardadır. Yumuşak çelik, HSS, kaplanmış, çelikler, paslanmaz çelik ve demir dışı metaller, plastikler ve kauçuk ile çalışılabilir [7]. Altlık malzemenin sertliği bazı uygulamalar için normal değerlerle aynı veya daha düşük olabilmektedir. Takımların aşınması veya kırılma problemlerinin olması durumunda düşük altlık malzeme sertliği tokluğu artırıcı etkisi sebebi ile kullanılmaktadır. Sert karbür kaplamalar, yüzeysel aşınma direnci sağlamaktadır. Sertleştirilme işlemine uğratılmadan yüksek hız takım çelikleri altlık malzeme tokluğuna ihtiyaç duyulması durumunda kullanılabilir. Ekstrüzyon kalıpları ve soğuk dövme kalıpları gibi yüksek seviyelerde yüzey basınçlarının olduğu uygulamalarda karbür tabakaları sert altlık malzemelerle desteklenmektedir. Yüksek hız takım çelikleri Öncelikle TRD ile sertleştirilmelidir. Bazı tozlaştırılmış kobalt içeren yüksek hız takım çelikleri maksimum TRD proses sıcaklıklarında (1050°C) 60-65 HRC sertliği elde etmek amacıyla işleme tabi tutulabilmektedir.

2.5. TRD Yönteminin Üstünlükleri

TRD yönteminin üstünlükleri şöyle sıralanabilir ;

- 1) Basit donanım
- 2) Kolay operasyon
- 3) Seçici karbür kaplama
- 4) Düşük maliyet
- 5) Girintili çıkıntılı bölgelerde üniform kaplama
- 6) Uzun banyo ömrü
- 7) Malzemeye yapışan tozun kolay temizlenmesi
- 8) Koruyucu atmosfer gerektirmemesi
- 9) Kolay su verebilme (göbek sertliği)
- 10) Atık ve zehirli gaz olmaması, çevreye zarar vermemesi
- 11) Kalıp ömrünün artması
- 12) Kalıp parlatılmasında kullanılan işçilikten tasarruf
- 13) Yağlayıcıdan tasarruf

14) Yüzey işlemlerindeki ve boyutsal hassasiyetteki artıştan ötürü, ürün kalitesinin artması

15) Daha az kalıp malzemesi kullanılarak, kalıp malzemesi ve üretim maliyetlerinde azalma[8].

BÖLÜM 3. TAKIM ÇELİKLERİ

3.1. Takım Çeliklerinin Tanımı ve Genel Özellikleri

Takım çelikleri sıcak ve soğuk haldeki iş parçasını, kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemleri ile şekillendirme, talaşlı ve talaşsız imalat gibi işlemlerde kullanılan yüksek nitelikli çeliklerdir. İlk kullanılan takım çelikleri sade karbonlu çeliklerdi. 1968' den sonra 20. yüzyıla kadar bu konuda büyük gelişmeler kaydedilmiş ve bir çok yüksek alaşımli takım çeliği geliştirilmiştir. Kompleks alaşım elementlerinden oluşan takım çelikleri, özellikle tungsten, molibden, manganez ve kromun sağladığı üstün özelliklerden dolayı popüler hale gelmişlerdir.

Takım çelikleri çelik sınıflandırılmasında ayrı bir grup olarak ele alınmakta ve o şekilde incelenmektedir. Bunun nedeni diğer sınıflardaki çeliklere nazaran özellikle çalışma koşulları bakımından farklılık göstermesidir. Takım çelikleri kullanıldıkları yerlerde genel olarak hızlı bir şekilde yüksek gerilmelere maruz kalırlar. Bu nedenle, çalışma koşulları çok güç olan takım çeliklerinin bu yüksek gerilmeler altında deforme olmadan, aşınmadan ve kırılmadan kararlı performansı göstermesi gerekir. Ayrıca takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda da istenilen özellikleri sağlaması gerekir. Bu nedenle takım çeliklerinde; iyi sertleşebilirlik, yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk, yüksek sıcaklıkta sertliğini ve mukavemetini kaybetmeme ve boyut kalıcılığı gibi genellikle diğer çeliklerde bir arada bulunmayan üstün özellikler aranır. Takım çeliklerinin kullanım ömrü, uygun çeliğin seçilmesi, ısıl işleminin iyi olması kadar dizaynına da bağlıdır. Eğer bir takım, tüm koşullar yerine getirilerek kullanılırsa başarıyla kullanım ömrünü tamamlar.

Yüksek oranda alaşım elementi ve karbon içeriği ile üstün özelliklere sahip olan takım çelikleri, bu alaşım elementleri sayesinde havada ki suyu dahi alıp sertleşebilecek durumdadırlar. Martensitik dönüşümde de etkili olan bu elementler

oda sıcaklığında ki yapılarını belirlerler. Takım çeliklerinin içerdiği alaşım elementleri, iç yapı ve mekanik özellikleri belirleyen en önemli faktörlerdir. Bu alaşım elementleri karbür oluşturanlar ve oluşturmayanlar olarak ayrılırlar ve dolayısıyla çelik özelliklerine etkileri oldukça farklıdır. Krom, molibden, wolfram ve vanadyum yapıda karbürler oluştururlar ve sertleşebilirliğini, aşınma dayanımını, yüksek sıcaklıkta sertliğini ve mukavemetini ve boyut kalıcılığını arttırırken tokluğu düşürürler. Buna karşılık karbür meydana getirmeyerek ferritte çözünen nikel, kobalt ve manganez elementlerinden nikel tokluğu mükemmel bir şekilde arttırırken manganez sertleşebilirliği, kobalt ise sıcak dayanım ve meneviş kalıcılığını sağlar [9].

Kullanım amacına göre takım çelikleri AISI standartlarına göre 7 ana grupta incelenmiştir:

- 1) Soğuk İş Takım Çelikleri
 - O; yağda sertleşen
 - A; orta alaşımlı havada sertleşen
 - D; Yüksek C' lu ve yüksek Cr' lu
- 2) Sıcak İş Takım Çelikleri
 - H serisi; H1-H19 Cr esaslı
 - H40-H50 Mo esaslı
- 3) Yüksek Hız Takım Çelikleri
 - T; W esaslı
 - W; Mo esaslı
- 4) Suda Soğutmalı Takım Çelikleri
 - W grubu
- 5) Şoka dirençli Takım Çelikleri
 - S grubu
- 6) Kalıp Çelikleri
 - P serisi; P1-P19 Düşük C' lu
 - P20-P39 diğer tipleri
- 7) Özel Alaşımlı Takım Çelikleri
 - L; düşük alaşımlı

F; C-W [8,9].

Takım çeliklerini ısı kararlılıklarına göre de sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmada da takım çelikleri üç guruba ayrılırlar.

1- Isıl Kararlı Olmayan Takım Çelikleri

Bu tür takım çeliklerde, sertleştirme ile martensitik dönüşüm sonucu olarak yüksek sertlik, mukavemet ve aşınma direnci elde edilir. 300 °C' ye kadar temperlenebilirler [10].

2- Yarı Isıl Kararlı Takım Çelikleri

Yüksek krom (%3-18) ve yüksek karbon (%1-2,5) içerikli ledebürüt çelikler bu grubu oluştururlar. Bazı türleri yüksek oranda Vanadyum içerir. Bu gruptaki çelikler de, martensitik dönüşüm ile yüksek sertlik kazanırlar. 400 °C'ye kadar temperlenebilirler ve daha yüksek sıcaklıklarda da özelliğini kaybetmezler [10].

3- Isıl Kararlılığı Yüksek Takım Çelikleri

Temperleme işlemi ile yapıda oluşan ikincil sertleşme ile yüksek sertlik, mukavemet ve aşınma dayanımı gösteren çelikler bu gruba dahildir. Özellikle kompleks wolfram, molibden ve vanadyum karbürler çökerek ikincil sertleştirmeyi oluştururlar. Bu çelikler ledebüritik ya da hiperötektik yapıdadırlar. Ledebüritik yapıda olanlar yüksek hız takım çeliği olarak, diğerleri ise sıcak şekillendirme için kalıp çeliği olarak kullanılırlar.

Isıl kararlı olmayan takım çelikleri, mukavemet ve aşınma direnci bakımından oda sıcaklığında diğer gruptakilere nazaran çok az farklılık gösterirler. Fakat sıcaklığın yükselmesi durumunda farklılık artmaktadır [10].

3.1.1. Soğuk iş takım çelikleri

Genel olarak 200-260 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda bulunan iş parçalarının işlenmesinde, talaşlı ve talaşsız imalatta kullanılan takım çelikleridir. İçerdiği alaşım elementi ve karbon oranına bağlı olarak; kesme özelliğinin devamlılığı ve yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı ile birlikte yüksek tokluk, yüzey sertliği, ısıl işlemlerde sertlik kazanma özelliği ve boyut kalıcılığı gibi özelliklerin kullanım amacına göre birebir sağlaması olasıdır.

Soğuk iş takım çelikleri de kendi içinde;

1. Orta alaşımli havada serleşen soğuk iş takım çelikleri
2. Yüksek C'lu yüksek Cr'lu soğuk iş takım çelikleri
3. Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri olarak üç grupta incelenir [11].

3.1.2. Sıcak iş takım çelikleri (H grubu)

Sıcak iş takım çelikleri özellikle çeliklerin, demir olmayan metallerin, yüksek polimerlerin ve seramik malzemelerin 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda form verme ve formunu değiştirmeleri için yaralanılan takımların imalinde kullanılır.

Sıcaklık işlenen malzemeye bağlı olduğundan ve teknolojik olarak uygulanan temas sürelerinde 300 ile 1000 °C'ye ulaşabildiğinden dolayı, bu çelikler çok sık bir şekilde darbe tarzında olan ve ısıl şok olarak meydana gelen, çok yüksek mekanik ve termik zorlanma altında kalırlar. Bundan başka, işlenen malzemenin korozif etkisi ya da yüksek sıcaklık korozyonu da mümkündür. Çok pahalı sıcak iş takımlarında, çoğu zaman plastik form değiştirmesi, sıcakta çatlak teşekkülü, kırılma aşınma ve/veya korozyon nedeni ile, vaktinden evvel bozulmalar olabilir. Bunun dışında, takım yüzeyine giren metal, kırılma ya da takımın çalışma yüzeyine metal yapışması yapabilir. Bundan dolayı, sıcak iş takımları için olan malzemelerin, sıcakta yüksek dayanıma, iyi meneviş dayanımına, yüksek sıcaklıkta aşınma direncine, yeterli sünekliliğe ve iyi termo şok dayanımına sahip olması gerekir. Sıcak iş takım çeliklerinden istene çok yönlü istekler yalnızca itinalı bir alaşımlama ve ısıl işlem tekniği ile sağlanabilir. Bundan dolayı sıcak iş takım çelikleri yüksek aşınma

direncini garanti eden karbür yapıcıların yanında, ayrıca nikel ve kobalt da içerir. Karbon miktarı, bir kaç istisnanın dışında %0,2 ile 0,6 arasındadır [10]

Bir çok uygulamalarda bu çelikler aşırı ısıya maruz kalmaktadır. Mesela; sıcak dövme, ekstrüzyon kalıp döküm, plastik kaplama v.s. oldukça yüksek sıcaklık sertliğine sahiptir.

Yüksek sıcaklık sertliğini; Cr, W, Mo arttırmaktadır. Sıcak iş takım çelikleri üç alt gruba ayrılır. Bunlarda genellikle %0,03-0,5 C bulunur [11].

1. Krom esaslı sıcak iş takım çeliği
2. W esaslı sıcak iş takım çeliği
3. Mo esaslı sıcak iş takım çeliği

3.1.3. Yüksek hız takım çelikleri (T ve W grubu)

Hız çelikleri, iyi aşınma dirençli, yüksek alaşımlı asal çeliklerdir. 600 °C sıcaklığa kadar meneviş dayanımları ve sıcakta yüksek sertlikleri nedeni ile, yüksek kesme hızlarında talaşlı şekillendirme yapan takımların imalatında kullanılır. Sıcakta sertliğ, kimyasal bileşim ve ısıl işlemle sağlanan, menevişe dayanıklı ana yapı (matriks) ve onun içerisinde dağılmış çok sert özel karbürlerden meydana gelen yapı sağlar. %0.8 ile 1,4 arasındaki karbon miktarlarında, alaşım elementi olarak W, Cr, Mo, V, Co, şu kombinasyonlarda olabilir:

- a) % 18 W içeren volfram çelikeleri
- b) %12 W ve yaklaşık % 4 V içeren wolfram çelikleri
- c) Yaklaşık % 6 W ve % 5 Mo içeren wolfram-molibden çelikleri
- d) Yaklaşık % 9 Mo ve % 2 W içeren molibden-wolfram çelikleri

Dört grupta da yaklaşık % 4 krom vardır ve % 5 ile 10 kobalt ile alaşımlanabilir. a), c), d) grubu olarak belirtilen çelikler, ayrıca % 1 ile 2 V içerirler

İlk geliştirilen hız çeliklerinde ana alaşım elemanı olarak W kullanılmakta iken, sonraları kısmen Mo ve V ' da kullanılmıştır. Volframı az çelikler, yüksek

wolframlılar gibi benzer kesme özelliğine sahiptirler, fakat aşırı ısınmaya karşı hassastırlar ve cidarda karbon azalması eğilimleri büyüktür. Diğer taraftan, daha düşük sertleştirme sıcaklığı gerektirirler ve daha iyi ısı iletim kabiliyetleri vardır. Bundan başka, yükselen molibden miktarı, ince primer karbürün oluşumunu ve böylece de sünekliliğin iyileşmesine de etki eder.

Alaşım elemanların matrikste ve karbürde dağılımı, hız çeliklerinin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. W, Mo, V elementleri karbür teşkil eder, Cr karbür ve matriks içerisinde eşit oranda dağılır, Co ise matriks içerisinde çözülür.

Hız çeliğinden yapılmış takımların gücünü yükseltmek için, değişik yüzey işlemleri de uygulanabilir. Daha çok uygulanan yöntemler, banyo nitrasyon, oksinitrasyon ve buhar menevişi işlemidir. Nitrasyon işleminde, dökülmeleri önlemek için bağlantı bölgesi oluşumundan sakınılır. Bu yöntemler, darbeli çalışan takımlar için uygun değildir.

Metal işleme takımları olarak daha çok tercih edilen çelikler, kobalt içeren çeliklerdir. Daha yüksek karbonlu alternatif çeliklerle, kesme gücü daha da iyileştirilmiştir. Çok kesicili takımlarda (spiral matkap, freze, kılavuz, pafta) ve yüksek süneklilik gerektiren zorlamalarda (örneğin zor kesilen talaşlı şekillendirmede boşaltma takımları) daha yüksek alaşım elemanlı çelikler tercih edilir. Hız çeliklerinin kullanım yerleri; profil takımları, yüksek güçlü freze, torna kalemi, sünek finiş takımları, spiral matkap, rayba, raptiye, yüksek aşınma dirençli tığlar, kalıp ve klavuz ve yüksek kesme kuvveti gerektiren yerlerde.

3.1.4. Suda soğutmalı takım çelikleri (W grubu)

Bu çelikler genel olarak sade karbonlu çeliklerdir. Yüksek karbon muhtevasına rağmen, sertleşme ve aşınma özelliklerini geliştirmek için küçük miktarlarda Cr ve V ilave edilmektedir. Bu çeliklerde % 0,60-1,40 C bulunur. Bu çelikler karbon içeriğine göre üç gruba ayrılırlar.

- a) % 0,60-0,75 C burada tokluk önemli olup bu çelikler çekiç, beton kırıcıları, perçin, dövme takımları yapımında kullanılmaktadır.
- b) % 0,75-0,90 C tokluk ve sertliğin önemli olduğu uygulamalarda mesela; zımba, keski kalemi, kalıp ve kesme bıçakları ile kuyumcu aletleri yapımında kullanılır.
- c) % 0,95-1,40 C çelikleri aşınmanın önemli olduğu yerlerde mesela; sert matkap ağızları, planya ağızları, ve jilet gibi aletlerin yapımında kullanılır.

Genel olarak C takım çelikleri alaşımli takım çeliklerinden daha uygundur. Bu çeliklerde yüksek sertlik elde etmek için suda soğutmak gerekiyor bu da beraberinde önemli bir distorsiyona sebep olmaktadır.

Karbon takım çelikleri iyi işlenebilme kabiliyetine ve dekarbürizasyona karşı dirençlidir. Ancak yüksek sıcaklıkta dirençleri zayıftır. Düşük sıcaklık sertliğine sahip olduklarından dolayı karbonlu takım çelikleri bu şartlar altında kesme takımı olarak kullanılmazlar. Sertleştirilmiş çeliklerin kesimi sırasında kesme hızı düşüktür Bu çelikler genellikle;

- Ağaç
- Pirinç
- Alüminyum
- Sertleştirilmiş çeliklerin kesiminde kullanılır.

Karbon çeliklerinde temperleme sıcaklığı 130 °C- 200 °C arasındadır. Bütün çeliklerde kullanım aralığı hiçbir zaman temperleme sıcaklığını aşamaz. Şayet temperleme sıcaklığı aşılsa çelik yumuşamaya başlar [10].

3.1.5. Şoka Dirençli Takım Çelikleri (S grubu)

Şoka dayanıklı takım çelikleri, şoka dayanıklı tokluk ve tekrarlı şoklara dirençli olan uygulamalar için geliştirilmiştir. Bu takım çelikleri genellikle % 0,45-0,65 C ihtiva etmektedirler. Bu çeliklerde bulunan temel alaşım elementleri ise Si, Cr, W, ve Mo dir.

Si ferriti stabilize ederek mukavemetini arttırırken Cr sertleşme kabiliyetini arttırmakta ve aşınma direncine katkıda bulunmaktadır. Mo de aynı etkiyi göstermektedir. W ise yüksek sıcaklık sertliğini arttırmaktadır.

Bu çeliklerde tam sertliği sağlamak için suda su verilmesi gerekmesine rağmen çoğunlukla yağda su verilmektedir. Yüksek Si miktarı dekarbürizasyonu artırma eğilimindedir. Bu yüksek sıcaklıklardaki sertlikleri, aşınma dirençleri, işlenebilirliği fena değil ve sertlikleri genellikle $< 60 R_c$ dir.

Bu çelikler;

- Zimba
- Şekil verme takımları
- Pnömatik takımlar
- kesme bıçakları yapımına kullanılmaktadırlar [10]

3.1.6. Kalıp çelikleri (P grubu)

Bu çelikler temel olarak Cr, Ni, ve ilave alaşım elementi olarak Mo ve Al ihtiva ederler. Bu çeliklerin çoğu takım çelikleri kalitesinde sementle edilerek üretilirler. Bu çelikler tavllanmış ve işlem sertleşmesine karşı direnç durumlarında çok düşük sertliğe sahiptirler. Bu iki faktör şekil almada önemlidir.

3.1.7. Özel alaşımli takım çelikleri (L ve F grubu)

Takım çeliklerinin çoğu alışımlı çelik gruplar içinde gösterilmiyordu ve bu yüzden özel çelikler dizayn edildi. Bu çelikler belirli, bir uygulamada ki özel ihtiyaçları giderecek diye geliştirildi. Bu çelikler diğer çeliklere göre çok pahalıdır [10].

3.2. Kesici Takım Malzemeleri

3.2.1. Kesici Takımların Özellikleri

Talaşlı imalat, genelde iş parçası ile takım malzemesi arasındaki bir rekabet olarak görülebilir. Bu bakımdan, takım malzemesi ile iş parçasının özelliklerinin birbirinin tersi olması beklenir. Bir takım malzemesinde aranan özellikler şunlardır:

Takım sadece oda sıcaklığında değil, çalışma sıcaklıklarında da iş parçasının en sert bileşeninden daha sert olmalıdır. (Tablo 3.1). Takım geometrisinin bozulmasını önleyen yüksek kızıl sertlik, talaş oluşum süreci sırasındaki ağır şartlar altında muhafaza edilmeli ve hatta aşınma direncine yardımcı olmalıdır.

Aralı kesmede mekanik şoklara (darbeli yükleme) dayanmak için tokluk, Aralı kesme işlemlerinde hızlı ısınma ve soğumalar meydana geldiği için yüksek termal şok direnci, lokalize kaynak teşekkülünü önlemek için iş parçasına karşı düşük yapışkanlık yani iş parçası ile reaksiyona girmemelidir.

Takım bileşenlerinin iş parçasına difyuzu, hızlı aşınmaya yol açar; bu bakımdan takımın iş parçasındaki çözünürlüğü düşük olmalıdır. Düşük setlik ve adhezyon arzu edilmez. Zira bunlar takım profilinin bozulmasına yol açar, takım burnu yuvarlaklaşır. Uygun olmayan tokluk ve termal şok direnci takım ağzının talaşlanması ve hatta tamamen hasarına sebep olur. Ne var ki, malzemenin sertlik ve ısıl direnci, genellikle ancak tokluğun azalması ile sağlanabilir. Tablo 3.2’de çeşitli takım malzemelerinin mekanik özellikleri gösterilmiştir [14].

Tablo 3.1. Tipik takım malzemeleri ve bileşenlerinin sertlikleri [12]

Takım Malzemesi veya Bileşeni	Sertlik, HV
Martenzitik çelik	500-900
Nitrürlenmiş çelik	950
Sementit (Fe_3C)	850-1100
Sert krom kaplama	1200
Alumina	2100-2400
WC (kobalt) bağlı	1800-2200
WC	2600
W ₂ C	2200
$(Fe, Cr)_7C_3$	1200-1600
Mo ₂ C	1500
Vc	2800
TiC	3200
TiN	3000
B ₄ C	3700
SiC	2600
Cbn	6500
Polikristalin elmas/WC	5500-8000
Elmas	8000-12000

Tablo 3.2. Takım malzemelerinin mekanik özellikleri [12]

Özellik	Yüksek hız çeliği	Döküm alaşımı	WC	TiC	Al ve Si Esaslı Seramik	cBN	Elmas
Sertlik (Gpa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (Mpa)	4100-4500	1 500-2300	4100-5850	100-3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	<0.1	-	-
Elastite modülü (Gpa)	200	200	520-600	310-450	310-410	850	820-1050
Yoğunluk (gr/cm ³)	8.6	8-8.7	10-15	5.5-5.8	4-4.5	3.48	3.5
Ergime/bozunma sic. (°C)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl iletkenlik (W/mC)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl genişleme Katsayısı (x10 ⁻⁸ /°C)	12	-	4-6.5	7.5-9	3.2-8.5	4.8	1.3

BÖLÜM 4. BORLAMA VE ÖZELLİKLERİ

4.1.Giriş

Bor, yerkabuğunun 51. yaygın elementi olup, doğada serbest halde bulunmayan daima bileşik halinde bulunan, kimyasal sembolü “B” olup periyodik cetvelin III A grubunun metal olmayan tek elementidir. Boratlar, önemli ölçüde boroksit (B_2O_3) içeren borik asitlerin tuzları veya esterleri olarak tanımlanır ve endüstri tarafından borik asit sağlayan bileşikler olarak bilinir.

Bor, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla ve oksijene karşı afinitesi en yüksek olan elementtir. Bor, çok sayıdaki minerale bileşik halinde bulunur. Bor mineralleri genellikle bor oksitleri içerirler ancak ticari anlamda bunlardan en çok üç tanesi dünya da önemli sayılmaktadır, bunlar; boraks (tinkal), kolemanit ve üleksit'tir. Metalik malzemeler üzerine bor kaplama işlemi ve bor bileşiklerinin kullanımı, insanlık tarihinin en eski teknolojilerinden günümüze kadar kullanıla gelmiştir. Günümüzde bu kullanım sahaları çok daha fazla genişlemektedir, özellikle 400'den fazla endüstriyel alanlarda uygulama alanı bilinmektedir.

Babililer, 4000 yıl kadar önceleri altını (Au) işlemek için ve kaynak işlemlerinde boraks minerali olduğu düşünülen kristalleri kullanmışlardır. Daha sonraları bor bileşiklerini temizleyici madde, yağlayıcı, korozyon önleyici ve cüruf yapıcı madde olarak kullanmışlardır.

Ülkemiz bor madeni bakımından dünya rezervlerinin yaklaşık %72'si gibi önemli bir orana sahip olmakla birlikte dünya borat üretiminin ancak % 17' sini gerçekleştirebilmektedir.

Gelişmiş ülkeler bu boratlardan saf borun yanında, bortrioksit (B_2O_3), borkarbür (B_4C) bornitrür (BN), diboran (B_2H_6) ve ferrobor (FeB) gibi rafine bileşikler üreterek çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadırlar.

Metal ve/veya alaşımlarının yüzeylerine bor elementinin yayındırıldığı ve borlama işlemi olarak isimlendirilen yöntem, ilk kez 1895 yılında Moisson tarafından Rusya'da uygulanmıştır. Bor ve bileşikleri özellikle çelik sanayinde üç önemli kullanım alanı bulmuştur.

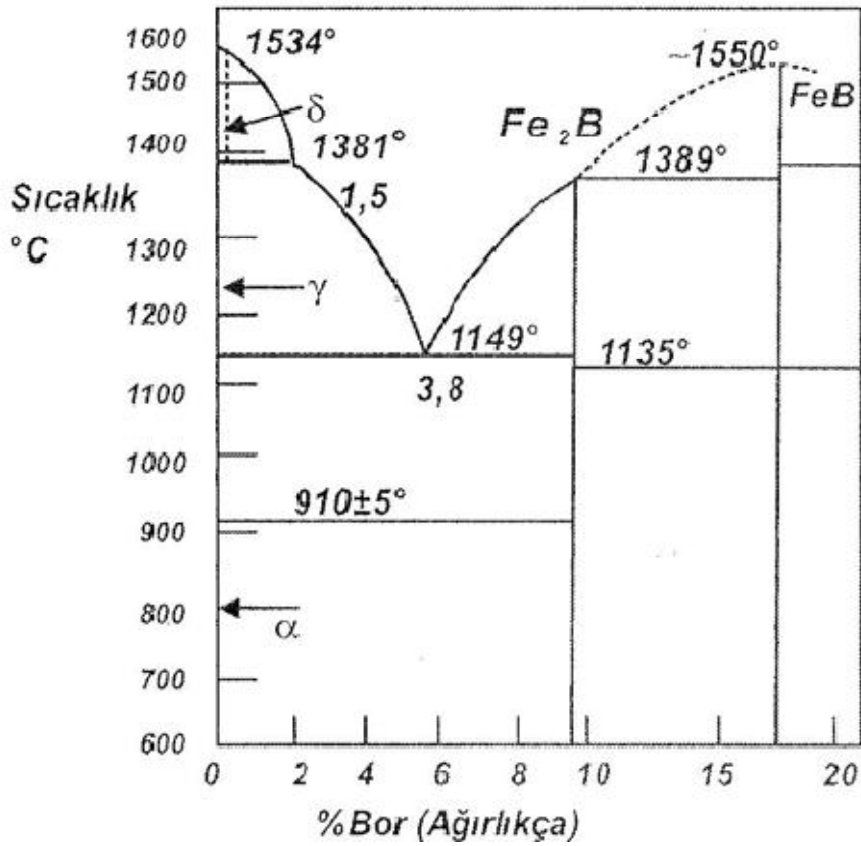
Bunlar;

1. Çelik üretiminde cüruf yapıcı
2. Çeliklerde alaşım elementi olarak
3. Çeliklerde yüzey kaplama ve sertleştirme ısıl işlemleri olarak kullanılmaktadır.

Bor ile yüzey sertleştirmenin diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert, sürtünme katsayısının ise çok düşük olmasının yanı sıra, asit ve bazlarının oluşturacakları korozyona ve yüksek sıcaklık korozyonuna direnç göstermesidir. Ayrıca borlama işleminin alaşımsız çeliklere uygulanabilmesi ekonomik açıdan bir üstünlük teşkil etmektedir.

Borun atom çapı demirden %25 daha küçük olduğundan bu elementte katı eriyik yapar. Demirde bor erirliği sıcaklığa bağlı olarak ferrit fazında 20–80 ppm, ostenit fazında ise 55- 260 ppm kadardır. Bor ostenitte ara yer katı eriyiği, α demirde ise yer alan katı eriyik yapar.

Demir-bor denge diyagramında ağırlıkça % 8,83 bor oranında Fe_2B , yine ağırlıkça % 16.23 bor oranında FeB arabileşikleri meydana gelmektedir. Ağırlıkça % 3,8 bor oranında ergime sıcaklığı 1149 °C olan ötektik faz oluşmaktadır. Dolayısıyla borlanmış yüzey bu sıcaklığa kadar ısıdan etkilenmektedir. Şekil 4.1'de demir-bor denge diyagramı gösterilmektedir [13].



Şekil 4.1. Demir-bor dengeli diyagramı [13].

4.2. Borlama

Demir ve demir dışı birçok alaşım ile sinterkarbür ve seramik malzemelere uygulanabilen termokimyasal bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir. Borlanacak malzemeler, özelliklerine göre 700–1000 °C sıcaklık aralığında, yaklaşık 1–12 saat süre ile katı, macun (pasta), sıvı veya gaz fazındaki bor verici ortamlarda bekletmek suretiyle yapılan bir işlemdir.

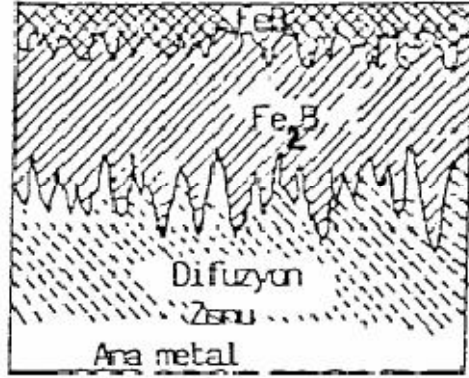
Demirli malzemelerin borlanması da, malzeme yüzeyinde FeB ve Fe₂B ile bu bileşiklerin karışımından oluşan tek veya çift fazlı borür tabakaları elde edilir. Alaşımli çeliklerde ve diğer malzemelerde kendi alaşım elementlerinin borürleri oluşur. Tablo 4.1’ de çeşitli malzemelerde borlama ile elde edilen borürler ve mikrosertlik değerleri verilmiştir. Özellikle demir ve çelik türü malzemelerde, borlama işlemi sonucunda ana yapının dışında borür tabakası ve geçiş bölgesinden oluşan iki farklı yapı ortaya çıkmaktadır [13].

Tablo 4.1. Çeşitli metallerde elde edilen borür fazları ve mikro sertlikleri [13].

Borlanan alt yüzey	Borür tabakasındaki fazlar	Borür tabakasının Sertliği (HV)
Fe	FeB	1900–2100
	Fe ₂ B	1800–2000
Co	CoB	1850
	Co ₂ B	1500–1600
	Co ₃ B	700–800
Ni	Ni ₄ B ₃	1600
	Ni ₂ B	1500
	Ni ₃ B	900
Mo	Mo ₂ B	1660
	Mo ₂ B	2330
	Mo ₂ B ₅	2400–2700
W	W ₂ B	2600
Ti	TiB	2500
	TiB ₂	3370
Nb	NbB ₂	2200
	NbB ₄	-
Ta	Ta ₂ B	-
	TaB ₂	2500
Hf	HfB ₂	2900
Zr	ZrB ₂	2250
Re	ReB	2700–2900

4.3. Borür Tabakası

Bu tabaka malzemenin en dış yüzeyi ile yüzeyin altındaki parmaklı (dişli) kısım arasına verilen addır. Bu bölgeye difüzyon bölgesi de denmektedir. Bu tabaka borlayıcı ortamdan sağlanan aktif bor, FeB veya Fe₂B oluşumu için, esas malzeme tarafından tüketilen miktardan daha fazla olduğu işlem şartlarında sadece FeB veya Fe₂B oluşmaz aynı zamanda Fe₂B'a göre borca daha zengin olan reaksiyon ürünleri de meydana gelebilir. Borür tabakasının kalınlığı malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, işlem yöntemi ve süresine bağlıdır. Şekil 4.2' de bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi verilmiştir.



Şekil 4.2. Bor tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının şematik resmi [13].

Genellikle, bor tabakasında testere dişi şeklinde tek bir Fe₂B fazının oluşumu istenir. FeB ve Fe₂B çift fazlı tabakanın oluşmasından daha fazla arzu edilir, çünkü FeB fazı borca zengindir. Bu faz yaklaşık ağırlıkça % 16.23 oranında bor içerir. Bu istenmez çünkü FeB fazı diğer demir bor fazlarından daha gevrekler. Fe₂B fazı ağırlıkça % 8.93 bor içerir. FeB ve Fe₂B fazları çok farklı ısıl genleşme katsayılarına sahiptir. FeB fazının ısıl genleşme katsayısının $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ iken, Fe₂B fazının ki ise $7.85 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ dir. Borür tabakasında, çatlak oluşumu ve kabuk gibi kalkma ve yırtılmalar çift fazlı tabakalarda ve FeB fazında çok sık oluşur. Bu çatlaklara bir mekanik yük uygulandığı zaman pul pul ve yaprak yaprak dökülmelere yol açmaktadır [13].

FeB ve Fe₂B fazları birbirlerine çekme ve basma gerilmeleri uygulamakta ve fazlar arasında yüzeye paralel ve dik çatlaklar oluşturmaktadır. Dolayısıyla borür tabakasında mümkün olduğunca çok az oranda FeB fazının oluşturulmasına çalışılmalıdır. Borür tabakasının kalınlığı, kaplanan malzemenin kimyasal bileşiminin yanı sıra işlem sıcaklığı, süresi ve yöntemine bağlıdır [13,14].

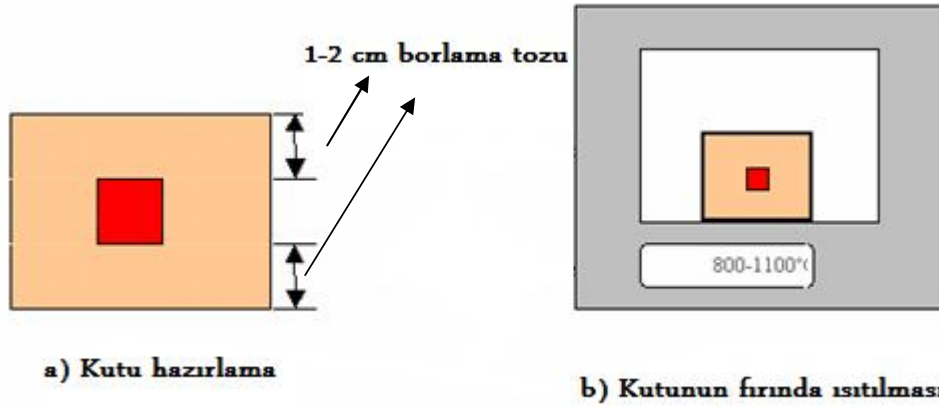
4.4. Geçiş Bölgesi

Bu bölge, borür tabakası ile ana yapı (matris) arasında kalan bölgeye verilen addır. Borlama işlemi esnasında, çelik bileşiminde bulunan elementler bu bölgede yeniden dağılırarak şekillenirler. FeB ve Fe₂B tabakalarının karbon, silis gibi elementleri çözündürememesi nedeniyle bu elementler yüzeyden içeri doğru itilir. Bu bölgede bulunan bor, borür oluşturamayacak miktardadır. Bunun neticesiyle de bu geçiş bölgesinin meydana geldiği bilinmektedir. Geçiş bölgesi, mikroyapı bakımından esas malzeme ve borür tabakasından farklıdır. Bu bölgenin kalınlığı, borür tabakasının kalınlığının 10–15 katı kadardır. Bor tane irileşmesine sebep olduğundan geçiş bölgesinde malzemenin taneleri irileşmekte ve sertliği de artmaktadır [13,14].

4.5. Borlama yöntemleri

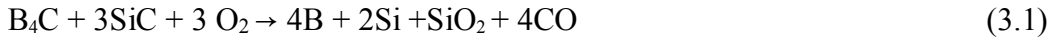
4.5.1. Katı (Paket) borlama yöntemi

Borlama ortamı olarak katı maddelerin kullanıldığı yöntemdir. B₄C, KBF₄ ve SiC içeren toz veya granürden oluşan bir karışım ile malzemenin etrafı sarılır. Bu işlem koruyucu atmosfer altında veya sıkı kapatılmış kutularda yapılır. Burada amaç borlama ortamına dışarıdan oksijen akışını kesmektir. Böylece redüksiyon ortamı korunmuş olur. İşlem sırasında ısıya dayanıklı malzemedan yapılmış kutular kullanılır. Borlama 800 –1100 °C sıcaklık aralığında ve 2 – 10 saat süreyle inert bir atmosferde yapılır, (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Katı (paket) borlama işleminin şematik görünüşü [13]

Katı borlama prosesinde yer alan reaksiyonlar şunlardır.



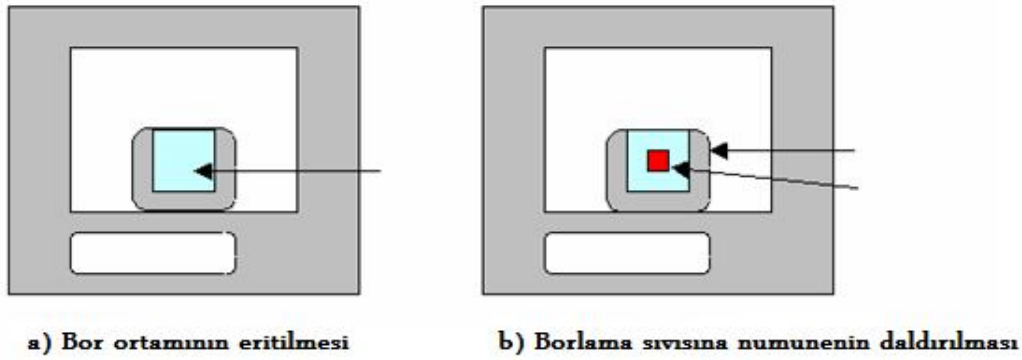
Katı borlama yönteminde kullanılan bor bileşikleri; borkarbür, ferrobor, elementer bordur. Bunlardan en çok kullanılanı, borkarbür dür. Aktivatör olarak sodyum bor florür, potasyum bor florür, baryum florür, sodyum karbonat, amonyum klorür ve redükleyici olarak silisyum karbür, grafit ve sodyum klorür gibi maddeler kullanılır.

Borlama maddesinin tane boyutu küçüldükçe temas yüzeyi artar. Temas yüzeyinin artması yayılımı kolaylaştırır, dolayısıyla borür tabakasının kalınlığı artar. Borlama, kaynaklı birleştirmelerde başarı ile uygulanabilir [13,15].

4.5.2. Sıvı borlama yöntemi

Bor bileşikleri, aktivatör ve redükleyici maddelerden oluşan erimiş tuza, iş parçasının daldırılması yöntemidir. Daldırma süresi borlama süresidir. Borlama işlemi 900-1100 °C sıcaklıkta ve 2 – 9 saat süre ile yapılır. Bu yöntemin dezavantajı sıcaklıktır. Sıcaklığın 850 °C nin altına düşmesi durumunda erimiş boraksın akıcılığı azalacağından borlama imkânsız hale gelecektir.

İşlemede susuz boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), susuz borik asit (B_2O_3), metaborik asit (HBO_2), boraks, bor karbür gibi bor bileşikleri kullanılır. Silisyum karbür, ferro silisyum, grafit, NaCl, Al gibi redükleyiciler kullanılır. Borlayıcı ortamın sıvı olması için bor bileşiklerinin veya NaCl gibi eriticilerin miktarı yüksek olmalıdır. Böylece eritici olan bu maddeler diğer maddeleri de eriterek sıvı eriyik oluşturur.



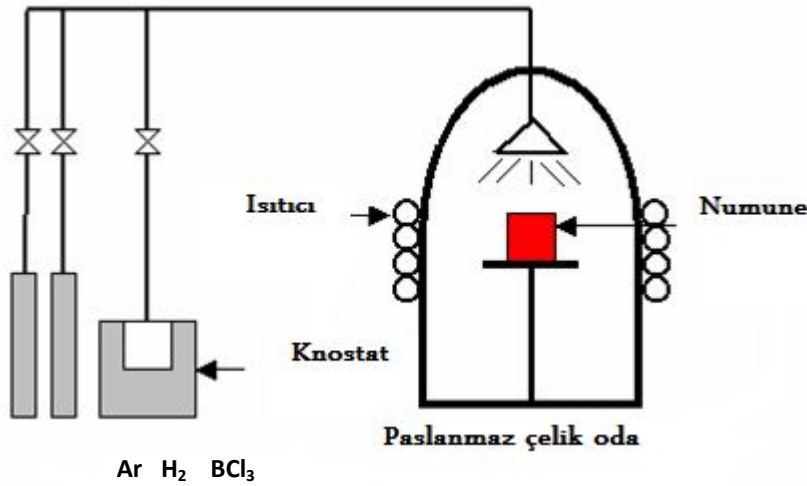
Şekil 4.4. Sıvı borlama işleminin şematik görünüşü [13]

Sıvı ortam borlaması sırasında borlanan metal ile redükleyici madde arasında galvanik pil oluşur. Aktif bor oluşumu sırasında metal yüzeyinde katodik bir reaksiyon olurken, redükleyici madde yüzeyinde anodik bir reaksiyon olmaktadır. Bu işlemin oluşması için; borlanacak metal ile redükleyici madde taneleri arasında elektrokimyasal farkın bulunması gerekir. Difüzyon reaksiyonu esnasında katot potansiyeli, yüzeyde oluşan fazın (FeB , Fe_2B) potansiyel değerini alır. Katı eriyik, oluşum esnasında yüzeyde yayılan elementin konsantrasyonundaki değişimle birlikte sürekli değişir.

Sıvı borlama yöntemi AISI 1040 çeliğine uygulanmış, çelik 1000°C de erimiş %70 boraks, % 13 borik asit, %10 ferrosilisyum ve %7 Al içeren tuz banyosuna daldırılmıştır. 1000°C sıcaklıkta 7 saat borlama sonucu $150\mu\text{m}$ tabaka kalınlığı ve 2000 HV sertlikte borür tabakası elde edilmiştir [13,15].

4.5.3. Gaz borlama yöntemi

Borlama ortamının gaz fazında olduğu borlama işlemidir. Borlama işlemi Ar ve H₂ gazlarının ve bir evapotartörde gaz haline getirilmiş bir bor kaynağının (BCl₃ gibi) belirli karışımının, dış ortama kapalı paslanmaz çelik bir odadaki numune üzerine püskürtülmesiyle yapılır, (Şekil 4.5.)



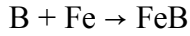
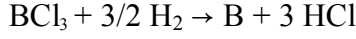
Şekil 4.5. Gaz borlama ünitesi [13]

Gaz borlamada gazlaştırılabilen BCl₃ (bor halitler), BF₃, B₂H₆ (diboran) ve TEB (trietil boran) gibi bor bileşikleri ve redüktan olarak hidrojen gazı kullanılmaktadır. Gaz borlama işleminde genellikle bor halitler ve diboran kullanılmaktadır. Diboran ve bor halitlerin gazları zehirli ve patlayıcıdır; çevreyi kirletici etki yaptığından ticari kullanımı sınırlıdır. Gaz borlamanın avantajları gaz sirkülasyonu sonucu daha uniform bir bor dağılımının sağlanması, sonradan temizleme gerektirmediği için kolay elde edilmesidir.

Gaz borlama reaksiyonları şunlardır. Gaz borlamada bor triklorür ısı ile aktive edilir.



Burada hidrojen BCl_3 ü redükler. Böylece bor, demire yayılır. Reaksiyon bileşenleri iki aşamada oluşur.



Gaz borlamada diboran ve bor klorür gazlarına alternatif olarak zehirsiz organik bor kaynakları trimetil borat, TMB, $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ ve trietil boran, TEB, $\text{B}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ boran trietil amin gibi maddeler kullanılmaktadır [13,15].

4.5.4. Plazma borlama

Katı haldeki bir maddeyi enerji vererek sıvı, sıvı haldeki maddeyi enerji vererek gaz ve gaz durumdaki maddeyi enerji vererek plazma haline getirmek mümkündür. Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren karışımdır. Uygulamada plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. En yaygın kullanılan plazma yöntemi elektriksel boşalmadır. Bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği takdirde uygulanan gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise, bu iki plaka arasında bir elektrik akışı olur.

Plazma borlama BCl_3 , BF_3 , B_2H_6 ve TEB (trietil boran) gibi bor bileşikleri ve redüktan olarak hidrojen gaz kullanılarak, 800 – 1100 °C sıcaklıkta, yaklaşık 10-20 Pa

gibi düşük bir basınçta oluşturulmuş bir plazma içerisinde yapılan borlamadır. Klasik borlama, tuz borlama ve gaz borlama gibi işlemlerin çevreye kirletici etkisi nedeniyle son yıllarda plazma borlama işlemi daha yoğun olarak çalışılmaktadır.

Plazma borlama reaksiyonları şunlardır.



Bor florür (BF₃) ile borlama reaksiyonu



Plazma borlamanın avantajları yüksek enerji etkinliği, minimum çarpılma, düşük işlem sıcaklığıdır. Plazma borlamanın dezavantajları BCl₃ ve B₂H₆ gazları kullanılmasıdır. Bu gazlar, pahalı, zehirli, patlayıcıdır ve korozyona neden olmaktadır [13-15].

4.6. Borlama İşleminin Avantajları

Borlama işleminin avantajları aşağıda sıralanmıştır.

1-Borlu tabakalar geleneksel olarak yüzeysel olarak sertleştirilmiş tabakalardan çok daha üstün karakteristik özelliklere sahiptir. Birinci temel üstünlük, bileşiği meydana getiren fazların yüksek erime noktalarıyla birlikte borlu tabakaların çok yüksek sertliğe (1450–1500 HV arasında) sahip olmasıdır. Karbonlu çeliklere uygulanan diğer geleneksel yüzey sertleştirme uygulamaları yanında borlu tabakanın meydana getirdiği sertliği açıkça izah etmek gerekirse; takım çeliklerini sertleştirmede ve elektrolizle kaplanan sert kromdan üstündür, tungsten karpit ile eşit sertlikte.

2- Aynı zamanda borlu tabaka yüksek yüzey sertliği ve düşük yüzey sürtünme katsayısına sahiptir. Başlıca aşındırma mekanizmalarına karşı (adheziv, tribooksidasyon, abresiv aşınma ve yüzey yoruma vb. gibi) yapıya önemli bir katkı sağlar. Bu durum makine çeliklerine şekil vermede kullanılan kalıpların aşınma direncini ve sürtünmeye karşı direncini daha fazla geliştirir.

3- Borlu tabak dayanıklılığını, yüksek sıcaklıklarda nitridli hale göre daha fazla muhafaza etmektedir.

4- Uygun yöntemlerle değişik çelikler tamamen sertleştirilebilir.

5- Borlama demir esaslı metallerdeki oksitlenmeyi azaltarak korozyon-erozyon direncini oldukça arttırabilir. Endüstriyel uygulamalarda asitli ve alkali ortamlarda gittikçe artan üstünlükler kazandırılmaktadır.

6- Borlu parçaların çalışma koşulları dolayısıyla oksidasyon altında ve korozif şartlar içinde dayanma süresi artmaktadır.

7- Borür tabakası, 550–660 °C sıcaklıklarda bile sertliğini korunaktadır.

8- Borlama, bir iş parçasının sertleştirilmesi istenen seçilmiş bölgelerine, düzensiz karmaşık şekillere uniform bir şekilde uygulanabilir.

9- Soğuk yapışma kaynağına eğilimi azaltmaktadır.

10- Borlanmış yüzeyler çok yüksek sıcaklıklarda (850 °C) orta seviyede oksidasyon direncine ve oldukça yüksek ergimiş metal korozyon direncine sahiptir.

11-Borlama yüzeyi, çok hassas bir şekilde parlatılabilir [16].

4.7. Borlama İşleminin Dezavantajları

Borlama işleminin dezavantajları şunlardır.

1-Borlama tekniği, diğer termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemleri olan gaz karbürleme ve plazma nitrid yöntemlerinden daha pahalı ve daha zahmetlidir. Gaz karbürleme ve plazma nitrid yöntemlerinin her ikisi de borlamaya göre daha esnek sistemlerdir. Bu iki yöntemin üretim zamanı daha kısa sürmekte ve nispeten daha kolay işlem gerektirmektedir. Daha az zahmetle elde edildiklerinden ve borlu tabaka kadar zorluk çıkarmadıklarından mühendislikte bu iki yöntem tercih edilmektedir.

2- Borlamadan dolayı %5 ila %25 tabaka kalınlığı oluşur (arzu edilen tabaka kalınlığı 1.25 ila 6.25µm); bu tabakanın kalınlığı temel metalin bileşimine bağlıdır. Borlu tabakanın kalınlığı çok küçük değerlerde olmaktadır. İşlem bittiğinde parçalar

üzerindeki borlu tabakanın kalınlığı %20 ile 25 boyutlu çoğalmaya müsaade etmektedir.

3- Çok hassas toleranslarla çalışmak gerektiği zaman, kaplamanın işlenmesi elmas takımlarla mümkün olmaktadır. Çünkü yüzeyin geleneksel tekniklerle işlenmesi sırasında kaplama tabakasında kırılmalar meydana gelmektedir. Bu da kaplama kalitesinde bozulmalara ve çatlamalara yol açmaktadır.

4- Borlama çeliklerde eğme, bükme dayanımını dikkate alınmayacak kadar artmasını sağlar. Bununla beraber sertliğini, korozyona dayanımını biraz olsun artırmaktadır.

5- Bor alaşımlı çelik parçaların sürtünme dayanımı genellikle, karbürize edilmiş ve nitridli çeliklerin sürtünme karşısında gösterdiği yüksek dayanımla (2000 N veya 450 lbf) mukayese edildiğinde çok zayıf kalmaktadır. Bu sebeple borlama dişlilere uygulamada sınırlıdır. Vida dişlerinde ve testere dişlerinde enine yükselmelere karşı çok küçük dayanıma sahiptir.

6- Borlamadan sonra malzemeleri sertleştirmeye ve ıslah etmeye sık sık ihtiyaç duyulur. Borlu tabakanın bütünlüğünü sağlamak ve bozulmasını önlemek için vakum altında çalışmaya veya inert atmosfer şartlarında çalışma gerekliliği vardır [16,17].

4.8. Borlu Tabakanın Özellikleri

Borlanmış çelikler yüksek yüzey sertlikleri ve yüksek aşınma mukavemetleri ile karakterize edilirler. Eğer aşırı bor mevcut veya malzeme çok fazla alaşıma sahipse Fe₂B fazı (%8,84 ağırlıkça B) yanında borca zengin FeB (%16,25 ağır. B) fazı meydana gelebilir. Yüksek iç gerilmeye sahip olduğundan ve Fe₂B tabakasından kavlayarak öküldüğünden FeB fazı arzu edilmez. Borlu tabakanın aşınma dayanımı, tabakanın tek veya çift fazlı olduğuna ve oluşum biçimine bağlıdır. En az aşınma Fe₂B fazında, en fazla aşınma ise daha sert (1800–2000 HV) FeB fazında olan tabakada meydana gelmektedir. Çünkü FeB fazı Fe₂B fazından daha gevrek bir yapıdadır. En yüksek aşınma dayanımının FeB içermeyen tabakalarda, yani sadece Fe₂B fazından oluşan tabakalarda elde edildiği deneylerle bulunmuştur.

Borlama işleminde, borun yüzeye yayılması sonucu parçanın en üst yüzeyinde bileşik tabaka adı verilen borlu bölge, onun altında yayınma (difüzyon) bölgesi ve en iç kısımda ise çekirdek bölgesi yer alır. Yüzeyde borca zengin FeB en üstte oluşurken onun hemen altında daha homojen ve sünek olan Fe₂B olmak üzere iki demirborür fazı oluşur. Termal uzama katsayıları farklı olan bu iki faz birlikte istenmezler. Yapıda bulunan Cr, W, Mo vs. alaşım elementleri tabaka kalınlığını (bora karşı afinitesinden dolayı) düşürürler.

Paslanmaz çelik malzemeler üzerine yapılan borlamalarda, yüzey üzerinde nikelin düşük çözünürlüklü olduğu bor tabakası oluşur ve fazla nikel bor tabakasının altında nikelce zengin tabaka oluşturmak üzere yapıya difüze olur. Cr elementinin birazı bor tabakasında çözünürken geri kalanı nikelce zengin tabaka ve bor tabakaları arasında kromca zengin bir tabaka oluşturmak üzere içeri difüze olur. Demir dışı alaşımlarda, örneğin titanyum ve alaşımlarının borlanması yüzeyde sertlik değeri 3200 HV' i bulan TiB ve TiB₂ tabakaları elde edilmektedir.

Borlamanın yapıldığı plazma içerisinde yer alan B ve Cl iyonlarının işlem üzerinde çok önemli tesiri söz konusudur. En iyi işlem, düşük Cl iyonu yoğunluğu ve maksimum B iyonu yoğunluklarının olduğu plazmada ortaya çıkar. Yüksek Cl iyonu yoğunluğu plazma şiddetinde düşüşe, mikroyapıda gözenekliliğe ve demirbor tabakası üzerinde Cl ve B birikmesine (kaplanmasına) sebep olur. Klorun ayrıca difüzyonu engelleme etkisinde söz konusu olup, B/Cl oranı iyi özelliklere sahip demirbor tabakası elde etmede yüksek olması gerekmektedir. Gözeneksiz yapı eldesi bu şekilde mümkün olmaktadır [16,17].

4.8.1. Borlu tabakanın tribolojik özellikleri

Borlanmış çelikler yüksek sertliklerinden dolayı abrasif aşınmaya karşı çok iyi direnç gösterirler. Bu nitrülendirilen ya da karbürlendirilen çeliklerle kıyaslandığında mükemmel derecede fazladır. Abrasif aşınmanın meydana geldiği ve borlama ile önemli ölçüde düşürüldüğü sistemlere; pnömatik transport sistemleri, plastik işleme makinaları, haddeleme elemanları, pompalar, valfler vs. örnek olarak verilebilir.

Adhezif aşınma mukavemeti bakımından diğer yöntemlerden oldukça üstün olduğu görülmektedir. Burada, yüksek sıcaklıklardaki mukavemeti özellikle ön plana çıkmakta olup, borlu tabakaların iyi aşınma özelliği göstermesi sebebi ile çok az ya da hiç yağlayıcı kullanmaksızın çevreyi korumak için gelecekte önemli bir etken olacaktır.

Borun oksijene karşı ilgisi fazla olduğu için yüzeyde koruyucu ince bir oksit filmi oluşturmakta ve bu oksit filmi yüzeyde yağlayıcı vazifesi göstererek sürtünmeli aşınma sırasında, sürtünme katsayısını düşürürken, yüzeylerin birbirine kaynamasını önler. Kaymalı sürtünmelerde açığa çıkan ısı borlu tabakaları etkilemez.

Adhezif aşınma mukavemetleri demirbor tabakalarında Cr ve Mo ilavesiyle iyileştirilebilir. Abrasif aşınma Cr, Mo, V veya bunların hepsi üzerine vanadyum karbidlerin solüsyonlarıyla düşürülür. Yüzey yorulmasına karşı düşük mukavemet Mo ve V' la yükseltilir. Triboksidatif aşınma alaşım elementleriyle çok az etkilenir. Demir dışı metallerin borlanması özellikler Ti, Ta ve Ni metallerinin abrasif aşınma özelliklerinde çok büyük iyileşme gözlenmektedir. Ti ve Ta' ın aşınma mukavemetine olumlu yönde etki ettiği saptanmıştır [14,16].

4.8.2. Borlu Tabakanın Korozyon Özellikleri

Borlanmış numunelerin H_2SO_4 gibi oksitlenmeyen asitlere karşı korozyon direnci oldukça iyiyken, HNO_3 gibi oksitlenen asitlere karşı kötüdür. Yüzeyde korozyon, direncini iyileştiren borlu tabakada yer alan kromborid olduğu sanılmaktadır. Çünkü kromboritten dolayı yüzeyde oluşan kromoksit yüzeyi korozyon aşınmasına karşı pasifleştirmektedir [17].

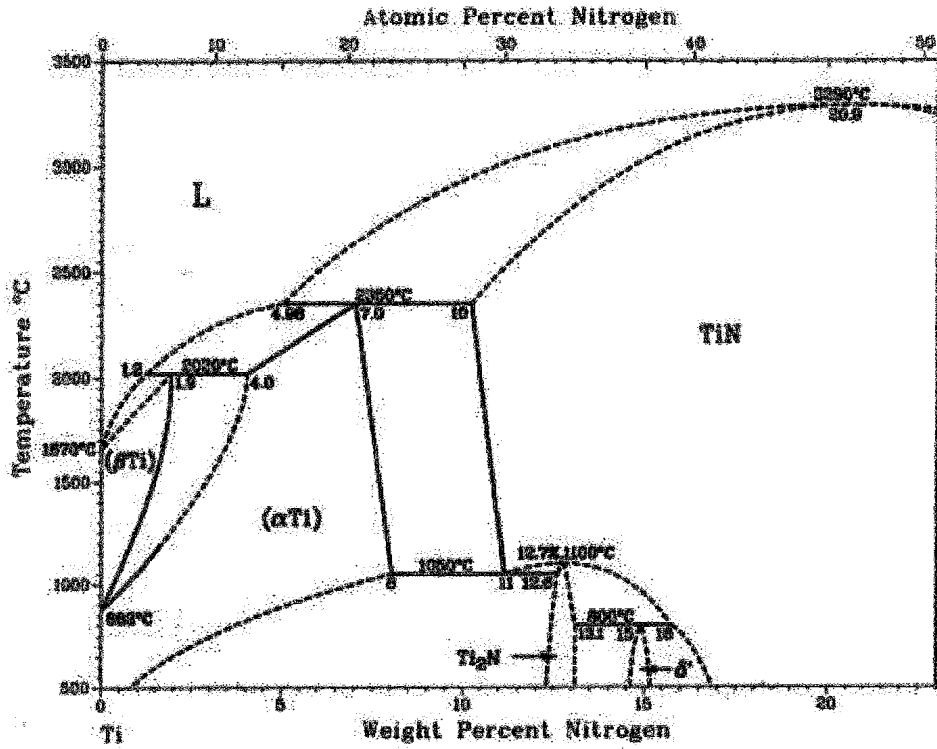
BÖLÜM 5. TİTANYUM NİTRÜR (TİN) KAPLAMALAR

5.1. Giriş

Titanyum-nitrür (TİN) kaplamalar ilk defa ticari olarak takımlara kimyasal buhar biriktirme (CVD) tekniği ile uygulanmıştır. Geçtiğimiz 20-30 yıl içerisinde ticari olarak fiziksel buhar biriktirme (PVD) tekniği ile TiN kaplama kullanımında artış görülmüştür. TiN kaplamalar, üstün mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleriyle diğer kaplamaların yanında en yüksek üretim kapasitesine sahip olan ve özellikle takım sektöründe kullanım alanı bulan bir kaplamadır [17].

Bileşiminde % 99 saflıkta elde edilen TiN yüzey merkezli kübik bir yapıya sahiptir, zehirli değildir ve tıbbi aletlerde korozyon direnci yüksek olduğu için kullanılmaktadır. Erime noktası 2930 °C, ısıl genleşme katsayısı 9.4×10^{-6} C dir. Yoğunluğu 5,22 gr/cm³ olup ısıl iletkenliği 0,046 Cal/sn-cm-°C dir. Elastik modülü 600 GPa, pozisyon oranı 0.24 dir. TiN kaplamalarda kaplama tabakasının kalınlıkları 0.25 ile 12 mikronmetre olup ticari olarak genellikle 1-5 mikron seviyesindeki kaplama kalınlıkları kullanılmaktadır. TiN kaplamalarda sertlik yaklaşık olarak 2000-3000 HV arasında olup kullanılan altlık malzemeye göre bu değer artış ve azalış gösterebilir. TiN' in özelliklerinden biri de altın sarısı görünümünden dolayı dekoratif uygulamalar içinde de kullanım alanı bulmaktadır. TiN'in üstün tribolojik özelliklerinin olmasından dolayı diğer sert ince film kaplamalara göre çok daha fazla uygulama alanı bulmaktadır [18].

TiN kaplamalarda titanyum ile azot arasındaki denge diyagramı Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Şekil 5.1' de görüldüğü gibi TiN geniş bir bölgede elde edilirken Ti₂N₂' nin elde edilebilirliği kısıtlı bölgede kalmıştır.



Şekil 5.1. Titanyum ile azot arasındaki denge diyagramının gösterimi [19]

5.2. TiN Kaplamaların Üstün Özellikleri

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında TiN (Titanyum nitür) gelmektedir. Bu kaplamaların özellikleri ve avantajları şu şekilde sıralanabilir;

1) Yüksek sertliği (2400-3000 HV) ve ısı geçirgenliğinin düşük olması nedeni ile talaşın takıma ısı transferini engeller ve takımın ısınarak yumuşamasını önler. Krater oluşumunu ve serbest yüzey aşınmasını minimize indirir. Bu sebepten dolayı kesme ve ilerleme hızları %20 kadar arttırılabilir.

2) Kimyasal stabilitesi yüksek bir malzeme olduğundan iş parçasına yapışmaz, kayganlık özelliği gösterir. Kesme anında uç birikimlerinin büyümesini engelleyerek iş parçası yüzeyinin temiz çıkmasını sağlar.

3) Sürtünme katsayısı düşük olduğu için kesme sürtünme kuvvetleri azalır ve buna bağlı olarak takımın ısınmasını önler ve plastik deformasyonu geciktirir.

- 4) Kimyasal reaksiyonlara girmediği için iş parçasının çalışma yüzeyleri daha uzun süre aktif kalır. Özellikle paslanmaz çelik iş parçalarında takımın iş parçasına demir transferi olmadığı için paslanmayı önler.
- 4) kaplama yüzeyi mükemmel yapıştığından, sıvama kenarlarında ve kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz. Yüksek tonajlı preslerde dahi yüzeyden dökülmez.
- 5) kalınlığı genel olarak 1 µm arasında olduğundan takımların toleranslarını değiştirmezler. Takım kaplama sonrası ilave bir işlem gerektirmeden kullanılır.
- 6) ince film olduklarından, ısıl genleşme katsayıları takımların ısıl genleşme katsayılarını alır. Bu nedenle ısıl genleşme ve eğilme ile takım yüzeyinden dökülmezler.
- 7) renkleri takımlardan farklı olması nedeni ile, takımın aşınma miktarı kolaylıkla görülebilir [20].

5.3. TiN Kaplama Tabakasının Altlık Malzemeye Yapışması

Kaplama ve altlık malzeme arasındaki yapışma, yüzeyler arasındaki mekanik temas, düşük kırılma tokluğu veya yüksek iç gerilmeler sebebiyle düşük derece de bir kimyasal bağ olabilir. Bu özellikler kaplama sistemine bağlıdır ve böylece geliştirilen kaplama teknolojisi yukarıda belirtilen özelliklerin çok etkili kombinasyonlarını elde etmek için kaplama sisteminin optimizasyonunu amaçlar. Bu sayede yüksek verimli yapışma elde edilir [18].

5.4. TiN Kaplamaların Uygulama Alanları ve Uygulama Örnekleri

5.4.1. TiN kaplamaların uygulama alanları

Metal kesme amacıyla kullanılan yüksek hız takım çeliklerinde başlıca kullanım alanı bulmuş olan TiN kaplamalar ayrıca yataklarda ve erozyondan korunma gereken yerlerde kullanılmaktadır. Genel olarak TiN kaplamaların kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [18].

Medikal cihazlar

Dişçilik ekipmanları

İmplant malzemeler
 Plastik kalıpları
 Ekstrüzyon kalıpları
 Yiyecek üretim ekipmanları
 Havacılık bileşenleri
 Kesiciler, kazıyıcılar ve bıçaklar
 Kayıcı ve döndürücü bileşenler
 Sıcaklık uygulamalı bileşenler
 Şaftlar ve contalar
 Dekoratif aksesuarlar
 İtici kollar
 Kesici takımlar
 Otomotiv parçaları
 Denizcilik uygulamaları
 Farmakolojik ekipmanlar
 Bazı dişliler
 Gözlük camı işleme bıçakları
 N-Graver uçları
 Mücevhercilik
 Spor aletleri

5.4.2. TiN kaplamaların uygulama örnekleri

Talaşlı İmalat Örnekleri: Tüm talaşlı imalatta sert seramik film kaplamalardan faydalanılır. Delme, klavuzlama, planyalama, diş açma gibi konularda yüksek performans elde edilir. Kesme ilerleme hızları % 20-30 oranında arttırılabilir. Otomatik tezgahlarda kullanılan takımların ömürlerinin artması, makine durma sürelerinin azalması sonucunda birim zamanda işlenen parça sayısı artar. Özellikle CNC tezgahlarında kullanılan takımların ömürlerinin yüksek olması, tezgahın durma süresini azaltmaktadır. Bu konuda sert seramik film kaplamalar ile büyük aşamalar sağlanmıştır. Kesme ve form kalemlerinde krater oluşumu ve serbest yüzey aşınması önemli bir faktördür. Form kalemlerinin TiN kaplama ile % 350 ye varan ömür artışı

sağlanır ve bileme sonrası % 70 mertebelerinde ömür artışı devam eder. Otomat tezgahlarında, tezgah uzun süre ayar gerektirmeden çalışılabilmektedir [20].

Klavuzlarda TiN kaplama ile diş üstü sarmaları tamamen engellenerek % 800'e varan ömür artışı sağlanmıştır [20].

Dişli çakısı olan azdırmada TiN kaplama ile 10 kat civarında ömür artışı sağlanmıştır. Bileme sonrası dahi 2 kat ömür artışı devam etmektedir. Bunun yanı sıra kesme ve ilerleme hızları arttırılabilir. Bu da iş parçası maliyetinde önemli bir düşme sağlamaktadır. Azdırma çakılarının her bileme sonrasında kaplanması takım miktarında % 600-700 oranında tasarruf sağlamıştır. Ayrıca iş parçası maliyetinde (35 civarında) önemli bir miktarda ekonomi sağlamıştır [20].

Kalıplar : Kalıpları iki grupta toplamakta fayda vardır.

a- Kesme kalıpları

b- Derin çekme ve sıvama kalıpları [20].

Kesme kalıplarında değişik uygulamalar yapılmıştır. TiN, kesme kalıplarında diğer kalıplardan daha iyi sonuçlar vermektedir [20].

Otomatik çamaşır makinesinin paslanmaz çelik olan iç tamburunun zımba ve dişli yüksükleri TiN kaplanmış ve % 400 civarında ömür artışı sağlanmıştır. Ayrıca presin kesme kuvvetleri azaltılmış, preste oluşan titreşimler ve kesme sırasında presin çıkardığı ses azalmıştır [20].

Bükme, sıvama ve derin çekme kalıplarında CrN sert metal (elmas) kalıplarda TiN kaplama daha iyi sonuç vermektedir. Çelik kalıplarda CrN kaplama ile 40 kata varan ömür artışları sağlanmaktadır. Sert metal kalıplarda en büyük problem iş parçasının kalıba sarmasıdır. TiN kaplama ile, çalışmayan sert metal kalıplar çalıştırılmıştır [20].

Kaplama kalıplarının avantajları şöyle sıralanabilir:

- 1) Aşınmaya karşı yüksek mukavemet sağlar,
- 2) İşlem sırasında parçanın kalıba yapışmasını ve sarmasını engeller,
- 3) paslanmaz çelik iş parçalarında kalıptan geçen metal transferini engelleyerek paslanmayı önler,
- 4) Sürtünme katsayılarının düşük olması nedeniyle sıvama işlemi kolaylaşır ve tezgah üzerine binen yükleri azaltarak, daha rahat çalışmasını sağlar,
- 5) Kalıbın tolerans dışına çıkma süresi 10-40 kat artar [20].

5.5. Titanyum (Ti)- Azot (N) Esaslı Kaplamalar

5.5.1. Titanyum-nitrür (TiN) kaplamalar

Altın renkli TiN kesme takımlarında verimi arttırmak amacıyla 1980'den itibaren endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Yüksek sertliği ve kayganlık özelliği, düşük adhezyon eğilimi ve yüksek sıcaklık dayanımıyla TiN evrensel kullanılabilir bir sert kaplama tabakasıdır. TiN kesme takımlarında talaş ,le kesme kalemi arasındaki difüzyonu önleyen bir bariyer gibi davranır [21].

5.5.2. Titanyum-karbon-nitrür (TiCN) kaplamalar

Metal nitrür yapıya karbon eklendiğinde sertlik yükselir. Bu nedenle değişik uygulamalarda karbonitrür sert seramik filmler başarı ile uygulanmaktadır. Bunların başında TiCN sert seramik filmler gelmektedir. Bu tabakalar, karbon içeren gazların kaplama sırasında azot gazı ile birlikte vakum ortamına gönderilmesi ile elde edilirler. CrN oranı tabakanın özelliğini belirler [21].

TiCN sert seramiklerin özellikleri 4000 HV değerine kadar çıkar. Yüzey pürüzlülükleri ve sürtünme katsayıları TiN' e göre daha düşüktür. Bu avantajının yanı sıra ısıl iletkenlikleri TiN' e ve TiAlN' e göre daha yüksek olması dezavantajlarıdır.

TiCN sert seramik filmler, yüksek hızda çalışan ve kesikli talaş çıkaran takımlarda yüksek performans sağlar. Özellikle parmak frezelerde diğer kaplama çeşitlerinden daha iyi sonuçlar vermektedir [20].

5.5.3. Titanyum-alüminyum-nitrür (TiAlN) kaplamalar

Kesici takımlarda metastabil TiAlN sert malzeme kaplamalarıyla endüstride büyük bir başarıya ulaşılmıştır. Özellikle abrasif aşınmaların işlenmesinde (örn: gri dökme demir, ötektik üstü Al-Si alaşımları) TiAlN kaplamaları üstünlüğü göstermiştir.

TiAlN kaplanmış matkap, CrNi- çeliklerin işlenmesinde TiN kaplanmışlara göre daha yüksek aşınma dayanımı göstermiştir[22].

TiAlN kaplamaların TiN kaplamalara göre daha iyi özelliklere sahip olmasının nedeni kübik kafeste depolanan alüminyumun bir metatabil TiAlN bileşiği oluşturmasıdır. Bağlanma oranının ve kafes gerilmelerinin iyileştirilmesi ile mikrosertlik değeri $HV_{0,05}$ ' de 3200'e kadar yükselmiştir. TiN ile karşılaştırıldığında, belirgin şekilde daha yüksek sıcaklık sertliği nedeniyle TiAlN daha yüksek kesme hızlarında çalışmaya imkan sağlar. Bundan başka, TiAlN diğer sert malzemelere karşılık daha iyi oksidasyon dayanımı göstermektedir. Bu takım yüzeylerinde ince, çok kararlı alüminyumoksit örtü tabakasının oluşması ve aşınmayı önleyici etkisi sebebiyledir [22].

5.5.4. Titanyum-zirkonyum-nitrür (TiZrN) kaplamalar

TiZrN tabakasının mikrosertliği $HV_{0,05}$ e göre 2800-3300 HV arasında bulunur. Seçilen kesme şartlarında, kesici uç ile talaş kaldırılan malzemenin birbirine temas noktasındaki sıcaklık 700-1000 C'ye çıkmaktadır. Bu durumda, kesme takımının ucunda, kesme kaleminin alaşım elementlerinin talaşa difüzyonu söz konusudur. TiZrN esaslı kaplama tabakasıyla kaplanmış bir kesici uçta, söz konusu yüksek sıcaklıklarda, tabaka içerisindeki zirkonyum oksitlenir ve ZrO₂ meydana gelir. ZrO₂ difüzyona karşı bir ısı bariyer görevi görürken aynı zamanda da aşınma mukavemetini arttıran bir tabaka şeklinde ortaya çıkar [8,21].

5.5.5. Titanyum-alüminyum-vanadyum-nitrür (TiAlVN) kaplamalar

Metalik sıçratma yöntemiyle TiAlVN sisteminde de farklı bileşimde sert tabakalar, sert metal kesme plakaları üzerine kaplanır. Metastabil TiAlVN tabakaları TiN' ün kübik yüzey merkezli kafes yapısını gösterir. Alaşım elementlerinden Al ve V, TiN hücresine birim kafesi küçültme şeklinde etki eder. Alüminyumca zengin TiAlVN kaplamaları yüksek sertlik değeri göstermiştir (HV 0,05'de 3000) [20,22].

5.6. TRD Prosesi ile Titanyum Nitrür Kaplama Tabakasının Oluşumu

Çelik malzemelerin titanyumlanması, katı, sıvı veya gaz ihtiva eden bir ortamda, çelik yüzeyine titanyum atomlarının difüze edilmesi esasına dayanır. TRD prosesi termo kimyasal bir olaydır. bu işlemler sonrasında çeliğin özelliğine göre ve daha önce yapılmış muhtemel işlemlerine bağlı olarak, malzemenin yüzeyinde titanyum, TiN, TiC gibi bileşiklerden oluşan yüzey tabakaları elde edilir [23].

Titanyum işlemi ile altlık malzemenin azot içeriğine ve karışım tozları içerisindeki ferro alaşımın titanyum içeriğine bağlı olarak bir veya iki fazlı kaplama tabakaları elde edilir [23].

Titanyumlama işlemi uygulanmış çeliklerde tabaka kalınlığı, ortam sıcaklığı, işlem süresi ve ana metal bileşiminin bir fonksiyonudur. İşlem için ortam sıcaklıkları 600-1200 C arasında seçilebilir. 550 C sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda numune yüzeyine yererli kalınlıkta nitrür tabakası elde edilmez. 1000 C civarındaki sıcaklıklarda karışımın oluşturduğu tozlar işlem parçasının üzerine sinterlenebilir. Bu nedenle tercih edilen ortam sıcaklığı 800-1000 °C arasında değişmektedir. Ayrıca tabaka kalınlığının oluşumu işlem süresine de bağlıdır. 30 dakikadan daha kısa sürelerde, TiN tabakasının oluşumu için yeterli değildir. İşlem süresinin artmasıyla TiN tabakasının kalınlığı da artmaktadır. Ancak proses difüzyon kontrollü olduğundan tabaka kalınlığının oluşturulması için 1-10 saat arasındaki süreler tercih edilmelidir [23].

5.7. Titanyum Nitrür Tabakası Oluşturulmuş Çeliklerin Özellikleri

5.7.1. Korozyon direnci

Çelik yüzeyinde oluşturulan titanyum nitrür (TiN) tabakası ile korozyona karşı yüksek direnç sağlanır. Bu tabakalar seramik karakterli oldukları için asitlere, bazlara ve tuzlara karşı yüksek korozyon direncine sahiptirler. Malzeme yüzeyine uygulanan TiN işlemi sonrasında eğer yüzey parlatılırsa korozyon direnci daha fazla arttırılır. Ancak bu parlatma esnasında yüzeyde oluşturulan tabakanın kaldırılmamasına dikkat edilmelidir. Eğer yüzeyde oluşturulan kaplama tabakası kaldırılırsa malzemenin korozyon direnci düşer [24].

5.7.2. Sertlik

Difüzyon yöntemi ile elde edilmiş TiN tabakasının sertliği altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Bu yöntem ile altlık malzemesinin sertliğine göre, çok daha yüksek düzeyde sertlik değerleri elde edilebilir. Titanyum diğer elementlerle yaptığı ikili bileşikler de çok yüksek ve farklı sertlik değerlerine ulaşabilir [23].

5.7.3. Aşınma direnci

Abrasif aşınma direnci: Çelik bileşenlerinin sürtünmeye karşı aşınma dirençleri 4-6 µm kalınlık aralığında yüzeylerine TiN kaplamayla dikkate değer derecede arttırılabilmektedir. Yüksek sertlik abrasif aşınma direncini geliştirmekte oldukça önemli bir parametredir [25].

Başlangıçtaki yüzey pürüzlülüğü aşınma direncini etkiler. Öyle ki pürüzsüz yüzey daha az aşınır. Son zamanlarda ki araştırmalar çok katmanlı titanyum ve TiN kaplamalarda daha kalın kaplamaların daha tok ve daha yüksek abrasyon direncini sağladığını göstermiştir [25].

Kaplama / altlık sisteminin yük taşıma kapasitesi önemlidir. Orta derecede abrasif aşınma altında abrasif partiküllerle plastik oluşan yivlerin keşişmesinden bölgesel

kopmalar ile ince kaplamalardan hasarın geliştiği bulunmuştur. Diğer bir deyişle kalın kaplamalar elastik olarak temas gerilmelerini karşılama kabiliyetine sahip olurlar ve altlık malzemenin deformatsyona uğramaksızın kaplamada parlatma mekanizması veya mikro partiküller ile hasara uğraması söz konusudur [25].

Ancak daha kalın TiN kaplamalarda mikroyapının etkisine bağlı olarak aşınma hızında farklılıklar gözlenmiştir. Bunlar kaplama yoğunluğundaki azalma ve artan kaplama ile tane boyutuna bağlı olabilir. Şiddetli abrasif aşınma şartları altında kalın kaplamalar kohezif kırılma mekanizmasıyla başlıca hasara uğrar [25].

Yukarıda açıklandığı gibi TiN kaplamaların aşınma dirençleri başlangıçta titanyum ile daha kuvvetli olarak gerçekleştirilebilir veya kaplamanın içerisinde dağıtılması ile arttırılabilir ve bu aynı zamanda iyi yapışmayı destekler [25].

Erozif aşınma direnci: 1 ile 10 µm arası TiN kaplanmış çeliğın aşınma direnci, kaplanmamış çelikten dikkate değer derecede daha iyidir. Görülmelidir ki aşınma direnci kaplamanın sertliğine, kaplama / altlık kompozit sistemin sertliğine, erozyonu gerçekleştiren partiküllerin şekline ve bombardımanın açısına bağlıdır [25].

Daha yüksek kompozit sertlik yani kaplama / altlık kombinasyonunun sertliğinin genel olarak erozif aşınmayı azaltıcı etkiye sahip olduğu söylenmektedir. Daha kalın kaplamalar keskin partiküllerle normal çarpma etkisinin gerçekleştiği durumlarda ince olan kaplamalardan daha yüksek erozyon direnci sağlayacağı umulabilir. Diğer bir deyişle daha ince kaplamalar yuvarlak partiküllerin 45° açıyla yüzeye çarpmaları durumunda daha iyi erozyon direnci sergileyecekleri görülmektedir [25].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Bu çalışmada, termo-reaktif difüzyon yöntemi ile içerisinde farklı oranlarda alaşım elementleri bulunan AISI (American Iron Steel Institute) D2 ve AISI (American Iron Steel Institute) M2 çeliklerinin yüzeylerine borlama ve Titanyumlama işlemi uygulanmıştır. AISI D2 çeliğine 950 °C’ de 1 saat süre ile, AISI M2 çeliğine 1000 °C’de 1 saat süre ile borlama işlemi uygulanmış, borlamadan sonra aynı numunelerin yüzeyine 1050 °C’ de 1 saat süre ile Titanyumlama yapılmıştır. Kaplanan numunelerin yüzeylerinde oluşan tabakaların özellikleri, optik mikroskop SEM, X ışını analizi ve mikrosertlik ölçümlerle incelenmiştir. Borlanan ve ardından Titanyumlanan numunelerin aşınma davranışları torna tezgahında otomat çeliği işlenerek incelenmiştir. İşlem esnasında ayrıca kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülerek elde edilen kaplamanın bu parametrelere etkisi tartışılmıştır

6.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Kimyasal Analizleri

Deneysel çalışmalarda AISI D2 ve AISI M2 çelikleri kullanılmıştır. Bu çeliklerden AISI D2 çeliğinin süneklik ve basınca karşı dayanımı yüksektir. Her türlü kesme ve bükme kalıplarında, vida-civata ovma taracları, perçin ve civata başlarının şişirilme işlemleri vb. yerlerde kullanılmaktadır. D2 çeliğine ait ısıl ve mekanik özellikler Tablo 6.1’de verilmiştir. AISI M2 çeliği kesici takımlarda kullanılan en temel yüksek hız takım çeliğidir. Bütün kesici freze uçları, matkap, rayba, klavuz, paftalar ve talaşsız şekillendirme işlemlerinin uygulandığı yerlerde kullanım alanı bulmuştur. M2 çeliğine ait ısıl ve mekanik özellikler Tablo 6.2’de verilmiştir.

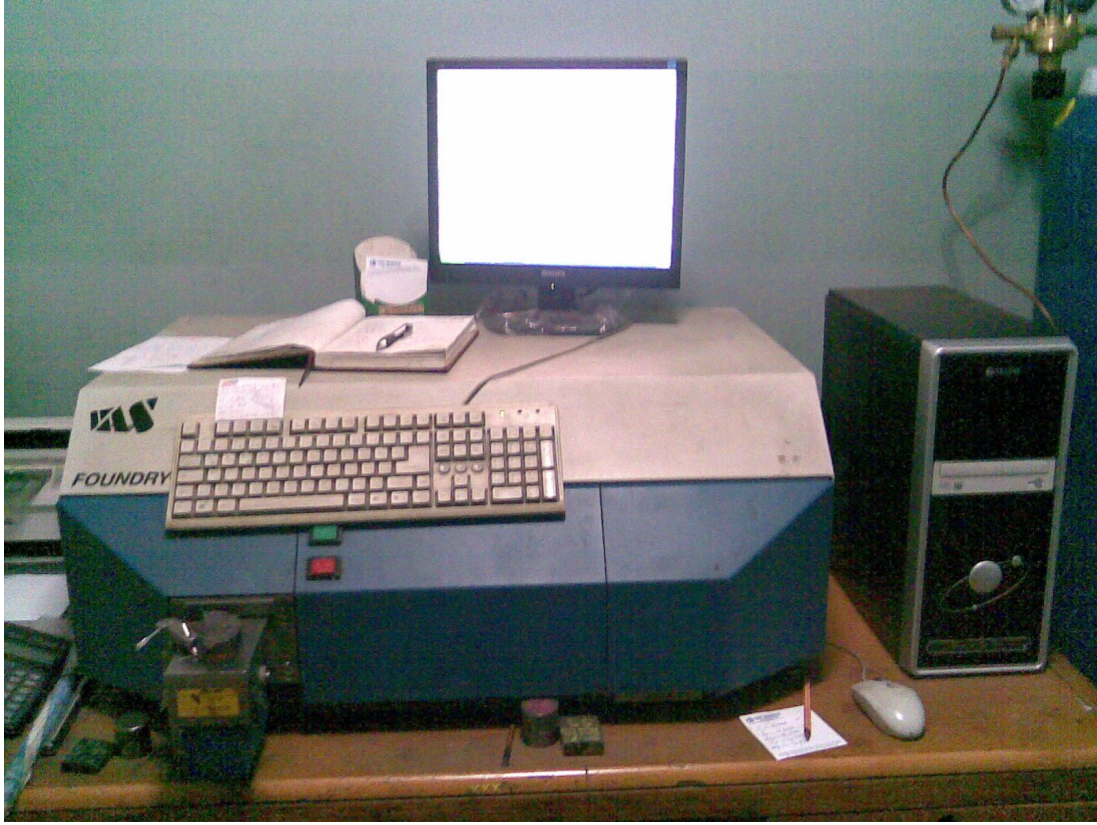
Tablo 6.1. M2 çeliğinin ısı ve mekanik özellikleri

Özellik	Yüksek Hız Çeliği (M2)
Sertlik (GPa)	8.5
Basma mukavemeti (MPa)	4100-4500
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8
Elastite modülü (GPa)	200
Yoğunluk (g/cm ³)	8.6
Ergime/Bozonma Sıc. (°C)	1300

Tablo 6.2. D2 çeliğinin ısı ve mekanik özellikleri

Özellik	Soğuk iş çeliği (D2)
Sertleştirme (°C)	1190-1230
Menevişleme (°C)	540-570
Menevişlemeden sonra elde edilen yaklaşık sertlik (HRC)	64-66
Oda sıcaklığındaki yaklaşık yoğunluk	8.1 g/cm ³

Deneylerde kullanılan çelik numunelerin spektral analizleri Foundry Master marka spektral analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çeliklerin spektral analizleri Şekil 6.3' de verilmektedir



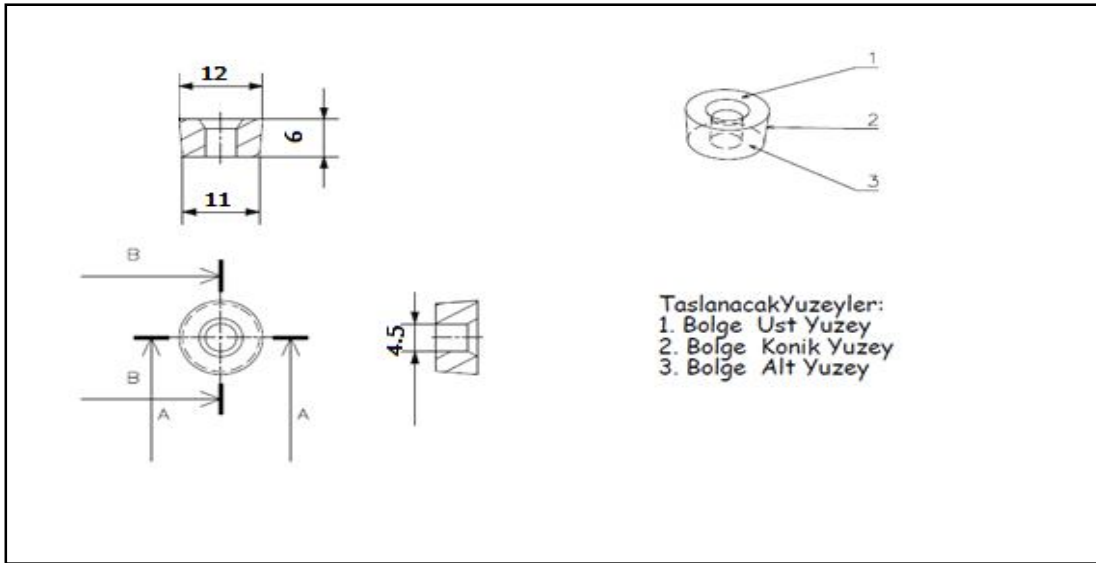
Şekil 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan çelik malzemelerin spektral analizlerinin yapıldığı cihaz

Tablo 6.3. Deneysel çalışmada kullanılan çelik malzemelerin spektral analizleri

Çeliğin Cinsi	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Fe
AISI D2	1,756	0,271	0,291	0,0353	0,0107	11,560	0,214	0,609	0,0150	1,00	84,106
AISI M2	1,01	0,345	0,282		0,0105	4,36	0,0539	4,64	6,03	2,08	80,7

6.3. Deneyleerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanışı

Deneyleerde kullanılan AISI D2 ve AISI M2 çelikler 16 mm çapında yuvarlak kesitli malzeme şeklinde temin edilmiştir. Malzeme Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 de' görüldüğü gibi işlenerek kesici uç olarak da kullanılabilircek numuneler üretilmiştir. Düzgün bir kaplama tabakası elde edilmek maksadıyla numunelerin 1, 2 ve 3 nolu yüzeyleri taşlanmıştır.



Şekil 6.2. Deneyleerde kullanılan kesici uçların boyutları (ölçü birimi: mm)



Şekil 6.3. Deneyleerde kullanılan kesici uçların görüntüsü

6.4. Deneylerde Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar

6.4.1. Kaplama fırını

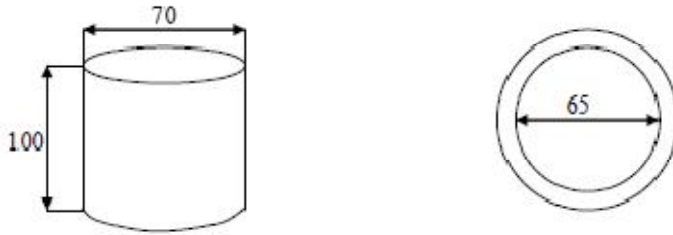
Borlama ve TiN kaplama işlemleri PROTHERM marka (Şekil 6.4) 1200 °C sıcaklığa çıkabilen $\pm 1^\circ\text{C}$ hassasiyette çalışan direnç fırınında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.4. Kaplama Fırını

6.4.2. Borlama ve titanyumlama potaları

Kaplama işlemlerinde AISI 316L paslanmaz çelik potalar kullanılmıştır. Potaların boyutları Şekil 6.5’de verilmektedir.



Şekil 6.5. Kaplama işlemlerinde kullanılan borlama ve titanyumlama potası

6.5. Borlama İşlemi

Borlama işlemi katı ortamda gerçekleştirilmiştir. Bor kaynağı olarak EKabor 2 ve deoksidan olarak EKrit toz karışımları kullanılmıştır. EKabor borlama ürünlerinin özellikleri Tablo 6.4. ‘ de verilmiştir

Tablo 6.4.: EKabor borlama ürünleri [26].

Tip	Tane Boyutu (μm)	Yoğunluk Kompakt, gr/cm^3	Özellik
EKabor 1	≤ 150	1,80	Yüzey kalitesi en yüksek tabaka için; parça yüzeyine yapışmaya eğimli
EKabor 2	≤ 850	1,50	Mükemmel yüzey kalitesi: işlem sonrası parçadan kolaylıkla ayrılma
EKabor 3	$\leq 1,400$	0,95	Çok iyi yüzey kalitesi, işlem sonrasında toz akıcılığı hala iyidir
EKabor HM	≤ 150	0,95 -1,50	Çok iyi yüzey kalitesi: sert metal, küçük delik ve kalın tabakalar için
EKabor WB	220-350	0,95	Oksijensiz gaz atmosferde , akışkan yatakta borlama için
EKabor Pasta	-	1,90	Daldırma, fırça ile sürme ve püskürtme ile uygulanabilir, inert gaz altında çalışılmalı
EKrit	≤ 420	1,55	Örtü malzemesi, borlama süresince toz borlama ürünlerine oksijen sızmasını önler

Borlama işlemi AISI D2 çeliği için 950 °C’ de 1 saat süre ile, AISI M2 çeliği için 1000 °C süre ile 1 saat süre ile gerçekleştirmiştir. Borlama işleminde 3 mm kalınlığında paslanmaz çelik saçıtan yapılmış, 70 mm çapında, 100 mm yüksekliğinde ağzı kapaklı potalar kullanılmıştır. Şekil 6.3’ de ki ebatlarda hazırlanan kesici uç numuneleri Şekil 6.6’ deki gibi hazırlanan borlama tozu ile doldurulmuş olan potanın içerisine gömülmüş ve potanın kapağı sıkıca kapatılmıştır. Her bir borlama işlemi için yeni toz karışımları kullanılmıştır.

Pota içerisindedir, numune aralarında ve numune ile pota kenarı arasında en az 12 mm EKabor2 olacak şekilde yerleştirme yapılmış ve işlem sıcaklığına çıkartılmış olan Protherm marka elektrik direnç fırınına yerleştirilmiştir. Borlama sonrası numuneler oda sıcaklığına kadar pota içerisinde soğutulmuşlardır. Difüzyon yoluyla, reaksiyonda FeB, Fe₂B fazlarının oluşumu öngörülmektedir.

Kapak
Şamot
Ekrit= %25
Ekabor 2 =%35
NUMUNELER
Ekabor 2= %25
Ekrit= %15

Şekil 6.6. Borlama potasının hazırlanması

6.6. Termo Reaktif Difüzyon İşlemi ile Titanyumlama (Titanyum Bileşiklerinin Elde Edilmesi)

Kimyasal bileşim olarak ağırlıkça %50 ferro-titanyum, %25 alumina (ticari saflıkta), %15 Amonyum klorür (NH₄Cl) ve %10 naftalin (C₁₀H₈)den oluşmaktadır. Ferro titanyum analizi Tablo 6.5’ de verilmiştir

Tablo 6.5. Fe-Ti Analizi (%)

Malzeme	Kimyasal bileşim (% ağırlıkça)								Ebat
	Ti	Al	Si	P	S	N	C	Mn	
Ferro Titanyum	72,80	4,69	0,18	0,006	0,006	0,19	0,20	1,50	10-50 mm

Kaplama potasının tabanına alumina hemen üstüne kaplama tozu-numune-kaplama tozu-alumina ve çok az naftalin ilavesi ile kapak kapatılarak ve şamot çamuru ile sızdırmazlık sağlanmıştır. (Şekil 6.7). İşlem sıcaklığına çıkarılan fırına daha önce hazırlanmış olan potalar yerleştirilmiştir. Her deney için toz karışımı yeniden hazırlanmıştır. Termo reaktif kaplama işlemi AIDI D2 ve AISI M2 çelikleri için 1050°C sıcaklıkta 1 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında numuneler açık atmosferde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Kapak
Şamot
Al ₂ O ₃
NUMUNELER
Karışım
Al ₂ O ₃

Şekil 6.7. TiN kaplama potasının hazırlanması

6.7. Sertleştirme

AISI D2 ve AISI M2 çeliğinden yapılmış kesici uç numuneleri fırında 550 °C' ye ulaşıncaya kadar ön ısıtmaya tabi tutuldu ve bu sıcaklıkta 30 dk bekletildi. Daha sonra numuneler Baryum Klorür ve Baryum Siyanürden oluşan tuz banyosuna sokularak fırının 1000 °C' çıkması beklendi. Bu sıcaklıkta 30 dk. bekletildikten sonra havada soğutuldu

6.8. Mikroyapı İncelemeleri

Kaplama işlemine tabi tutulan numuneler kesilip bakalite alma işleminden sonra metalografik numune hazırlama teknikleri ile 400–600–800–1000–1200 mesh' lik aşındırıcılarla parlatma işlemine tabi tutulmuştur. 1200 grid'lik zımparalama işleminden sonra 0.3 µm 'luk alumina solüsyonla parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra numuneler %3' lük Nital'le dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler NIKON EPIHOT 200 marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Ayrıca mikroyapı incelemeleri JEOL JAREL 6600 Lb marka elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.

6.9. X-Işını Difraksiyon Analizi

Kaplama tabakasında mevcut fazların tanınmasında ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de X-ışınları difraksiyon analizidir. X-ışınları difraksiyon analiz yönteminde genellikle Cu veya Co gibi hedef bir elementten elde edilen K_{α} karakteristik x-ışını demeti, analiz edilecek numune üzerine gönderilmektedir. Işın demeti numunenin üç boyutlu kristal kafeslerinden belli bir dalga boylarına sahip saçınımlara uğrayarak, numuneye has difraksiyon paterni elde edilmektedir. Bu paternlerin incelenmesi, bileşimi belirli standart malzemelerden elde edilen paternler ile karşılaştırılarak yapılmaktadır.

6.10. Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analiz İncelemesi

Kaplama tabakasındaki elementlerin dağılımını ve morfolojisini incelemek amacıyla JEOL-JSM-6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca yüzeyden itibaren içeri doğru borür ve Titanyum tabakasının belirli bölgelerinden kaplama tabakası içerisinde bulunan elementleri incelemek için noktasal element analizi yapılmıştır. Her malzemenin farklı borlama ve titanyumlama sıcaklığı ve süresi için mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

6.11. Sertlik Ölçümleri

Kaplama tabakalarının ve matrisin sertlik ölçümleri FUTURE TECH FM 700 mikrosertlik cihazında knoop sertlik ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemleri kaplama tabakası üzerinde gerçekleştirilmiştir

6.12. Talaş Kaldırma Deneyi

Kaplanan takımlarla otomat çeliği üzerinde talaş kaldırma deney gerçekleştirilmiştir. Deney de kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 6,6' da verilmiştir. 38-73- ve 138 m/dk. kesme hızı ve 0.08- 0.12- 0.16 mm/dev. ilerleme değerleri kullanılarak işlenen deney numunelerinin şematik görünüşü ise Şekil 6,8'de verilmiştir. Kesme deneyine geçilmeden önce otomat çeliğinin yüzeyindeki düzensizleri gidermek için yüzeyden 1mm düzeltme pasosu alındı.

Talaş kaldırma işleminde 0,25 mm talaş derinliği kullanılarak her ilerlemede otomat çeliği üzerinden 5 paso alınmıştır. Birinci ve beşinci pasolarda kesici takım üzerine gelen kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerleri kaydedilmiştir. İşlem sonunda kesici takım serbest yüzeyinde meydana gelen takım aşınması optik mikroskopta ölçülmüştür. İşlem sonunda kesici takım serbest yüzeyinde meydana gelen takım aşınması optik mikroskopta ölçülmüştür.

Tablo 6.6. Deneysel çalışmada kullanılan otomat çeliğinin spektral analizi

Malzeme	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
OTOMAT ÇELİĞİ (DIN 1651)	97,9	0,042	<0,05	1,193	0,062	>0,170	0,094	0,010	
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	
	0,074	0,001	0,0096	0,0762	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0100	
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As			
	0,295	0,0137	0,0105	0,0001	0,0023	0,0142			

Torna tezgahında talaş kaldırma deneylerinde kullanılan malzemenin çapı 49 mm, boyu 200 mm' dir. Deneylerde farklı kaplamaların kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne, kesme / ilerleme kuvvetine ve aşınma davranışına olan etkileri incelenmiştir.

Deneylerde kesici takım olarak üretilmiş, borlanmış, daha sonra Titanyumlanmış ve ısıtılmış AISI D2 ve AISI M2 kesici uçları kullanılmıştır. Talaş kaldırma deneylerinde kullanılan düzenek Şekil 6.8.' de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Deney numunesi olarak kullanılan otomat çeliğinin torna tezgahındaki görüntüsü ve kesme kuvveti, ilerleme kuvvetinin ölçüldüğü sistem

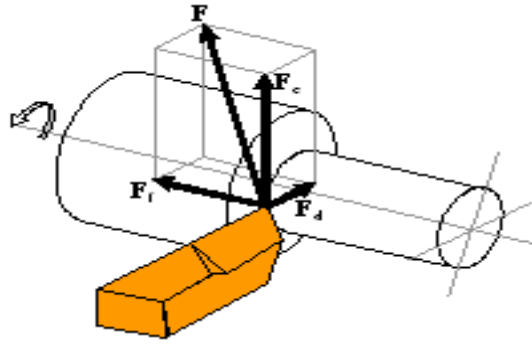
6.13. Kesme Kuvveti ve İlerleme Kuvveti Ölçümleri

Kesici takım şeklinde hazırlanan, Titanyum kaplı, Borlanmış ve kaplamasız olmak üzere üç farklı numune ile otomat çeliğinin tornalanması esnasında oluşan kesme ve ilerleme kuvvetini ölçmek 0 ile 5 kN arasında ölçüm yapabilen iki bileşenli bir dinamometre kullanıldı

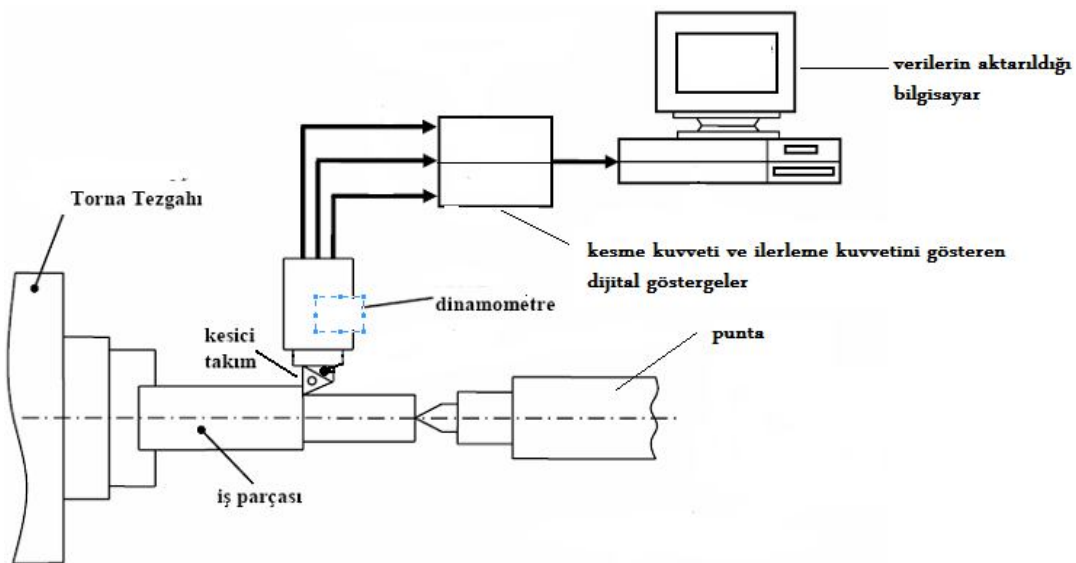
Silindirik bir iş parçasının tornalama işleminde kesici takım üzerine etki eden kesme kuvvetinin üç bileşeni Şekil 9’ da, talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinin ölçüldüğü sistemde Şekil 6.10’ da görülmektedir. görülmektedir.

$$F = F_c + F_f + F_d \quad (1)$$

F_c Kesme kuvveti, F_f ilerleme kuvveti ve F_d radyal kuvvettir. Dik (ortagonal) kesme işleminde radyal kuvvet (F_d) miktarı çok küçük olduğundan bu çalışma da ölçülmemiştir. Kuvvet ölçümü verileri, enerji tüketimi takım aşınması, iş parçasının işlenebilirliği ve kesme işleminin değerlendirilmesi kullanılabilir önemli bilgileri teşkil eder. Ayrıca Kesme işlemi süresince, takımda oluşan aşınmaya bağlı olarak kesme kuvvetindeki değişimin izlenmesi amacıyla bir ölçümün yapılması gerekir..



Şekil 6.9. Kesme işleminde kesici uç üzerine etki eden kuvvet bileşenleri.



Şekil 6.10. Torna tezgahında talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinin ölçüldüğü sistem

6.14. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Her bir deney için iş parçası üzerinde 200 mm boyunda bir mesafe işlenmiştir. Bu mesafenin ilk 40mm ve son 40 mm' lik kısımları üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Böylece takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek mümkün olmuştur.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE İRDELEME

7.1. Giriş

Bu çalışmada AISI D2 ve AISI M2 çelik malzemelerden üretilen torna kesici uçlarına ilk olarak, Ekabor 2 kullanılarak borlama işlemleri gerçekleştirildikten sonra, borlanan numuneler ferro-titanyum, alumina, amonyum klorür, naftalinden oluşan toz karışımında termokimyasal olarak Ti ile reaksiyona tabi tutulmuştur. Bor tabakasının varlığı SEM incelemeleri sonucunda tespit edilmiştir.(Şekil 7.1). Borlanan D2 numunelerinde 15-25 µm kaplama kalınlığı (Şekil 7.1), M2 numunelerinde 25-35 µm kaplama kalınlığı elde edilmiştir (Şekil 7.2).

Borlama işlemi sonucunda numunelerde FeB ve F₂B Fazları elde edilmiştir. Bu fazların varlığı X ışını difraksiyon incelemeleri sonucunda ispatlanmıştır. (Şekil 7.23). Borlanan numunelerin yüzeyinden yapılan sertlik ölçümleri sonucunda yaklaşık 2000 HV serlik elde edilmiştir (Tablo 6.6). TiN kaplama tabakasının varlığı ise X ışını incelemesi sonucunda ispatlanmıştır (Şekil 7.6.), (Şekil 7.8).

Termokimyasal olarak kaplanan numunelerin yüzeyleri, kaplama tabakaları, kaplama-matris ara yüzeyleri; klasik metalografi teknikleri, x-ışınları difraksiyon analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi, yapılmıştır. Ayrıca borlanan ve Titanyumlanan kesici uçlar torna tezgahına bağlanarak 3 farklı kesme hızı ve ilerleme hızlarında kesme deneyine tabi tutularak kesici uca gelen kesme kuvvetleri ve ilerleme kuvvetleri ölçülmüştür.

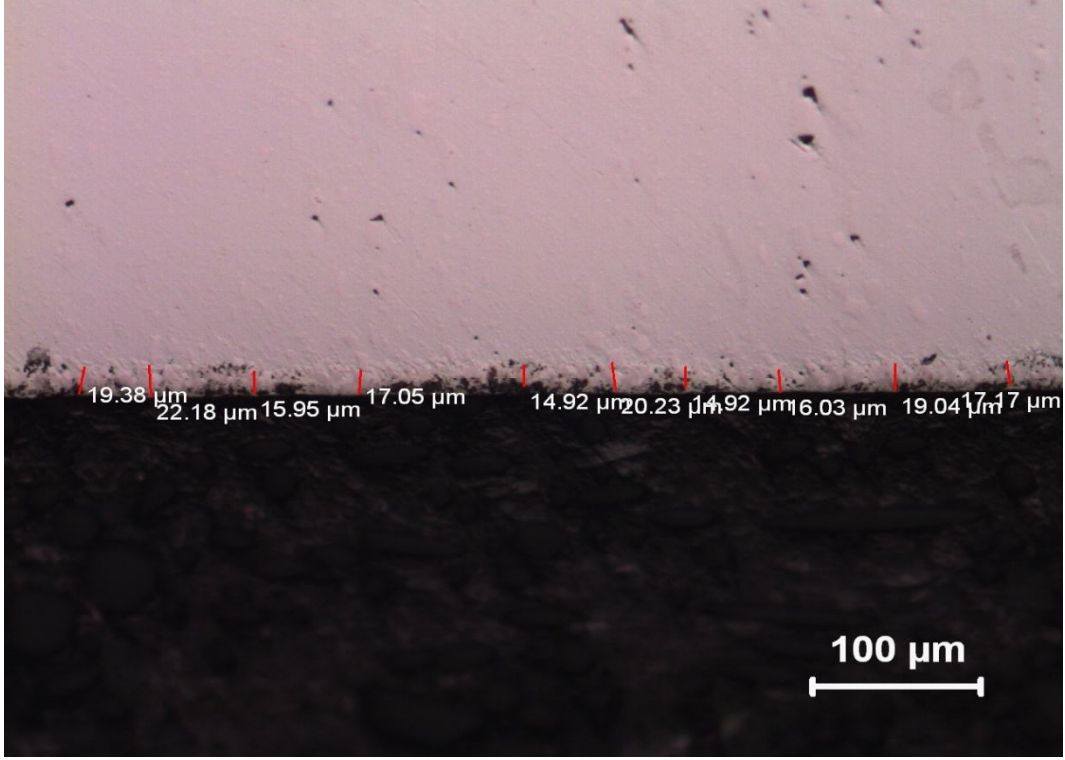
Borlama işleminden sonra numuneler Titanyum ile reaksiyona sokularak Titanyum bileşiği elde edilmek istenmiştir. Yapılan X ışını çalışmaları sonucunda numunelerde TiN bileşiği dışında TiC, TiB₂,TiCN bileşiklerinin de olduğu görülmüştür (Şekil 7.26). Titanyumlama işlemi sonucunda D2 ve M2 numunelerinde yaklaşık 2900 HV sertlik elde edilmiştir.

7.2. Borlanan Malzemelerin Mikroyapı Özellikleri

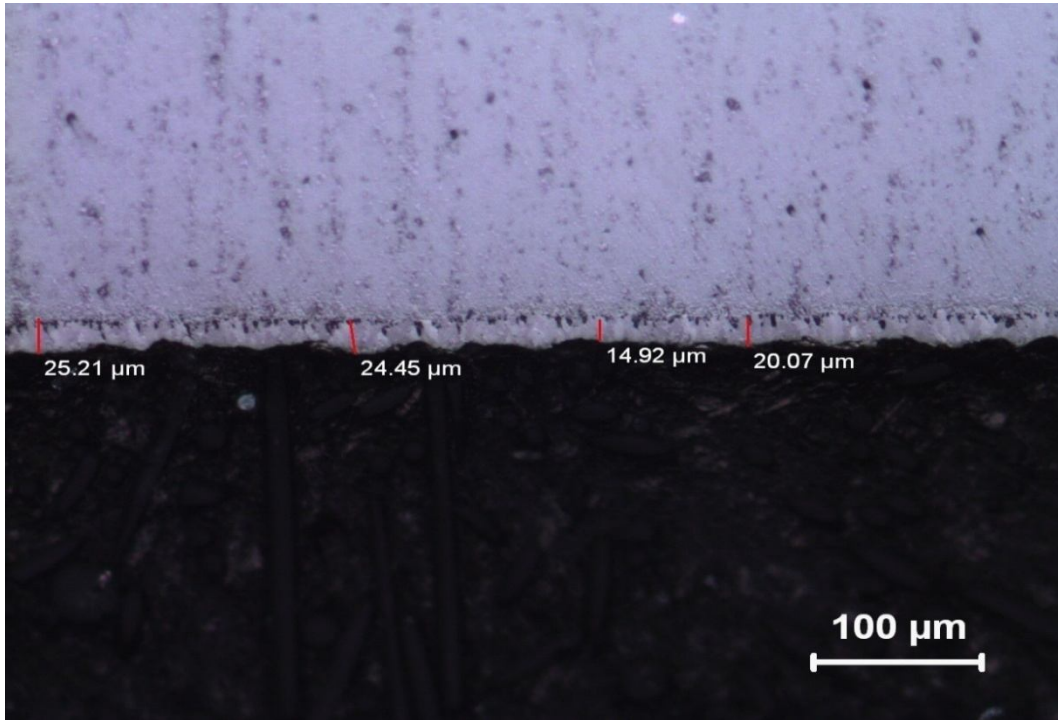
Metalografi teknikleri ile hazırlanan çeliklerin optik mikroskop incelemeleri neticesinde, yüzeyde bir tabaka halinde kaplamanın gerçekleştiği kaplamanın matristen farklı bir renk arzettiği nedeniyle ayırt edilmiştir (Şekil 7.1). incelemelerde farklı şartlarda borlama işlemine tabi tutulmuş çeliklerin yüzeylerinde düz, homojen ve süreklilik arz eden bir tabakanın olduğu görülmektedir.

Numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri neticesinde, kaplama işlemine tabi tutulan bütün numunelerde kaplama tabakası, kaplama-matris ara yüzeyi ve matris açık bir şekilde görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde kaplama tabakasının üç bölgeden olduğu görülmektedir (Şekil 7.9). Sırasıyla i-Borlanmış bölge/ ii- geçiş bölgesi/ iii- altlık' dan oluşmaktadır. Çalışma da elde edilen mikroyapı görüntülerinin literatürde yer alan benzer çalışmalarla uyum içerisinde olduğu görülmelidir.

Yapılan çalışmada AISI D2 çeliğinin 950 °C' de 1 saat borlanması sonucu 15-20 µm tabaka kalınlığında, 2000 HV sertlikli ve FeB ve F₂B fazlarını içeren borid tabakası elde edilmiştir (Şekil 7.1), (Şekil 7.23). 1000 °C' DE 1 saat borlanan M2 çeliğinde ise 15- 25 µm tabaka kalınlığında, 2000 HV sertlikli FeB ve F₂ B fazlarını içeren borid tabakası oluşmuştur.



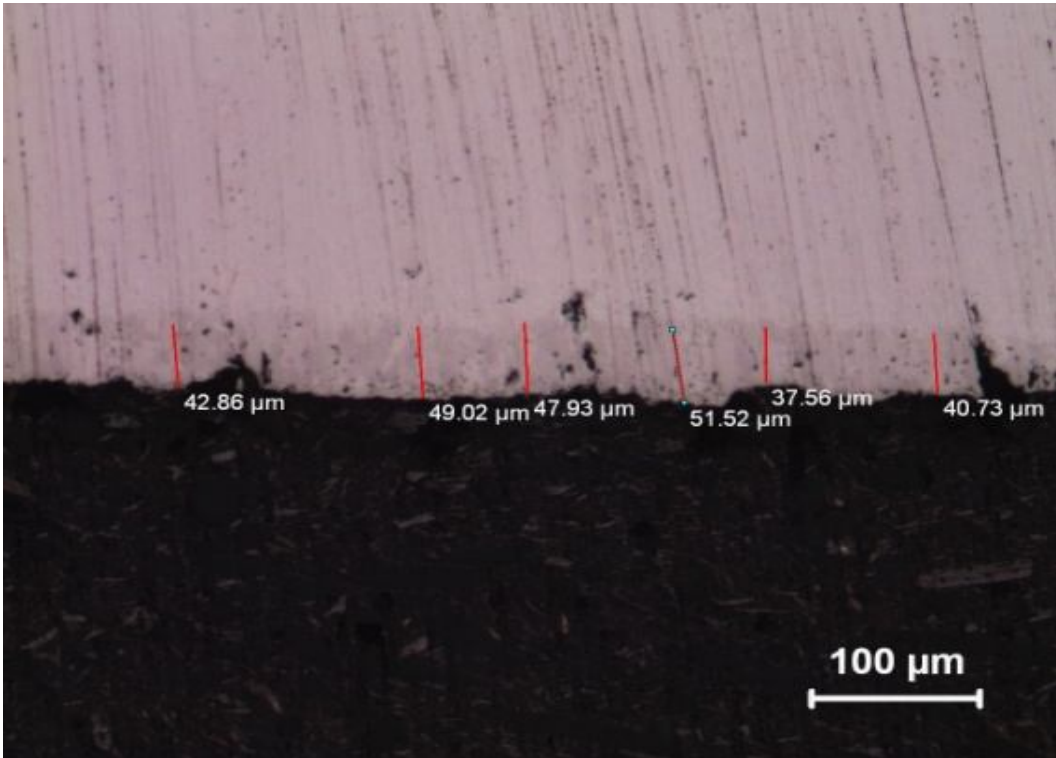
Şekil 7.1. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çeliğinin mikroyapısı



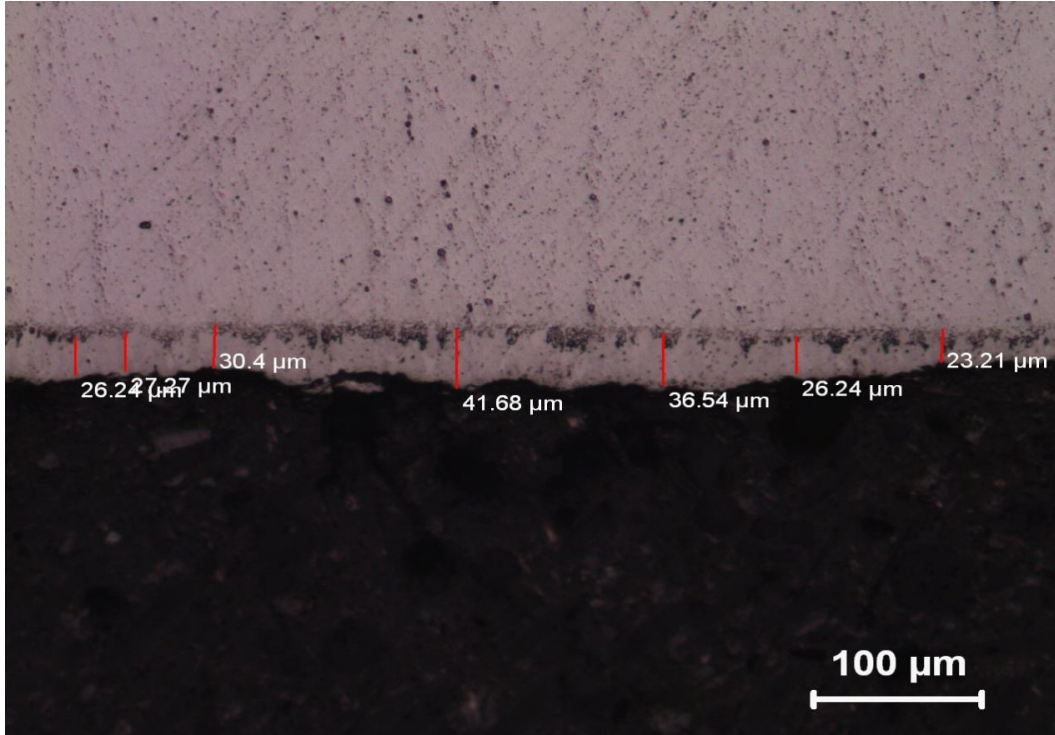
Şekil 7.2. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan kaplanan AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

7.3. Titanyumlanan Malzemelerin Mikroyapı Özellikleri

D2 ve M2 numunelerinin borlanması sonrasında aynı numuneler 1050 °C’ de 1 saat süre ile titanyum ile reaksiyona sokulmuşlardır. İşlem sonucunda D2 ve M2 numunelerinde x ışığında yapılan incelemede 1-2 µm titanyumlanmış tabakanın meydana geldiği görülmüştür.



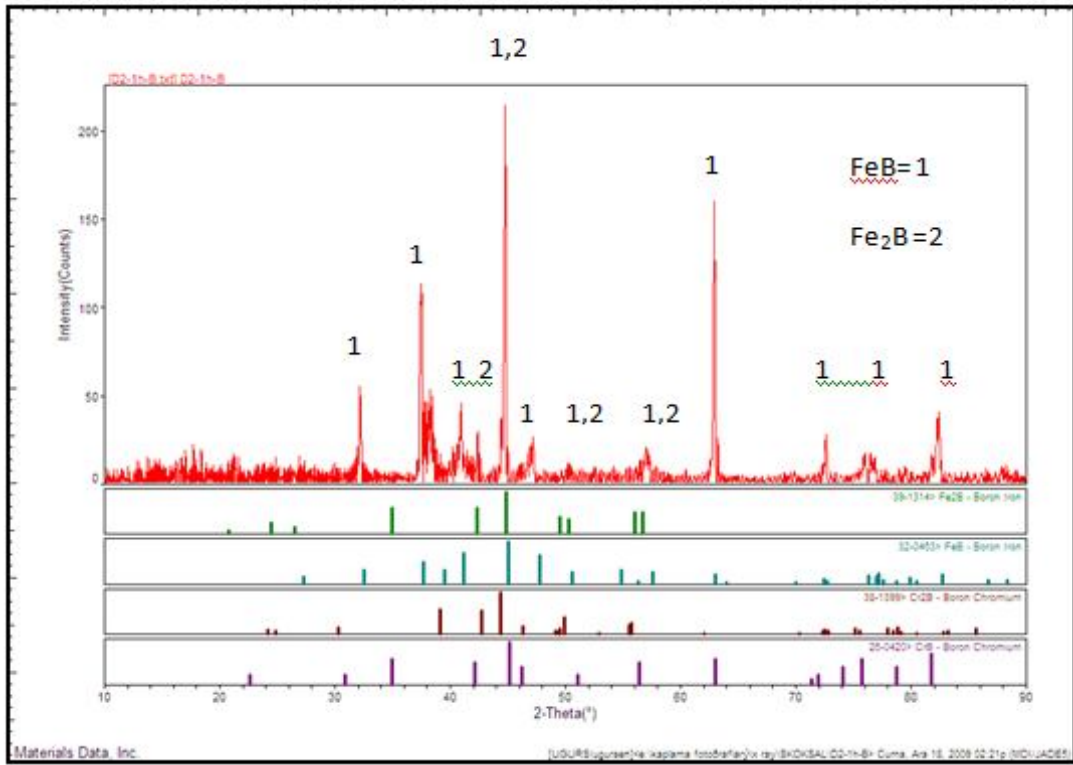
Şekil 7.3. 950 °C sıcaklıkta 1 saat Borlanan ve ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çeliğinin mikroyapısı



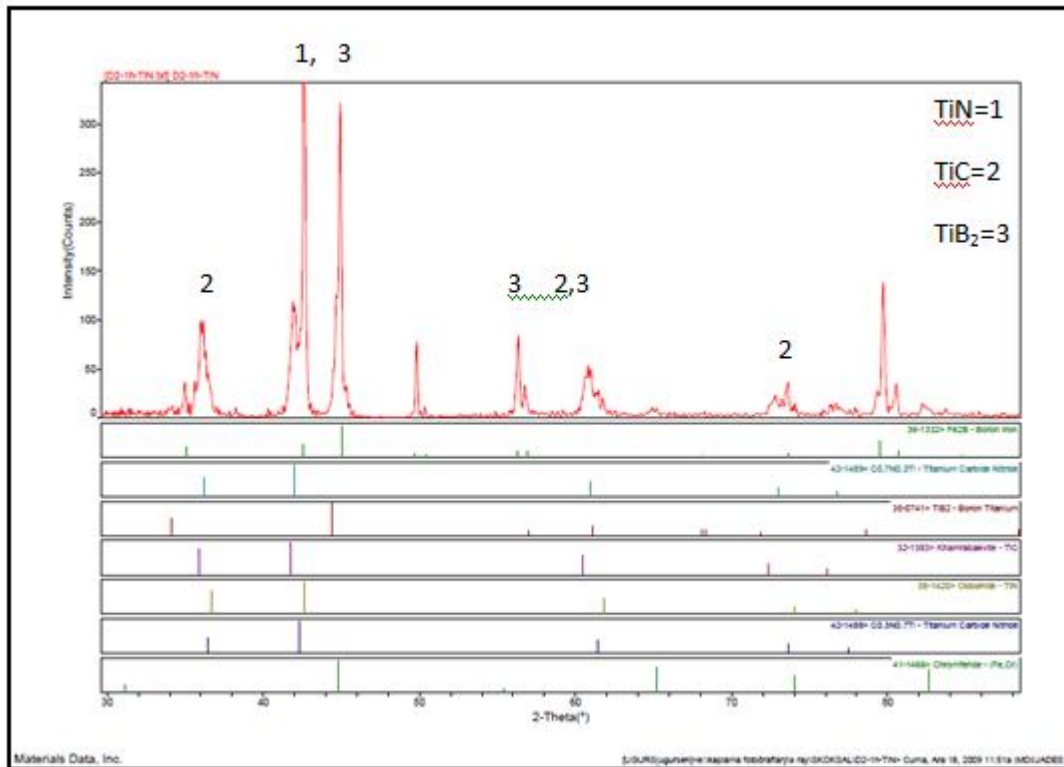
Şekil 7.4. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat Borlanan ve ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

7.4. X -Işınları Difraksiyon Analizi

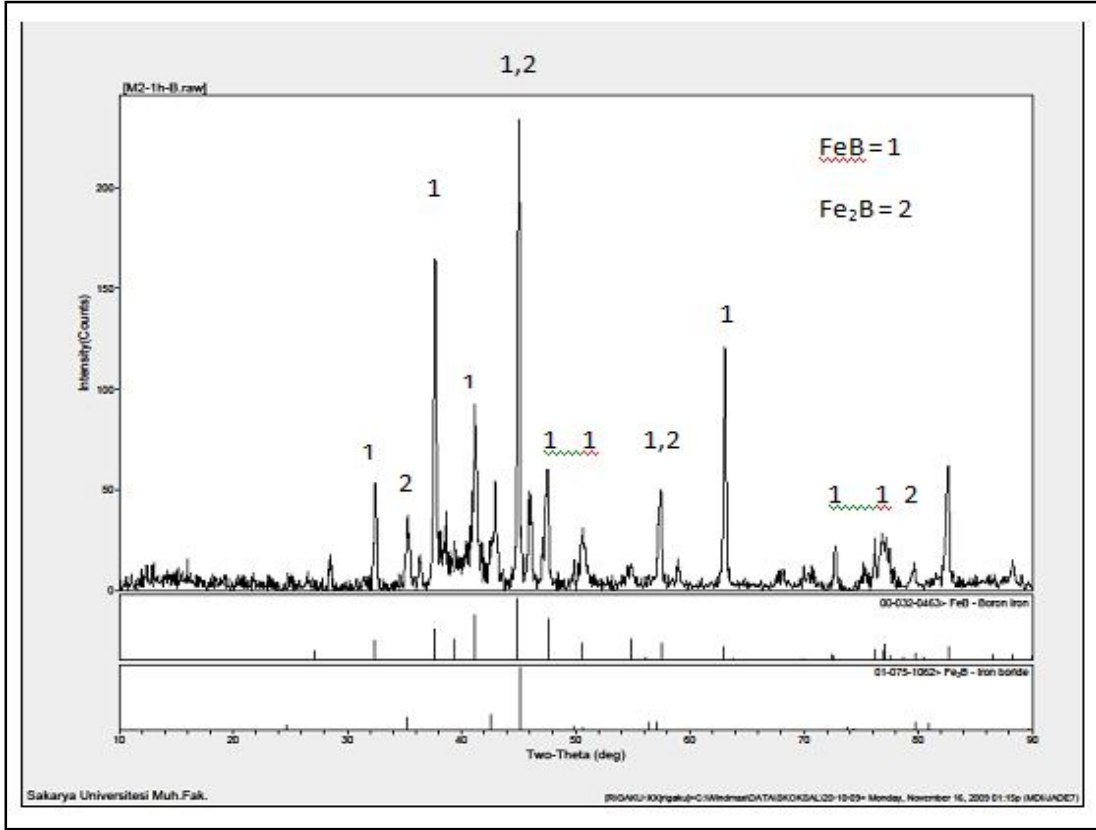
Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit edebilmek için x- ışınları difraksiyon analiz yöntemi kullanılmıştır. AISI D2 ve AISI M2 çelik numunelerinin borlanması ve titanyumlanması sonucunda elde edilen kaplama tabakalarında oluşan fazlar tespit edilmeye çalışılmıştır. D2 ve M2 numunelerinin difraksiyon paternleri Şekil 7.5- 7.6- 7.7- 7.8’ de sırası ile verilmiştir. X ışını analiz sonucunda, borlanan çeliklerin yüzeylerinde FeB ve F₂B borürleri oluşmuştur (Şekil 7.5, Şekil 7.7). Borlama işleminden sonra titanyumlanan D2 Ve M2 çeliklerinde TiN, TiC, TiB₂ bileşiklerinin varlığı x ışını incelemeleri ile tespit edilmiştir (Şekil 7.6, Şekil 7.8).



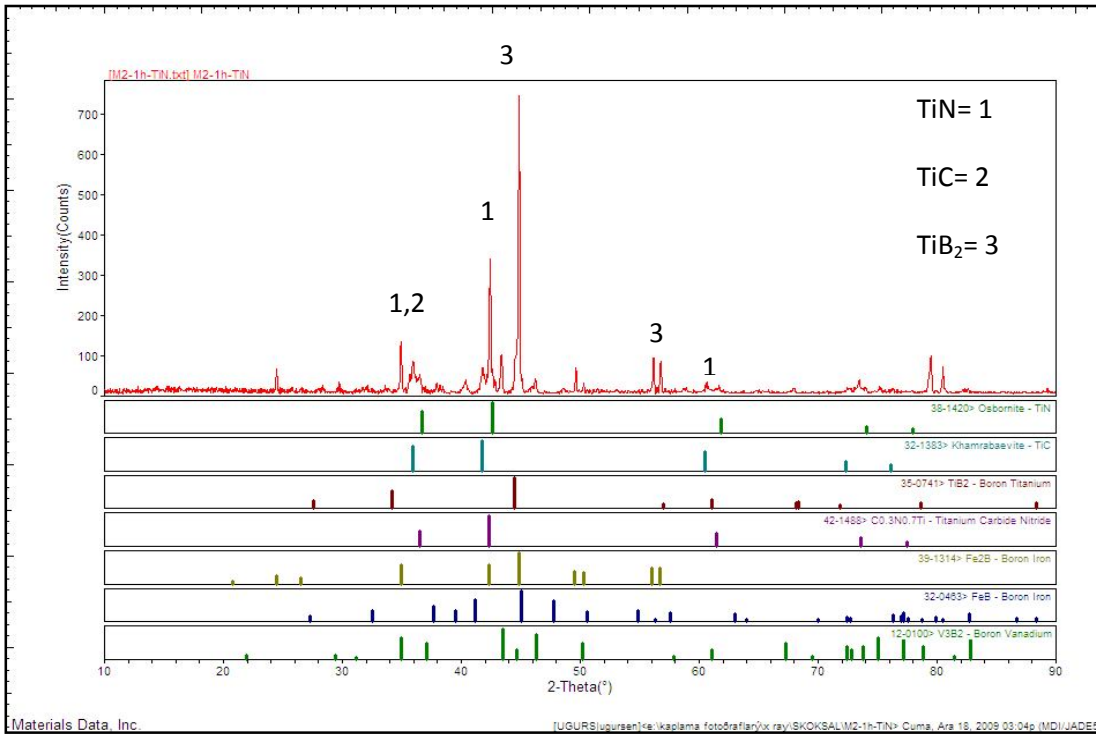
Şekil 7.5. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çeliğinin x- ışını difraksiyon paterni



Şekil 7.6. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çeliğinin x- ışını difraksiyon paterni



Şekil 7.7. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre borlanmış AISI M2 çeliğinin x- ışını difraksiyon paterni



Şekil 7.8. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre Borlanan ,ardından 1050 °C' de 1 saat Titaniumlanan AISI M2 çeliğinin x- ışını difraksiyon paterni

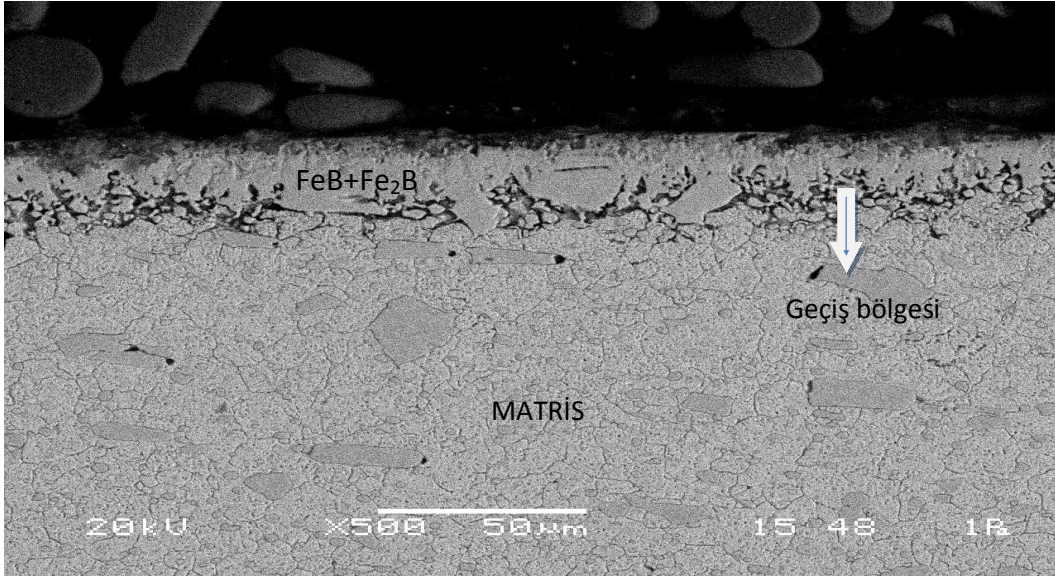
7.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi

Taramalı elektron mikroskobu ile D2 ve M2 çeliklerinin yüzeyinde oluşan kaplama tabakasının yapısı ve elementlerin tabaka içerisinde lineer dağılımları incelenerek bazı bölgelerin noktasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Genel olarak kaplama tabakasının dış yüzeyinin koyu renkli olarak görülen FeB fazından, iç kısımlarda daha açık renkli Fe₂B fazından meydana geldiği görülmektedir (Şekil 7.9).

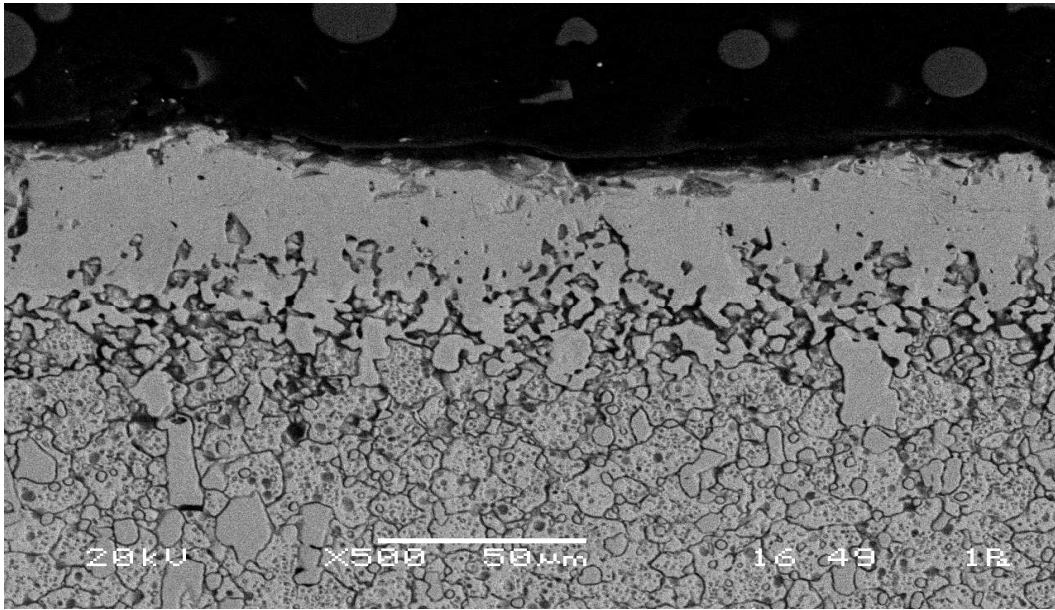
Borlanan, borlanan ve titanyumlanan D2 ve M2 çeliklerinin bazı bölgelerinden noktasal analizleri alınarak kaplama tabakası içerisinde bulunan elementler incelenmiştir. Yapılan incelemelerde numunelerin yüzeylerinde titanyum oranlarının düşük olduğu görülmektedir (Şekil 7.13- Şekil 7.26). Bunun nedeninin kaplamadaki titanyum orandan, kaplama sıcaklığından ve süresinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Oluşan borür tabakasının kalınlığının borlama süresi ve sıcaklığına, çeliklerin bileşiminde bulunan alaşım elementlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. AISI D2 çeliğinin bor tabaka kalınlığı 15-25 µm arasında (Şekil 7.1), AISI M2 çeliğinin ise 20-25 µm arasında (Şekil 7.2) olduğu görülmüştür.

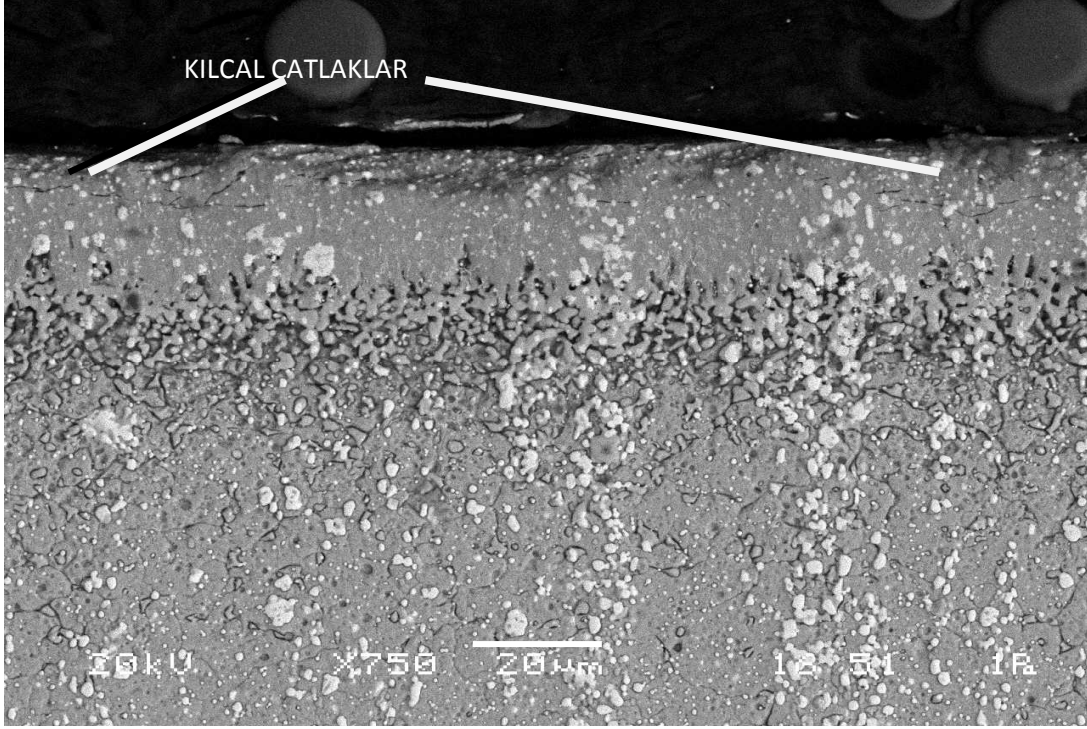
Kaplama sıcaklığı veya süresi arttığı zaman FeB fazının artış gösterdiği ve yüzeye paralel kısmi çatlakların oluştuğu görülmektedir (Şekil 7.11). Çift fazlı borür tabakası çatlama ve dağılmaya oldukça eğilimlidir. Bunun sebebi ise bu iki borür fazının iç gerilmelerindeki farklılıktır. Fe₂B fazında basma gerilmesi, FeB fazında ise çekme gerilmesi hakimdir. Ticari borlama tozlarının kullanımı ile %100 tek fazlı borür tabakası elde edilmesinin mümkün olmadığı belirtilmiştir



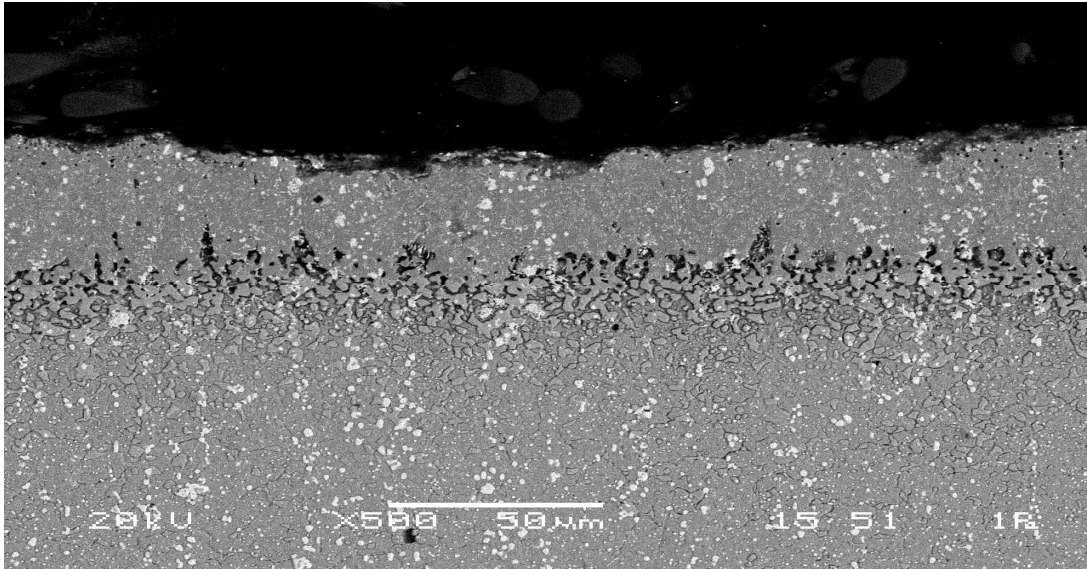
Şekil 7.9. 950 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI D2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



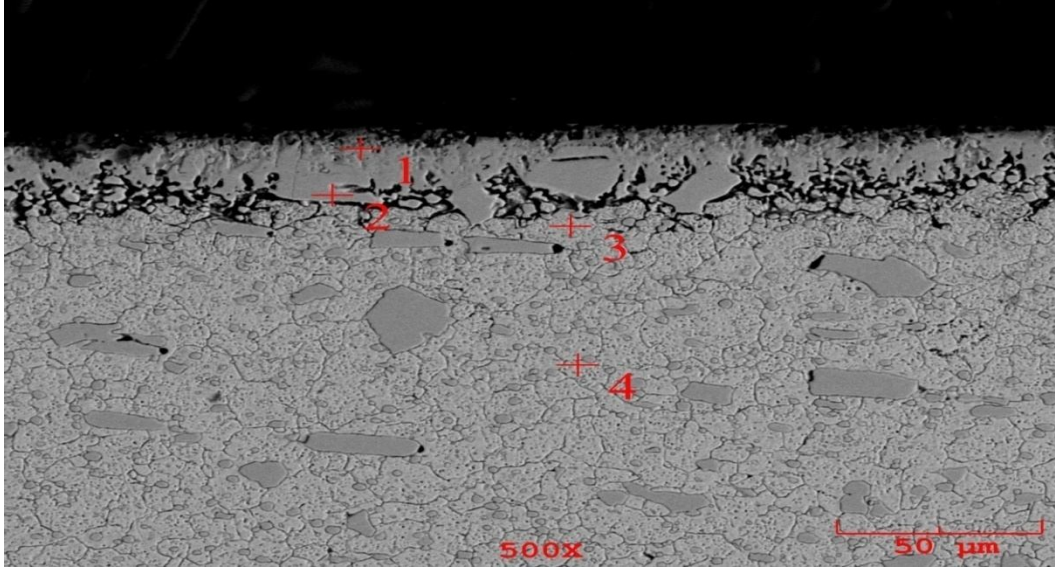
Şekil 7.10. 950 °C sıcaklıkta 1 saat Borlanan ve ardından 1050 °C sıcaklıkta 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



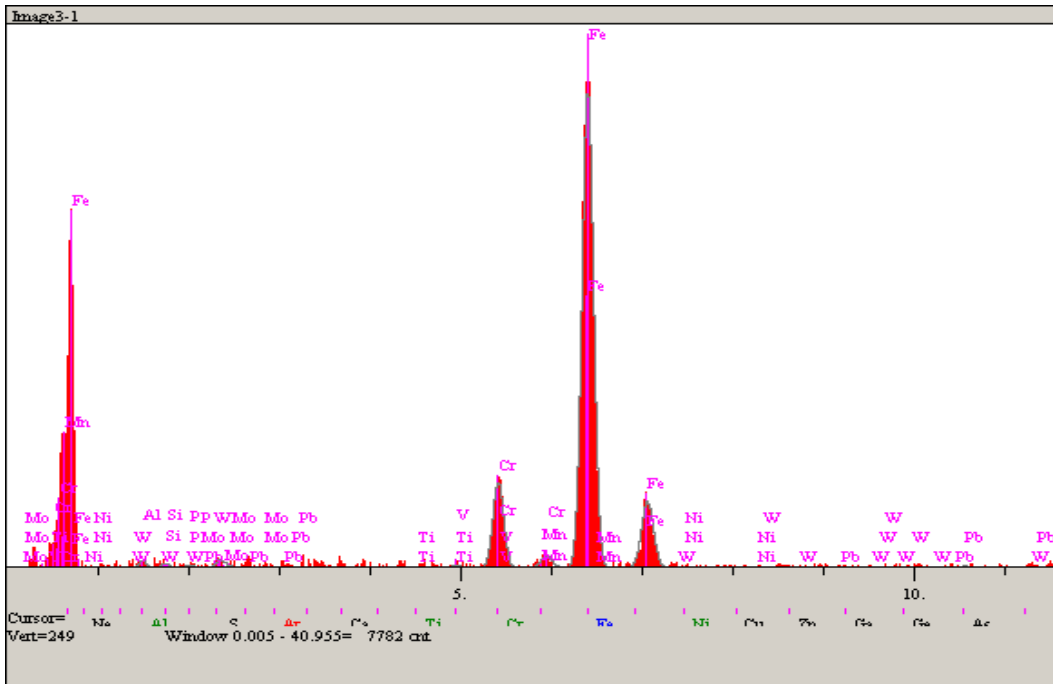
Şekil 7.11. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat borlanan AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



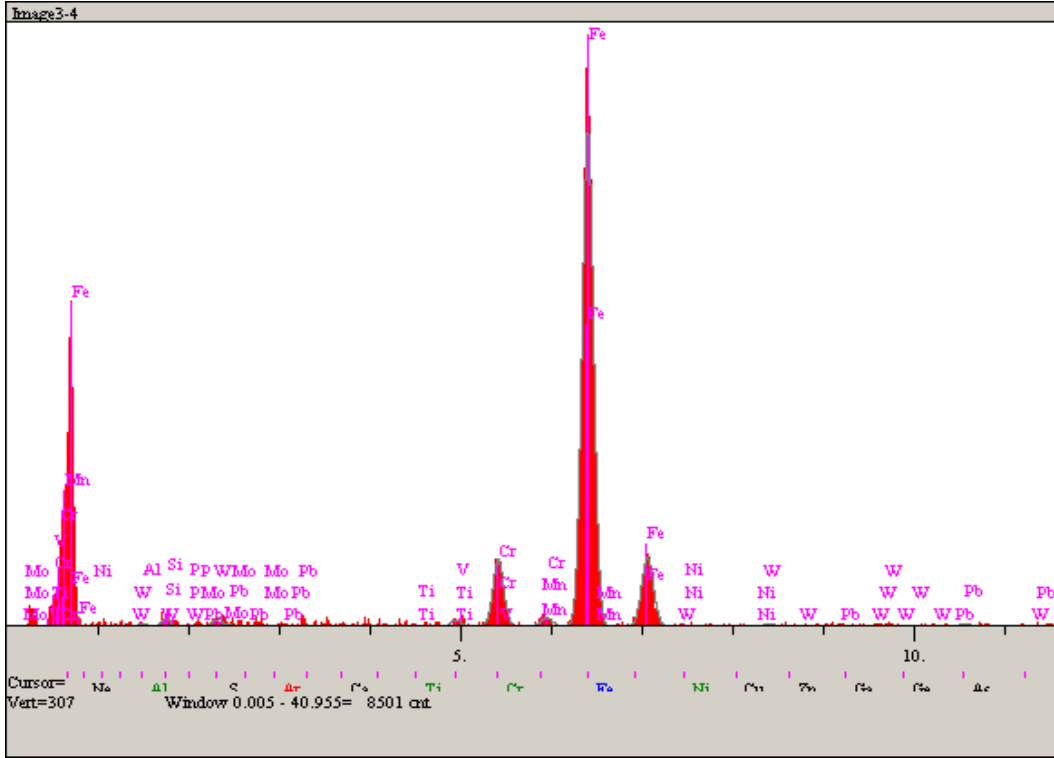
Şekil 7.12. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat Borlanan ve ardından 1050 °C sıcaklıkta 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



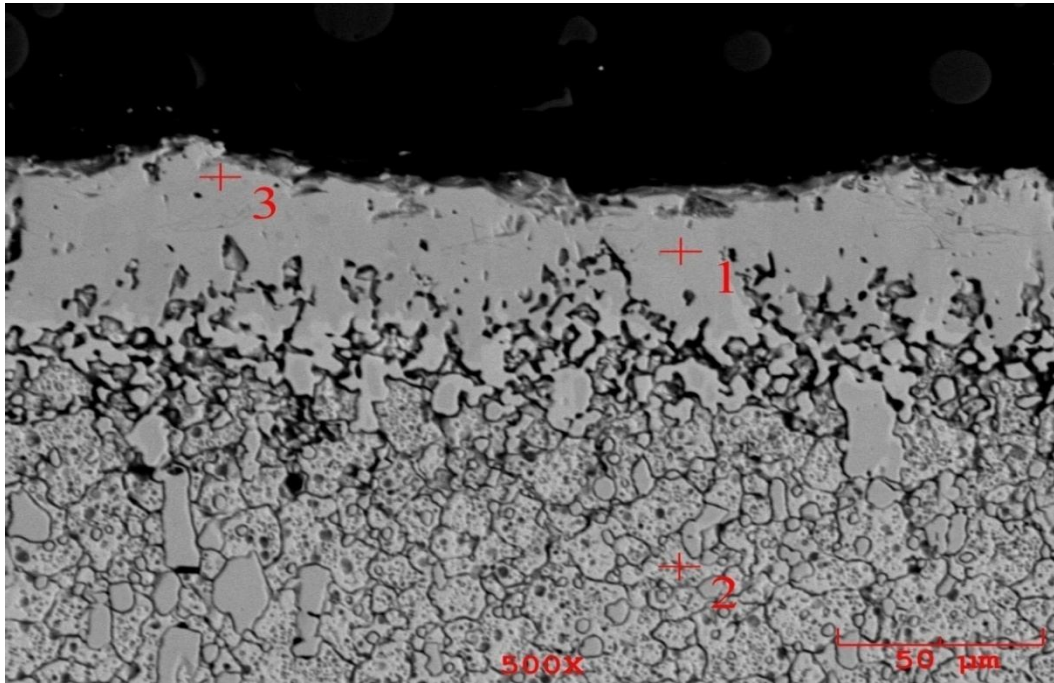
Şekil 7.13. 950 °C' de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler



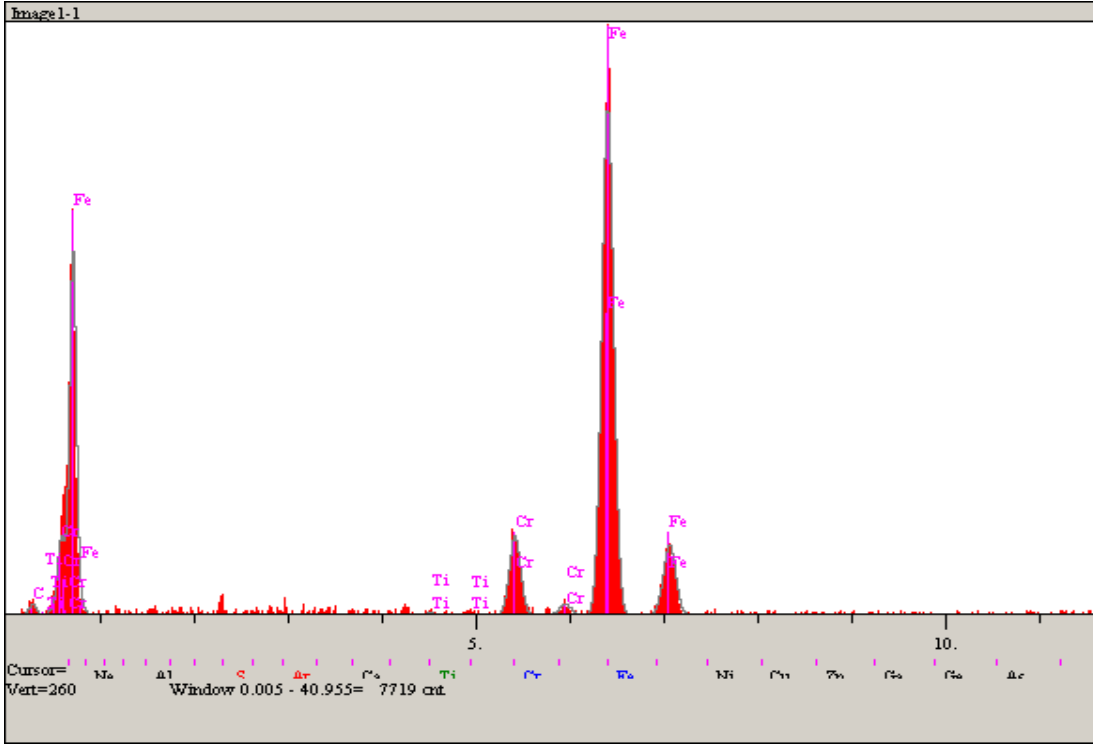
Şekil 7.14. 950 °C' de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. noktanın noktasal analiz diyagramı



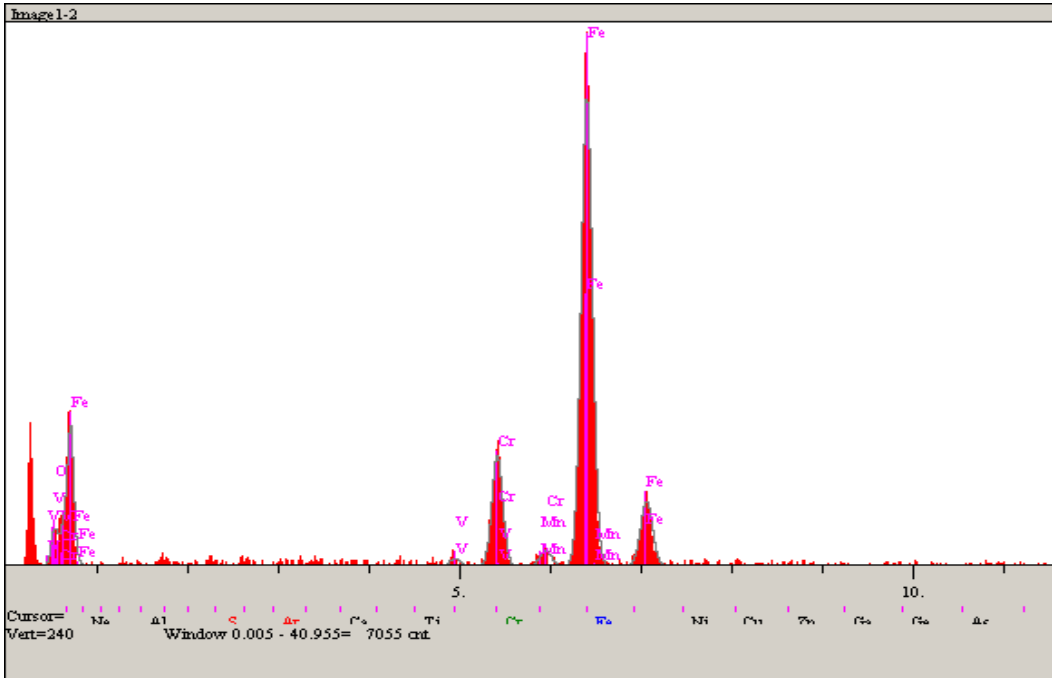
Şekil 7.17. 950 °C' de 1 saat süre ile borlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 4. noktanın noktasal analiz diyagramı



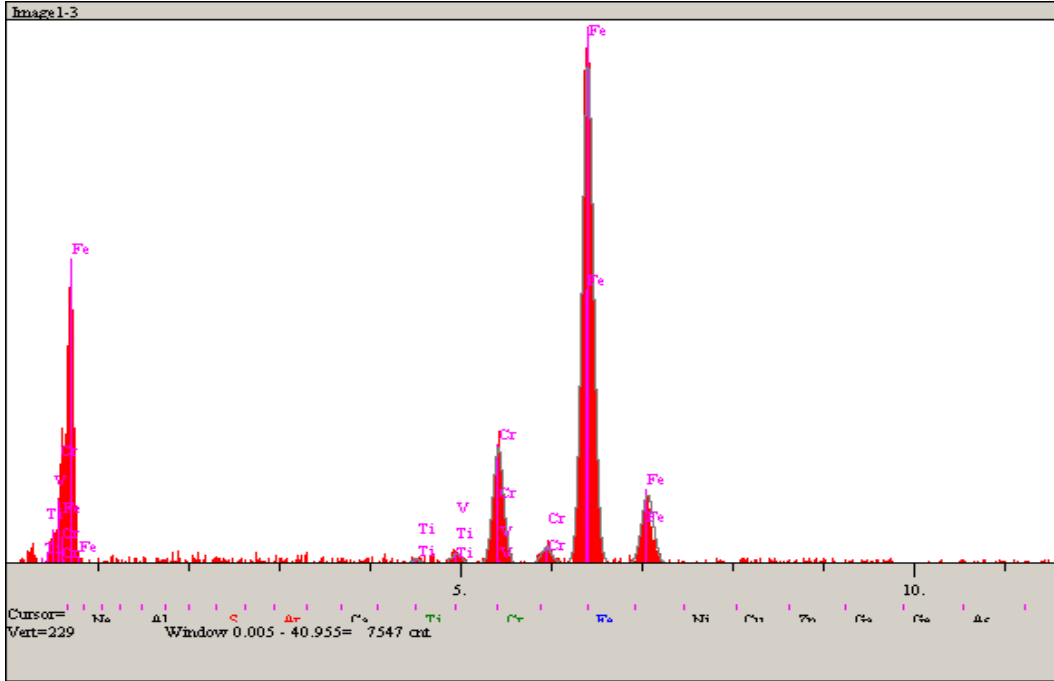
Şekil 7.18. 950 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler



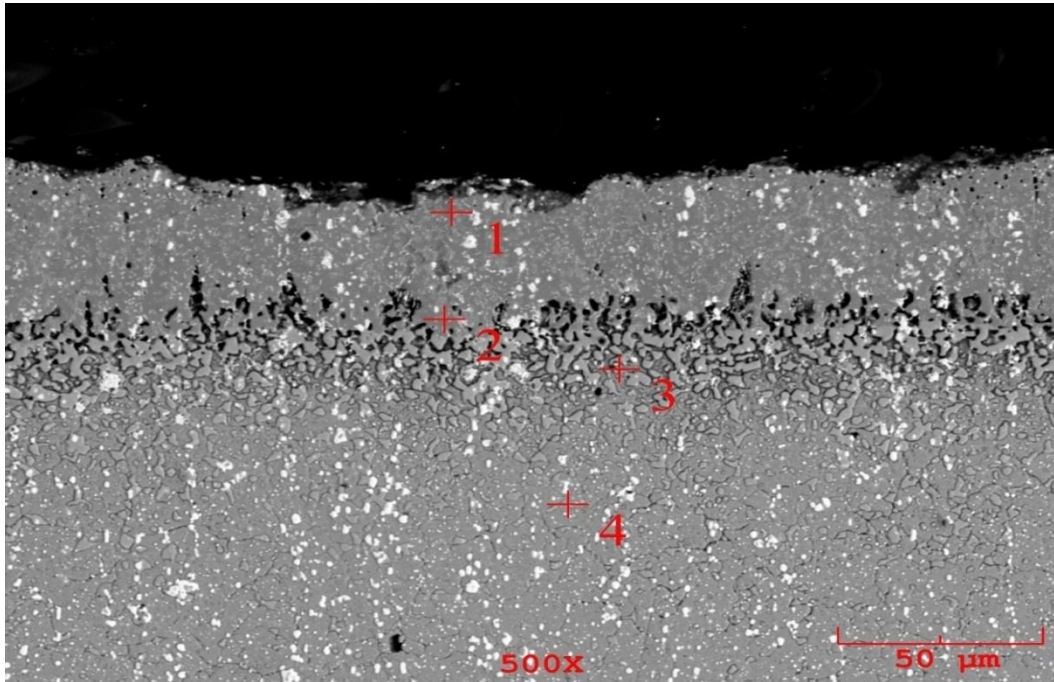
Şekil 7.19. 950 °C’ de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. noktanın noktasal analiz diyagramı



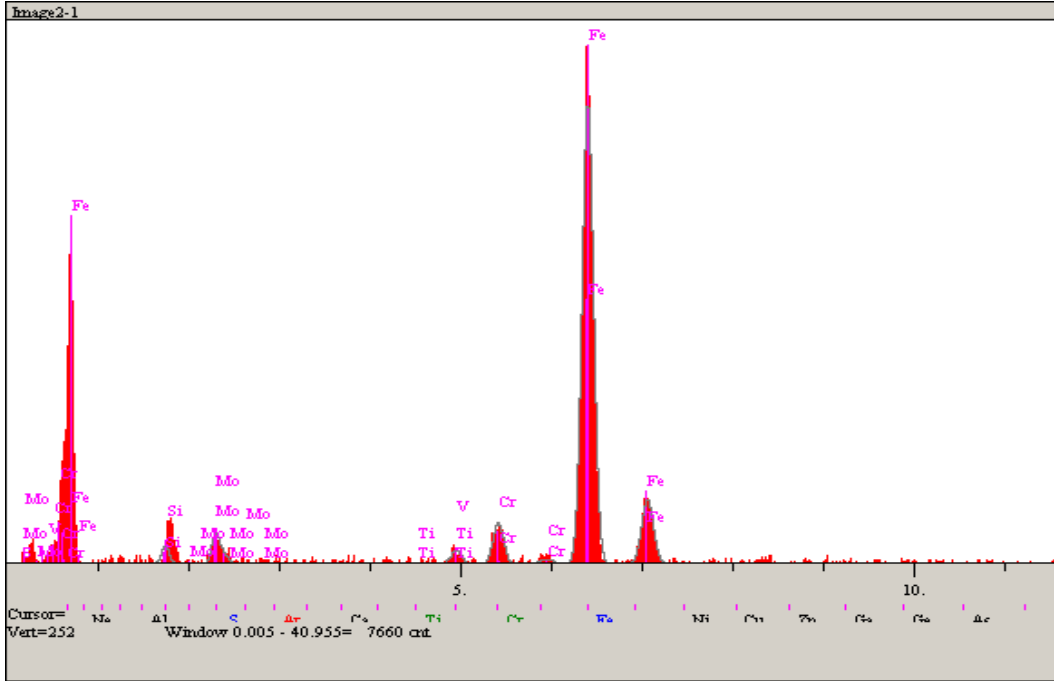
Şekil 7.20. 950 °C’ de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 2. noktanın noktasal analiz diyagramı



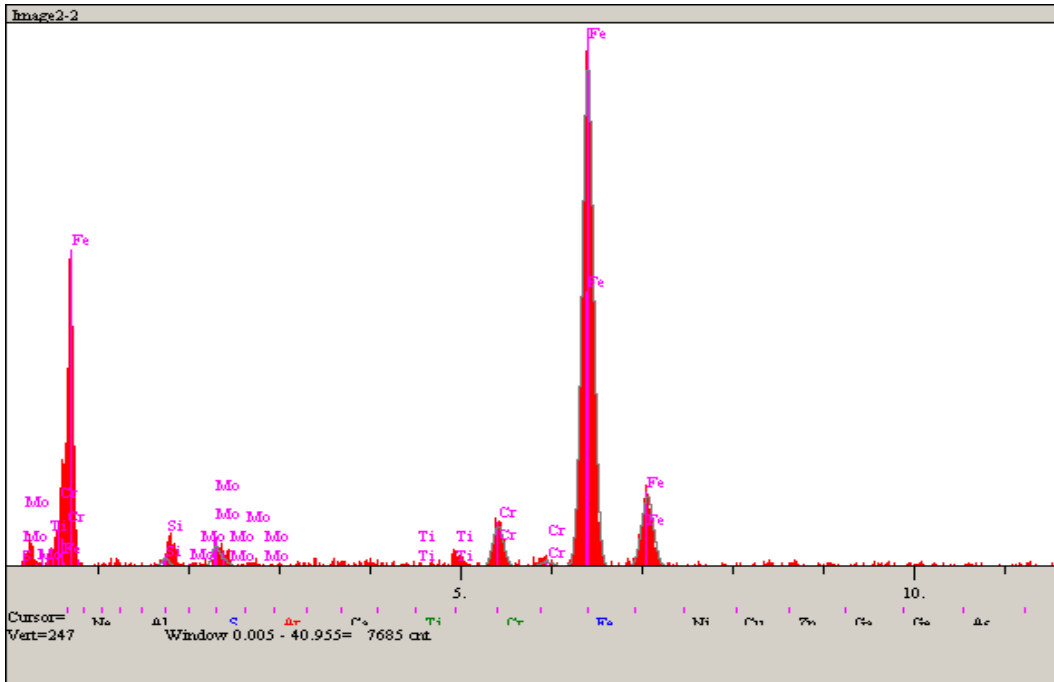
Şekil 7.21. 950 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI D2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı



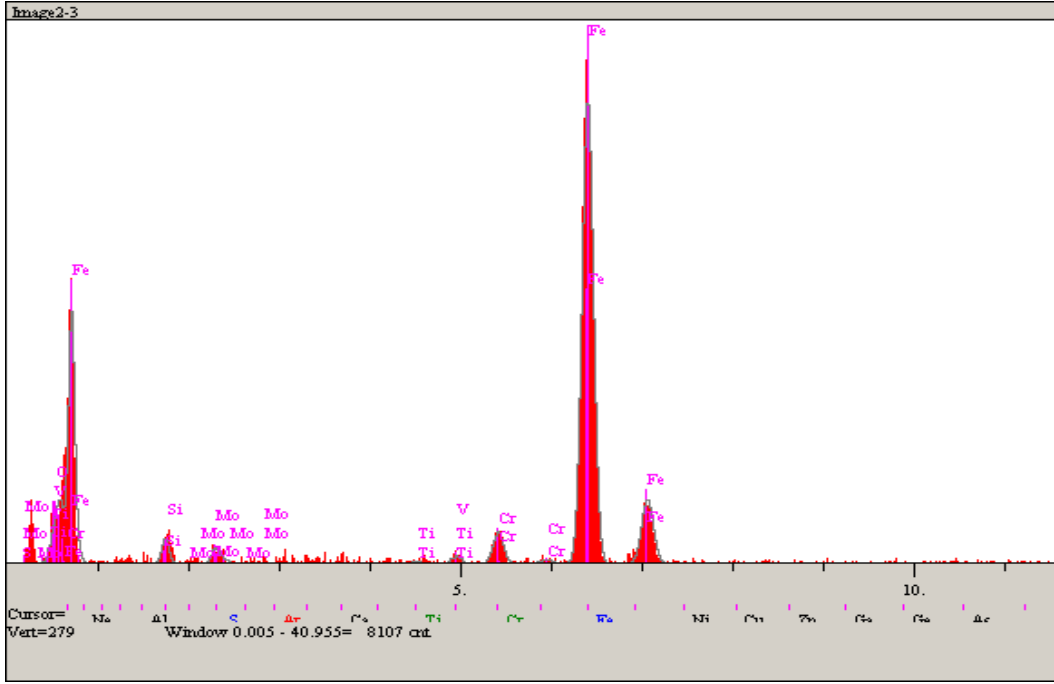
Şekil 7.22. 1000 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından Titanyumlanan 1050 °C' de 1 saat AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz alınan bölgeler



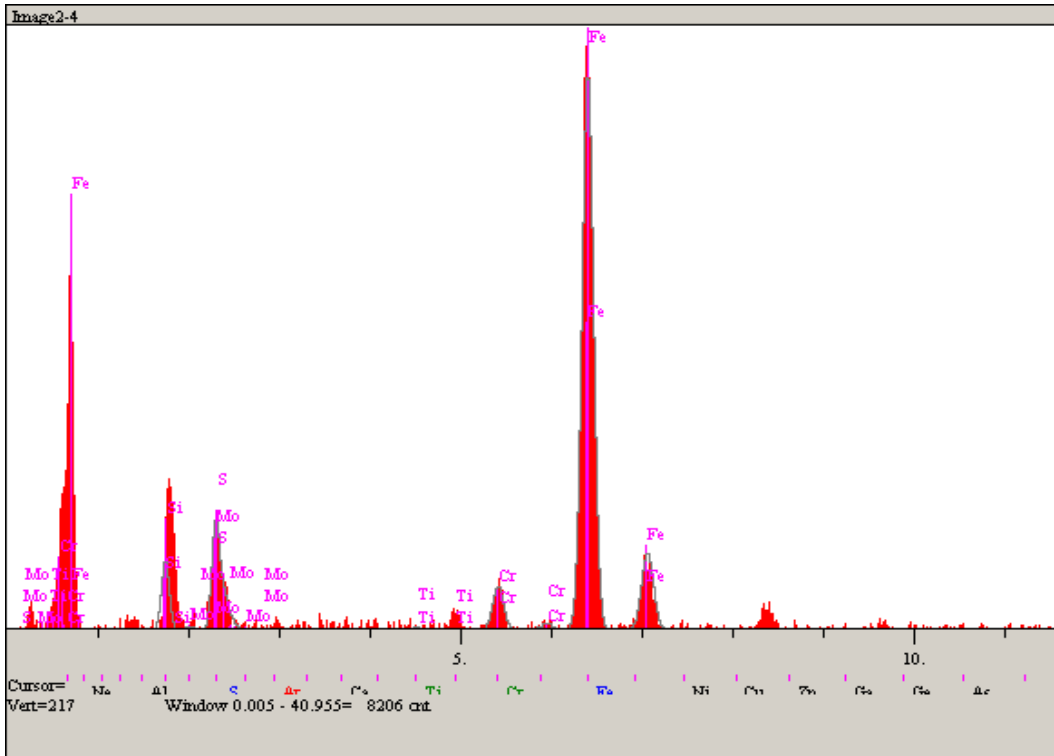
Şekil 7.23. 1000 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 1. noktanın noktasal analiz diyagramı



Şekil 7.24. 1000 °C' de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C' de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 2. noktanın noktasal analiz diyagramı



Şekil 7.25. 1000 °C’ de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C’ de Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı



Şekil 7.26. 1000 °C’ de 1 saat süre ile Borlanan ardından 1050 °C’ de 1 saat Titanyumlanan AISI M2 çelik numunenin SEM mikroyapı görüntüsü üzerinden alınan 3. noktanın noktasal analiz diyagramı

7.6. Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri borlanan ve titanyumlanan numunelerin yüzey sertliği, kırılma tokluğu, ve aşınma gibi mekanik özelliklerine etkisinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir. Sertlik ölçümleri kaplanan numunelerin yüzeyine dik doğrultuda ilerleyerek gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 6.6' da verilmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek sertliğe sahip numunelerin titanyum ile kaplanan, sonra borlanan, daha sonra da ısıt işlem uygulanan numuneler şeklinde sıralandığı görülmektedir.

D2 ve M2 çeliklerinin sertlik ölçümleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında Borlama işlemi sonunda, işlem görmemiş çeliğe göre 5,7 kat, Borlama ve Titanyumlama işlemi sonrasında 8 kat, sertleştirme işlemi sonucunda ise 2 kat daha fazla sertliğe ulaştıkları görülmektedir.

Tablo 6.6. Sertlik ölçüm değerleri

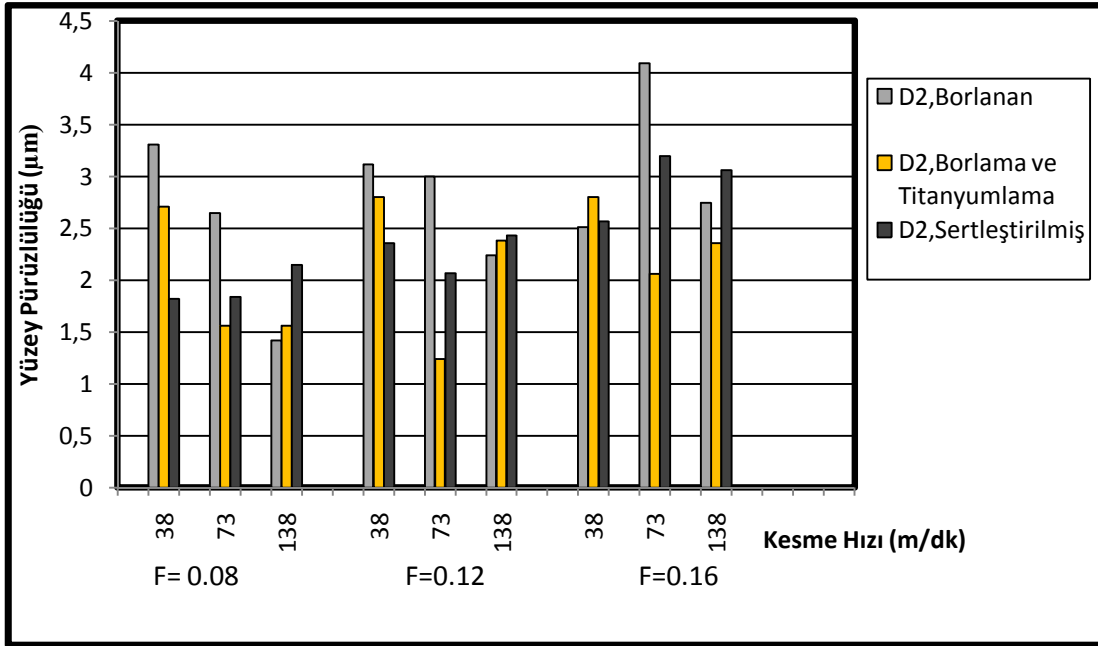
Çeliğin adı	Kaplama adı	Uygulanan yük(gr)	Ölçülen Tabaka Sertliği (Ortalama)	HV tabaka sertliği (Yaklaşık)
M2	Borlanmış	50	1860 HK	2000HV
	Borlama+titanvumlama	10	2646 HK	2900 HV
	Sertleştirilmiş		63 HRC	710 HV
	İşlem görmemiş	100	365 HV	365 HV
D2	Borlanmış	50	1442 HK	2000 HV
	Borlama+titanvumlama	50	2517 HK	2800 HV
	Sertleştirilmiş		60 HRC	690 HV
	İşlem görmemiş	100	335 HK	350 HV

7.7. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

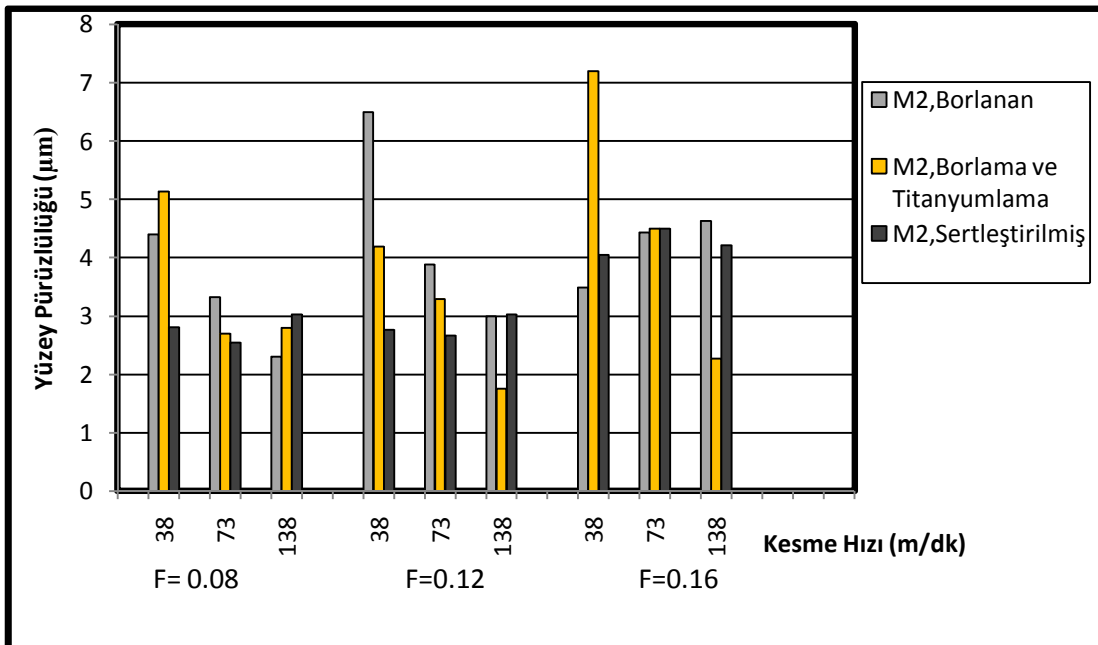
Bu çalışma da farklı kesme hızı değerleri ve değişken ilerleme hızı değerlerinde deneyler yapılmıştır. Borlanmış, Borlanmış ve Titanyumlanmış , Sertleştirilmiş kesici takımlar ile torna tezgahında 0,08-0,12-0,16 mm/dev. ilerlemelerde ve her bir ilerleme değeri için 38- 73- 138 m/dk. kesme hızlarında otomat çeliği işlenmiş ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Şekiller incelendiğinde, kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü üzerine etki etmektedir. Grafikler incelendiğinde genel olarak kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma görülmektedir. Burada dikkat çekici nokta kesme hızının artması ile bazı grafiklerde yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerindeki bu artışların, yüksek kesme hızlarında takım aşınmasından kaynaklanan bir durum olduğu düşünülmektedir.

Talaş kaldırma işlemi 49 mm çapında, 200 mm boyundaki otomat çeliği üzerinde 0,25 mm talaş derinliği ile yapılmış olup, yüzey pürüzlülüğü ilk 40 mm de ölçülmüştür.

Şekil 7.27 ve Şekil 7.28’ de $V= 38-73-138$ m/dk. kesme hızında, $F= 0.08$ mm/dev. İlerleme ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında oluşan Kesme hızı- Yüzey pürüzlülüğü grafiği görülmektedir. Bu iki grafik incelendiğinde kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı söylenebilir. M2 kesici takımı ile işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü D2 kesici takımı işe işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğünden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi kaplanan M2 çeliğinin D2 çeliğine göre daha çabuk aşındığı yada M2’ deki çelikte oluşan kılcal çatlaklar sonucunda, kesici üzerine gelen mekanik yüklerin etkisiyle de aşınmaların hızlandığı düşünülmektedir.



Şekil 7.27. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C 'de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan , Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev. ilerlemede, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü değişimi

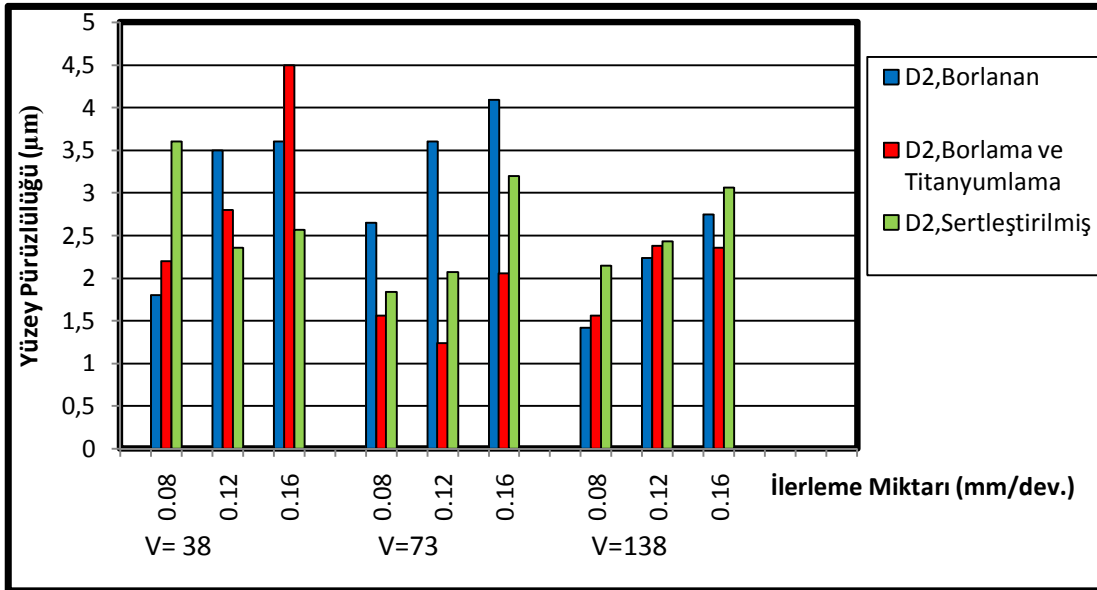


Şekil 7. 28. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C 'de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan , Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev. ilerlemede, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü değişimi

7.8. İlerleme Miktarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Şekiller incelendiğinde; sabit kesme hızlarında 38- 73-138 m/dk. ve her bir kesme hızı için 0.08-0.12-0,16 mm/dev farklı ilerleme değerlerinde üretilmiş olan otomat çelikleri nin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı görülmüştür. Başka bir ifade ile ilerleme ile yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak değişmektedir. Bunun nedeni, ilerleme miktarı arttıkça kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artması nedeniyle pürüzlülük değeri de artmaktadır [10].

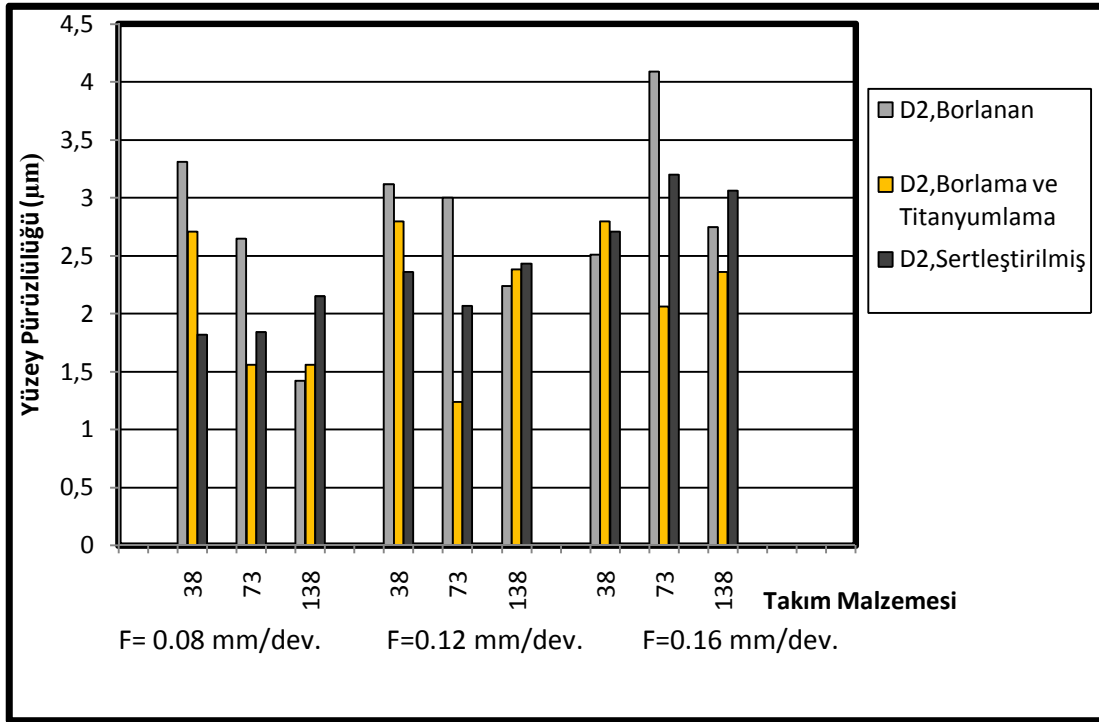
Bu durum literatür [10] ile paralellik taşımaktadır. Tüm deneylerde ilerleme değerinin artışı ile işlenmiş yüzeyde çukur ve tepe değerleri arasındaki mesafe artacağından, elde edilen ortalama pürüzlülük değeri de (Ra) artmıştır [29]. İşleme esnasında otomat çeliğinde kırık talaş oluşumu gözlenmiştir. Bunun sebebi otomat çeliği bileşiminde bulunan kurşun miktarının fazla olması kırık talaş çıkmasına neden olmaktadır.



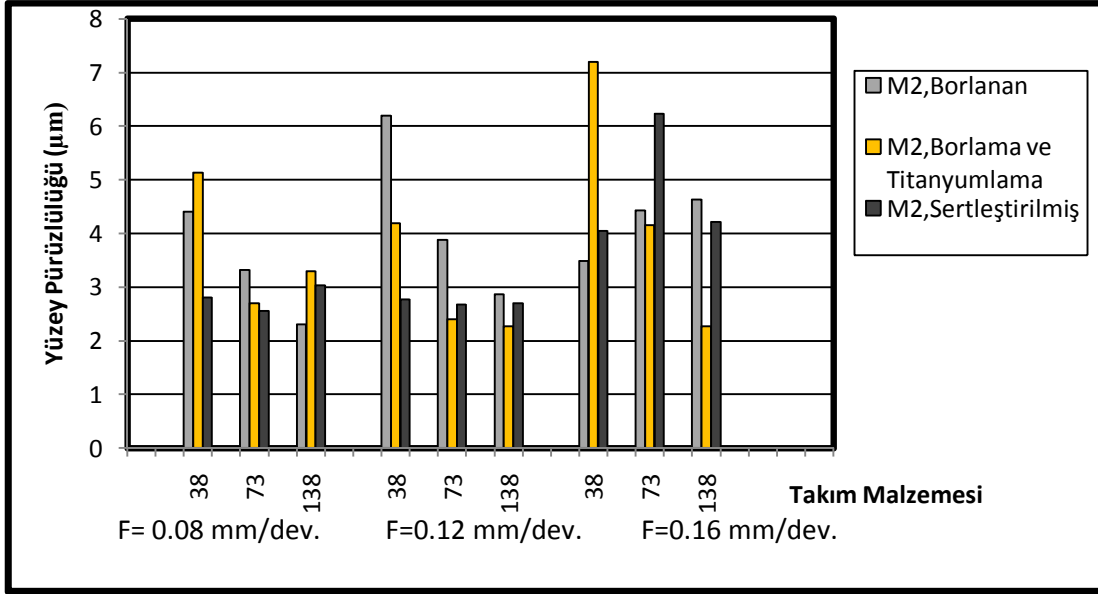
Şekil 7.29. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C 'de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan ve Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V=38-73-138 m/dk. kesme hızında, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki İlerleme-Yüzey pürüzlülüğü değişimi

7.9. Takım Malzemesinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Şekil 7.30 ve Şekil 7.31’deki grafikler incelendiğinde kesme deneyine tabi tutulan üç farklı işlemlili yüzey’in (borlanmış, borlanmış ve titanyumlanmış, sertleştirilmiş) iş parçası üzerindeki yüzey pürüzlülüğü etkileri görülmektedir. Yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sonucunda, en fazla pürüzlü yüzeyin Borlanmış takım ile işlenen yüzey olduğu, en az yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeyinde borlama ve titanyumlama işlemine tabi tutulan takımlarla yapılan kesmede oluşan yüzey olduğu görülmüştür.



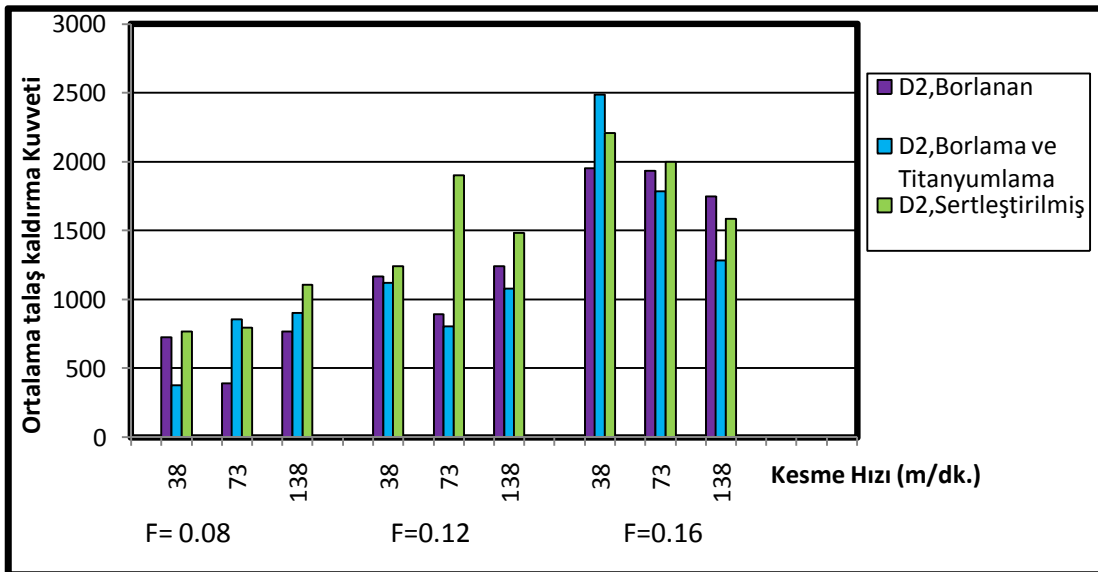
Şekil 7.30. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0,16 mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Takım-yüzey pürüzlülüğü değişimi



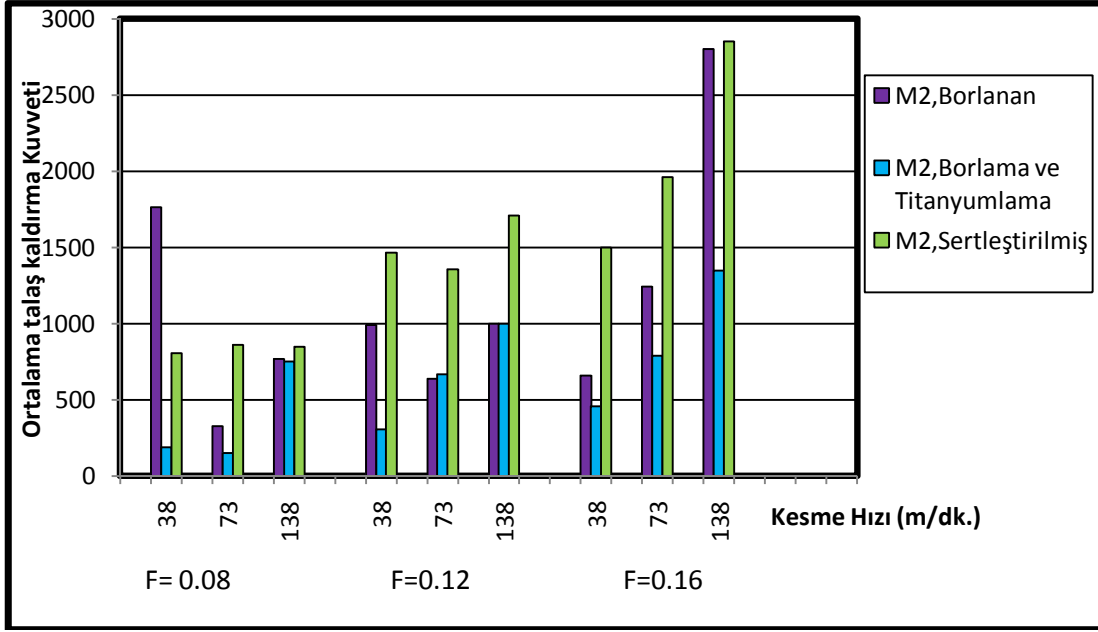
Şekil 7.31. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan, 1050 °C de 1 saat TiN kaplı ve ısıl işlem görmüş AISI M2 kesici uç ile V=38-73-138m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.'de , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki Takım-yüzey pürüzlülüğü

7.10. Kesme Hızının Ortalama Talaş Kaldırma Kuvvetine Etkisi

Şekil 7.32 ve Şekil 7.33 incelendiğinde kesme hızı ve ilerleme hızının artması ile kesici uçta oluşan ortalama talaş kaldırma kuvvetinin de arttığı görülmüştür



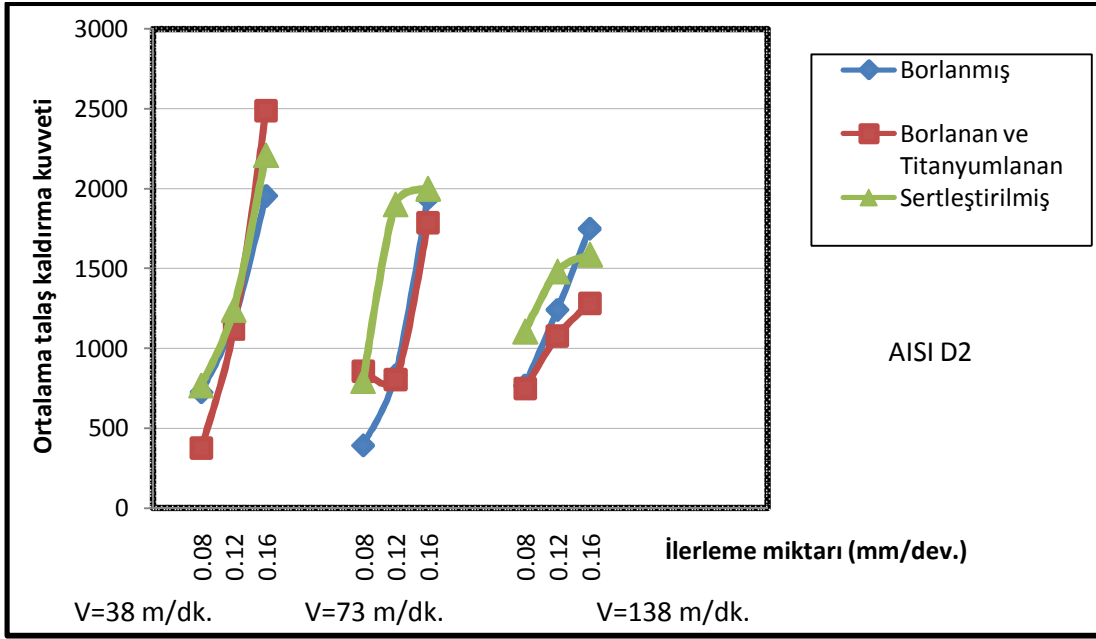
Şekil 7.32. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan ve Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile F= 0.08-0.12-0.16mm/dev. ilerlemede , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki kesme hızı-ortalama talaş kaldırma kuvveti değişim



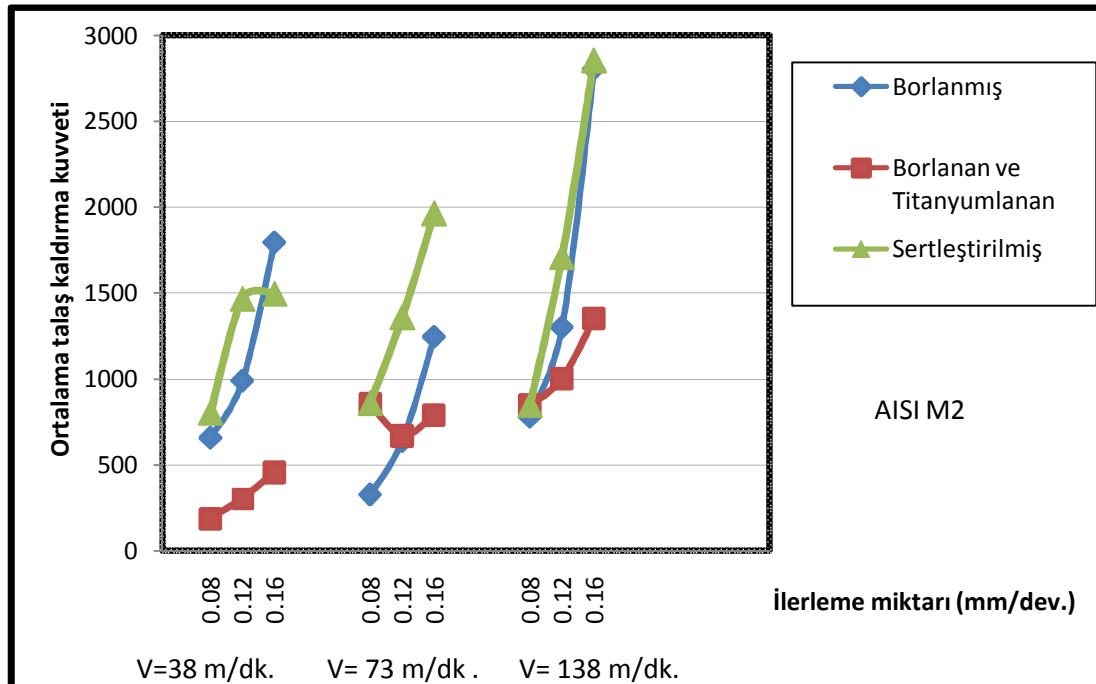
Şekil 7.33. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile F=0.08- 0.12- 0.16 mm/dev. ilerlemede , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki kesme hızı-ortalama talaş kaldırma kuvveti değişimi

7.11. İlerleme Miktarının Talaş kaldırma Kuvvetine Etkisi

Şekil 7.34 ve Şekil 7.35' de, üç farklı kesme hızlarında (V=38, 73, 138 m/dk.) ve üç farklı ilerlemede (F= 0.08-0.12-0,16 mm/dev.) otomat çeliğinden talaş kaldırma esnasında kesici takımda oluşan İlerleme miktarı- ortalama talaş kaldırma kuvveti görülmektedir. Yapılan kesme deneyleri sonucunda ilerleme miktarı arttıkça kesici takıma gelen ortalama talaş kaldırma kuvvetinin de arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ilerlemenin artması ile birlikte kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artmasından dolayı kesici takıma gelen talaş kaldırma kuvvetinin de arttığı düşünülmektedir.



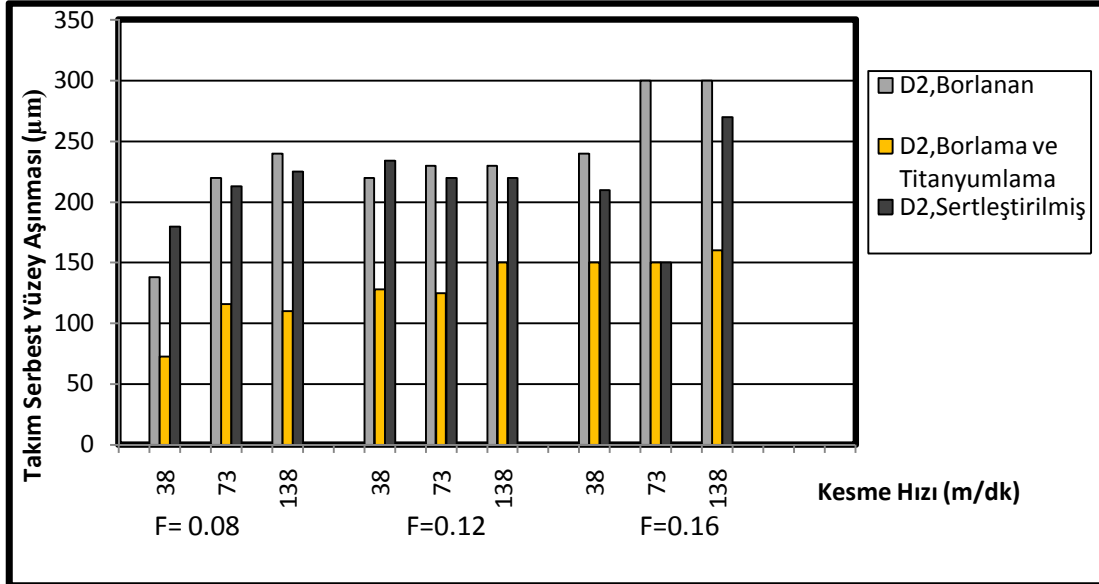
Şekil 7.34. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan , Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V=38-73-138 m/dk. 'da , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki İlerleme-Ortalama talaş kaldırma kuvveti değişimi



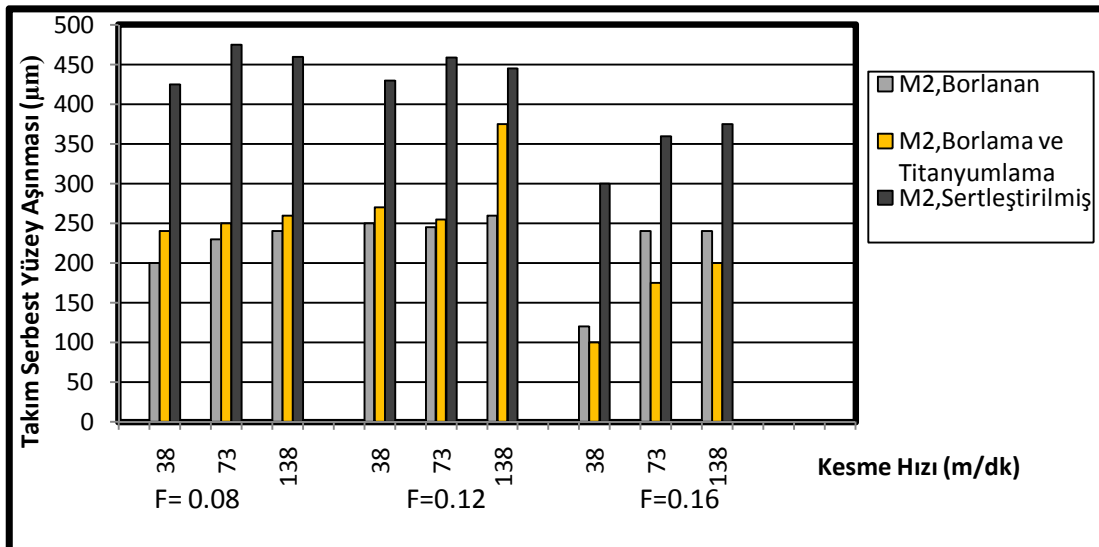
Şekil 7.35. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve Titanyumlanan Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk. 'da , 0,25 mm talaş derinliğinde işlenen otomat çeliğindeki ilerleme-ortalama talaş kaldırma kuvveti değişim

7.12. Kesme Hızının Aşınma Üzerindeki Etkisi

Bu çalışmada farklı kesme hızı değerlerinde ve değişen ilerleme hızı değerlerinde yapılan kesme deneylerinin sonuçları Şekil 7.36 ve Şekil 7.37’ de verilmiştir. Grafiklerde kesme hızının artması ile birlikte aşınmanın da arttığı görülmektedir.



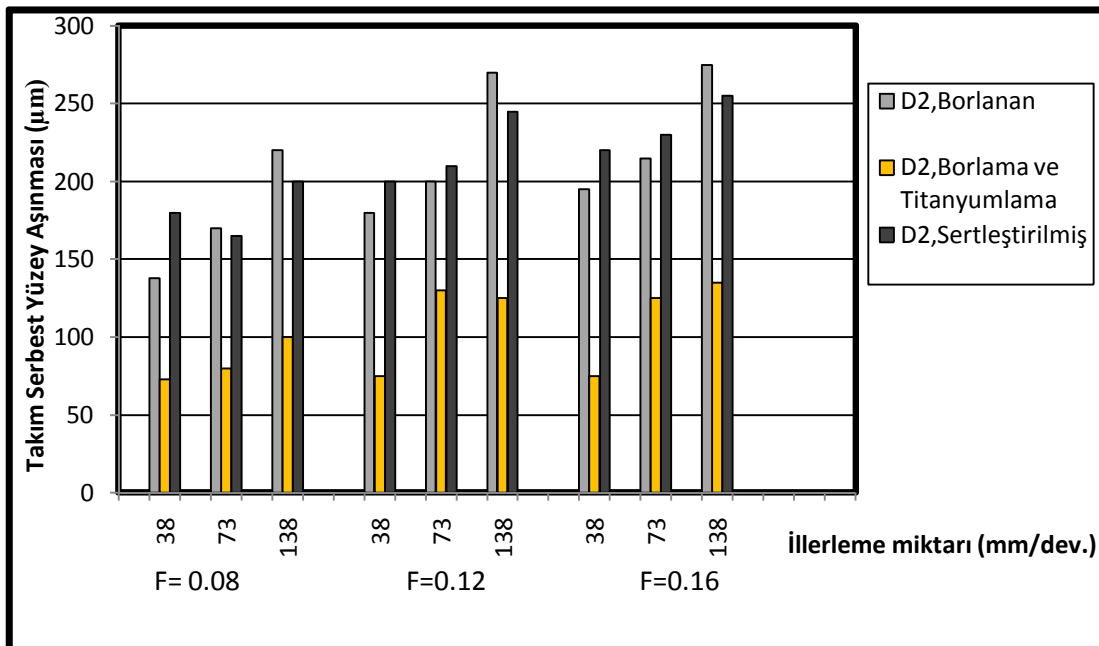
Şekil 7.36. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk.’ da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.’de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımda meydana gelen Kesme hızı –Aşınma değişimi



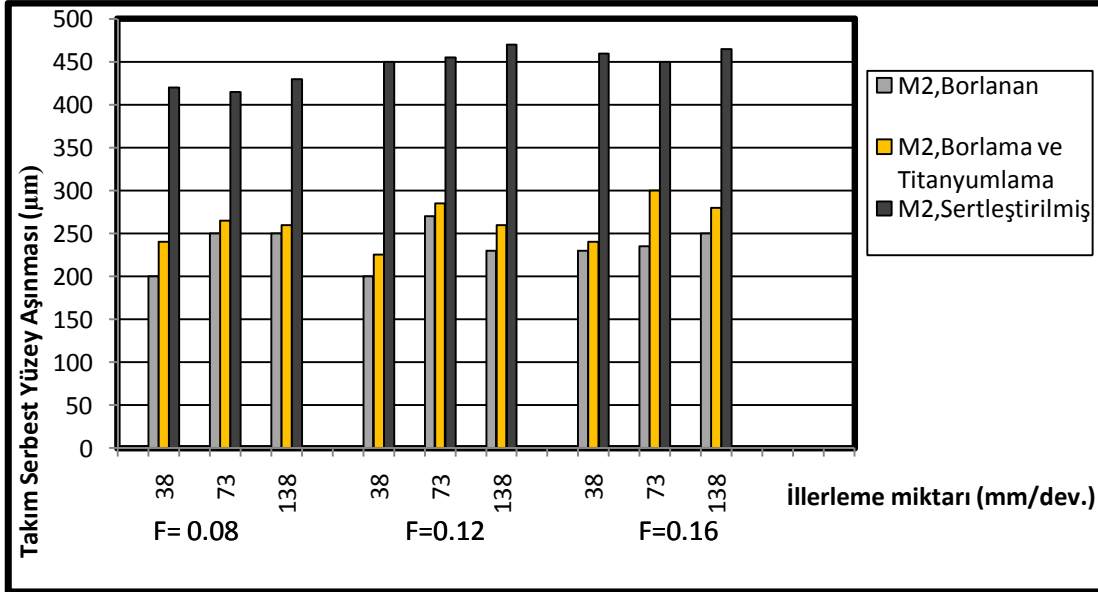
Şekil 7.37. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile V= 38-73-138m/dk.’ da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.’de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımda meydana gelen Kesme hızı –Aşınma değişimi

7.13. İlerleme Miktarının Aşınma Üzerindeki Etkisi

Şekil 7.38 ve Şekil 7.39 incelendiğinde; sabit kesme hızlarında 38, 73, 138 m/dk ve her bir kesme hızı için 0,08-0,12-0,16 mm/dev farklı ilerleme değerlerinde üretilmiş olan otomat çeliklerin aşındırdığı kesici takımların aşınan kenarları incelendiğinde kesme hızı ve ilerleme iktarı arttıkça kesici takımlarda meydana gelen aşınmalarında arttığı görülmüştür. Yapılan testlerde ayrıca en az aşınan takımın borlanmış+titanyumlanmış takım, en çok aşınan takımın da ısıl işlem görmüş takım olduğu görülmüştür.



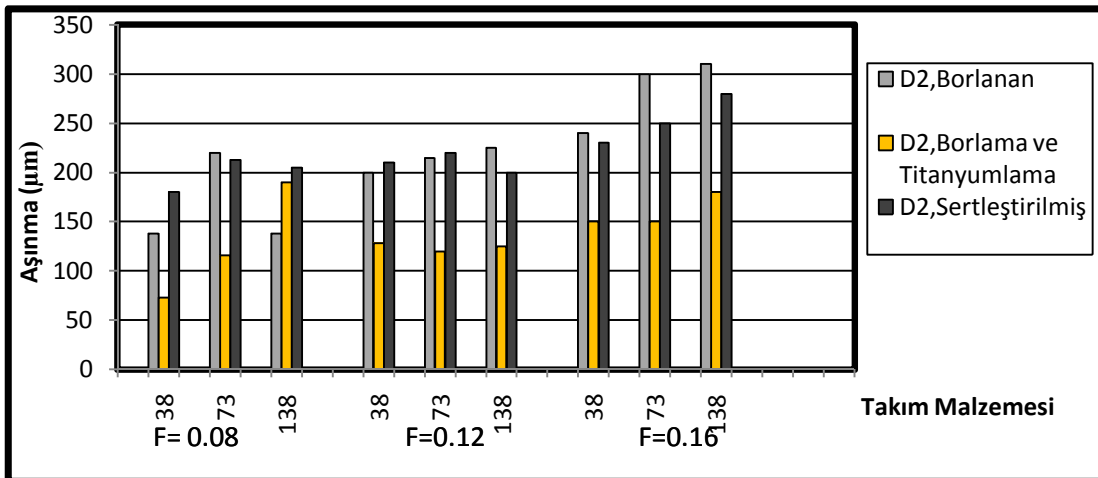
Şekil 7.38. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanmış, 1050 °C de 1 saat Borlanmış ve ardından Titanyumlanmış, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.' de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımda meydana gelen İllerleme Miktarı –Aşınma değişimi



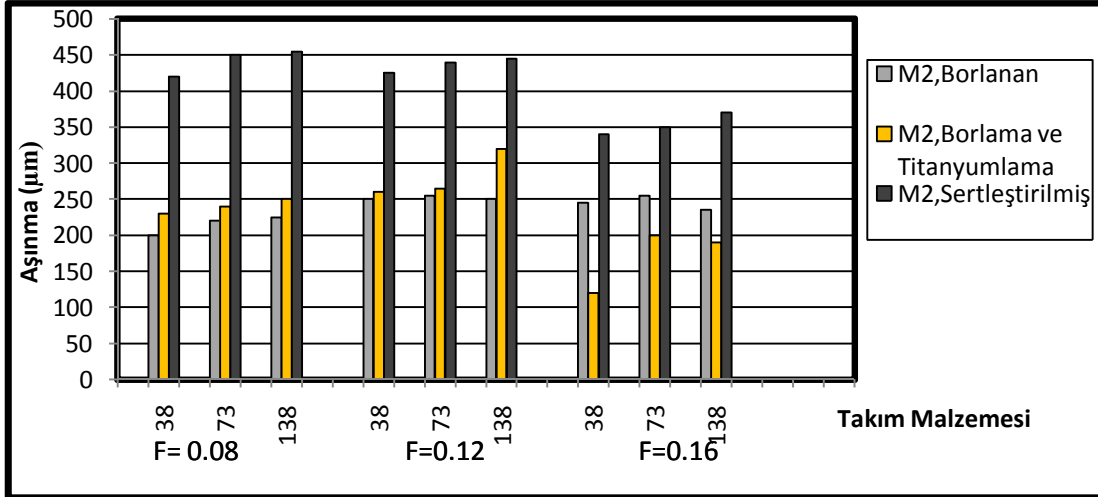
Şekil 7.39. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile V= 38-73-138m/dk. 'da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen İlerleme Miktarı –Aşınma değişimi

7.14. Takım Malzemesinin Aşınmaya Etkisi

Şekil 7.40' a göre torna tezgahının kesme hızına , ilerleme hızına ve kaplama cinsine bağlı olarak en az aşınan takımım borlanan+titanyumlanan takım, daha sonra en az aşınan takımın borlanan takım olduğu ve en çok aşınan takımın da sadece ısıl işleme tabi tutulmuş takım olduğu görülmektedir



Şekil 7.40. 950 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI D2 kesici uç ile V= 38-73-138 m/dk.' da , F= 0.08-0.12-0.16 mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımında meydana gelen Takım –Aşınma değişimi



Şekil 7.41. 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Borlanan, 1050 °C de 1 saat Borlanan ve ardından Titanyumlanan, Sertleştirilmiş AISI M2 kesici uç ile $V= 38-73-138$ m/dk. 'da , $F= 0.08-0.12-0.16$ mm/dev.'de, 0,25 mm talaş derinliğinde otomat çeliğinin işlenmesi sonucu kesici takımda meydana gelen Takım –Aşınma değişimi

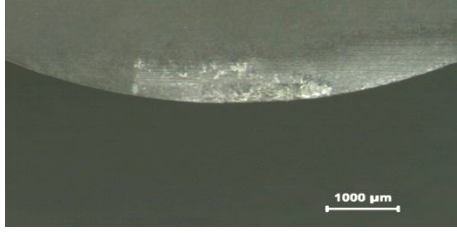
7.15. Takım Serbest Yüzey Aşınması

AISI D2 ve AISI M2 çeliğinden üretilen ve borlama işlemi, borlama ve titanyumlama işlemi, sertleştirme işlemi uygulanan kesici takımlarla torna tezgahında 200 mm boyunda otomat çeliği işlenmesi sonucunda kesici takımların talaş ve serbest yüzeylerinde meydana gelen aşınmaların fotoğrafları verilmiştir. (Şekil 7.43- Şekil 7.61). Talaş kaldırma sırasında üç farklı kesme hızı $V= 38-73-138$ m/dk. üç farklı ilerleme miktarı $V= 0.08- 0.12- 0.16$ mm/dev. kullanılmıştır.

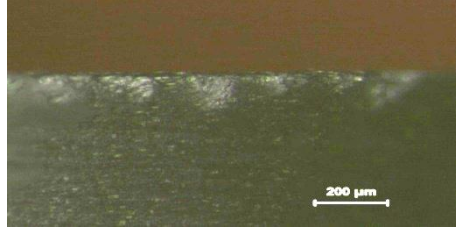
Kesme işlemi sonrasında kesici takımların serbest yüzeylerinde oluşan aşınmalar ölçülmüştür. Ölçüm işlemi sonunda takımların serbest yüzeylerindeki en yüksek aşınma dikkate alınmıştır. (Şekil 7.42).



Şekil 7.42. Talaş kaldırma işlemi sonrasında kesici takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmalar

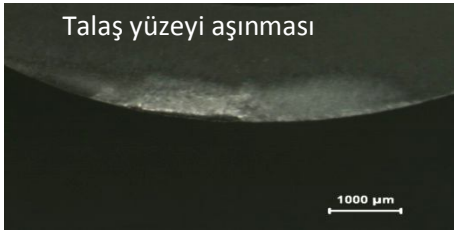


a)

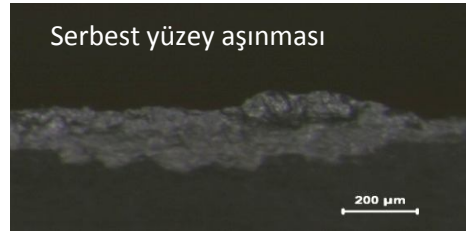


b)

Şekil 7.43. 950 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk. kesme hızında, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

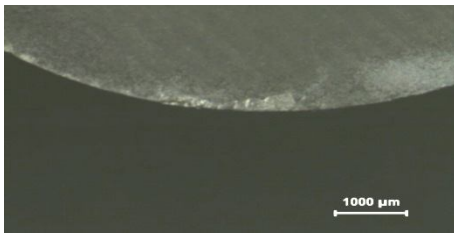


a)

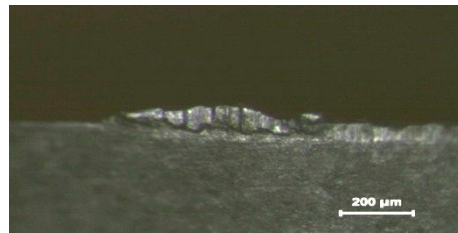


b)

Şekil 7.44. 950 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

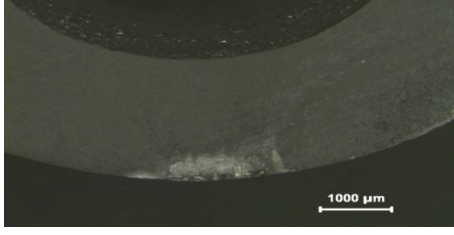


a)

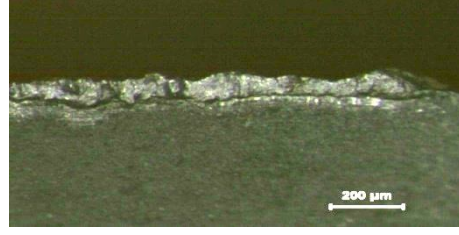


b)

Şekil 7.45. 950 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey



a)

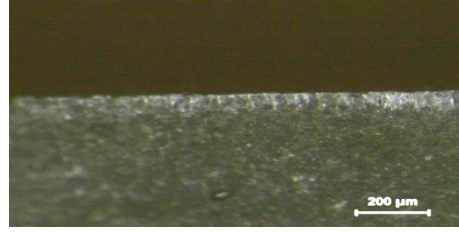


b)

Şekil 7.46. 950 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

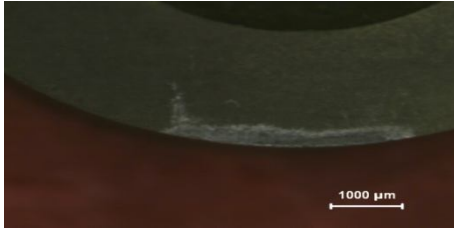


a)

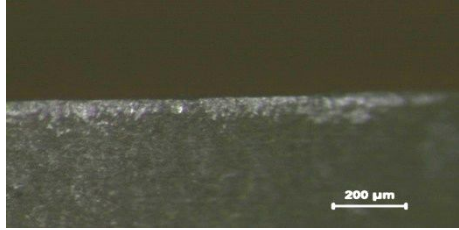


b)

Şekil 7.47. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk. kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey



a)

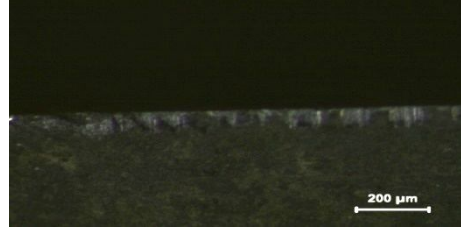


b)

Şekil 7.48. 1050 °C'de 1 saat süre Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

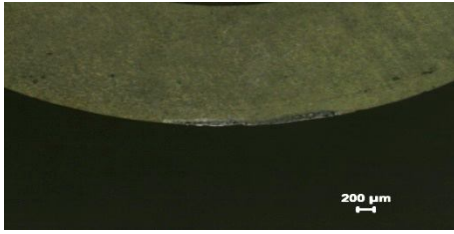


a)

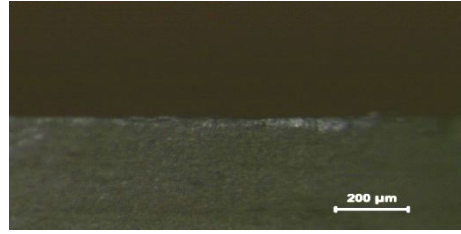


b)

Şekil 7.49. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile $V=138$ m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

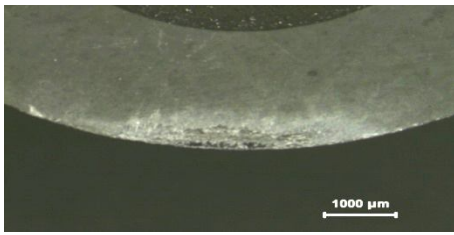


a)

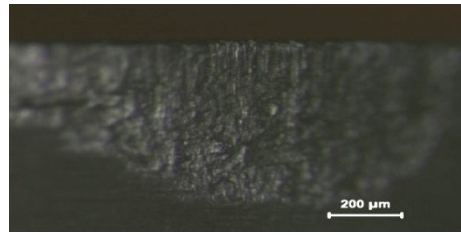


b)

Şekil 7.50. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI D2 kesici uç ile $V=138$ m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

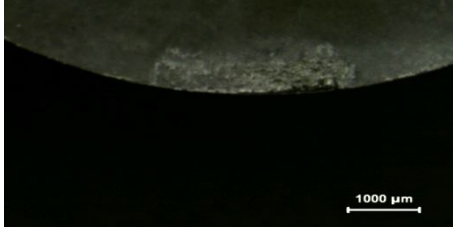


a)

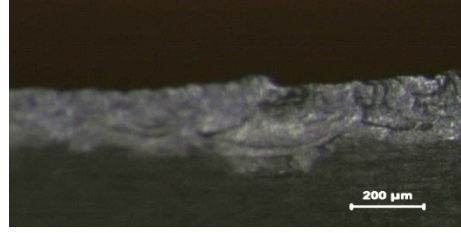


b)

Şekil 7.51. 1000 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V=38$ m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

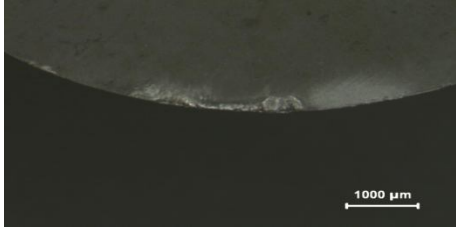


a)

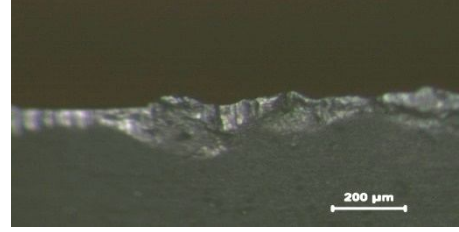


b)

Şekil 7.52. 1000 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 38$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

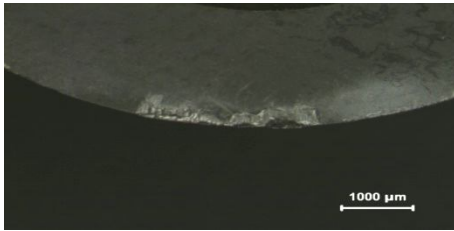


a)

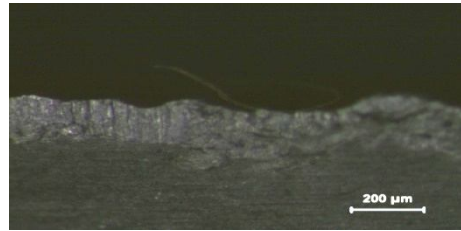


b)

Şekil 7.53. 1000 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

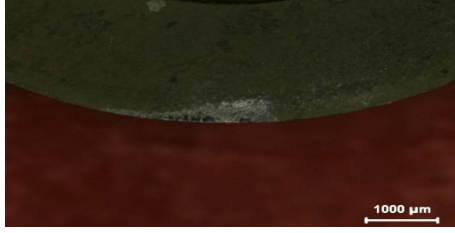


a)

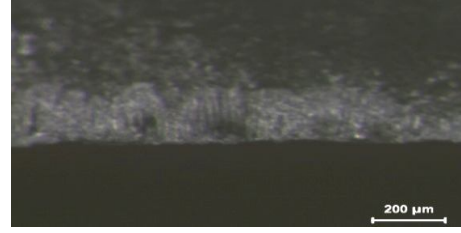


b)

Şekil 7.54. 1000 °C'de 1 saat süre ile borlanan, AISI M2 kesici uç ile $V= 138$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

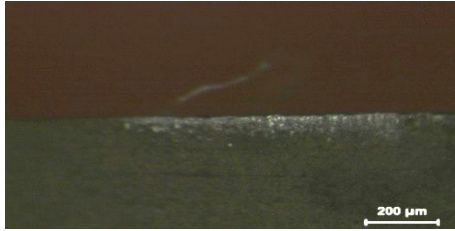


a)

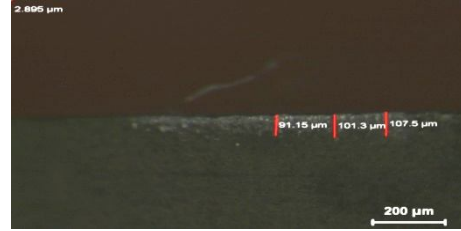


b)

Şekil 7.55. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI M2 kesici uç ile $V=38$ m/dk kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

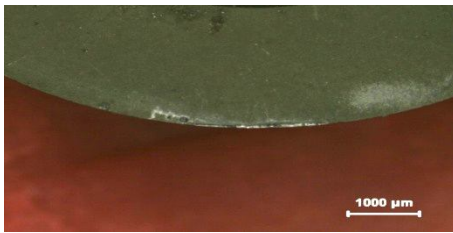


a)

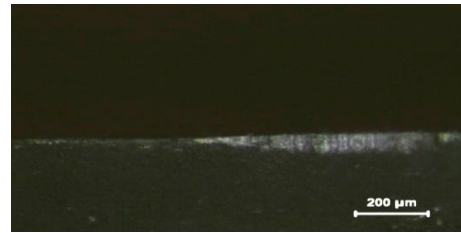


b)

Şekil 7.56. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI M2 kesici uç ile $V=38$ m/dk kesme hızında,, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey



a)

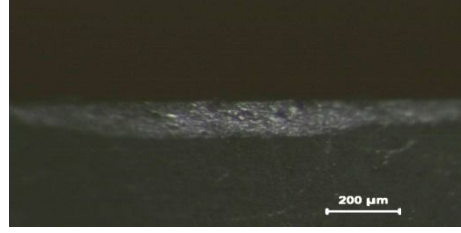


b)

Şekil 7.57. 1050 °C'de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan , AISI M2 kesici uç ile $V=138$ m/dk. kesme hızında,, 0,08 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

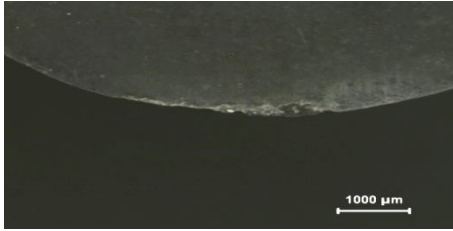


a)

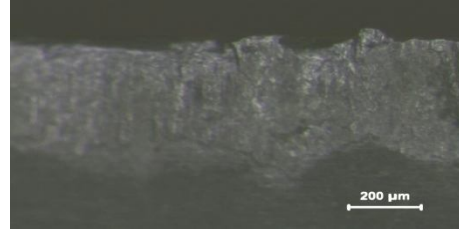


b)

Şekil 7.58. 1050 °C’de 1 saat süre ile Borlanan ve ardından Titanyumlanan, AISI M2 kesici uç ile $V=138$ m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. ilerlemede otomat çeliğinden 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

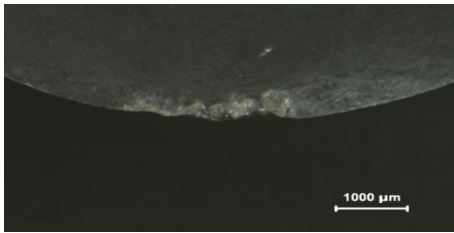


a)

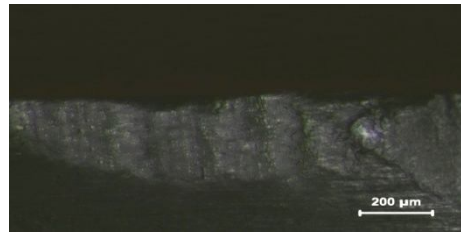


b)

Şekil 7.59. 1210 °C’de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 38 m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

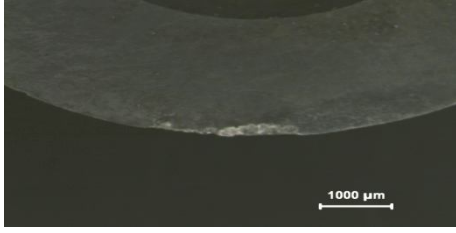


a)



b)

Şekil 7.60. 1210 °C’de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 38 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

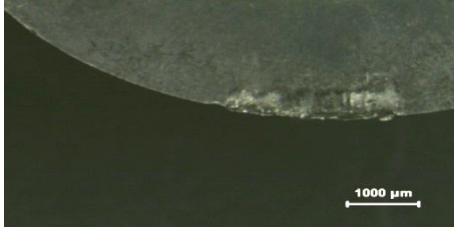


a)



b)

Şekil 7.61. 1210 °C'de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 138 m/dk kesme hızında, 0,08 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey



a)



b)

Şekil 7.62. 1210 °C'de 20 dk. süre ile Sertleştirilen 138 m/dk kesme hızında, 0,16 mm/dev. İlerlemede, 0,25 mm talaş derinliği ile 5 pasoda AISI M2 kesici uç ile otomat çeliğinden kaldırılan talaş sonrasında kesici uçta meydana gelen aşınma fotoğrafları (a) talaş yüzeyi, (b) serbest yüzey

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI D2 ve AISI M2 çeliklerinden üretilmiş torna kesici takımları ternokimyasal yöntemle önce borlandı, daha sonra borlanan takımlar titanyum ile reaksiyona sokuldu. D2 malzemeleri 950 °C sıcaklıkta 1 saat, M2 malzemeleri de 1000 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile borlanmıştır. Borlama işleminin ardından aynı D2 ve M2 kesici takımları 1050 °C sıcaklıkta 1 saat Titanyum ile reaksiyona sokulmuştur.

1. Kaplama işlemi uygulanmamış D2 ve M2 çeliklerine sadece sertleştirme işlemi uygulanarak, elde edilen üç farklı yüzey işlemleri (borlanmış, borlanmış ve titanyumlanmış, sertleştirilmiş) kesici uçlar ile torna tezgahında otomat çeliği üzerinde kesme testleri yapılarak takım aşınmaları incelenmiştir. Kesme deneyleri sırasında kesici takıma gelen kesme ve ilerleme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır.

2. Borlama işlemi katı ortamda gerçekleştirilmiştir. Bor kaynağı olarak da EKabor 2 ve deoksidan olarak da ekrit toz karışımı kullanılmıştır. Seçilen çeliklerin borlama sonrasında elde edilen yüzey özellikleri optik ve taramalı elektron mikroskobu, x ışını difraksiyon analizi ve kesme testleri yardımıyla incelenmiştir.

3. Metalografik incelemeler sonucunda borlama işleminde kaplama / matris ara yüzeyin ve matrisin belirgin olarak birbirinden ayrıldığı ve borür tabakasının homojen bir şekilde oluştuğu görülmüştür. Oluşan borür tabakasının kalınlığının borlama süresi ve sıcaklığına, çeliklerin bileşiminde bulunan alaşım elementlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. AISI D2 çeliğinin bor tabaka kalınlığı 15-25 µm arasında, AISI M2 çeliğinin ise 20-25 µm arasında olduğu görülmüştür.

4. X ışını analiz sonucunda, borlanan çeliklerin yüzeyinde oluşan borür tabakasında iki farklı borür tespit edilmiştir. Bunlar FeB ve F₂B' dür. Taramalı elektron

mikroskobunda her iki çeliğin SEM-BEI incelemelerinde yüzeyde koyu renkte FeB ve daha iç kısımlarda açık gri renkte F_2B' ün varlığı tespit edilmiştir. Sıcaklık ve / veya sürenin artması ile birlikte FeB fazında artış görüldüğü ve tabaka kalınlığının daha da artması ile yüzeye paralel kısmi çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir. En az FeB fazı D2 çeliğinde görülürken en fazla FeB fazı da M2 çeliğinde görülmüştür. Bunun nedeni, alaşım elementi miktarındaki artışa bağlı olarak, bor difüzyonunun engellenmesi neticesinde bor konsantrasyon' unun artarak daha yüksek oranda bor ihtiva eden FeB fazının oluşumuna yol açmasıdır.

5. D2 ve M2 çeliklerinin yüzeyinde oluşan borür tabakasının yüzeye dik doğrultuda sertlik değerine bakıldığı zaman D2 ve M2 çeliklerinin yaklaşık 2000 HV sertliğe ulaştığı görülmüştür. M2 çeliğinde oluşan çatlakların sebebinin ise FeB ve Fe_2B fazlarının iç gerilme farklılıklarında dolayı oluştuğu düşünülmektedir.

6. Borlanan kesici takımlarla torna tezgahında otomat çeliğinin işlenmesi sonucunda yüzey pürüzlülüğü D2 ile işlenen yüzeyde daha az olduğu, M2 kesici takım ile işlenen otomat çeliğinin yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni M2 çeliğinde borlama sonucunda daha fazla FeB fazı oluşması sonucu kaplama tabakasında meydana gelen kılcal çatlakların mekanik zorlamakara maruz kalması sonucunda pul pul dökülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

7. Borlanan D2 ve M2 torna kesici uçları 1050 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile Titanyum ile reaksiyona sokulmuşlardır. Titanyumlama sonucunda D2 ve M2 çeliklerinde 1-2 µm kalınlıkta titanyum tabakası elde edilmiştir. Titanyumlama işleminden sonra yapılan x ışını incelemelerinde D2ve M2 çeliklerinde TiB_2 – TiC – TiN bileşiklerinin oluştuğu görülmüştür.

8. Gerçekleştirilen titanyumlama işlemi esnasında kaplama tabakasının sıcaklığa ve zamana bağlı olarak artış gösterdiği kanısına varılmıştır. Titanyumlanan çeliklerdeki titanyumun varlığı x ışını analizi ile kanıtlanmıştır.

9. Yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı AISI M2 çeliğinin titanyumlama sonucundaki sertlik değerinin AISI D2 çeliğinden daha yüksek olduğu yapılan sertlik ölçümleri sonucunda tespit edilmiştir. Yüzeye dik yapılan sertlik ölçümlerinde borlanan ve ardından titanyumlanan D2 çeliğinin sertliğinin 2800 HV, M2 çeliğinin ise 2900 HV olduğu görülmüştür.

10. Yapılan kesme deneyleri sonucunda titanyumlanan kesici takımlarda yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olduğu, sertliğe bağlı olarak da daha az aşınmanın olduğu görülmüştür.

11. Malzemelerden talaş kaldırılması esnasında malzemenin yapısı, işleme esnasında kullanılan kesme hızı ve ilerleme değerleri işlenebilirliği önemli ölçüde etkilemektedir. Talaş kaldırmada yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör kesme hızı ve ilerleme hızıdır. İdeal kesme hızının seçilmesi veya kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediği konusunda günümüze kadar bir çok çalışma yapılmıştır. Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme hızına bağlı olarak değişmektedir. İlerleme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı tespit edilmiştir.

12. Kesicinin kullanma sürelerini etkileyen kesme hızının düşük ve yüksek olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü artış göstermiştir. Genel olarak kesme hızının yüksek, ilerleme hızının düşük olması durumunda yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, kesme hızı düşük, ilerleme değerinin yüksek olduğu durumlarda ise pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. İlerlemenin yüksek olması durumunda kesicinin bir devirde alması gereken talaş miktarının artması nedeniyle pürüzlülük de artmaktadır.

13. Kesme hızı ve ilerleme miktarı arttıkça kesici takımlarda meydana gelen aşınmalarında arttığı görülmüştür.

8.2. Öneriler

Farklı tür çeliklerden üretilen kesici takımlara borlama ve titanyumlama kaplaması yapılarak aşınma testleri uygulanabilir. Farklı Borlama ve Titanyumlama şartlarında yapılan kaplamalar incelenebilir. Kaplama yapılan kesici takımlar piyasada kullanılan takımlarla karşılaştırılabilir.

Kesme deneyleri değişik kesme hızı ve ilerleme miktarı ile yapılarak kesici takımların aşınma davranışları daha geniş bir aralıkta incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] DALDAL, S., “Niobyum Karbür Kaplamaların Özellikleri” Yüksek Lisans tezi, S.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002
- [2] BİNDAL, C., “Az Alaşımli ve Karbon Çeliklerinde Borlama İle Yüzeğe Kaplanan Borurın Bazı Özelliklerinin Tespiti”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1991
- [3] KHOEE, S.M.M, “Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1992
- [4] DİKEÇ, F., “Çelik Standartları ve Seçimi” SEGEM, Aralık,1997
- [5] ÇEĞİL, Ö., “ AISI 8620 Çeliğinin Bor-Vanadyumlanması ve Yüzeğe Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Haziran, 2002.
- [6] İPEK, M., “Kutu Sementasyon Yöntemiyle Çelik Yüzeylerin TiC Kaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 1996.
- [7] ATİK, E., Farklı Bir Yüzeğe Sertleştirme Yöntemi : Borlama, Makine-Metal, Sayı 117, , say.416., Eylül 2001
- [8] Teknik Bülten Böhler Sert Metal No: 1,30,9
- [9] SIDNEH., H.A., ‘Introduction to Physical Metallurgy’ Second edition, Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara 1996, p.p. 387-423
- [10] KOÇAK, A., ŞEŞEN, M.K., “ Soğuk İş Takım Çelikleri ve Aşınma Davranışlarına Sertlik ve Mikroyapı Özelliklerinin Etkisi” Mühendis ve Makine Dergisi , Eylül 2002, Say. 51-54
- [11] TOPBAŞ, M.A., “Endüstri malzemeleri”1 . Cilt Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Evi, 1993, Say. 347-366
- [12] www.mmo.org.tr/muhendismakinaarsiv2000agustoskesici
- [13] DELİKANLI, K., ÇALIK,A., UZUN H.A.,”Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlaması

- [14] ÜNLÜ, B.S., YILMAZ, S.S., “ Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları”
Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 552, Ocak 2006, Say. 48-54
- [15] BİNDAL, C., ÜÇİŞİK, A. H.,”The Effect of Boronising on The Surface Properties of Alloy Steels, 1st International Syposium on The Sicene of Engineering Ceramics”, 1993, PP.223-281
- [16] TOZAN, H., “Termo-Reaktif Difüzyon yöntemiyle Çeliklerin Bor Titanyumlaması ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Mayıs 2004.
- [17] KARAKAN, M., ALSARAN A., ÇELİK, A., “Plazma Borlama”
Mühendis ve Makine Dergisi, Eylül 2002, Sayı 512.
- [17] www.teknoplazma.com.tr/tr/frame-urunhizmet.htm, 2003
- [18] www.titanit.com.tr/tin.asp, 2003
- [19] WRIEDT, H.A., MURRAY, J. L., ASM Handbook, V.3: Alloy Phase Diagrams, OH: ASM International; 1987. P. 299
- [20] TOKMAKOGLU, K., Ark Tekniği ile Seramik Kaplamalar, TİNKAP, Metal Yüzey İşlemler Kataloğu
- [21] “İşlenebilirlik ve Co Uygulaması” Asil Çelik, Teknik Yay. Şubat 1994 S: 10-23
- [22] ÜSTEL, F., “Kutu Sementasyon Tekniği ile Yüksek Hız Çeliğinin Yüzeyine $TiC_x N_{1-x}$ Türü sert Tabakaların Üretilirliğinin Araştırılması”,Doktora Tezi, SA.Ü. Fen Bil. Ens., Sakarya
- [23] ARAI, T., “Development of carbide, nitride coatings by thermo-reactive deposition and diffusion. Surface Modification Techniques III”, Proceedings of the Third International Conference, Neuchatel, Switzerland, 1989. P. 587-98.
- [24] ARAI, T., “Thermoreaktive deposition/diffusion process”, ASM Handbook, V.4: Heat Treating. Materials Park, OH: ASM International;1991.p. 448-53
- [25] HOLMBERG. K., MATTHEWS, A., “Coating Tribology”, Elsevier Tribology Series, 28, 1994, London
- [26] FICHTL, W., TRAUSNER, N, MATUSCHKA, A.G., ‘Boronizing with EKabor’, ESK GmbH, 02//1998.

ÖZGEÇMİŞ

Şenol ERTÜRK, 10.10.1977 yılında Sakarya' nın Geyve ilçesi' nde doğdu. İlkokulu Akıncı Köyü Kuzyaka İlkokulunda, ortaokulu Alifuatpaşa ortaokulunda tamamladı. 1995 yılında Sakarya Endüstri Meslek Lisesi, Tesviye Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında başladığı Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Öğretmenliği bölümünden iyi derece ile 2001 yılında Teknik Öğretmen ünvanıyla mezun oldu. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır. Halen Yüksek lisans Eğitimine devam etmektedir.