

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK HIZ TAKIM ÇELİKLERİNDE UYGULANAN ISIL
İŞLEMLER ve ELDE EDİLEN ÖZELLİKLER ARASINDAKİ
İLİŞKİLERİN FİZİKSEL METALURJİK YÖNDEN İNCELENMESİ**

GÜVEN ORKUN TOPTOP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET KARAASLAN**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK HIZ TAKIM ÇELİKLERİNDE UYGULANAN ISIL
İŞLEMLER ve ELDE EDİLEN ÖZELLİKLER ARASINDAKİ
İLİŞKİLERİN FİZİKSEL METALURJİK YÖNDEN İNCELENMESİ**

GÜVEN ORKUN TOPTOP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET KARAASLAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK HIZ TAKIM ÇELİKLERİNDE UYGULANAN ISIL
İŞLEMLER ve ELDE EDİLEN ÖZELLİKLER ARASINDAKİ
İLİŞKİLERİN FİZİKSEL METALURJİK YÖNDEN İNCELENMESİ

Güven Orkun TOPTOP tarafından hazırlanan tez çalışması 27.05.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

1

Yıldız Teknik Üniversitesi

2

Yıldız Teknik Üniversitesi

3

Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Quantum Takım Sanayi Ürünleri Çelik Ticaret A.ř. tarafından desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bana her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın danışmanım Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN ve değerli arkadaşım Alptekin KISASÖZ'e teşekkürlerimi sunuyorum. Uzun bir süreç içerisinde hazırlanan bu çalışmada sabrıyla ve anlayışıyla yanımda olan aileme desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

Tez çalışması esnasında gerekli deneysel çalışma olanağını sağlayan Quantum Takım Sanayi Ürünleri Çelik Ticaret A.Ş. ailesine ve Uğur Vida Ticaret Ltd. Şti. çalışanlarına bana sağladıkları maddi ve manevi destekten ötürü minnettarım.

Bu çalışmanın tesliminde büyük bir samimiyetle benimle ortak gurur yaşayan herkese tekrar tekrar teşekkür ediyorum.

Mayıs, 2011

Güven Orkun TOPTOP

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
SİMGE LİSTESİ.....	IX
KISALTMA LİSTESİ	X
ŞEKİL LİSTESİ.....	XI
ÇİZELGE LİSTESİ	XIII
ÖZET	XV
ABSTRACT.....	XVI
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
ÇELİK.....	3
2.1 Çelik Yapıları.....	4
2.1.1 Ferrit.....	4
2.1.2 Östenit	4
2.1.3 Sementit	5
2.1.4 δ -Ferrit.....	6
2.1.5 Perlit.....	6
2.1.6 Beynit.....	6
2.1.7 Martenzit	7
2.2 Çeliklerin Sınıflandırılması.....	9
2.2.1 İmalat Çelikleri	9
2.2.1.1 Akma Dayanımına Göre Çelikler	9
2.2.1.2 İslah Çelikleri	9
2.2.1.3 Sementasyon Çelikleri	10
2.2.1.4 Alev ve İndüksiyonla Yüzey Sertleştirilen Çelikler	10

2.2.1.5 Paslanmaz Çelikler.....	10
---------------------------------	----

BÖLÜM 3

TAKIM ÇELİKLERİ.....	11
3.1 Takım Çeliklerinden Beklenen Özellikler	12
3.1.1 Sertlik.....	12
3.1.2 Süneklik	12
3.1.3 Tokluk.....	12
3.1.4 Sıcak Yorulma Dayanımı.....	13
3.2 Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması	14
3.2.1 Soğuk İş Takım Çelikleri	14
3.2.1.1 Orta Alaşım, Havada Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	15
3.2.1.2 Yüksek Karbon ve Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri	16
3.2.1.3 Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	16
3.2.2 Sıcak İş Takım Çelikleri	17
3.2.2.1 Kromlu Sıcak İş Takım Çelikleri	18
3.2.2.2 Tungstenli Sıcak İş Takım Çelikleri	19
3.2.2.3 Molibdenli Sıcak İş Takım Çelikleri.....	20
3.2.3 Yüksek Hız Takım Çelikleri	20
3.2.3.1 Molibdenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	22
3.2.3.2 Tungstenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	22
3.2.3.3 Toz Metalurjik Yüksek Hız Takım Çelikleri	24
3.2.3.3 Yüksek Hız Takım Çeliklerinin Özellikleri	25
3.3 Takım Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler	27
3.3.1 Normalizasyon	28
3.3.2 Ön Tavlama.....	29
3.3.3 Gerilim Giderme	30
3.3.4 Sertleştirme	31
3.3.4.1 Östenitleme	32
3.3.4.2 Hızlı Soğutma	33
3.3.4.3 Menevişleme	33

BÖLÜM 4

VAKUM NEDİR?	36
4.1 Vakum Isıl İşlem Fırınları ve Çeşitleri	37
4.2 Vakum Isıl İşlem Fırını Oluşturan Elemanlar	38
4.2.1 Rezistanslı Fırınlarda Isı Aktarımı.....	39
4.2.2 Vakum Fırında Gaz ile Soğutma	41
4.3 Vakum Sertleştirme	44

BÖLÜM 5

DEMİRİN YAPISINA ALAŞIM ELEMANLARININ ETKİSİ	49
5.1 Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementleri ve Özelliklere Etkisi.....	51
5.1.1 Karbon	51
5.1.2 Mangan	51
5.1.3 Silisyum	52
5.1.4 Krom	52
5.1.5 Nikel.....	52

5.1.6	Molibden.....	52
5.1.7	Kobalt.....	53
5.1.8	Tungsten.....	53
5.1.9	Vanadyum.....	53
5.1.10	Titanyum.....	53
5.1.11	Niyobyum	54
5.1.12	Fosfor	54
5.1.13	Kükürt	54
5.1.14	Azot.....	54
5.1.15	Hidrojen	55
5.2	Alaşım Elementlerinin Yüksek Sıcaklıklardaki Özelliklere Etkisi.....	56
5.2.1	Isıya Dayanıklı Yapı Çelikleri	57
5.2.2	Sıcak İş Takım Çeliklerinde Yüksek Sıcaklıklara Dayanım	57
5.2.3	Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Yüksek Sıcaklıklara Dayanım	58
5.2.1.1	Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi	58
BÖLÜM 6		
KARBÜRLER		62
6.1	Çeliklerde Karbür Oluşumu ve Özellikleri.....	62
6.2	Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Karbürler.....	64
6.2.1	Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Karbürlerin Özelliklere Etkisi	67
BÖLÜM 7		
MÜHENDİSLİKTE MALZEME SEÇİMİ		70
7.1	Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Malzeme Seçim Faktörleri.....	73
BÖLÜM 8		
DENEYSEL ÇALIşMALAR.....		75
8.1	Deneyde Kullanılan Yüksek Hız Takım Çelikleri.....	76
8.1.1	DIN 1.3343 Yüksek Hız Takım Çeliği	76
8.1.2	DIN 1.3243 Yüksek Hız Takım Çeliği	76
8.1.3	DIN 1.3207 Yüksek Hız Takım Çeliği	77
8.1.4	SPM 10 Toz Metalurjik Yüksek Hız Takım Çeliği	77
8.1.5	ASP 2052 Toz Metalurjik Yüksek Hız Takım Çeliği	78
8.2	Numunelere Yapılan Isıl İşlemler	78
8.3	Numunelerin Sertleştirme ve Meneviş Sonrası Sertliklerinin Ölçümü	82
8.2	Vida Üretimi	84
BÖLÜM 9		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		89
9.1	Sertleştirme İşlemi Sonrası Sonuçların Karşılaştırılması	89
9.2	DIN 1.3343 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması	93
9.3	DIN 1.3243 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması	94

9.4	DIN 1.3207 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	95
9.5	SPM 10 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	96
9.6	ASP 2052 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	98
9.7	Vida Üretim Sonuçları ve Karşılaştırılması.....	99
BÖLÜM 10		
GENEL SONUÇLAR.....		103
KAYNAKLAR		105
EK-A.....		108
ÖZGEÇMİŞ		116

SİMGE LİSTESİ

α	Ferrit kristali
γ	Östenit kristali
δ	Gama kristali
Δ	Delta
$^{\circ}\text{C}$	Celcius
$^{\circ}\text{F}$	Fahrenheit
$HV_{0,05}$	Mikrovikers sertlik birimi
μm	Mikrometre

KISALTMA LİSTESİ

KHM	Kübik Hacim Merkez
KYM	Kübik Yüzey Merkez
AISI	American Iron and Steel Institute
HSS	High Speed Steel
HV	Hardness of Vickers
HRC	Hardness of Rockwell C
ESR	Electro Slag Remelted
DTA	Differential Thermal Analysis
SEM	Scanning Electron Microscope
SE	Secondary Electron
BE	Backscattered Electron
HIP	Hot Isostatic Press

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 2. 1	Fe-C denge diyagramı 3
Şekil 2. 2	Ferrit yapısı..... 4
Şekil 2. 3	Östenit yapısı 5
Şekil 2. 4	Sementit kafes yapısı 5
Şekil 2. 5	Perlit yapısı 6
Şekil 2. 6	a) Beynit yapısının optik mikroskop görüntüsü b) Beynit yapısının TEM görüntüsü c) TEM’de alınmış beynit demetleri görüntüsü d) Beynit çekirdeklenmesinin ve büyümesin şematik görüntüsü 7
Şekil 2. 7	Martenzit mikroyapıları a) Çıta martenzit b) Tabakalı martenzit..... 8
Şekil 3. 1	Farklı sıcak iş takım çeliklerinin özelliklerinin karşılaştırılması..... 18
Şekil 3. 2	Geleneksel ve toz metalurjik yüksek hız takım çeliği üretimi..... 25
Şekil 3. 3	Takım çeliğinin ısıtılma adımlarının şematik görünümü..... 28
Şekil 3. 4	Normalizasyon, homojenizasyon ve tavlama ısıtılma işlemlerinin farklı takım çeliklerinde uygulanma aralığı 30
Şekil 4. 1	Vakum sertleştirme fırınına oluşturan elemanları şematik görünümü 38
Şekil 4. 2	Vakum ortamda doğrusal ısı transferi 40
Şekil 4. 3	Vakum fırında oluşan efektif sıcak bölge..... 40
Şekil 4. 4	Efektif sıcak bölgenin başlangıç düzleminin oluşumu..... 41
Şekil 4. 5	Vakum fırında soğutma sistemleri a)Harici üfleç ve ısıtıl dönüştürgeç. b)Dahili fan ve ısıtıl dönüştürgeç..... 42
Şekil 4. 6	Vakum fırında soğuma ortamının basıncının havada soğumaya göre oranı. 43
Şekil 4. 7	Vakum fırında farklı ortamlarda soğuma hızları 44
Şekil 5. 1	Alaşım elementlerinin γ sahasına etkisi 50
Şekil 5. 2	Kobalt alaşım elementinin artan sıcaklıkta sertlik dayanımına etkisi 61
Şekil 6. 1	Çeşitli karbürlerin veya minerallerin sertlikleri..... 63
Şekil 6. 2	Alaşım elementlerinin farklı kimyasal oranlarıyla oluşan karbür tipleri ve sertlikleri..... 64
Şekil 6. 3	Artan vanadyum alaşımı ve soğuma hızının ötektik MC, M_2C ve M_7C_3 karbürü oluşumuna etkisi..... 66
Şekil 6. 4	Fe-1.9C-2Mo-2W-4Cr-V alaşımının DTA sonucu 66
Şekil 6. 5	Çeşitli takım çeliklerinin farklı sıcaklık ve sürelerde karbür çözünme miktarları 68
Şekil 6. 6	Farklı karbürlerin boyut dağılımı 69

Şekil 7. 1	Takım çeliklerinin artan meneviş sıcaklıklarında sertlik değişimi.....	71
Şekil 7. 2	Kesim hızının takım ömrüne etkisi için en uygun malzeme seçimi.....	74
Şekil 8. 1	Deneysel çalışmamızda kullanılan kırk adet yüksek hız takım çeliği	75
Şekil 8. 2	Schmetz vakum sertleştirme fırını.....	79
Şekil 8. 3	B.M.I. vakum temperleme fırını.....	80
Şekil 8. 4	Sertleştirme işlemindeki ön ısıtma kademeleri ve bekleme süreleri	81
Şekil 8. 5	Çalışmamızda kullanılan Bulut Makina markalı Rockwell C sertlik ölçüm cihazı.....	83
Şekil 8. 6	Vida üretimi için alınmış sarmal ham madde görüntüsü.....	84
Şekil 8. 7	Ham maddenin haddelendiği silindirik haddelerin görüntüsü.....	85
Şekil 8. 8	Yüksek hız takım çeliklerinin yerleştirildiği beş bölmenin görüntüsü.....	85
Şekil 8. 9	Çalışma ortamının görüntüsü	86
Şekil 8. 10	Vida kesme makinesinin kontrol paneli	87
Şekil 8. 11	Üretilen vidaların görüntüsü.....	88
Şekil 9. 1	Malzemelerin östenitleme sıcaklığına göre sertliklerinin grafiksel gösterimi	90
Şekil 9. 2	Yüksek hız takım çeliklerinde artan alaşım elementi miktarına bağlı maksimum sertliğin değişimi.....	92
Şekil 9. 3	DIN 1.3343 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması	93
Şekil 9. 4	DIN 1.3243 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması	95
Şekil 9. 5	DIN 1.3207 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması	96
Şekil 9. 6	SPM 10 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması.....	97
Şekil 9. 7	ASP 2052 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması.....	98
Şekil 9. 8	Çalışmada üretilen vidaların malzeme cinsine göre % dağılımı	100
Şekil 9. 9	Deneysel çalışmada malzemelere göre maksimum üretim adetleri.....	101
Şekil 9. 10	Deneysel çalışmada üretilen vida adetlerinin % alaşım elementine göre grafiği.....	102

ÇİZELGE LİSTESİ

SAYFA

Çizelge 3. 1	AISI' ya göre takım çeliklerinin sınıfları ve sembolleri	14
Çizelge 3. 2	Dört çeşit takım çeliğinin yüz saat sonunda yükselen sıcaklıklardaki sertlik değerleri.....	17
Çizelge 3. 3	ASTM A 600 standardına göre yüksek hız takım çeliğinin özellikleri...	20
Çizelge 3. 4	Yüksek hız takım çeliklerinin gelişim tarihçesi	21
Çizelge 3. 5	AISI standartlarına göre yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal analizi	23
Çizelge 4. 1	Alaşım elementlerinin çeşitli ötektik kombinasyonu ve ötektik sıcaklıkları	45
Çizelge 5. 1	Alaşım elementlerinin çeşitli özelliklere etkisi	55
Çizelge 5. 2	Isıya dayanıklı yapı çeliklerinde alaşım elementleri ve özelliklerine etkisi	57
Çizelge 5. 3	Sıcak iş takım çeliklerinde alaşım elementleri ve özelliklerine etkisi	58
Çizelge 6. 1	Periyodik tabloda karbürlerin kristal yapılarına göre dağılımı	62
Çizelge 6. 2	Ötektik karbürlerin kimyasal kompozisyonu	67
Çizelge 7. 1	Çelik üretiminde kullanılan alaşım elementleri ve maliyetleri	72
Çizelge 8. 1	Çalışmada kullanılan yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal analizi	76
Çizelge 8. 2	DIN 1.3343 malzemenin fiziksel özellikleri	76
Çizelge 8. 3	DIN 1.3243 malzemenin fiziksel özellikleri	77
Çizelge 8. 4	DIN 1.3207 malzemenin fiziksel özellikleri	77
Çizelge 8. 5	SPM 10 malzemenin fiziksel özellikleri	78
Çizelge 8. 6	ASP 2052 malzemenin fiziksel özellikleri.....	78
Çizelge 9. 1	Malzemelerin östenitleme sıcaklığına göre sertlikleri	89
Çizelge 9. 2	DIN 1.3343 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler	93

Çizelge 9. 3	DIN 1.3243 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler	94
Çizelge 9. 4	DIN 1.3207 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler	95
Çizelge 9. 5	SPM 10 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler	97
Çizelge 9. 6	ASP 2052 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler	98
Çizelge 9. 7	Deneysel çalışmada kullanılan kırk adet numunenin kesim adetleri	99

ÖZET

YÜKSEK HIZ TAKIM ÇELİKLERİNDE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER ve ELDE EDİLEN ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN FİZİKSEL METALURJİK YÖNDEN İNCELENMESİ

Güven Orkun TOPTOP

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN

Takım çelikleri, malzemeye form vermek, kesmek ya da şekillendirmek için kullanılan alaşımlı çeliklerdir. Yüksek hız takım çelikleri ise takım çelikleri sınıflandırmasında yüksek alaşımlı çelikler sınıfında yer alan ve yüksek işleme kabiliyetine sahip çeliklerdir. Yüksek işleme kabiliyetine sahip olması için yüksek hız takım çeliğinin, zorlu aşınma mekanizmasına, yüksek ortam sıcaklıklarında ve uzun işleme sürelerinde çalışmaya dirençli olması gerekmektedir. Bu zorlu koşullar vida üretiminde de aynıdır. Bu özellikler, aşınma direnci ve sıcak sertliği arttırmak için karbür oluşturan alaşım elementlerinin varlığı ile gerçek olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada daha fazla vida üretimi için beş farklı yüksek hız takım çeliği araştırılmıştır. Ayrıca dört farklı östenitleme sıcaklığını takip eden iki farklı meneviş sıcaklığında bu çelikler için en uygun vakum ısıtım işlem koşulları araştırılmıştır. Aynı zamanda bu çeliklerin ısıtım işlem koşullarının arasındaki farkın, sertliğe ve vida üretimine etkisi gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek hız takım çelikleri, vakum ısıtım işlem, vida üretimi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN HEAT TREATMENTS THAT APPLIED TO HSS AND OBTAINED PROPERTIES WITH PYHSICAL METALLURGY

Güven Orkun TOPTOP

Department of Material Science
Msc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN

Tool steels are alloyed steels that is used to make tools for forming, cutting or shaping a material. High speed steels are defined as high alloyed tool steels, which has high machining ability in tool steels clasification. For owing high machining ability high speed steel must resist to hard wear mechanism, hot working temperatures and long time working conditions. Hard working conditions are same also in screw manufacturing for tool steel. These properties becomes real by alloying elements, which have a high affinity to make carbids for wear resistance and for enhance hot hardness. So in this study, we studied five different high speed steel for higher output numbers. Also we tried to find best vacuum heat treatment condition for these steels in four different austenizing temperatures and two different tempering temperatures as following treatment. We also investigated the difference on hardness and on screw output among heat treatment conditions of these steels.

Keywords: High speed steel, Vacuum heat treatment, Screw manufacturing

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmalar için, ısıtım işlemi üzerine yapılmış ulusal ve uluslararası konferans ve seminerlerin bildirileri takip edilmiş, takım çeliği ve ısıtım işlemi üzerine çok sayıda Türkçe ve İngilizce literatür taranmıştır. Yapılan çeşitli araştırmaların sonuçlarına tez içinde değinilmiştir. Ayrıca literatür bilgileri ile yapılan deneysel çalışma arasında bağlantı kurulmuş, elde edilen verilerin doğruluğu teyit edilmiştir. Literatürlerden toplanan verilerin üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. İngilizce eserlerden alınarak kullanılan tüm şekil ve çizelgelerin üzerinde yabancı dilde yazılı olan bilgiler özgünlüğüne sadık kalınarak Türkçe 'ye çevrilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, vida üretiminde kesici uç olarak kullanılan yüksek hız takım çeliği malzemenin üretimdeki ömrünü arttırmak ve buna bağlı olarak üretim miktarlarını yukarıya doğru çekmektir. Yapılan çalışmada, vida üretimi koşullarına uygun farklı kimyasal analizde yüksek hız takım çeliği türlerinden yapılan numuneler farklı ısıtım işlemi proseleri görmüş ve buna göre vida üretim miktarları incelenmiştir. En uygun malzeme analizi ve optimum ısıtım işlemi koşulları tespit edilmiştir.

1.3 Hipotez

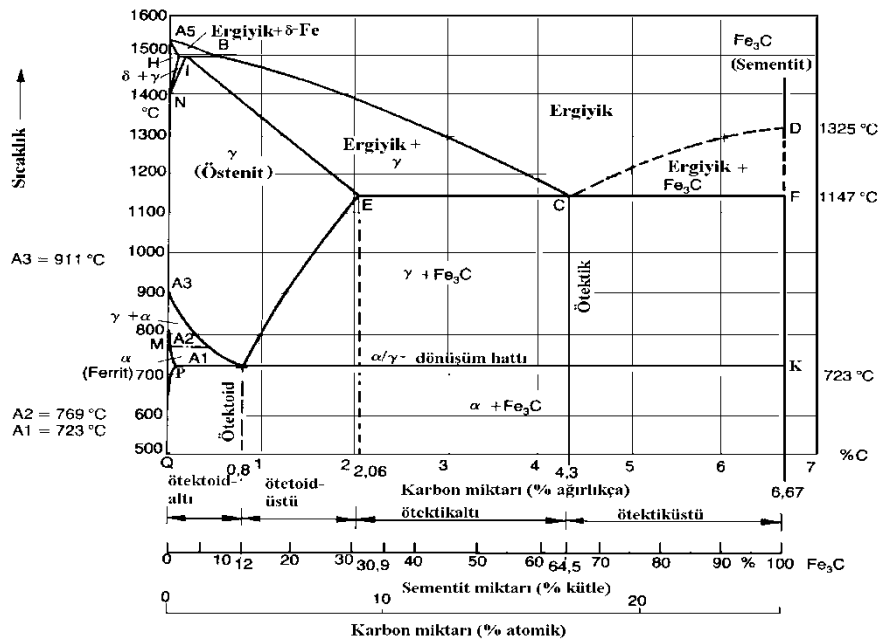
Çalışma koşullarında yüksek sıcaklık ve yüksek sürtünmeye maruz kalan hız çeliği malzeme için, aşınmaya dirençli karbür yapısının en yüksek olduğu yüksek hız takım çeliği uygun görülmüştür. Ayrıca çalışma ortamında artan sıcaklıkta bu sertliğini korumasında kobalt alaşım elementinin etkili olduğu görülerek, analizinde kobalt bulunan yüksek hız takım çeliği seçilmiştir. Farklı östenitleme ve menevişleme sıcaklığında malzemenin kimyasal analizine bağlı olarak farklı sertlik değerleri elde edildiği görülerek, belirlenen analizdeki çeliğin optimum ısıtılma işlem parametrelerinde vida üretim adetleri kontrol edilmiştir. Vidanın baş kısmının kesiminde yüksek karbür yapıcı elementleri olan, yüksek kobalt alaşımlı hız çeliğinin üst östenitleme sınırlarında ve yüksek sıcaklık menevişlerinde üretim adetlerini arttığı gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 2

ÇELİK

Çelik, en yaygın kullanılan metaldir. Genel olarak Fe ve C alaşımı olmakla beraber, yapısında belirli oranlarda P, S, Si, Al gibi elementler ile çeliğin özelliklerini geliştirmek amacıyla katılmış Mo, Mn, V, Cr, W gibi elementler de bulunabilmektedir.

Saf demir, oda sıcaklığında KHM (kübik hacim merkez) yapısına sahip olan α -Fe fazındadır. Yapının ısıtılmasıyla birlikte 911°C 'de α -Fe, KYM (kübik yüzey merkez) yapıya γ -Fe yapısına dönüşür. 1392°C 'de ise γ -Fe, KHM yapıya δ -Fe fazına dönüşür. Katı haldeki demir, 1536°C 'de ergiyerek sıvı faza dönüşür. Saf demirinin allotropik özelliğinden dolayı, çelik malzemeler de katı halde üç farklı faz yapısına sahip olur.



Şekil 2.1 Fe-C denge diyagramı (Karaaslan [1])

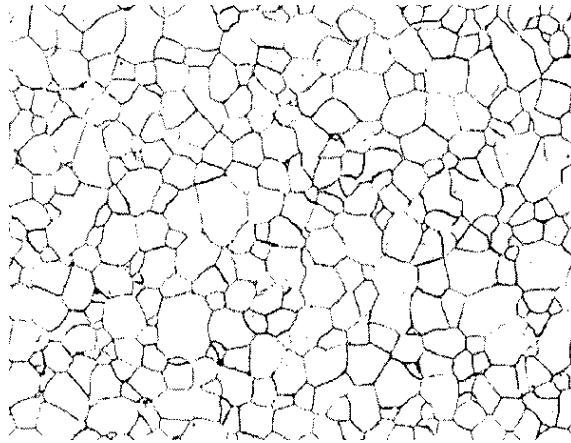
Şekil 2.1’de Fe-Fe₃C denge diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda % 2,06’ya kadar olan bölge çelik bölgesidir. %0,8 C içeren yapı ötektoid bileşim perlit olup, ferrit (α) ve sementit (Fe₃C) fazlarından oluşur. %0,8’den daha az karbon içeren çelik yapısı ötektoid altı çelik olarak adlandırılır ve oda sıcaklığında ferrit ve/veya perlit yapılarını içerir. %0,8’den daha çok karbon içeren yapı ise perlit ve perlit tane sınırlarında ayrıışmış olan Fe₃C yapısından oluşur. Karbon miktarı arttıkça tane sınırlarında oluşan Fe₃C miktarı da artar.

2.1 Çelik Yapıları

Çelik malzemeler sahip oldukları C miktarına, bulundukları sıcaklıklara ve uygulanan çeşitli işlemlere bağlı olarak ferrit, östenit, sementit, perlit, δ -ferrit, beynit ya da martenzit gibi fazların birini ya da birkaçını içerebilmektedirler.

2.1.1 Ferrit

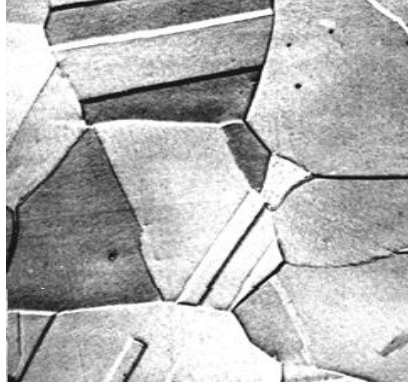
Ferrit fazı, kübik hacim merkezli (KHM) kafes yapısına sahiptir. Ferritin oda sıcaklığındaki karbon çözünürlüğü %0,006, 723°C’deki karbon çözünürlüğü ise %0,02’dir.



Şekil 2.2 Ferrit yapısı [3]

2.1.2 Östenit

Östenit fazı, kübik yüzey merkezli (KYM) kafes yapısına sahiptir. 723°C’deki karbon çözünürlüğü ise % 0,8’dir. Maksimum karbon çözünürlüğü ise %2,06’dır.



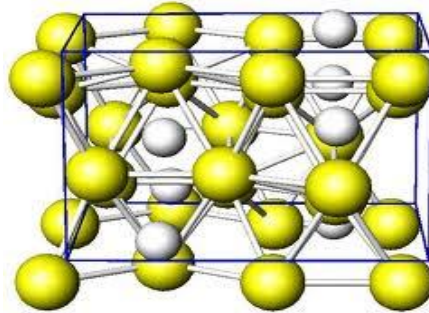
Şekil 2.3 Östenit yapısı [3]

Çeliklerin sertleştirilmesi işleminde, östenitleştirme aşamasında elde edilen östenit fazının tane büyüklüğü, ısıtma işlemi sonrası elde edilecek olan malzeme özellikleri üzerinde belirleyici rol oynar. Östenit tane büyüklüğünü etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Malzemenin kimyasal bileşimi
- Östenitleştirme sıcaklığı
- Yapı içerisinde yer alan safsızlıkların miktarı
- Isıtma, bekleme ve soğutma süreleri (Smith [2])

2.1.3 Sementit

Sementit, ortorombik kafes yapısına sahip olan intermetalik (metaller arası) bir fazdır. İntermetalik faz yapısında 3 Fe atomu 1 C atomu ile birleşerek sementit yapısını oluşturur. Sert ve kırılkan bir yapıdır. Sementitin karbon çözünürlüğü %6,67'dir (Smith [2]).



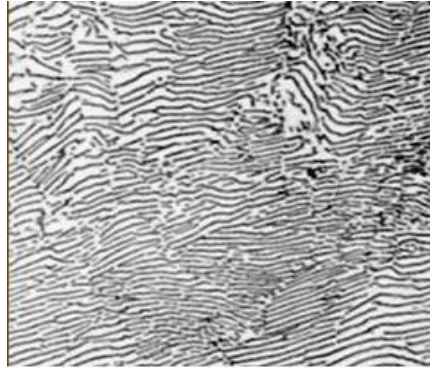
Şekil 2.4 Sementit kafes yapısı [3]

2.1.4 δ -Ferrit

δ -ferrit, α -ferrit yapısı gibi kübik hacim merkezli küp (KHM) kafesine sahiptir. Fakat kafes parametresi, α -ferritin kafes parametresine göre daha büyüktür. 1495°C'de karbonun, δ -ferritindeki çözünürlüğü %0,09'dur.

2.1.5 Perlit

Perlit, östenitin ötektoid dönüşüm mekanizması ile ferrit ve sementite parçalanması ile oluşan ötektoid dönüşüm ürünüdür. Parçalanma, 723°C'de, %0,8C içeren bileşimde gerçekleşir. Ötektoid dönüşüm ile meydana geldiği için, perlit oluşumu sırasında sıcaklık sabittir. Perlit oluşumu sırasında, östenit kafesinin içerdği karbon atomları tane sınırlarına doğru hareket eder. Tane sınırlarında demir atomları ile birleşen karbon atomları sementit yapısını oluştururken, karbonca fakirleşen KYM yapısındaki östenit, KHM yapısında ferrite dönüşür. Bu dönüşüm sonucunda lameller şeklinde dizilmiş olan ferrit ve sementit fazları perlit yapısını oluşturmuş olur.

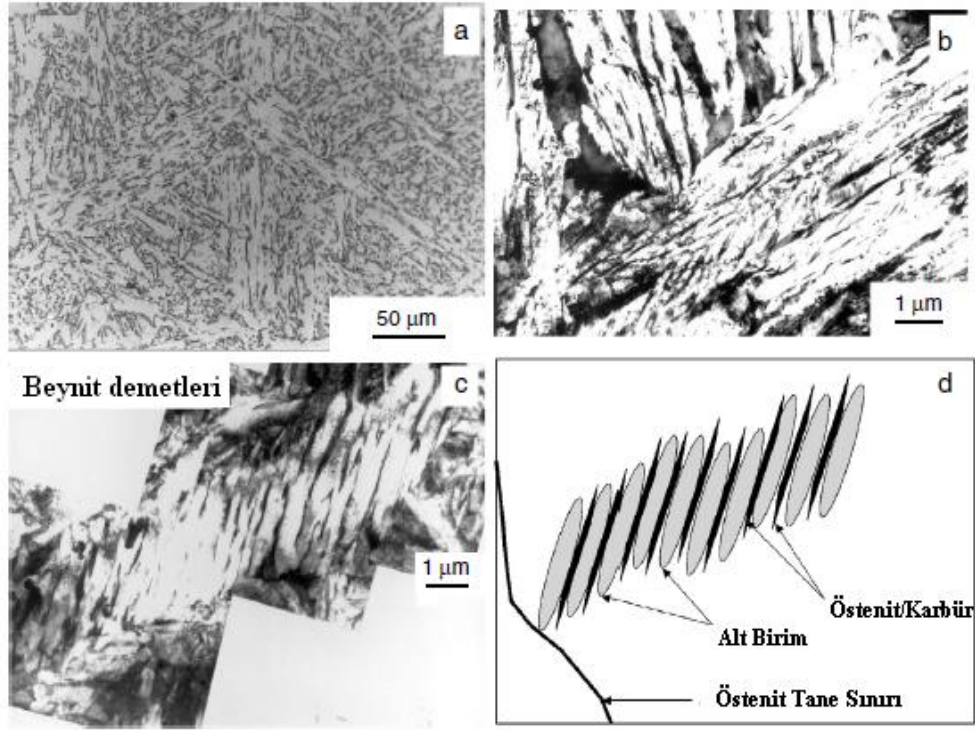


Şekil 2.5 Perlit yapısı [3]

2.1.6 Beynit

Beynit, östenit fazından izotermal dönüşüm sonucunda oluşan yapıdır. Beynit oluşumu iki ayrı oluşum teorisi ile açıklanmaktadır. İlk oluşum teorisine göre, östenit fazından çekirdeklenen ferrit ve sementit, beynit yapısını oluşturur. Lamel yapılı olmayan fazda, ferrit taneleri arasında yer alan sementitler bulunur. Yapının oluşumu ve büyümesi karbon difüzyonu ile gerçekleşir. Diğer oluşum teorisine göre ise, ikizlenme ve kayma mekanizmaları ile aşırı doymuş ferrit kristallerine sahip beynit yapısı oluşur (Aggen vd., [4]).

Beynit oluşumunda, anlatılan oluşum teorilerinin her ikisi birlikte yürümektedir. Perlit oluşum sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıklarda oluşan beynit yapısında, ilk oluşum teorisi baskındır. Bu nedenle, östenit tanelerinden çekirdeklenmiş ferrit ve küresel sementit yapıları, beynit mikroyapısını oluşturur. Bu yapı üst beynit olarak adlandırılır. Martenzit başlama sıcaklığının (M_s) hemen üzerindeki sıcaklıklarda oluşan beynit yapısında ise ikinci oluşum teorisi baskındır. Bu nedenle, oluşan beynit yapısını ikizlenme ve kayma teorisine göre oluşmuş aşırı doymuş ferrit kristalleri ve bu kristaller arasında yer alan sementit fazı oluşturur ve yapı alt beynit olarak adlandırılır (Totten [5]).



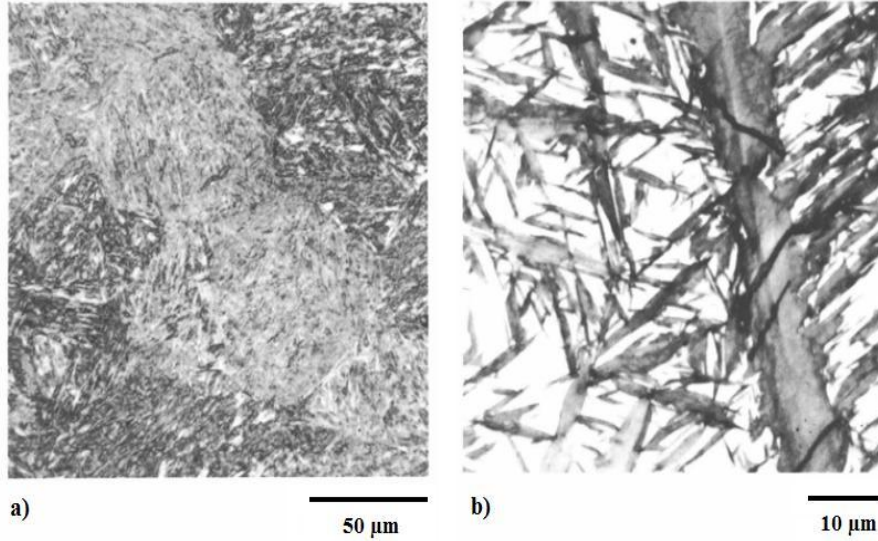
Şekil 2.6 a) Beynit yapısının optik mikroskop görüntüsü b) Beynit yapısının TEM görüntüsü c) TEM’de alınmış beynit demetleri görüntüsü d) Beynit çekirdeklenmesinin ve büyümesin şematik görüntüsü (Bhadeshia ve Honeycombe [6])

2.1.7 Martenzit

Martenzit yapısı, östenit fazından kayma ve ikizlenme yapısı ile oluşmuş aşırı doymuş bir fazdır. Martenzit oluşumu, hızlı soğuma ile elde edilen denge dışı soğuma ile oluşturulur. Martenzit başlama sıcaklığında (M_s) başlayan martenzit dönüşümü, martenzit bitiş sıcaklığı (M_f) ile sonlanır.

Martenzit oluşumuna dair iki teori bulunmaktadır. İlk teori atermal (ısıl olmayan) teoridir. Bu teoriye göre martenzit oluşumu zamandan bağımsızdır ve oluşum için gerekli aşırı soğuma (ΔT) şartının sağlanması yeterlidir. Diğer teori ise izotermal dönüşüm teorisidir. M_s sıcaklığının, oda sıcaklığının altına düştüğü durumlarda izotermal dönüşüm teorisine göre dönüşüm meydana gelir.

Malzemenin sahip olduğu karbon oranına göre, oluşan martenzitin başlama ve bitiş sıcaklıkları değişmektedir. Artan karbon miktarıyla birlikte M_s ve M_f sıcaklıkları düşer. Yaklaşık %0,6'dan fazla karbon içeren çeliklerin M_f sıcaklıkları 0°C 'nin altına düşer. Bu nedenle, %0,6'dan fazla karbon içeren çeliklerin hızlı soğutulmasında martenzit ile birlikte artık östenit oluşur.



Şekil 2.7 Martenzit mikroyapıları a) Çıta martenzit b) Tabakalı martenzit (Marder vd. [7], Materkowski ve Krauss [8])

Hızlı soğuma sonucunda oluşan martenzit yapısı, malzemenin içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Düşük karbonlu çeliklerde, karbon miktarı yüksek gerilme alanlarının oluşumu için yeterli değildir. Bu nedenle, çıta martenzit adı verilen yapı oluşur. Çıta martenzit, %0,6 karbon oranına kadar varlığını korur. %0,6 ile %1 karbon arasında karbon içeren çeliklerde ise çıta martenzit ve tabakalı martenzit bir arada bulunur. %1'den daha fazla karbon içeren çeliklerde ise çıta martenzit yapısı görülmez ve oluşan martenzit yapısı, tabakalı martenzittir.

2.2 Çeliklerin Sınıflandırılması

Çelikler, sahip oldukları bileşimden, uygulanan işlemlere bağlı olarak birçok şekilde sınıflandırılabilir. Çeliklerin sınıflandırılması aşağıdaki başlıklara göre yapılabilir:

- Kimyasal bileşime göre
- Üretim yöntemine göre
- Kullanım yerine göre
- Birincil ürün şekline göre
- Mikroyapıya göre
- Uygulanan ısıl işleme göre
- Standartlarda istenen kaliteye göre

Çelikler genel olarak imalat çelikleri ve takım çelikleri olarak sınıflandırılır. İmalat çelikleri kullanım yerinde istenen mekanik özelliklere göre seçilirken, takım çelikleri imalat çeliklerini ve diğer mühendislik malzemelerini üretmek için kullanılan çeliklerdir ve üretimde istenen özelliklere göre seçilirler. Takım çeliklerinden bir sonraki bölümde detaylı olarak bahsedileceği için bu kısımda sadece imalat çelikleri hakkında bilgi bulunmaktadır.

2.2.1 İmalat Çelikleri

Genel olarak % 0,65'e kadar karbon içeren çeliklerdir. İstenen özelliklere göre düşük karbonlu olabilecekleri gibi, yüksek oranlarda alaşım elementleri de içerebilirler. Genel olarak imalat çeliği grubuna giren çelikler; akma dayanımına göre sınıflandırılan çelikler, ıslah çelikleri, sementasyon çelikleri, yay çelikleri, alev ve indüksiyonla yüzey sertleştirilen çelikler ve paslanmaz çelikler olarak sıralanabilir.

2.2.1.1 Akma Dayanımına Göre Çelikler

Alaşımsız, düşük miktarlarda karbon içeren çeliklerdir. Akma dayanımına göre sınıflandırılırlar ve kaynak kabiliyetleri oldukça yüksektir.

2.2.1.2 Islah Çelikleri

Genel olarak % 0,2-0,3'ten daha fazla karbon içeren çeliklerdir. Yüksek karbon içerikleri nedeniyle ısıl işlem uygulanarak sertlikleri arttırılabilmektedir. Bu çeliklere

uygulanan sertleştirme ve menevişleme işlemleri ile bu çeliklerin mekanik özellikleri geliştirilir ve tok yapılar elde edilir.

2.2.1.3 Sementasyon Çelikleri

% 0,2'den daha az karbon içeren çeliklerdir. Düşük karbon içerikleri ile uygulanan ısıtma işlemler sonucunda sertlik artışı elde edilemez. Bu çeliklerin yüzeyinden belirli miktarlarda karbon yayındırılır ve yüzeyin karbon içeriği artırılır. Sonrasında uygulanan sertleştirme işlemi ile yüzeyde aşınma dayanımı yüksek sert bir yapı oluşturulur. Yüzeyde sert bir yapı elde edilirken, merkezde sünek yapının varlığı korunur. Sementasyon çelikleri dişli imalatında kullanılmaktadır.

2.2.1.4 Alev ve İndüksiyonla Yüzey Sertleştirilen Çelikler

Bu çelikler, % 0,2'den daha fazla karbon içerirler. Yalnızca yüzeyde aşınmaya dayanıklı, sert bir yapı istendiğinde alev ya da indüksiyon yardımıyla malzemenin yüzeyine sertleştirme işlemi uygulanır.

2.2.1.5 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, en az % 10,5 Cr içeren ve Cr ile birlikte yapıda oluşması istenen özelliklere göre östenit, ferrit, martenzit fazları ile çökelti oluşturacak alaşım elementlerini içerir.

Östenitik çelikler, Fe-Cr-Ni-C veya Fe-Cr-Mn-Ni-N içeren çeliklerdir. Bu çelikler, % 16-26 Cr, % 0,75-19 Mn, % 1-40 Ni ve % 0,03-0,35 C içeren çeliklerdir.

Ferritik paslanmaz çelikler, % 10,5-30 Cr ve Mn, Si, Mo, Ni, Al, Ti, Nb gibi alaşım elementlerini içerir. Ferritik-östenitik yapıdaki çift fazlı paslanmaz çelikler, % 18-29 Cr, % 2,5-8,5 Ni, % 1-4 Mo, % 2,5 Mn içerirler. Martenzitik paslanmaz çelikler ise % 11,5-18 Cr, % 0,05-1,2 C ve % 2-3 'ten daha az olmak üzere diğer alaşım elementlerini içeren çeliklerdir. Martenzitik paslanmaz çelikler, yüksek Cr içerikleri nedeniyle oldukça yüksek sertleşebilme kabiliyetine sahiptirler (Aggen vd. [4], Onaran [9], Totten [5]).

BÖLÜM 3

TAKIM ÇELİKLERİ

Takım çelikleri, çok çeşitli bir malzeme yelpazesinde yer alan metallerin şekillendirilmesi, kesilmesi, form verilmesi amacıyla kullanılan çok özel çeliklerdir. Takım çeliklerinin ilk kullanımları tarih öncesi çağlara dayanmaktadır. Bu çeliklerin ilk kullanımlarında sertleştirilmesinin de tarihi 3000 yıl öncesine dayanmaktadır. Bu işlem o dönemde ısıtma ve su ile sertleştirme olarak yapılmaktayken, günümüzde vakum fırınlarında yapılan ısıtma işlemlerine kadar gelişmiştir.

Takım çeliklerinin 19. yüzyılların ortasında ve 20. yüzyıl başlarında yeni alaşım elementleri ile tanışmasından önce sadece bu çeliklerde karbon kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile malzemeden beklenen özelliklerin artmasıyla, bu alanda kullanılacak çeliklerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni alaşım elementleri eklenmeye başlanmış, bu alaşımlama işlemi mangan, tungsten, molibden, vanadyum ve krom gibi yeni alaşım elementlerinin bulunması ve çelikte kullanımlarının faydalarını görülmesiyle paralel şekilde ilerlemiştir. Bu paralellik aynı zamanda çelik üretim teknolojilerinde de aynı şekilde olmuş ve safsızlık kontrolü ile üretimde ki hassasiyet bakımından büyük ilerlemeler elde edilmiştir. Bu ilerlemeler sadece sıcakta veya soğukta kullanım, plastik kalıpları ve çok çeşitli özel uygulamalar için çelik kullanım amacıyla geliştirilmiş çelik türlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

3.1 Takım Çeliklerinden Beklenen Özellikler

Takım çelikleri kullanıldıkları alanlara göre özel olarak ayarlanmış alaşım yapıları sayesinde üstün özellikler gösteren çeliklerdir. Genel olarak kalıp malzemesi ya da şekillendirici olarak kullanıldıkları durumlarda malzemelerden beklenen özellikler ortaktır.

3.1.1 Sertlik

Takım çeliklerinde, çalışma koşullarında yeterli mukavemet gösterecek bir yapı için uygun sertlik gerekmektedir. Bunun için takım çeliğinde yeterli karbon bulunması ve karbon dahil toplam alaşım miktarının %5'in üzerinde olması gerekmektedir. Alaşım elementleri hem malzemenin sertliğini arttırmakta hem de menevişleme kabiliyetini yükseltmekte etkili olmaktadır. Alaşım elementlerinin takım çeliklerine olan etkisi detaylı olarak sonraki bölümlerde incelenmiştir(Yücel [10]).

3.1.2 Süneklik

Malzemenin sünek kırılma direnci olarak tanımlanan süneklik, takım çeliklerinde oldukça önemlidir. Takım çeliğine çalışma koşullarında uygulanan plastik gerilmeler sonucunda, bir çatlak oluşması ve bu çatlağın ilerleyerek kırılmaya yol açması ne kadar geç olursa, çalışma ömrü o kadar uzun olacağından, takım çeliğinden plastik gerilmelere karşı yüksek dayanım beklenir.

Sünekliği etkileyen öncelikli faktörler arasında malzeme yapısında bulunabilecek safsızlıklar, birincil karbürler ve ikincil karbürlerin oluşturduğu ağ veya sıralanmalar sayılabilmektedir. Malzemenin sertliğinin yüksek olması, mikro yapısı, ısıtıl işlem görmüşse beynit/martenzit içeriği ikinci planda sayılabilecek etkililerdir.

Süneklik miktarını belirleyebilmek için çekme testleri yapılmakta ve kırılmadan önceki yüzeyin kesit alanı ölçülmektedir. Ayrıca alternatif olarak çentiksiz darbe testi yapılabilmektedir(Yücel [10]).

3.1.3 Tokluk

Takım çeliğinin gevrek kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Gevrek kırılmayı başlatan etmenler arasında malzemedeki düzensiz gerilim dağılımı,

çentikler, çentik etkisi yaratacak mikro çatlaklar sayılabilmektedir. Mikroyapı olarak gevrek kırılmaya, büyük taneli yapı, tane sınırlarında ikincil karbürlerin bulunması, yapının beynitik ya da perlitik olması ve meneviş gevrekliğini oluşturabilecek elementlerin varlığı sebep olabilmektedir. Buna göre ısıtım işlem koşulları ve sonuçları tokluğa doğrudan etki eden öncelikli nedenlerdir. Yapıda yer alabilecek olan safsızlıklar ve karbürler eğer bir segregasyon ya da şerit yapı oluşturmazlarsa, tokluğu etkileyen faktörler arasında ısıtım işlemin arkasında kalırlar.

Takım çeliklerinin en çok kullanım alanlarından biri olan kalıp malzemesi olarak kullanılması durumunda yüksek tokluğa ihtiyaç duyulmaktadır. Tokluk ise ısıtım işleminde malzemenin yeterince ince taneli bir mikroyapıda elde edilmesi ile sağlanmaktadır. İnce taneli yapı için hızlı soğutma yapılmalıdır. Bu sayede tane sınırına karbür çökmesi engellenmekte, beynitik ya da perlitik yapının oluşma riski kaldırılmaktadır. Yalnız soğutma hızı ise kalıpta oluşacak distorsiyona veya çarpımalara hatta çatlama riskine bağlı olarak sınırlandırılmaktadır(Yücel [10]).

3.1.4 Sıcak Yorulma Dayanımı

Tekrarlanan işlemlerde malzemenin sürekli sıcaklık değişimlerine maruz kalması nedeniyle yüzeyinde oluşabilecek mikro çatlakların gelişmesi ve kalıbın çatlayarak çalışamaz hale gelmesine karşı takım çeliğinin gösterdiği dirençtir. Sıcak yorulma çatlaklarına dayanım için takım çeliğinden beklenen özellikler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Yüksek sıcak akma mukavemeti
- Yüksek meneviş direnci
- Yüksek süneklik
- İyi ısıtım iletkenlik
- Düşük ısıtım genişleme

Yukarıda belirtilen özelliklerin elde edilmesi takım çeliğinin buna uygun bir yapıda alaşımlandırılmış ve üretilmiş olmasına bağlı olmaktadır. Bu nedenle bu koşullara ısıtım işlemin etkisi oldukça azdır. Ayrıca takım çeliğinin üretim parametreleri kadar takım çeliğinin kullanıldığı koşullarda işlem ve dizayn faktörleri de önemlidir. Bunlar,

malzeme cinsi, üretilecek parçanın kesit kalınlığı, çalışma sıcaklıkları, kalıp malzemesinin ön ısıtma sıcaklığı olarak sayılabilmektedir(Yücel [10]).

3.2 Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması

Takım çelikleri, dövme, kesme kalıbı, soğuk iş takımları, yüksek hızda işleme ve buna benzer çok çeşitli çalışma koşulları gibi özel uygulamalar için kullanılabilmek için gruplandırılmaktadır. Her takım çeliği birbirinden tamamen farklı olmak zorunda değildir. Uygulama alanlarında, çalışma veya işlem koşullarında herhangi bir fark yaratan her çelik farklı takım çeliği olarak kabul edilmektedir.

Takım çeliklerini sınıflandırmak için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. AISI standardına göre en genel olarak kabul görmüş sınıflandırma bu çeliklerin başlıca alaşımlandırılmış karakteristikleri, uygulama alanları veya ısıl işlemlerine göre yapılmaktadır.

Buna göre aşağıdaki tabloda genel olarak dokuz sınıfa ayrılmış takım çelikleri ve bunları simgeleyen semboller yer almaktadır(Bayer [4]).

Çizelge 3.1 AISI' ya göre takım çeliklerinin sınıfları ve sembolleri (Bayer [4])

Takım Çeliği Sınıfı	Sembol
Suda Sertleşen Takım Çelikleri	W
Şok Dayanımlı Çelikler	S
Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	O
Havada Sertleşen Orta Alaşımlı Takım Çelikleri	A
Yüksek Karbon ve Yüksek Krom İçerikli Takım Çelikleri	D
Kalıp Çelikleri	P
Sıcak İş Takım Çelikleri (Cr, W, Mo)	H
Tungsten İçeren Yüksek Hız Takım Çelikleri	T
Molibden İçeren Yüksek Hız Takım Çelikleri	M

3.2.1 Soğuk İş Takım Çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri, yapılarında yüksek sıcaklıklarda sertliğini korumasını sağlayacak alaşım elementleri bulunmayan takım çelikleridir. Uzun süreli sıcakta ve tekrarlayan ısınma ve soğuma işlemlerinde (205°C ile 260°C üstü) kullanımları bu

nedenle sınırlandırılmış türdeki çeliklerdir. Soğuk iş takım çelikleri yaklaşık yüzyıldan daha uzun sürelik bir gelişim ve kullanım süresine sahiptir(Bayer [4]). Bu çeliklerden hem genel olarak çok çeşitli özellikler hem de kullanım yerine özel gelişimler beklenmiştir. Bunlar arasından bazıları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek gerilimler altında çalışırken kalıcı şekil değiştirmeye karşı üstün dayanım özelliği
- Abrasiv ve adesiv aşınma ile yüzey yorulmasına karşı direnç
- Yorulma ve kırılma direnci için tokluk
- Kullanım esnasında boyutsal kararlılık
- Mikroyapısının her yerde ve her yönde aynı özellikler göstermesi
- Ön tavllanmış yapısında kolay işlenebilirlik
- Kullanım şartlarında kabul edilebilir korozyon direnci
- Sertleştirilmiş yapısında kabul edilebilir miktarlarda çatlak oluşturma direnci, özellikle EDM ve kaynak işlemlerinin ısı tesiri altındaki bölgelerinde (ITAB)(Viale vd. [11])

Genel olarak bilinen sınıflandırmasıyla toplamda üç gruba ayrılmaktadır:

3.2.1.1 Orta Alaşımli, Havada Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri

AISI standardında A grubu olarak gösterilen takım çelikleridir. Bu grup takım çelikleri östenitleme sıcaklığından itibaren havada soğutulmaya bırakılması durumunda 102 mm. kalınlığa kadarki genişliklerde tamamen sertlik alabilecek kadar alaşım elementi içermektedir. Bu şekilde bir özelliğe sahip olması uygulamada iki büyük kolaylık sağlamaktadır. Yavaş soğutulduğunda da sertlik alacağından distorsiyon riski ortadan kalkmakta ve hızlı soğutmalarda rastlanan çatlama olasılığını engellemektedir. Bu takım çeliğinde molibden, krom ve mangan en çok kullanılan alaşım elementleridir.

%5 krom içeren soğuk iş takım çelikleri diğerlerine nazaran daha yüksek sıcaklıklarda sertliklerini koruyabilmektedir. %1 civarında krom ile %2 civarında mangan içerenler yaklaşık 100-110°C derece daha düşük östenitleme sıcaklığına sahip olmaktadır.

Yüksek tokluk elde etmek için silikon ilave edilmiş, yüksek karbon ve yüksek silikonlu yapıda da soğuk iş takım çelikleri bulunmaktadır. Bu tür çeliklerde mikro yapıda grafit oluşması durumunda işlenebilirlik kabiliyetli göreceli olarak yükselmektedir.

Bu türde yer alan çelikler genel olarak, kesici uçlarda, bıçaklarda, punçlarda, ovalama kalıplarında ve tırmıklarda kullanılmaktadır. Ayrıca üstün aşınma dirençleri sayesinde bu çelikler, seramik ve tuğla kalıplarında da kullanılmaktadır.

Kromlu ve krom-vanadyumlu yapıdaki hava çelikleri ise bu kompleks yapıları ile martenzitik matriks oluşturmakta ve oldukça üstün aşınma direnci göstermektedir (Bayer [4]).

3.2.1.2 Yüksek Karbon ve Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri

AISI standardına göre D grubu olarak tanımlanan takım çelikleridir. Genel olarak %1,50 ile %2,30 arasında karbon içeren ve %12'ye kadar krom içeren soğuk iş takım çeliğidir. İçerisinde %1 civarında molibden bulunan çeşitleri mevcuttur. Bu çelik türü de maksimum sertliğini havada soğutulması ile kazanabilen bir çeliktir. Ayrıca bu çelik türü de artan sıcaklıkta sertliğini kaybetmeye karşı direnç göstermektedir. D7 türü soğuk iş takım çeliği, en yüksek karbon ve vanadyum içeren çelik gibi bu türe benzeyen takım çeliklerinin aşınmaya karşı oldukça üstün özelliklerini göstermektedir. Tüm D serisine ait çeliklerde, özellikle de D3, D4 ve D7, yapılarında oldukça fazla karbür bulundurduğundan tane sınırlarında karbürlerin gevrekliği oluşma riski doğmaktadır.

Bu sınıftaki soğuk iş takım çelikleri uzun soluklu boşluk çıkarma, şekillendirme, derin çizme ve kesme kalıplarında kullanılmaktadır(Bayer [4]).

3.2.1.3 Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri

AISI standardına göre O grubu olarak tanımlanan takım çelikleridir. Östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına, yağda soğutma ile maksimum sertliğe ulaşacak alaşımlandırılmış soğuk iş takım çeliğidir. Bu sınıf içindeki takım çelikleri alaşım elementlerinin miktarı dışında, genel olarak oldukça benzerdirler. O1 tipi takım çeliği önemli alaşım miktarlarında mangan, krom ve tungsten içermekte, O2 tipi mangan içermekte, O6 tipi ise silikon, mangan ve molibden içermektedir. Bu üç tip soğuk iş takım çeliği de yapısında serbest halde kalacak kadar karbon alaşım elementi içermektedir.

Artan karbon miktarına bağlı olarak bu takım çeliğinde yüksek aşınma direnci elde edilmektedir. Yalnız bu sınıf takım çeliklerinde artan sıcaklıklara karşı direnç oldukça düşüktür.

Bu takım çelikleri havada sertleşen çeliklere göre daha kötü, suda sertleşenlere göre daha iyi distorsiyon sonuçları göstermektedir. Ayrıca çatlama riski bakımından suda sertleşen takım çeliğine nazaran daha az risk taşımaktadır.

Bu sınıf takım çelikleri kesme kalıplarında, punçlarda ve taraklarda kullanılmaktadır. Sertleştirme hızına ve menevişleme durumuna göre sertliği 56 HRC ile 62 HRC arasında elde edilebilmektedir. 175°C derece ile 315°C arasındaki meneviş sıcaklıklarında yapılan işlem sonucunda mekanik özellikler ile kesici kabiliyet arasında iyi bir harman sağlanabilmektedir(Bayer [4]).

3.2.2 Sıcak İş Takım Çelikleri

Yüksek sıcaklıklarda dövme, şekillendirme ve ayırma işlemlerinde kullanılan takım çelikleridir. Sıcak iş takım çelikleri, ısı, basınç ve abrasif özelliklerin bir arada elde edilebildiği yapıdaki bir çelik alaşımıdır. Buna göre örnek sıcak iş takım çeliklerinin sertliklerini 100 saat sonunda artan sıcaklıklarda gösteren çizelge aşağıdadır:

Çizelge 3.2 Dört çeşit takım çeliğinin yüz saat sonunda yükselen sıcaklıklardaki sertlik değerleri (Bayer [4])

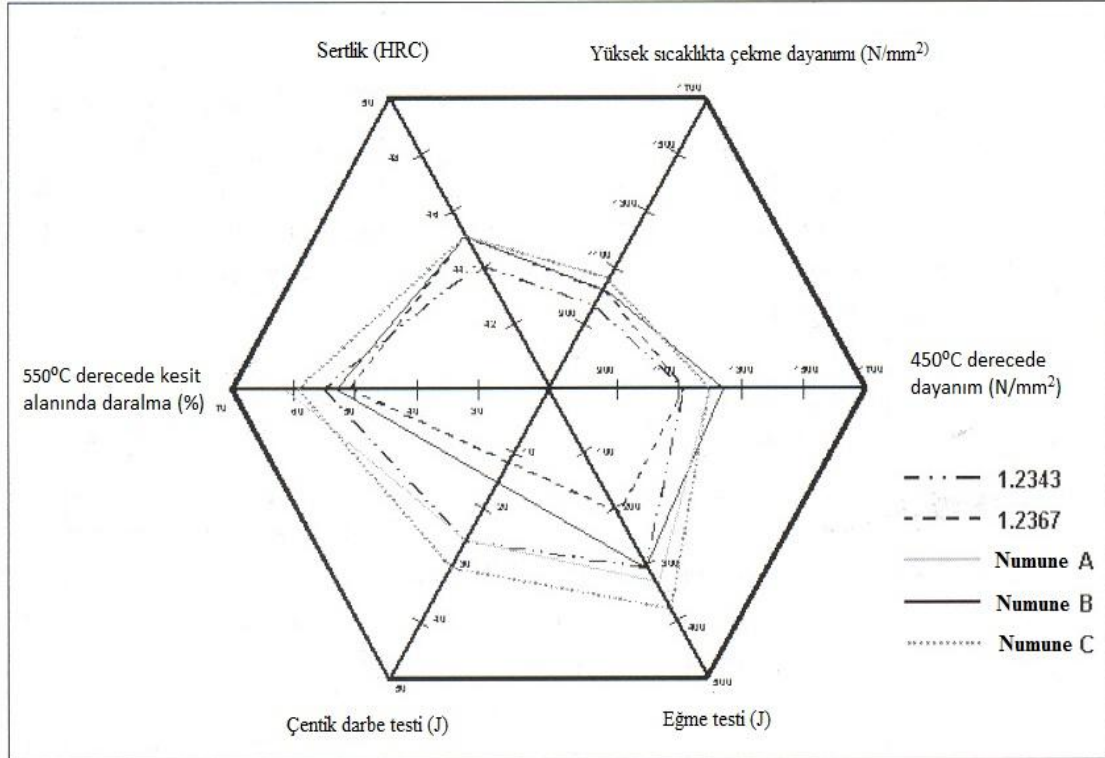
AISI No.	Orijinal Sertlik Değeri (HRC)	100 Saat Sonunda Sertlik Değeri (HRC)					
		480°C	540°C	595°C	650°C	705°C	760°C
H13	50,2	48,7	45,3	29	22,7	20,1	13,9
	41,7	38,6	39,3	27,7	23,7	20,2	13,2
H21	49,2	48,7	47,6	37,2	27,4	19,8	15,2
	36,7	34,8	34,9	32,6	27,1	19,8	14,9
H23	40,8	40	40,6	40,8	38,6	33,2	25,8
	38,9	38,9	38	38	37,1	32,5	25,6
H26	51	50,6	50,3	47,1	38,4	26,9	21,3
	42,9	42,4	42,3	41,3	34,9	26,4	21,1

H tipi sıcak iş takım çelikleri orta karbonlu bir alaşım miktarına sahiptir. Bunun dışında %6 ile %25 arasında krom, tungsten, molibden ve vanadyum içermektedir.

Araştırmalar göstermiştir ki, sıcak iş takım çeliklerinde mekanik özellikleri ve malzeme tokluğunu etkileyen iki önemli parametre vardır:

- Dövmeye ve ısıtma işlem parametrelerinin değişmesi
- Kullanılan sıcak iş takım çeliği malzemenin kimyasal analizinin değişmesi

1.2343, 1.2367 ve özel olarak alaşımlandırılmış üç farklı sıcak iş numunesinden yapılmış 320 mm. çapında ve 30 mm. kalınlığında toplam beş numune, ön tavlama işlemi görmüş ve sonrasında farklı sıcaklıklarda çekme testine tabii tutulmuştur. Alınan sonuçlara göre oluşturulmuş grafik aşağıdadır(Gümpel vd.[12]).



Şekil 3.1 Farklı sıcak iş takım çeliklerinin özelliklerinin karşılaştırılması (Gümpel vd.[12])

Sıcak iş takım çelikleri içerdikleri alaşım miktarlarına göre üç ayrı gruba ayrılmaktadır.

3.2.2.1 Kromlu Sıcak İş Takım Çelikleri

AISI standardında H10'dan H19'a kadar olan sıcak iş takım çelikleridir. Bu sınıfta yer alan çelikler, orta alaşımda bir krom içeriği ve karbür oluşturmaya karşı dirençlidir. Toplamda alaşım miktarı düşüktür ve karbon miktarı nedeniyle tokluğu 40 HRC ile 55 HRC arasında yüksektir. Yapısında yer alan yüksek tungsten ve molibden alaşımı sayesinde sıcak dayanımı yükselmekte ve buna nazaran tokluğu çok düşmemektedir.

Bu sınıf sıcak iş takım çelikleri aynı zamanda havada sertleşebilen takım çelikleri özellikleri göstermektedir. 150 mm. 'ye kadar kalınlıktaki parçalar için havada soğutma ile çekirdeğine kadar kullanım için maksimum sertlik elde edilebilmektedir. Bu şekilde bir soğutma rejimi distorsiyon bakımından oldukça büyük avantaj sağlanmasına yardımcı olacaktır.

Kromlu sıcak iş takım çeliklerinin, alüminyum ve magnezyum ekstrüzyon kalıpları olarak kullanılması yaygındır. Ayrıca dökme kalıplarında, sıcak dövme kalıplarında ve sıcak kesme kalıplarında kullanılmaktadır.

Kromlu sıcak iş takım çeliğinin geleneksel çelikten en büyük farkı, bu sıcak iş takım çeliğinin artan sıcaklıklarda yumuşamaya karşı oldukça üstün direnç değerlerine sahip olmasıdır. 540°C dereceye kadar varan sıcaklıklarda kullanılmaya uygun bir yapıdadır. İlaveten, yüksek sıcaklıklarda menevişleme direnci taşımaktadır. Bu özelliği ikincil sertleşme ile elde ettiğinden, çok yüksek sıcaklıklarda meneviş gören takım çeliğinin tokluğu oldukça artmaktadır(Bayer [4]).

3.2.2.2 Tungstenli Sıcak İş Takım Çelikleri

AISI standardında H21 ile H26 arasındaki takım çelikleridir. Prensipde tungstenle alaşımlandırılmış sıcak iş takım çeliği yapısında karbon, krom ve vanadyum içermektedir. Bu çeliklerin daha yüksek alaşımlı olması, onların artan sıcaklıklarda yüksek sertlikleri olmasına ve bu sertliklerini daha uzun süre koruyabilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca 40 HRC ile 55 HRC arasındaki sertlik değerlerinde daha tok bir kalıp üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu sınıftaki takım çelikleri de aynı kromlu sıcak iş takım çeliklerine benzer havada sertleşebileceği gibi, sıcak tuz banyolarında da sertleştirilmektedir. Tabii ki havada soğutma ile oluşan distorsiyon miktarı oldukça düşüktür. Tungsten içeriğinden dolayı bu takım çeliklerinin daha yüksek östenitleme sıcaklığına çıkarılması gerekmektedir. Artan sıcaklıklar, malzemenin oksitlenme eğilimini arttırdığından oksitlenme riski daha yüksek olmaktadır.

Tungstenli sıcak iş takım çeliklerinin yüksek tokluk değerlerinin olmasına rağmen, bu çelikler yapıları bakımından yüksek hız takım çeliklerine benzemektedir. Bu nedenle kullanımdan önce kalıpların ön ısıtması iyi yapılmalıdır. Ekstrüzyon kalıpları olarak

kullanılan bu çelikler genelde yüksek sıcaklıkta yapılan uygulamalarda tercih edilmektedir ki, bunlar arasında pirinç, nikel alaşımları ve çelik türleri sayılabilmektedir(Bayer [4]).

3.2.2.3 Molibdenli Sıcak İş Takım Çelikleri

Bu sınıf içinde yer alan sadece iki çeşit sıcak iş takım çeliği bulunmaktadır. Bunlar AISI H42 ve H43 çelikleridir. Yapılarında molibden dışında krom, karbon ve vanadyum içermektedirler. Yapısal olarak tungstenli sıcak iş takım çeliklerine benzemektedirler ve bu nedenle kullanım yeri olarak aynı alanlarda faaliyetler için tercih edilmektedirler. Molibdenli yüksek hız takım çeliklerine benzeyen bu sıcak iş takım çelikleri farklı olarak daha düşük karbon ve daha yüksek tokluk değerlerine sahiptir. Temel kullanım sebebi maliyet bakımından daha uygun olmasıdır. Ayrıca karşılaştırmalı olarak tungstenli sıcak iş takım çeliklerinden biraz daha yüksek sıcak dayanımı olan çeliklerdir fakat ısıtılma işlemi çok daha özen gösterilmeleri gerekmektedir. Dekarbürizasyon ve östenit sıcaklığı kontrolü bakımından sertleştirilme işlemi özeldir(Bayer [4]).

3.2.3 Yüksek Hız Takım Çelikleri

ASTM A600-79 standardı tanımına göre yüksek hız takım çelikleri, yüksek hızda kesim yapabilme kapasitesine sahip takım malzemesi olarak tanımlanan çelik türüdür. Bu takım çeliğinin gelişimi oldukça uzun bir kronolojiye sahiptir.

Çizelge 3.3 ASTM A 600 standardına göre yüksek hız takım çeliğinin özellikleri(Bayer ve Bruce [13])

	Standart	Orta Alaşımlılar
Kimyasal Analiz Değerleri		
Minimum Karbon İçeriği	0,65%	0,70%
Minimum Krom İçeriği	3,50%	3,25%
Minimum Vanadyum İçeriği	0,80%	0,80%
Minimum Tungsten İçeriği + %1,8 Mo	11,75%	6,50%
Minimum Alaşım Oranı (Co<0,5)	22,50%	13%
Minimum Alaşım Oranı (Co>0,5)	21%	12%
Sertlik Sonuç Değerleri		
Östenitleme Sonrası Minimum Sertlik	63 HRC	62 HRC

Yüksek hız takım çeliklerinin, takım çelikleri içinde sınıflandırılmaya başlaması bugünün klasik yüksek hız takım çeliklerinden sayılan T1 (18W-4Cr-1V) malzemenin, 1910 yılında kullanıma girmesiyle olmuştur. İlk üretilen hız çeliğinden günümüze takım çeliğinin geliştirilmesi konusunda oldukça gelişmeler yaşanmış ve 20m/dk hızlarından, bugün PVD ile TiN kaplanmış, toz metal hız çeliklerinde 120m/dk'ya kadar ilerlenmiştir. Bu takım çeliği türündeki gelişmeler zaman içinde yaşanan alaşım elementlerinin bulunamaması (Mo ve Co) durumlarında çeşitlilik kazanmış ve alaşım elementleri ile sınıflandırılması geliştirilmiştir. Her bir alaşım elementinin etkisi bu süreçte daha iyi anlaşılmış ve bu alaşım elementlerinin kombinasyonlarının sonuçları ve homojenlikleri incelenmiştir. Bu konuda tabii ki en büyük gelişme toz metalurjik üretimin başlamasıyla olmuştur.

Çizelge 3.4 Yüksek hız takım çeliklerinin gelişim tarihçesi (Bayer ve Bruce [13])

Tarih	Gelişme
1903	%0,7 C, %14 W, %4 Cr içeren ilk prototip
1904	%0,3 Vanadyum ilavesi
1906	Elektrikli ocaklarla ergitme
1910	İlk 18-4-1 üretimi (<i>AISI T1</i>)
1912	%3 ile 5 arasında Co ilavesi ile sıcak sertlikte gelişme
1923	%12 Co ile kesim hızı artımı
1939	Yüksek C ve V ile süper yüksek hız takım çeliği (<i>AISI M4 ve T15</i>)
1940 - 1952	Tungsten yerine Molibden ilavesi başladı
1953	Sülfürlü işlenebilir yüksek hız takım çeliği üretimi
1961	Yüksek C ve Co içeren ultra sert hız çeliği (<i>M40</i>)
1970	Toz metalurjik hız çeliği üretimi
1973	Yüksek Si/N içeren sertliği arttırılmış hız çeliği üretimi (<i>M7</i>)
1980	Co içermeyen süper hız çelikleri üretimi
1982	Al modifiyeli hız çeliği üretimi

Yüksek hız takım çeliklerinin alaşım elementlerine ve uygulanan ısıtım işlem özelliklerine göre mikroyapılarının ve mekanik özelliklerinin kontrol edilmesi sonucu belirgin özellikler ve dizaynlar elde edilmiş ve bu şekilde sertlikle birlikte tokluğun gerekli olduğu kullanım alanlarında tercih edilir olmuştur. Öncelikle kullanım alanı olarak kesme ve delme işleri olmak üzere bitirici işlemlerden delik genişletmede, broşlamada, diş açmada, azdırmada, şekillendirmede ve traşlamada kullanılmaktadır. Bunun dışında çok sayıda farklı operasyonda ihtiyaç duyulan ince uçlu bıçaklarla kağıt, ağaç ve yiyecek kesme işlemlerinde bu çelik türü tercih edilmektedir(Maili vd. [14]).

AISI standardına göre yüksek hız takım çeliklerini kırktan fazla çeşitte sınıflandırma yapılabilmektedir. Yalnız AISI 'nın genel olarak kabul gören sınıflandırması oldukça eski zamandan beri kabul gören tungsten ve molibden içeriğine göre sınıflandırmadır.

3.2.3.1 Tungstenli Yüksek Hız Takım Çelikleri

Bu sınıfta yer alan yüksek hız takım çeliği genel olarak yapısında tungsten, krom, vanadyum, kobalt ve karbon içermektedir. AISI standardına göre bu sınıftaki çelikler T ile gösterilmektedir. İlk üretilen yüksek hız takım çeliği olan T1 çeliğinde de günümüzdeki alaşım miktarlarına yakın bir analiz vardır. Sadece vanadyum miktarının ve karbon miktarının artışı son otuz yıllık periyotta olmuştur.

%1,5 vanadyum ve %1 karbondan daha yüksek değerlerde alaşım elementi içeren bu yüksek hız takım çeliği, yüksek alaşımlı yapısı sayesinde mikroyapısında oldukça sert karbürler bulundurmaktadır. Ayrıca bu sınıftaki çeliklerin yüksek sıcaklıklarda da sertliğini muhafaza etmesinden ötürü çok çeşitli takımlarda, takım elemanı olarak kullanımı yaygındır. Bu nedenle kesme kalıpları, punçlar, broşlar ve yüksek sıcaklıkta çalışan havacılık sektöründe burç yatağı olarak kullanıma uygundur.

T tipi yüksek hız takım çeliklerinin tamamı yüzeyden çekirdeğe kadar havada sertleşebilen çelik sınıfındadır. Östenitleme sıcaklığından havada soğutulmaya bırakılan bir T tipi yüksek hız takım çeliği 76 mm.'lik kalınlıklara kadar ki boyutlarda maksimum sertlik değerlerini göstermektedir(Bayer ve Bruce [13]).

3.2.3.2 Molibdenli Yüksek Hız Takım Çelikleri

Bu sınıfta yer alan yüksek hız takım çeliği genel olarak yapısında molibden, tungsten, krom, vanadyum, kobalt ve karbon içermektedir. AISI standardına göre M simgesi ile gösterilmektedir. Bu sınıftaki yüksek hız takım çelikleri T sınıfından farklı olarak daha yüksek tokluk değerlerine sahiptir. Bu özellik dışında iki yüksek hız takım çeliği için mekanik özellikler oldukça benzerdir.

Yüksek alaşımlı yapısı sayesinde sıcakta sertliğini kaybetmeye direnci oldukça iyidir. Yalnız bu sınıftaki çeliklerin daha yüksek hassasiyet isteyen bir östenitleme koşulları vardır. Çünkü T tipi yüksek hız takım çeliklerinin daha yüksek östenitleme koşulları, M tipi için üst limitlerin de ötesine geçmektedir.

Bu sınıftaki hız çelikleri, içerdikleri alaşım oranına bağlı olarak 62 HRC sertlik değerinden 65 HRC sertlik değerlerine hatta M40 hız çeliğinde ise 66-68 HRC sertlik aralığına ulaşılmaktadır.

Çizelge 3.5 AISI standartlarına göre yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal analizi
(Bayer ve Bruce [13])

AISI Standartlarına göre							
Molibdenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	C	Si	Cr	V	W	Mo	Co
M1	0,83%	0,35%	3,75%	1,18%	1,75%	8,70%	-
M2	0,83%	0,33%	4,13%	1,98%	6,13%	5%	-
M3	1,05%	0,33%	4,13%	2,50%	5,88%	5,63%	-
M4	1,33%	0,33%	4,25%	4,13%	5,88%	4,88%	-
M6	0,80%	0,33%	4,13%	1,50%	4,25%	5%	12%
M7	1,01%	0,38%	3,75%	2%	1,75%	8,70%	-
M10	0,89%	0,33%	4,13%	2%	-	8,13%	-
M15	1,50%	0,33%	4%	5%	6,50%	3,50%	5%
M30	0,80%	0,33%	4%	1,25%	2%	8%	5%
M33	0,89%	0,33%	3,75%	1,18%	1,70%	9,50%	8,25%
M34	0,89%	0,33%	3,75%	2,10%	1,75%	8,48%	8,25%
M35	0,80%	0,33%	4%	2%	6%	5%	5%
M36	0,85%	0,33%	4,13%	2%	6%	5%	8,25%
M41	1,10%	0,33%	4,13%	2%	6,63%	3,75%	8,25%
M42	1,10%	0,40%	3,88%	1,15%	1,50%	9,50%	8,30%
M46	1,26%	0,53%	3,95%	3,15%	2,05%	8,25%	9%
M48	1,50%	0,33%	3,88%	3%	10%	5,13%	-
M50	0,80%	0,40%	4,13%	1%	-	4,25%	-
M52	0,90%	0,40%	4%	1,93%	1,25%	4,45%	-
M62	1,30%	0,28%	3,88%	2%	6,25%	10,50%	-
Tungstenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	C	Si	Cr	V	W	Mo	Co
T1	0,73%	0,30%	4,13%	1,10%	18%	-	-
T4	0,75%	0,30%	4,13%	1%	18,25%	0,70%	5%
T5	0,80%	0,30%	4,38%	2,10%	18,25%	0,885	8,25%
T6	0,80%	0,30%	4,38%	1,80%	19,75%	0,70%	12%

3.2.3.3 Toz Metalurjik Yüksek Hız Takım Çelikleri

Toz metalurjik yüksek hız takım çelikleri üstün performansı ve üretim kolaylığı nedeniyle matkap uçları, broşlar ve çeşitli kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemle üretilen yüksek hız takım çeliklerine göre çeşitli avantajlara sahiptir:

- Segregasyon olmadan ingot üretiminin mümkün olması
- İnce taneli mikroyapıya sahip üretimin yapılması
- Tüm yapıda homojenliğe sahip olması
- Yüksek tokluğa sahip olması
- Üstün parlatılabilirlik kabiliyetine sahip olması
- Tane boyutu kontrol edilebilir olması
- Homojen sertlik değerleri göstermesi

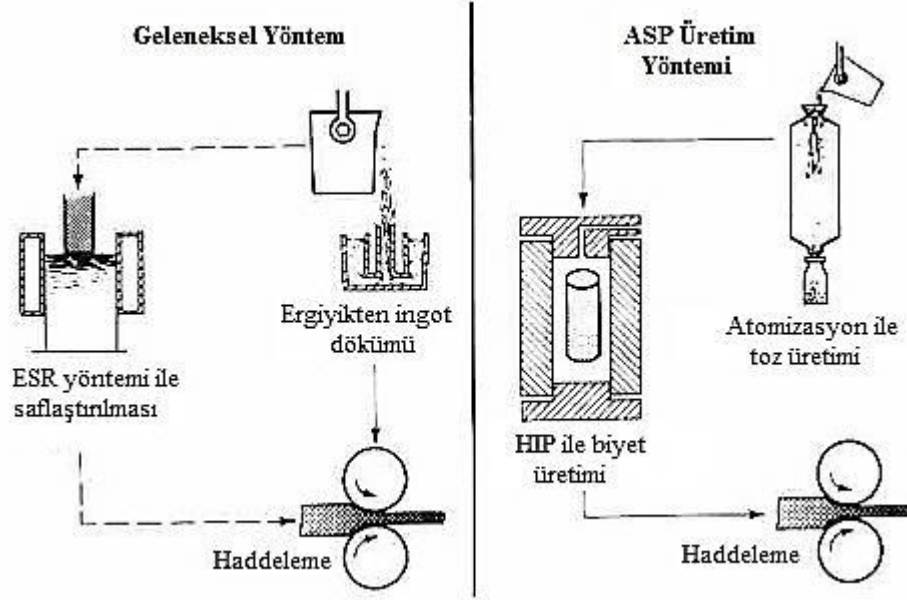
Toz metalurjik yöntemle üretimde, atomizasyon yoluyla hızla soğutularak üretilen tozlar kullanıldığından segregasyon riski ortadan kalkmaktadır. Ayrıca karbürler ve metalik olmayan inklüzyonlarla çok ince ve homojen bir mikroyapı elde edilir. Toz metalürjisinin yüksek hız takım çeliği üretimine dahil olmasıyla, hız çeliklerinde son özellikler bakımından kayda değer gelişmeler olmuştur. Bunlar tokluk, ısıl işlemden boyut kontrolü, parlatılabilirlik ve zorlu koşullarda kesim performansıdır. Ayrıca bu yöntemle alaşım miktarında kısıtlama olmamaktadır. Böylece istenen özellikleri arttırmaya yönelik yüksek alaşımlı çeliklerin üretimi mümkün olmuştur.

Toz metalurjik yöntemle 1970 yılından günümüze çok çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Son olarak günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntem ise, gaz atomizasyon ile tozun üretimi ve bunu takip eden izostatik presleme yöntemiyle üretimdir.

Anti-Segregasyon Prosesi (ASP¹), toz metalurjik üretim için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde ergitilmiş metale inert bir gaz üflenerek küresel yapıda toz elde edilmektedir. Daha sonrasında tozlar silindirik metal çerçevelere yerleştirilip uzun süre titreşime tutulur. Böylece silindir içerisinde tüm yapının homojen olması sağlanır. Daha

¹ Deneysel çalışmada kullanılan ASP 2052 yüksek hız takım çeliği bu prosesle üretilmiştir.

sonrasında metal çerçevenin üstü kaynakla kapatılır. Bu kapsül önce soğuk izostatik sonra sıcak izostatik presleme işlemine tabii tutulur ve tüm yoğunluğunu alması sağlanır. Daha sonrasında üretilen toz metalurjik hız çeliği sıcakta dövme veya haddeleme ile istenen boyutlara indirilir(Bayer ve Bruce [13]).



Şekil 3.2 Geleneksel ve toz metalurjik yüksek hız takım çeliği üretimi (Bayer ve Bruce [13])

3.2.3.4 Yüksek Hız Takım Çeliklerinin Özellikleri

Yüksek hız takım çelikleri tür ve üretim yönteminden bağımsız olarak aşağıda sıralanmış şu ortak özelliklere sahiptir:

- Hepsi yüksek alaşımlıdır
- 64 HRC sertlik değerine ulaşacak kadar karbon içeriğine sahiptir
- Üstün sertleşebilirlik kabiliyeti sayesinde çekirdekten yüzeye kadar homojen sertlik dağılımına sahiptir
- Yüksek östenitleme sıcaklığından havada soğutma ile maksimum sertlik değerlerinde sertlik almaktadır

Bütün yüksek hız takım çelikleri yapısında ön tavlanmış karbür partikülleri içermektedir. Bu karbür partikülleri hız çeliğinin aşınma direncine katkıda bulunmaktadır. Isıl işlem esnasında belli bir kısmı çözünerek matrikse geçen alaşım elementleri çeliğin sertleşebilirliğini arttırmaktadır.

Tüm hız çelikleri benzer mekanik ve fiziksel özellikler gösterse de alaşım elementleri oranları değiştirilerek farklı çalışma koşulları için farklı özellikler gösterebilmektedir. Bir yüksek hız takım çeliğinden beklenen en önemli özellik bu çeliğin kesme kabiliyetidir. Kesme kabiliyeti için dört önemli özellik gerekmektedir.

- Sertlik
- Sıcak Sertlik
- Aşınma Direnci
- Tokluk

Bu dört özelliğin öncelik sıralaması sadece kullanım yerinde ihtiyaç duyulma oranına göre yapılmaktadır. Hız çeliğinin alaşımlandırılması da kullanım alanındaki ihtiyaç önceliğine göre yapılmaktadır(Bayer ve Bruce [13]).

Sertlik: Bütün yüksek hız takım çeliklerinde en çok aranan özelliktir. Oda sıcaklığında yüksek hız takım çeliklerinin 64 HRC sertlik alabilir olması gerekmektedir. Bazı takım çelikleri (M40, T15) ise 69 HRC ve daha yüksek sertliklere çıkabilmektedir(Bayer ve Bruce [13]).

Sıcak Sertlik: Kesme kabiliyetinin göreceli olarak en önemli özelliklerinden biridir. Çünkü kullanım alanında sürtünme ile artan sıcaklıklarda kesici uç sertlik değerlerini kaybetmektedir. Bu özelliğin önemine göre yüksek hız takım çeliğinin kimyasal kompozisyonuna kobalt eklenmektedir(Bayer ve Bruce [13]).

Aşınma Direnci: Yüksek hız takım çeliğinin kesme kabiliyetine etki eden üçüncü önemli özelliği ise aşınma direncidir. Kesici takımın performansı aşınma yüzeyinin incelenmesi ile olmaktadır. Kesici takım için performans sağlayacak mikroyapının geliştirilmesi için aşınmanın mekanizması bilinmelidir. Genel olarak kesici takımlar için ana aşınma mekanizması abrasiv aşınmadır. Bu tür aşınmada temel, kesici ucun mikro-sabanlama yapıyor olmasıdır. Kesim esnasında oluşan talaşın ortamdaki uzaklaşmaması durumunda talaş, kesici ucu ikinci kez aşındırmaktadır. Hem kesici takımın ömrü azalmakta hem de kesilen yüzeyin kalitesi düşmektedir. Bu nedenle kesim esnasında yeterli miktarda ve temiz bir kesme sıvısı ortama besleniyor olmalıdır.

Yüksek hız takım çeliğinden yapılan bir kesici takım malzemesi yukarıda açıklanan durum gereğince mikro-sabanlamaya karşı koymalıdır. Aksi takdirde elmasların kesici

köşelerinin mikro-kırılmalar yaşayarak körelmesi ile karşı karşıya kalınacaktır. Çalışma sırasında kesici takım sürekli aşınmakta ve yüzeyin altında gömülü karbürler sırayla yüzeye çıkarak kesme işini devam ettirmektedir. Eğer matriks yumuşak kalırsa karbürler yüzeyden erken kopmaktadır. Yalnız sadece sertliğin yükseltilmesi de aşınma direnci bakımından yeterli değildir. Çünkü sert matriks bu karbürlerin de görev değişimine engel olacaktır. Körelen karbür yüzeyden kopamayacak ve alttan yeni karbür gelemeyecek olması takımın hızını azaltacaktır. Bu nedenle matriks sertliği ömür uzatıyorsa belirli bir oranda da kesme hızını düşürdüğü bilinmelidir (Karagöz ve Zeren[15]).

Tokluk: Kesme kabiliyeti için gerekli olan dördüncü özelliktir ve toplamda iki ana faktörden oluşmaktadır:

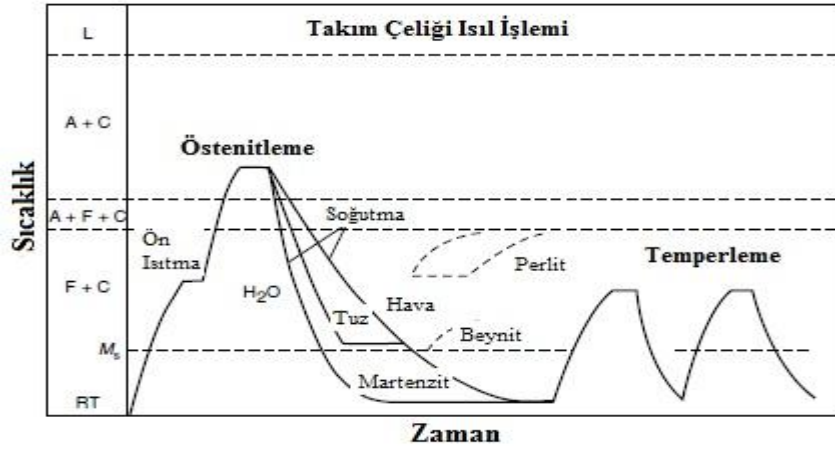
- Kırılmadan önceki şekil değiştirme yeteneği
- Kalıcı şekil değişikliğine karşı direnci

Yüksek hız takım çeliğine daha çok uyan durum ise elastik deformasyon direncidir. Kesici uç olarak üretilmiş yüksek hız takım çeliği darbe görmekte ve bu darbeleri adsorbe edebilme yeteneğine sahip olmalıdır(Bayer ve Bruce [13]).

3.3 Takım Çeliklerine Uygulanan Isıl İşlemler

Takım çelikleri kullanım alanlarına özgü koşulları için dayanım özelliklerinin neredeyse tamamını, kimyasal içeriği ve yapılan uygulamalara bağlı olarak ısıtılma işlemi ile elde etmektedir. Bu bakımdan takım çeliklerinin üretimdeki en büyük adımlarından biri ısıtılma işlemidir ve bu ısıtılma işlemi genel kuralları olarak üç ana adımdan oluşmaktadır:

- 1) Takım çeliğini östenit bölgesine kadar ısıtarak yapısını östenitlemek
- 2) Östenitlenmiş yapıyı soğutarak martenzitik yapıya geçmek
- 3) Artık östenitli yapıyı yok etmek ve karbürleri oluşturmak için menevişleme yapmak



Şekil 3.3 Takım çeliğinin ısıtma ve soğutma süreçlerinin şematik görünümü [4]

Yukarıda belirtilen adımların dışında döküm, toz metalürjisi ile üretim ve sıcak şekillendirme sonrası ısıtma adımlarına normalizasyon, tavlama ve gerilim giderme işlemleri eklenebilmektedir. Genel olarak takım çeliklerinin ısıtma işlemi bu çeliklerde aşağıda sıralanmış olan dört farklı hedefe ulaşmak amaçlı yapılmaktadır:

- İşlenebilirlik ve soğuk deformasyonu sağlayan mikroyapı ve özellikleri elde etmek
- Önceki ısıtma ve mekanik işlemlerden kaynaklanan artık gerilimleri gidermek
- Küreleştirme işleminde, küresel karbürlerin homojenleştirilmesi ile oluşturulmuş bir mikroyapı elde etmek
- Takım çeliklerinin mekanik özelliklerini kötüleştiren taneler arası karbürlerin çözünerek yapıya alınmasını sağlamak

Takım çeliklerine genel olarak uygulanmakta olan ısıtma işlem çeşitleri detaylı olarak aşağıdaki bölümlerde yer almaktadır. Bunlar, normalizasyon, gerilim giderme, tavlama, küreleştirme ve sertleştirmedir(Bayer ve Bruce [13], Toten [5]).

3.3.1 Normalizasyon

Normalizasyon ısıtma işlemi, takım çeliği malzemesinin yavaş ve dengeli bir şekilde dönüşüm sıcaklığının üzerine çıkarılması ve bu sıcaklıktan oda sıcaklığına havada soğutma hızında indirilmesidir. Bu işlem genel olarak uniform bir yapıya geçmek, malzemede üretimden oluşmuş çeşitli gerilimleri azaltmak, parçanın farklı bölgelerinde

oluşmuş sıcaklık farklarını gidermek ve tüm parçada eşit ve oldukça ince boyutlu çekirdekler oluşturmak amacıyla yapılmaktadır.

Normalizasyon ısıtma işlemi bir takip işlemi olduğundan, genelde bu işlemi gören parçayı sıcakta şekillendirme ve dövme gibi ön işlemler veya tekrardan ısıtma işlemi yaparak malzemenin sertleştirilmesi işlemleri gibi devam işlemleri takip etmektedir.

Takım çelikleri genel olarak yüksek alaşımlı takım çeliklerinden olduklarından, soğuma hızı çok düşük ortamlarda dahi sertleşebildiğinden, bu çeliklerin büyük bir kısmı bu işleme karşı hassastır. Bu nedenle genel olarak alaşım miktarı yüksek olan takım çeliklerinde normalizasyon işlemi yapılması tercih edilmemektedir(Branco ve Krauss [16]).

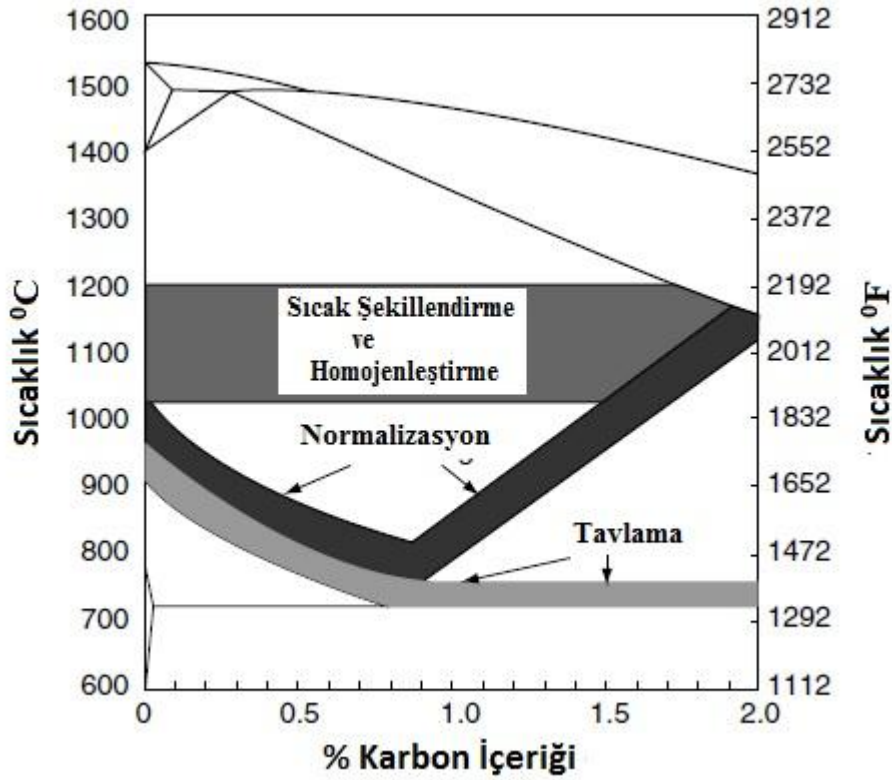
3.3.2 Ön Tavlama

Takım çelikleri üretildikleri fabrikalardan mutlaka bir ön tavlama görmüş olarak çıkmaktadır. Bu işlem, takım çeliği malzemenin daha sonra kullanılacağı alana uygun kesilmesi, delinmesi veya işlenmesi gerektiğinde ve ısıtma işleminde kolaylık sağlamaktadır. Eğer malzeme sıcak ya da soğuk deformasyon ile şekillendirilecekse bu durumda tekrar tüm yapının tavlama işlemi gerekmektedir. Özellikle bu durum yüksek karbon ve alaşım elementi içeren takım çeliklerinde önemlidir. Aksi durumda malzemenin şekillendirilmiş yapısında ve şekillendirme sonrasında istenmeyen tane büyümeleri ve karışık tane boyutları oluşması riski doğmaktadır.

Bu işlem, malzemenin yavaşça ve uniform olarak geçiş sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta 1 ile 4 saat arasında bekletilmesine dayanmaktadır. Parçanın çekirdeği ile yüzeyi arasında sıcaklık farkı oluşturmayan yapıya gelmesini beklemek ve daha sonrasında oda sıcaklığına kontrollü bir soğutma mekanizması ile yeteri kadar yavaş şekilde üflenerek indirilmesi işlemidir.

Bu işlem için atmosfer fırınları, tuz banyoları ya da vakum fırınları kullanılabilir. Sadece ısıtma ortamında parçanın homojen olarak aynı sıcaklıkta tutulması ve yükselen sıcaklıklarda parçanın dekarburizasyona maruz kalmaması önemlidir. Ayrıca parçanın ısıtma şoku yaşamaması için ısıtma fırınlarının sıcaklığı, oda sıcaklığında ya da oda sıcaklığından sadece birkaç derece yukarıda olması gerekmektedir. Daha sonrasında fırın ve onu takip eden parça dönüşüm sıcaklığının üzerine çıkarılmaktadır. Bu

sıcaklıktan oda sıcaklığına ise parçanın ısı farkından çatlamaması için kontrollü olarak soğutulması gerekmektedir. Genel olarak dakikada 8°C ile 22°C düşüş hızıyla soğutulması yeterli olmaktadır. Uygulamada 540°C 'nin altındaki sıcaklıklarda soğuma hızı nispeten daha yüksek olabilmektedir. Bunun sebebi çoğu takım çeliği için bu sıcaklığın altındaki sıcaklıkta herhangi bir dönüşüm olmadığından işlemin kritik olmamasıdır(Branco ve Krauss [16]).



Şekil 3.4 Normalizasyon, homojenizasyon ve tavlama ısı işlemlerinin farklı takım çeliklerinde uygulanma aralığı (Toten [5])

3.3.3 Gerilim Giderme

Gerilim giderme işlemi, takım çeliklerinin ağır ya da derin işleme veya şekillendirilmesi sonrasında oluşan gerilimleri yok etmek amacıyla yapılmaktadır. Ayrıca bu işlem takım çeliklerinin sertleştirilmesinden önce yapılarak malzemenin sertleştirme sırasında yaşayacağı distorsiyon ve çatlak risklerini azaltmaktadır.

Takım çelikleri sertleştirme işleminden sonra elde ettikleri yüksek sertlikleri nedeniyle, bu parçalara yapılan taşlama veya parlatma işlemleri malzeme yüzeyine bir gerilim

yükü oluşturabilmektedir. Bu gerilim eğer giderilmezse malzemenin çalışması esnasında olası mikro çatlak başlangıçlarına yol açabilir. Bu durumda malzemenin kullanım ömründe çok ciddi bir azalma olacaktır. Bu riski ortadan kaldırmak adına son işlemini görmüş takım çeliği menevişleme sıcaklığının da altında bir sıcaklıkta tutulmaktadır.

Ayrıca çalıştığı koşullarda yüksek gerilimlerin olduğu parçalarda da malzeme arada ısıl işleme alınarak malzemenin kendi meneviş sıcaklıklarında tekrar menevişlenmesi, malzemenin üzerindeki gerilimleri alacağından bir gerilim giderme işlemi olarak kabul edilmektedir.

Gerilim giderme işlemi genel olarak atmosferik fırınlarda veya tuz banyolarında yapılmaktadır. Bu işlemde ısıtma hızının önemi olmasa da, soğutma hızı malzemede yeni bir ısıl gerilim oluşturmamak için oldukça yavaş yapılmaktadır. Genel olarak soğutma ortamı olarak malzeme fırında soğumaya bırakılır. İşlem esnasında parçanın yüzeyinde dekarburizasyon oluşmasını engellemek takım çelikleri için önemli olduğundan 650°C 'nin üzerine çıkılan sıcaklıklarda vakum yapılması ya da ortama inert gaz üflenmesi uygulamada yaygındır.

Gerilim giderme, parçanın içindeki gerilimleri boşalttığından uygulamada işlem sonrasında parça boyutlarında değişimler görülebilmektedir. Bu nedenle parçalar işlendikten sonra sertleştirilmeden önce gerilim giderme işlemine girmesi uygulamada sık rastlanılan bir durumdur. Yalnız her işleme sonucunda gerilim giderme tavı ile malzemenin gerilim yükü alınabilir değildir. Özellikle tel erozyon (EDM) işleminden sonra gerilim giderme işleminin yapılmasının gereği yoktur(Branco ve Krauss [16]).

3.3.4 Sertleştirme

Takım çelikleri kullanım alanlarına göre özel oranlanmış alaşım elementleri ve yapısıyla üstün dayanım özelliklerini kazandığı en önemli ısıl işlem, sertleştirme işlemidir. Tüm takım çelikleri belirli derecelere kadar sertleştirilebilmekte ve buna göre kullanım yerlerinde sürtünmeye karşı yüksek aşınma direnci, ezilme direnci, darbeye karşı tokluk, kalıpların çalışmasında sıcaklığa dayanım ve yüksek miktarda kesme için sertlik dayanımı gibi özellikler göstermektedir. Sertleştirme işlemi genel olarak malzemeyi östenitlemek ve daha sonrasında malzemenin soğutularak yapısının

martenzite çevrilmesi işlemidir. Takım çelikleri diğer çelik türlerine göre nispeten daha yüksek alaşımlı bir çelik türü olduğundan östenitlemesi ve soğutması kullanılan ortamlar ve hızlar bakımından farklılık göstermektedir(Branco ve Krauss [16]).

3.3.4.1 Östenitleme

Östenitleme işlemi tüm takım çeliklerine uygulanan ısıtma işlemleri arasındaki en önemli ve kritik işlemdir. Çünkü östenitleme için seçilen sıcaklığın yüksek olması veya parçanın olması gerekenden daha uzun süre o sıcaklıkta olması malzemede çok fazla distorsiyon görülmesine, tane büyümesine, süneklik değerlerinin düşmesine, dayanımın azalmasına neden olabilmektedir. Bu değerler özellikle alaşım miktarının artmasıyla önem kazanmakta ve buna göre yüksek hız takım çeliklerinde tam kritik bir hassasiyet gösterilmesine ihtiyaç olmaktadır. Çünkü bu çelik türü için yapılan östenitleme sıcaklığı, çeliğin ergime aralığının alt noktasına oldukça yakındır. Eğer daha düşük bir sıcaklık tercih edilirse, soğutma sonrasında malzemeden beklenen sertlik değerlerinden daha düşük sertlik değerlerinin yakalanması ve düşük aşınma dayanımı değerlerinin oluşması gündeme gelmektedir.

Östenitleme işlemi aslında çeliğin içinde yer alan tüm alaşım elementlerinin yüksek sıcaklıkta daha sonradan martenzite dönüşecek olan östenit yapısına veya kalan karbürlere dahil olarak paylaşılması işlemidir. Bu şekilde çeliğin içindeki kimyasal heterojenlik, karbür dağılımı oransızlığı ve karbür yapmamış elementlerin varlığı ortadan kalkmaktadır. Karbür dağılımının oransız olması düşünüldüğü gibi sadece çeliğin aşınma direncinde etkili olmamaktadır. Yapı içinde dağılmış olan karbürlere ayrıca östenitleme esnasında tane boyutlarının kontrolünü sağlamaktadır. Malzeme içinde artan karbür oranları ve karbür dağılımları çok daha ince yapıları bir çelik mikroyapısı elde etmemize olanak sağlayacağından, yüksek alaşımlı çeliklerde bu durum daha önemli olmaktadır. Eğer uygun östenitleme koşulları geçerli olmazsa, bir başka deyişle seçilmesi gereken östenit sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta işlem yapılırsa, karbürlere östenit yapı içinde çözünmeye başlar ve tanelerin daha da büyümesine neden olurlar.

Yapıda yer alan artık karbürlere sadece östenit çözeltisi içinde kalmazlar, ayrıca bu elementler daha sonraki ısıtma işlem adımlarında ortaya çıkan en önemli özellik olan ikincil sertleşmeye olanak tanımaktadırlar. Östenit yapısının da kimyasal

kompozisyonunu sabitleyen, bununla birlikte martenzit başlama sıcaklığını değiştiren ve oda sıcaklığında oluşacak olan artık östenit miktarını belirleyen yine bu yapıda yer alan artık karbürlerdir.

Takım çelikleri gibi alaşımlı çeliklerde östenitleme işlemine ısıtılan parçalar pratikte ön ısıtma kademelerinde bekletilerek çıkarılmaktadır. Bunun temel sebebi artan alaşım miktarının çeliğin ısı iletkenliğini düşürmesi, parçanın çekirdeğinde de östenitlenmenin sağlanması, çekirdek ile yüzey arasında sıcaklık farkının doğmaması gibi birçok sebebe bağlanmaktadır. Yalnız parçaların küçük olması durumunda bu ön ısıtma kademeleri tamamen kaldırılarak, sadece yavaş ısıtma yapılabilmektedir. Ön ısıtma iki temel sebepten dolayı yapılmaktadır:

- Isıl şoklarla çatlak oluşumu riskini ortadan kaldırmak
- Büyük sıcaklık farklarından doğan oransız distorsiyonların oluşmasını engellemek (Roberts ve Gary [4])

3.3.4.2 Hızlı Soğutma

Östenitleme sıcaklığından çeliği oda sıcaklığına kontrollü bir hızla indirme işlemidir. Hızlı soğutma, malzemenin kimyasal analizine ve yapısına uygun olarak çok çeşitli ortamlarda yapılabilmektedir. Buna göre soğutma ortamları, su, yağ, tuz, inert gaz veya hava olabilmektedir. Bu ortamların ortak özelliği ısı işlemi yapılan çeliğin yapısını martenzitik şekilde elde edebilecek kadar hızlı şekilde soğutmasıdır. Bu kapasitenin de kontrolsüz olması parçayı çatlatma riski oluşturabilmektedir.

Takım çelikleri yüksek alaşımlı yapıları nedeniyle genellikle sıcak banyo uygulaması ile sertleştirilmektedirler. Bu çelikler östenitleme sıcaklığından 540°C ile 650°C arasındaki sıcaklıklara havada soğutma ile indirilmekte daha sonrasında bu sıcaklıktan hızlı soğutulmaktadırlar. İçerdikleri alaşım miktarına bağlı olarak ötelenen perlit ve beynit burunlarına yakalanmadan martenzitik yapı rahatça elde edilmektedir. Bu şekilde çeliklerin yapılarında ve elde edilen sertliklerinde herhangi bir değişim olmadan, distorsiyon miktarları azaltılmaktadır (Roberts ve Gary [4]).

3.3.4.3 Menevişleme

Sertleştirme işleminde hızla soğutulmuş takım çeliği malzemenin yapısını, dayanım, sertlik ve tokluk değerleri bakımından daha istenen değerlere, malzemenin ısıtılması ve uygun süreler bekletildikten sonra yavaşça soğutulması ile getirilmesi işlemine menevişleme denilmektedir. Çünkü hızlı soğutulmuş sertleştirilmiş çeliğin yapısı, artık östenit, temperlenmemiş martenzit ve karbürlerin heterojen dağılımından oluşmaktadır ve takım çeliklerinden beklenen özellikleri sağlaması için yeterli değildir. Malzemenin artık östenitin martenzitik yapıya geçmesi, karbür dağılımının düzenlenmesi ve martenzitik yapının kırılabilirliğini azaltması için menevişleme yapılması mutlaka gerekmektedir, hatta tek menevişleme tüm bu sonuçlar için yeterli olmamaktadır. Genel olarak tek ve uzun bir meneviş yerine daha kısa süreli 2 meneviş veya daha fazla meneviş yapılması tercih edilmektedir.

Yüksek alaşımlı takım çeliklerinde menevişleme işlemi esnasında artık östenit yapısının bir miktarı martenzitik yapıya geçiş göstermektedir. Buna göre ilk menevişleme sonrasında menevişlenmemiş yeni martenzitik yapı ortaya çıkar. Pratikte üç veya daha fazla sayıda meneviş yapılmasının temel sebebi de bu yeni oluşan martenzitik yapıyı temperlemek ve yeni martenzitik yapı teşekkülü sağlamaktır.

Menevişleme işlemi, takım çeliğinin ısı kimyasına, ısı geçmişine, sertleştirme sıcaklığına ve soğutma şekline göre değişmektedir. Bunun dışında menevişleme koşullarını etkileyen diğer koşullar ise şu şekildedir:

- Artan serbest karbon miktarı
- Yapıdaki artık östenit miktarı
- M42 ve benzeri hız çeliklerinde yer alan kobalt miktarı ile düşen artık östenit miktarı(Branco ve Krauss [16])

Menevişleme işlemi ayrıca yüksek hız takım çeliklerinde üretimden kaynaklanan bir sorunun çözümünde de kullanılmaktadır. Yüksek hız çeliğinden bir ürün haline getirilmiş takım malzemesi, sertleştirme işlemi gördükten sonra eğer taşlama yapılarak yüzeyi işlenecekse malzemenin yüzeyinde bir takım değişimler olmaktadır. Taşlama işleminde hız çeliği ile taş arasında ısı etkileşiminden 0,5 mm'lik bir yüzey katmanı etkilenmektedir. Bu kalınlıktaki yüzey tabakası çekirdek yapıdan farklı olarak biraz daha yumuşaktır. Bu yapının oluşmasının temel sebepleri ise ya taşlamada kullanılan

soğutma yağının hız çeliğini dekarbürize etmesi ya da yüzeyin çok ısınmasıdır. Bu şekilde bir yüzey değişiminde, hız çeliğinin yüzeyinin yapısının ferrit veya östenitik olduğu gözlenmektedir. Bu tür bir değişim sonucunda ferritik yapının tekrar sertleştirilmesi gerekmektedir, östenitik yapı oluşmuş ise bu yapının tekrar eski özelliklerini kazanması menevişleme işlemi ile olmaktadır(Asay [17]).

BÖLÜM 4

VAKUM NEDİR?

Çoğunlukla atmosfer basıncının altında olan basınç değeri vakum olarak kabul edilmektedir. Eskiden kabul gören uluslararası ölçü değerlerinde standart atmosfer basıncı 760mm Hg (0°C) olarak tanımlanmıştır. Günümüzde kullanılan birimler ise Pascal veya N/m² olduğundan standart atmosfer basıncı 101,325 Pascal olarak kabul edilmektedir. Amerika ve Avrupa’da vakum değerleri için genel kabul gören birimler farklıdır. Amerika basınç değeri olarak “torr” birimini kullanırken Avrupa “bar” birimini benimsemiştir. Fakat her iki birimde bilimsel kullanımlarda ortak birim olarak Pascal’a çevrilmektedir(1 mbar = 0,76 torr).

Farklı vakum değerleri çok farklı amaçlar için geliştirilmekte ve kullanılmaktadır:

- 1) Artı basınç değeri 2 ile 6 arasında olan uygulamalar genel olarak yüksek hızda su verme işleminde kullanılan değerlerdir. Vakum fırınlarda 1-2 bar gibi düşük değerlerde işlem yapılıyorsa özel bir kapı dizaynı ve teçhizata gerek duyulmaz. Fakat 2 barın üstündeki işlemlerde kullanılacak fırınların ASME standardına göre yapılmış olması gerekmektedir.
- 2) Yüksek hızda soğutma amaçlı üfleçler ve eşanjörler 1 ile 6 bar arasındaki basınç değerlerinde çalışmaktadırlar.
- 3) 10⁰ ile 10⁻¹ torr değerleri arasındaki basınçlar ise genellikle lehimleme ve bazı toz sinterleme işlemlerinde kullanılmaktadır.
- 4) 10⁻¹ ile 10⁻⁴ torr basınç aralığı sıcaklığın grafit ısıtıcılar ile elde edildiği ortamlarda ısıtma işlemi veya çoğu sert metal ve çeliklerin sinterlenmesinde tercih edilmektedir.

- 5) 10^{-3} ile 10^{-5} torr basınç değerleri, refrakter özellik taşıyan metallerin ısıtmada kullanıldığı ortamlarda, difüzyon işlemi, ısıtma işlem ve lehimleme amaçlı kullanılmaktadır.
- 6) 10^{-5} ile 10^{-6} torr aralığı alüminyum ergitme, reaktif metallerin sinterlenmesi ve ısıtma işlem sıcaklığındaki işlemler için tercih edilen değerlerdir.
- 7) 10^{-7} ile 10^{-9} basınç değerleri yarı iletken malzemelerin uygulamalarında kullanılmaktadır(Fabian [18])

Genel olarak 10^{-3} ile 10^{-6} torr aralığı hassas vakum değeri olarak kabul görmektedir.

4.1 Vakum Isıl İşlem Fırınları ve Çeşitleri

Vakum ısıtma işlem fırınları çok çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaya açıktır. Bu fırınlar için ısı hapsedme özelliği, dizaynı veya iş akışı birer sınıflandırma dalı olabilmektedir. Bu sıralamaya göre fırınların dış duvarlarının sıcaklığını azaltmak için fırın çevresinde su gezdirilen tiplerine soğuk duvar fırınlar, bu sistemleri olmayanlara ise sıcak duvarlı fırınlar denilmektedir. Bu duruma ek olarak bazı fırınlarda içerideki cehennem ile fırının dışı arasında izolasyon ile ayrılmış bir yapı bulunabilmektedir ki günümüzde en çok genel kabul görmüş fırınlar soğuk duvar prensibine göre çalışan fırınlardır.

Bir diğer sınıflandırma yöntemi ise bahsedildiği gibi fırının dizaynıdır. Bu sınıflandırmada fırınlara malzemelerin yüklenme şekli önemli olmaktadır ki bu durum için iki olasılık söz konusudur: Yatay ya da dikey olarak yüklenen fırınlar. Bu sistemlerin soğutma şekilleri, kapı dizaynları ve sürekli işlem yapabilmeleri önemli olmaktadır. Banyoları olan fırınlarda ise yükleme dikey olarak yapılmakta ve tek parça halinde yüklenen şarj üstte ısıtılıp, alta banyoya alınabilmektedir. Ya da yatay olarak beslenen bir bant tipi fırında malzeme bir uçtan yerleştirilip, diğer uçtan çıkarılmaktadır. Bu sistemlere sürekli fırın demek yerine bant tipi ya da yarı sürekli fırın demek daha doğru olmaktadır.

Yukarıda yapılan sınıflandırmalar dışında birde yükün beslenmesi bakımından farklılıklar arz eden fırınların gruplandırılması vardır ki bunlar: Alttan beslemeli, raylı, itici bir mekanizma ile yükleneni ve retort tipinde olmaktadır. Bu kategoriler elbette

diğer sınıfların içindedir veya onlara benzerdir yalnız göz önüne alınan yükün besleme şeklidir(Fabian [18],Choudhury[19]).

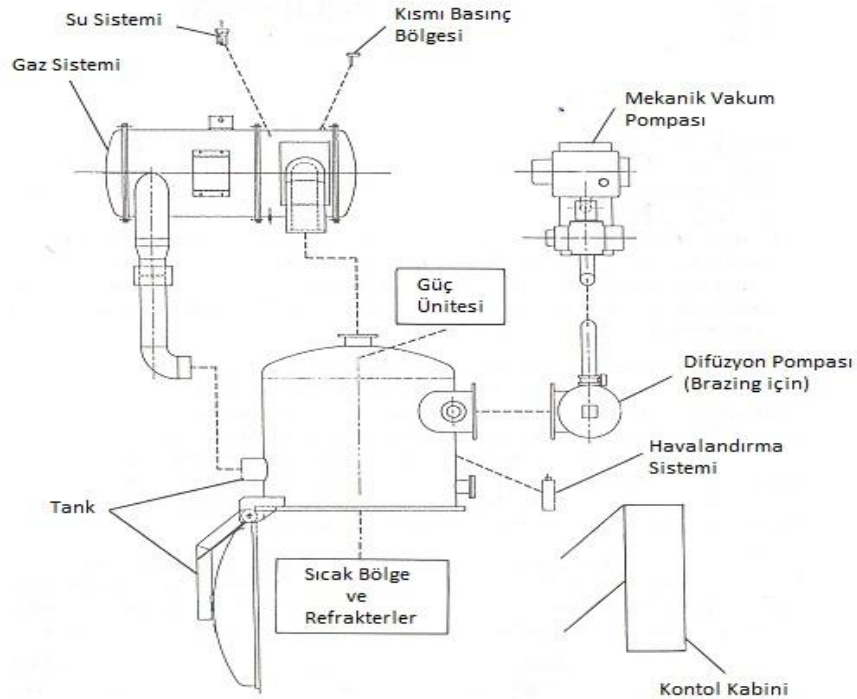
Isıl işlemde uygun fırın tipini belirlemek için göz önüne alınması gereken başlıca üç madde bulunmaktadır:

- Dizaynı ve performansı
- Ürünün özellikleri
- Ürün kalitesi (Fabian [18])

4.2 Vakum Isıl İşlem Fırınına Oluşturan Elemanlar

Bir vakum ısıtıl işlem fırını boyutlarına göre tipleri değişse de sabit olarak bulunması gereken elemanları belirlidir. Vakum ısıtıl işlem fırınlarının kalbini oluşturan sistemin üç bileşeni bulunmaktadır:

- 1) Isıtıcı elemanlar
- 2) Fırına yüklenen şarjı taşıyan yapı
- 3) Cehennem ve bu yapıları taşıyan dış kabuk, tank (Fabian [18])



Şekil 4.1 Vakum sertleştirme fırınına oluşturan elemanların şematik görünümü (Fabian [18])

Tüm operasyonda yer alan sistem elemanları ise fırının tipine göre çeşitlilik gösterilebilmektedir. Özellikle difüzyon pompası sadece brazing işlemi için gereklidir. Buna göre önden beslenen bir vakum sertleştirme fırınının parçalarının şematik görünümü aşağıdaki Şekil 4.1’de yer almaktadır.

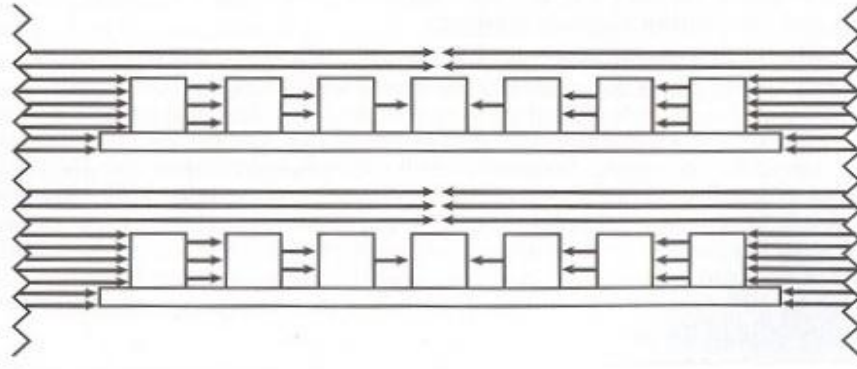
4.2.1 Rezistanslı Fırınlarda Isı Aktarımı

Isıl işlemlerde kullanılan vakum fırınların neredeyse tamamında elektrik direnci kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere göre daha ucuz ve daha kolay kontrolü olan bir sistemdir.

Vakum fırında ortamda bir taşıyıcı gaz veya hava olmadığından ısı aktarımı geleneksel yöntem yerine sadece radyasyon ile olmaktadır. Sıcak rezistanstan soğuk halde yüklenmiş parçaya ısı sadece radyasyon ile aktarıldığından, birim zamanda aktarılacak ısı, parça ile rezistans arasındaki sıcaklık farkının artmasından etkilenecektir. Buna göre özellikle yüksek sıcaklıklarda parça ile rezistans arasında sıcaklık farkının yüksek olması gerekmektedir. Uygulamada ise vakum fırında parçaların ısıtılması belirli sıcaklıklara kadar konvansiyonel yöntemle bir taşıyıcı gaz kullanarak yapılmaktadır.

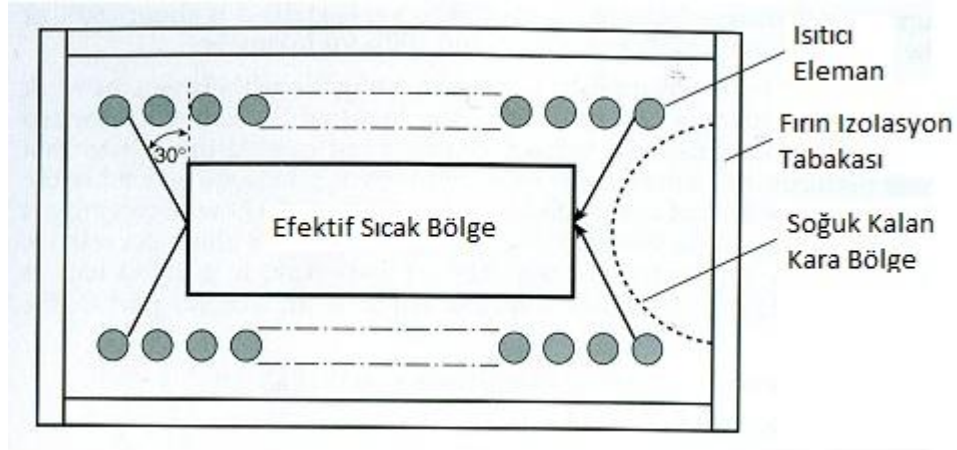
Vakum fırında kullanılan termokupllar ile parçanın ve fırının sıcaklığı sürekli kontrol edilmektedir. Isıl işlem esnasında rezistanslardan ısı aktarımı olduğundan parça sürekli ısınmakta ve rezistans ise ısı kaybetmektedir. Sensörler sürekli azalan sıcaklığın telafisi yönünde çalışarak rezistanslara ısı yüklemesinde bulunurlar.

Isı radyasyonunun transferi aynı ışık gibi doğrusal şekilde gerçekleşmektedir. Rezistans elementleri ısıyı her yöne saçmaktadır. Fakat fırın içinde birden çok sayıda parça bulunması durumunda ve bu parçaların direkt olarak rezistansları görmemesi durumunda, bu parçaların ısınması diğer ısınan parçaların ısıyı yansıtmasına bağlı olacaktır. Rezistansa yakın veya rezistansı gören parçaya göre ısınması biraz daha yavaş olacaktır. Isıyı yayan parçaların ısıl iletkenlik değerlerine bağlı olarak yansıtma değerleri çok değişken olduğundan, içte kalan ve yansımaya ısınan parçaların ısınma hızları tam olarak tespit edilememektedir. Bunun için genellikle, uygulamada zor ısınacak parçadan termokupl ile ölçüm alınması gerekli olmaktadır (Fabian [18], Choudhury[19]).



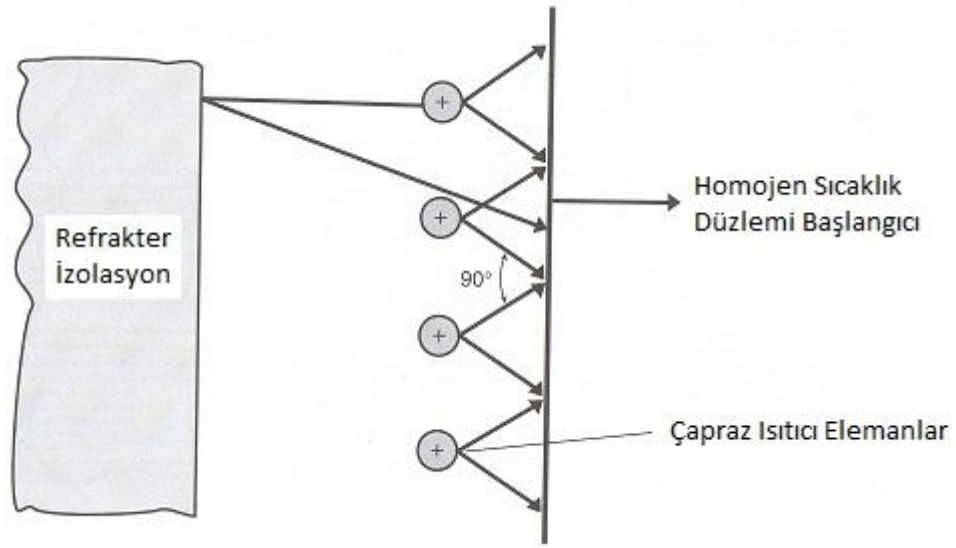
Şekil 4.2 Vakum ortamda doğrusal ısı transferi (Fabian [18])

Vakum fırınlarda rezistans tipi ve sayısından bağımsız olarak, ısıtıcı elemanların bir miktar ilerisinde hayali bir düzlemin varlığı kabul edilmektedir. Bu düzlemin ötesindeki bölgede sıcaklık homojen olduğu kabul edildiği için bu bölgeye uniform sıcaklık bölgesi veya efektif sıcak bölge adı verilmektedir. Bu bölgenin genişliği ve yeri, seçilen rezistans malzemesi, rezistans tipi ve rezistansların yerleşim noktalarına göre değişmekte olduğundan fırın için oldukça önemlidir. Bu bölgenin büyüklüğü ve şekli, genelde fırın imalatçıların laboratuvarlarda protip olarak yaptıkları küçük boyutlu fırınların uygulamada katsayı ile büyütülmüş şekilleridir(Fabian [18],Choudhury[19]).



Şekil 4.3 Vakum fırında oluşan efektif sıcak bölge (Fabian [18])

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere Efektif Sıcak Bölge adı verilen alan ısıtıcı elemanlardan belirli bir uzaklıkta oluşmaktadır. Bu düzlemin oluşumu detaylı olarak aşağıdaki şekilde görülmektedir.

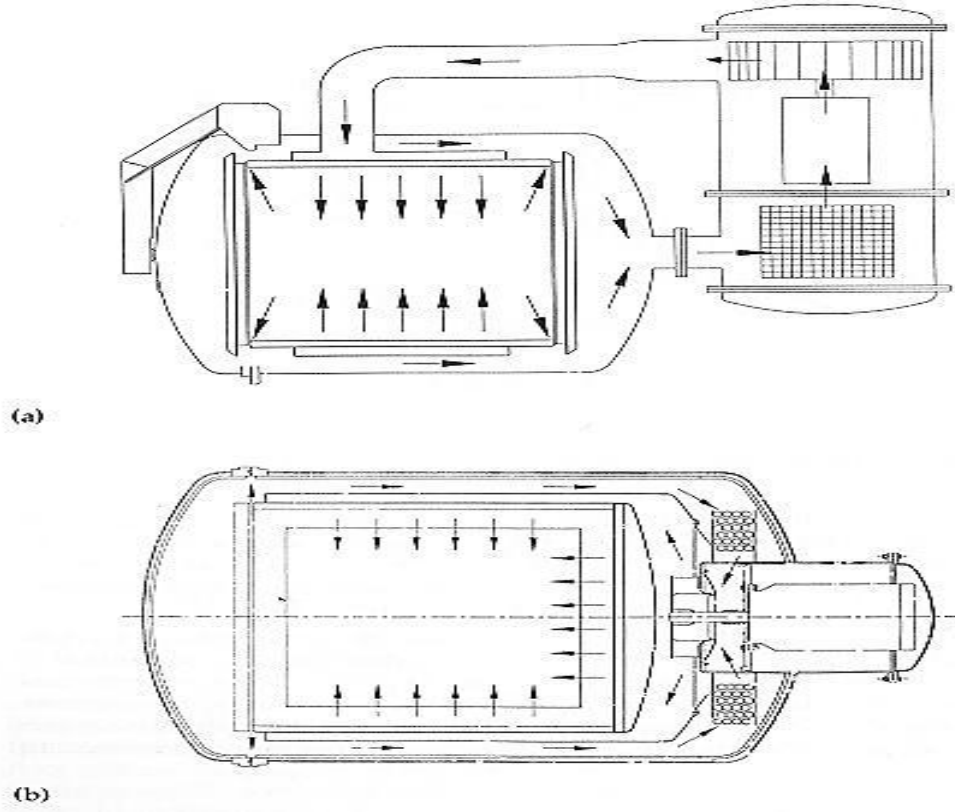


Şekil 4.4 Efektif sıcak bölgenin başlangıç düzleminin oluşumu (Fabian [18])

4.2.2 Vakum Fırında Gaz ile Soğutma

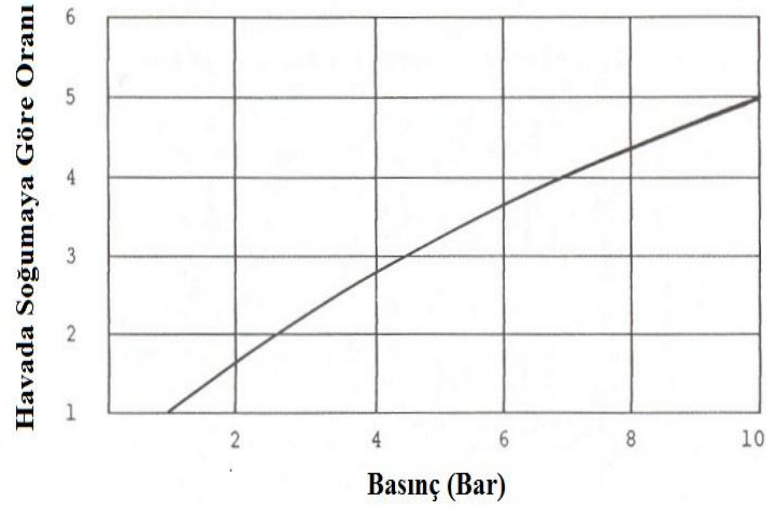
Vakum fırında parçaları gaz üfleme ile soğutmak için kullanılan iki sistem mevcuttur. Bu yöntemler dahili soğutma sistemi ve harici soğutma sistemi olarak adlandırılrsa da temel olarak aynı işlem mekanizması rol almaktadır. Sistemin şekline göre bir fan veya üfleç, inert gazını fırının sıcak bölgesinde çevirmekte, ortamın sıcaklığını düşürmektedir. Bu gaz fırının sıcak bölgesine açılan bir kapak ya da nozül aracılığıyla ulaşmaktadır ki böylece fırının ısınma adımlarında bu kapak ya da nozül kapanarak ısı kaçışına engel olabilmektedir.

Vakum fırınlarda sertleştirme için en büyük handikap yapılacak soğutma işleminin kapasitesidir. Fırının soğutma kapasitesini ise soğutma işleminin ivmesi, ortam basıncı ve gazın özellikleri etkileyeceğinden, bu kapasiteyi arttırmak amacıyla her yeni nesil fırında soğutma oranları artırılmış, ısı dönüştürgeç ve iç dolanımı sağlayan fanın ebatları büyütülmüştür. Üflenmiş gaz çeşitleri ise argon, helyum, azot veya gaz karışımlarına çevrilmiş ve bu şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Fabian [18], Choudhury[19]).



Şekil 4.5 Vakum fırında soğutma sistemleri a) Harici üfleç ve ısıl dönüştürgeç b) Dahili fan ve ısıl dönüştürgeç (Fabian [18])

Çok yakın bir zaman aralığında, soğutma basınçlarında 2 bar ve üstü kullanımı aktif olmuş, gazın üflemesinin ivmelendirilmesi ile de cehennem sıcaklığının daha kolay ve hızlı şekilde düşürülmesi sağlanmıştır. Artan basınçla soğuma oranlarındaki artışın incelenmesi üzerine yapılan birçok çalışma sonrasında aşağıdaki şekilde görülmekte olan grafik ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.6 Vakum fırında soğuma ortamının basıncının havada soğumaya göre oranı (Fabian [18])

Vakum altında bir fırında parçayı soğutmak oldukça yavaş bir prosestir. Soğuma hızı, parçanın çevresinde olan izolasyonun ısı verimine bağlı olduğundan genellikle vakum altında birkaç saatte tamamlanır.

Fırın soğuma esnasında tekrar argon veya daha yaygın kullanım alanına sahip azot ile doldurulursa soğuma süresi kısalır. Günümüzde çoğu fırın sistemi de bu uygulamaya göre dizayn edilmiştir. Gaz ortamda izolasyon ile parça arasındaki ısı iletim görevini üstlenmekte ve etkin bir şekilde süreyi kısaltmaktadır. Ayrıca ortamdaki gazın sirkülasyon yapması durumunda ısı iletkenliği artacağından soğuma süresi kısılacaktır. Buna göre belirli ağırlıkta ve belirli bir yüzey alanı bulunan bir parça için gaz ortamda su verme süresini gösteren bağıntı şu şekildedir:

$$t_1 = \frac{W C_p}{A h_1} \ln \frac{T_1 - T_f}{T_2 - T_f} \quad (4.1)$$

T: T_1 ile T_2 sıcaklıkları arasında geçen süre (saat)

W: Parçanın ağırlığı (pound)

C_p : Parçanın spesifik ısı değeri (btu/lb $^{\circ}$ F)

A: Parçanın yüzey alanı (ft^2)

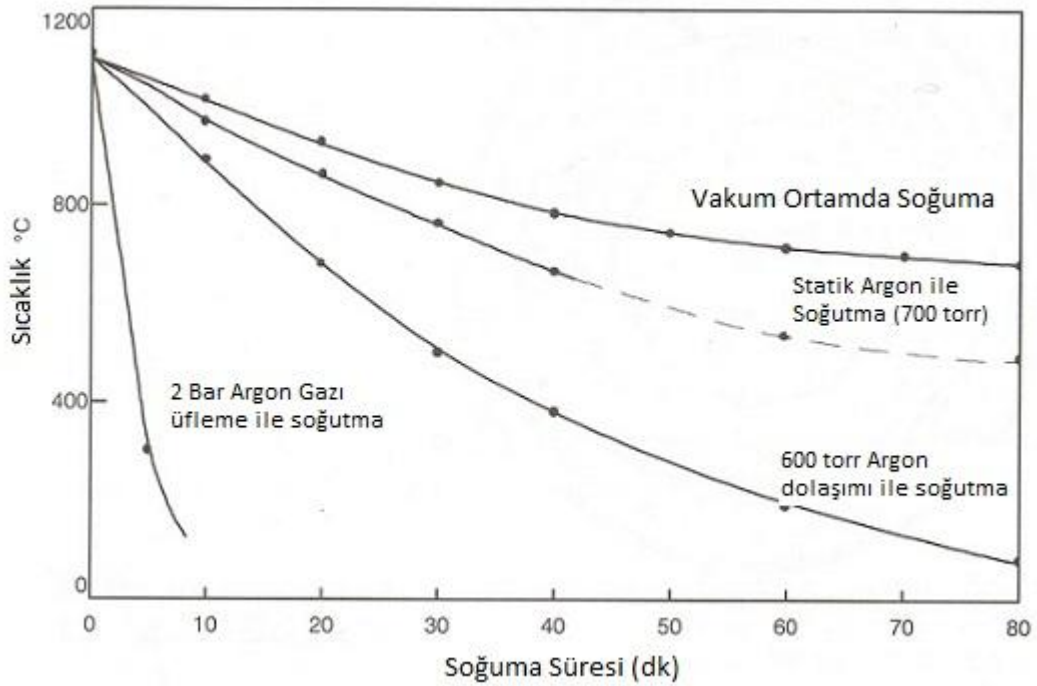
h_1 : Isı transfer katsayısı (Parçadan gaz ortama)(btu/saat ft^2 $^{\circ}$ F)

T_f : Ortalama gaz sıcaklığı ($^{\circ}$ F)

T_1 : Parçanın ilk sıcaklığı ($^{\circ}\text{F}$)

T_2 : Parçanın son sıcaklığı ($^{\circ}\text{F}$)

Bu formülden anlaşılacağı üzere; azalan parça ağırlığı veya artan yüzey alanı soğuma süresini kısaltacaktır. Ayrıca fırında türbin tipli bir üfleyci ile ortamda çok daha başarılı bir sirkülasyon elde edildiğinden yüksek soğuma hızlarına ulaşmakta kullanılabilir. Uygun fırın dizaynı yapılmış ve sızdırmazlığı yeterli olan bir fırında, bu tip üfleç ile ortamdaki basınç 2 bar ile 6 bar arasında bir değere kadar çıkarılabilmekte ve buna göre soğutma hızı istenen değerlere ulaştırılabilmektedir. Diğer ortam tipleri ile karşılaştırmalı soğuma hızı diyagramı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.7 Vakum fırında farklı ortamlarda soğuma hızları (Fabian [18])

4.3 Vakum Sertleştirme

Takım çelikleri genel olarak dayanım ve aşınma direnci bakımından tercih edilen kalıp malzemeleri olduğundan, görecekleri ısıtma işlem sonrasında yüzey kimyaları çok önemlidir. Yüzey, dekarburizasyon gibi yüzey kimyasını bozan etkilere kurtulmuş olur. Bu çelikler genel olarak havada sertleşen, yağda sertleşen ve suda sertleşen çelikler olarak gruplandırılmaktadır. Vakum ısıtma işlemi, sadece havada ve yağda

sertleşen çeliklere uygulanabilir. Şu an için vakum sertleştirme, suda sertleşebilen çelikler için soğuma hızı limitlerine ulaşamadığından uygun olmamaktadır.

Sertleştirme sıcaklıkları, vakum işleminde diğer yöntemlerden tuz banyosu veya gaz atmosferle aynı olmasına rağmen, işlem prosedürlerinde ön ısıtma gerekli değildir. Bu işlemlerde ısıl şoklar göz önüne alınmamasının temel sebebi ise vakum fırınlarda parçaların göreceli olarak daha soğuk yüklenmesidir. Yalnız vakum fırında ısıtma rampaları, bekletme sıcaklıkları ve bekletme sürelerinin programlanabilir olması üstünlüğü olarak kabul edilmektedir. Buna göre şarja giren kütlenin ve farklı parça kalınlıklarının ısınmasında uniform yapı sağlanabilir ve bu programlar tekrarlanabilir(Fabian [18],Choudhury[19]).

Çizelge 4.1 Alaşım elementlerinin çeşitli ötektik kombinasyonu ve ötektik sıcaklıkları [4]

Ötektik Kombinasyonu	Sıcaklık (°C)
Molibden/Nikel	1265
Molibden/Titanyum	1210
Molibden/Karbon	1480
Nikel/Karbon	1165
Nikel/Tantalyum	1340
Nikel/Titanyum	940
Titanyum/Karbon	1425

Vakum fırında sertleştirme işlemi aslında metalurjik olarak, fırındaki malzemelerin yapılarının soğutma ve ısıtma esnasında değişmesidir. Hem soğutma hem de ısıtma işlemleri malzemenin metalurjik yapı sonuçlarını etkilemektedir ve bu şekilde istenen özelliklere uygun malzeme karakteri yakalanabilmektedir. Eğer fırındaki malzemenin soğutulması her noktadan uniform olmazsa, malzemenin yapısal olarak büyük distorsiyonlara uğraması ve yavaş soğuyan bölgesinde beklenenden daha düşük sertliklere rastlanması mümkün olabilir.

Fırındaki parçaların tamamen uniform olarak ısıtılması için kritik ısıtma oranının üstüne çıkılması gerekmektedir. Örneğin, bu oran enjeksiyon kalıplarında kullanılan H-13 takım çeliğinde çok önemlidir, çünkü tane sınırında karbür oluşmasını minimuma indirir. Bu konuda vakum fırının oldukça büyük kolaylık sağlayan bir kontrol mekanizması vardır ki özellikle geniş yüzey alanları olan büyük malzemelerin ısıtma adımları yakından takip edilerek distorsiyonları minimumda tutulabilir.

Soğutma oranları içinde geniş bir çeşitlilik yelpazesinden söz etmek gerekmektedir. Bu çeşitlilik, sertleştirilen malzemenin boyutlarına ve türüne göre oluşmaktadır. Bu şekilde parçanın çarpılması ve büzülmesi gibi problemler engellenebilmektedir. Günümüz teknolojiyle vakum sertleştirme fırınlarında, soğutma esnasında gaz üfleme kapasitesi 2 bardan 20 bara kadar çıkabilmektedir. 2 bar ile 6 bar üfleme aralığı Amerika’da yapılan işlemler arasında en genel kullanım aralığıdır. Bu aralık, soğutmada kontrol, hızlı soğutma ve istenen soğuma hızının kontrolü konusunda kolaylık sağlamaktadır.

Vakum fırında sertleştirme işleminde önemli seçimlerden biri, termokupl malzemenin, tüm şarja giren parçaların ısınma ve soğumasını temsil edebilecek bir malzemeden olmasıdır. Tipik olarak fırında malzeme seçiminde genel olarak iki termokupl seçilir ve fırında yer alan en ince ve en ağır parçalara yerleştirilir. Böylelikle fırın içinde parçaların maksimum ve minimum olarak kaç derece farkla fırının sıcaklığını takip ettikleri kontrol edilebilir.

Vakum seviyeleri özellikle yüksek hız takım çeliği gibi malzemelerin işlemlerinde çok önemlidir. Çünkü krom ve mangan gibi elementler yapısında bulunan ve ısıtma işlem derecesi bakımından en yüksek sıcaklıklarda östenitleme yapılan malzemeler olan yüksek hız takım çeliklerinin yüzeyinde birikme engellenmesi önceliklidir. Aksi durumda malzemenin sertleşmesine engel olması söz konusu olabilmektedir(Fabian [18],Choudhury[19]).

Yukarıda belirtilen tüm koşulları göz önüne alarak ısıtma işlemi girecek olan şarjın ağırlığı, eşit aralıklı olması ve yük dağılımı ayarlanarak fırın içerisinde uniform bir soğuma hızı yakalanabileceği bilinmelidir. Buna uygun hazırlanmış bir fırında işlem sırası ise şu şekildedir:

- 1) Vakum yapılarak içerideki basıncı $5 \cdot 10^{-2}$ mbar altına düşürmek
- 2) 20°C/dk ısıtma hızında minimum 650°C dereceye kadar ısıtmak
- 3) Bu sıcaklıkta minimum 45 dakika bekletmek
- 4) 20°C/dk ısıtma hızında minimum 815°C dereceye kadar ısıtmak
- 5) Bu sıcaklıkta minimum 30 dakika bekletmek
- 6) 20°C/dk ısıtma hızında minimum 1025°C dereceye kadar ısıtmak
- 7) Bu sıcaklıkta 1 saat bekletmek
- 8) Şarjı hızla 65°C dereceye indirmek (Fabian [18])

Takım çeliklerinin vakum fırında ısıtılmasında uygulanan soğutma rejimleri, son kullanıcının malzemeden beklediği özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir. Eğer istenirse, vakum işlem prosesi sertleştirmeyi takip eden adım olan vakum temperleme olarak ayarlanabilir. Böylece fırına yüklenen şarjın kapağı açılmadan işlem eder. Sertleştirmenin sonrasındaki işlemleri programlamak bize fırın kapağını sadece son ürünü almak için açmayı sağladığından süre ve yüzey kalitesi bakımından üstünlük sağlar. Yalnız bu işlemin özellikle temperlerinin de vakumda yapılmasının maliyeti yüksektir. Buna göre ekonomik alternatifler aranabilir.

Parçanın kalınlığı, boyutsal gereksinimler ve istenen sertlik değerleri gibi parametreler bize ısıtılacak parçanın soğutma rejimini belirlemede yardımcı olmaktadır. M2 yüksek hız takım çeliği gibi havada sertleşen çelik türünün maksimum 50mm kalınlığındaki numunesi, 2 barlık bir üfleme kapasitesine sahip fırın ile soğutulurken 62 HRC sertlikte elde edilebilmektedir. Aynı boyutlarda ve yapıda bir M4 çeliği ise bu rejimle 64 HRC sertliğe ulaşmaktadır. Kesit kalınlığının dört katına çıkması durumunda ise H13 takım çeliği 50-54 HRC sertlik limitlerine ulaşabilmektedir. Bu örneklerden anlaşılacağı gibi havada sertleşen çelik türlerinin kesit kalınlıkları, parçaların sertlik alma değerleri için engel olmamaktadır. Alaşım miktarlarının yüksekliği nedeniyle bu parçaların soğutma süreleri için vakum fırında gaz üfleme yeterli olmaktadır. Yalnız çok daha kalın parçalarda aynı sertlik değerlerini elde etmek için 5 ya da 6 bar gibi basınç değerlerinde üfleme yapılması gerekmektedir(Fabian [18],Choudhury[19]).

M-2 yüksek hız takım çeliği malzemenin genel olarak vakum sertleştirmedeki adımları şu şekildedir:

- 1) Termokupullar ile uygun şekilde bağlanarak soğuk halde ısıtılacak olan parçalar fırına uygun aralıklı dizilimle yerleştirilir.
- 2) Vakum yapılarak içerideki gaz basıncı 5×10^{-2} mbar. altına düşürülür.
- 3) 17°C/dk ısıtma hızında 780°C ile 845°C dereceye kadar ısıtılır.
- 4) Bu sıcaklıkta 10 ile 15 dakika arasında bekletilir. Süreye 7,5 cm.'den daha kalın parçalar olması durumunda her 2,5 mm. için 5 dakika eklenmelidir.
- 5) 17°C/dk ısıtma hızında minimum 1095°C dereceye kadar ısıtılır.
- 6) Bu sıcaklıkta 10 ile 15 dakika arasında bekletilir.
- 7) 17°C/dk ısıtma hızında minimum 1205°C dereceye kadar ısıtılır.

- 8) Bu sıcaklıkta 5 dakika kadar bekletilir.
- 9) Şarjı hızla soğutmak için ısıl dönüştürgeçler devreye alınır ve soğutma için gaz üfleme yapılır.
- 10) Malzeme üzerindeki termokupl ile takip edilerek 120 °C dereceye kadar soğutulur (Fabian [18])

Yüksek hız takım çeliğine vakum fırında yapılan ısıl işlemin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemek üzere yapılan bir araştırmada, Leskovšek ve Ule AISI M2 standardında bir yüksek hız takım çeliğine vakum sertleştirme işlemi yapmışlardır. 1230°C derecede östenitlemesi yapılan beş adet M2 çeliği farklı menevişleme sıcaklıklarında iki menevişe tabii olmuştur. Mikroyapısında yapılan inceleme sonucunda bu çeliğin mikroyapısının sonradan istenildiği şekilde vakum fırınlarda yapılan işlemle hassas bir şekilde değiştirilebildiği ortaya çıkmıştır. Bu şekilde numunelerin sertlikleri ile kırılma tokluk dirençleri arasında optimum nokta yakalanabilmiştir. Ayrıca artık östenit miktarının, çözünmemiş ötektik karbürlerin yüzdesinin ve çözünmeden kalan karbürlerin, kırılma tokluğuna etkisi kontrol edilebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada 1230°C derecede yapılan östenitleme işlemi sonucunda kırılma tokluğu için en uygun değerlerin %6,9 çözünmemiş karbür miktarı, ortalama 0,95µm. çap değeri ve aralarında ortalama 2,7µm.mesafenin olduğu tespit edilmiştir(Leskovšek ve Ule [20]).

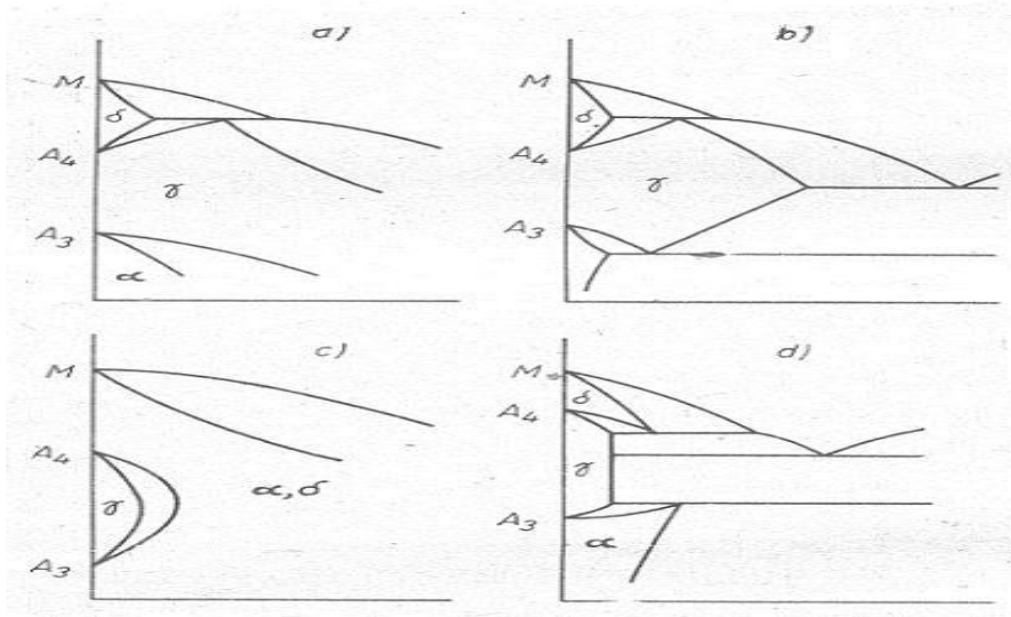
BÖLÜM 5

DEMİRİN YAPISINA ALAŞIM ELEMANLARININ ETKİSİ

Saf demirin karbon ile alaşımlandırılması ile üretilen çelik, aslında bir alaşım ürünüdür. Bu nedenle demirin yapısına katılan her alaşım elementinin demir yapısında bir etkisi olmaktadır. Çelik malzeme için de yapılan alaşımlandırma malzemenin karakteristiğinde çok önemli değişimlere yol açmaktadır. Bu nedenle çeliklerin alaşımlandırılması çok özel bir konu olmuş ve çeliklerin günümüzde çok çeşitli alanlarda çok farklı işler için kullanılmasının yolunu açmıştır.

Çeliğin bileşiminde katkı elementleri olabileceği gibi, üretim aşamasında ham maddeden geçerken de özelliklerini olumsuz olarak etkileyen ve üretim esnasında yapıdan uzaklaştırılamayan elementler bulunabilmektedir. S, P, Si, N, O gibi elementler bunların arasında en çok bilinen ve etkisi en çok olanlarıdır. Karbon, çeliğin temel alaşım elementidir ama bunun dışında istediğimiz özellikleri çeliğe kazandırmak adına bizim ilave ettiğimiz elementler bulunmaktadır. Arıtılamayan elementler dahi yeri geldiğinde alaşım elementi olarak çeliğe ilave edilebilir. Alaşım elementlerinin demire kazandırdıkları özellikler bakımından fiziksel ve metalografik yöntemlerle tespit edilen, demir ve alaşım elemanlarının denge diyagramlarında iki ana grup bulunmaktadır:

- 1) γ karışık kristal sahasını genişletenler
- 2) γ karışık kristal sahasını daraltanlar (Topbaş [21])



Şekil 5.1 Alaşım elementlerinin γ sahasına etkisi (Topbaş [21])

γ karışık kristali sahasını genişleten alaşım elementleri, bu kristal içinde çözünebilirler ve bu sayede A_4 sıcaklığını yükseltirler. Yalnız alaşım elementlerinin çözünebilirliğinin bir sınırı olup olmamasına göre bu alaşım elementleri de iki gruba ayrılmaktadır. Çözünebilirliği intermedier bir faz ile sınırlandırılmazsa γ sahası açık sistem (Şekil 5.1a), eğer çözünebilirlik bir ötektik yapı ile sınırlandırılırsa γ sahası genişlemiş sistem adını alır (Şekil 5.1b). Genel olarak çözünebilirlik bu şekilde sınırlıdır ve düşen sıcaklıkla bu çözünebilirlik azalmaktadır. Çelikler için A_3 hattına bağlı olarak çözünebilirliğin sınırı ötektoid noktadır.

γ karışık kristal sahasını daraltan alaşım elementleri ise, A_3 sıcaklığını yükselten ve A_4 sıcaklığını düşüren etki yapmaktadır. Diğer bir deyişle bu alaşım elementlerinin çözünebilirliği hacim merkezli kafes tiplerinde daha yüksek olduğundan, yüzey merkezli kafes tipi yapısını daraltmaktadır. Aynı genişleten sistemde olduğu gibi bu alaşım elementlerinin çözünebilirliği eğer faz ile ise, bu durumda çözünebilirliğin sınırı olarak karışık kristal sistemi ile kapandığından sınırlandırılmış kapalı γ sahası olmaktadır (Şekil 5.1c). Eğer çözünebilirlik düşük ise heterojen bir denge sahası doğmakta ve çözünebilirliği bu şekilde sona erdirmektedir (Şekil 5.1d).

Yukarıda açıklanan sistemlere göre çeliklerde en çok kullanılan alaşım elementlerinin sınıfları ise şu şekildedir:

- 1) γ sahasını genişletenler
 - a) Açık γ sahası yapan alaşım elementleri: Ni, Mn, Co, Rn, Rh, Pd, Os, Jr, Pt
 - b) Heterojen denge alanı ile sınırlayan alaşım elementleri: C, N, Cu, Zn, Au, Re
- 2) γ sahasını daraltanlar
 - a) Tekrar denge dönüşümlü kapalı γ sahası yapanlar: Be, Al, Si, P, Ti, V, Cr, As, Mo, Sn, Sb, W
 - b) Heterojen denge alanı ile sınırlandırılanlar: Nb, Ta, Zr, Ce, Hf (Topbaş [21])

5.1 Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementleri ve Özelliklere Etkisi

Buna göre yukarıda gruplandırılan alaşım elementlerinin demirin yapısına katılma sebepleri farklıdır. Özellikle konumuz olan yüksek hız takım çeliklerinde en çok kullanılan her alaşım elementinin farklı kullanım amaçları olduğundan, öncelikle bu alaşım elementlerinin sebeplerini açıklayarak genellikle kullanılan alaşım elementlerini ayrı ayrı incelersek:

5.1.1 Karbon

Demirin yapısında Fe_3C halinde bulunan karbon, mekanik özellikleri belirleyen en önemli elementtir. Malzemeden istenen özelliklere göre alaşımlandırma miktarı değişmektedir. Yüksek dayanım gerektiren durumlarda karbon miktarı yüksek, işlenebilirliğin önemli olduğu noktalarda ise karbon miktarının düşük olması gerekmektedir. Karbon miktarının artmasıyla birlikte akma ve çekme mukavemeti artar; şekillendirilebilirlik, yüzde uzama ve kaynak kabiliyeti azalır(Bain [22]).

5.1.2 Mangan

Yapıda istenmeyen bir element olan kükürt ile bileşik oluşturan bir element olduğu için, demir kükürt bileşiği oluşumunu engellemektedir. Bu özelliği nedeniyle en çok kullanım sebebi olan kükürt bağlayıcılığı ile öne çıkmaktadır. Demir kükürtün yapıyı olumsuz etkileyen ve sıcakta kırılganlık yapan özeliğinden dolayı yapıdan uzaklaştırılması önemlidir. Ayrıca manganın alaşım elementi olarak kullanılmasının başka amaçları da vardır; bunlar sertleşebilirliği, dayanımı ve kaynak kabiliyetini olumlu yönde etkilemesidir(Bain [22]).

5.1.3 Silisyum

Yapıya alaşım elementi olarak silisyumun ilave edilmesinin en önemli sebebi yay çeliği ve ıslah çeliği üretimidir. Bu alaşım elementi, akma ve çekme dayanımını arttırdığı ve elastikliği yükselttiğinden yay çeliklerinde, aynı zamanda kritik soğuma hızını düşürmesi nedeniyle de ıslah çeliklerinde kullanılmaktadır. Kritik soğuma hızının düşmesi çeliğin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Bu sayede çeliğin çekirdeğine kadar ısıtıl işlem sonrasında aynı sertlikte olması sağlanabilir(Bain [22]).

5.1.4 Krom

Yapıda %12'den daha yüksek bulunması durumunda korozyon ve oksidasyon direnci sağladığından, paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Karbon ile tane sınırlarında biriken $Cr_{23}C_6$ bileşiğini oluşturur. Ayrıca sıcak iş takım çeliklerinde karbür oluşturmada matriste çözünürse, çeliğin sığağa dayanımını arttırmaktadır (Bain[1]).

5.1.5 Nikel

Östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementi olan nikel, bu çeliklerde %7-20 arasında bulunmaktadır. Bu alaşım elementinin açık γ sahası oluşturması nedeniyle paslanmaz çeliğin oda sıcaklığında kübik yüzey merkezli olmasını sağlamaktadır. Bu sayede paslanmaz çeliğin işlenebilirliği artmaktadır. Ayrıca soğuk iş takım çeliklerinde parlatabilirliği arttırması nedeniyle yapıya ilave edilmesi yaygındır ki özellikle plastik kalıp çeliklerinde parlatılabilirlik oldukça önemlidir. Yapıda mekanik olarak ise tokluk artırıcı ve tavlı çeliklerde dayanımı artırıcı etkisi olmaktadır(Bain [22]).

5.1.6 Molibden

γ karışık kristal bölgesini daraltan bir alaşım elementi rolü üstlenmesi nedeniyle östenitleme esnasında tane büyümesini önlemektedir. Sertleşebilme kabiliyetini artırır ve meneviş gevrekliğini giderir. Kullanım alanında yüksek sıcaklıklara kadar ısınan çeliklerde meneviş gevrekliği riski doğmaktadır. Bunun dışında çeliklerin sürünme dayancını arttırması ve ısıtıl iletkenliğini yükseltmesi nedeniyle sıcak iş takım

eliklerinde çok kullanılan alaşım elementidir. Paslanmaz eliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır(Bain [22]).

5.1.7 Kobalt

Alaşımlı takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım eliklerinin sıcakta sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır. Genel olarak yüksek hız takım çeliklerinde, bu özelliğinden yararlanılmaktadır(Bain [22]).

5.1.8 Tungsten

Yapıda oluşturduğu birincil karbrlar sayesinde aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. Özellikle hız çeliklerinde olmak üzere, alaşımlı takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir. Maliyetleri nedeniyle kullanım alanları kısıtlanmaktadır(Bain [22]).

5.1.9 Vanadyum

Yüksek hız takım çeliklerinde yüksek miktarda kullanılan alaşım elementidir. Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, sıcakta çalışan çeliklerde ikinci sertleşmede de olumlu etkileri vardır. Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir(Bain [22]).

5.1.10 Titanyum

Vanadyumdan daha yüksek tane küçültücü etkisi vardır. Ancak maliyetleri bakımından kullanım miktarları sınırlıdır. Genel olarak mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak, ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturucu alaşım elementi olarak kullanımı yaygındır(Bain [22]).

5.1.11 Niyobyum

γ karışık kristal sahasını daraltan alaşım elementleri içerisinde yer almaktadır ve mikro alaşımlı çeliklerde kullanılan tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde titanyumun yaptığı etkiye benzer bir etki yaptığı için gerek titanyumla birlikte gerek tek başına kullanılmaktadır(Bain [22]).

5.1.12 Fosfor

Yapıda istenmeyen elementtir. Özellikle alaşımlı çelikler olan takım çelikleri sınıfında yer alması mekanik özellikleri kötüleştirir. Bu nedenle geliştirilen cüruf altı ertitme işlemleri ile yapıdan kükürtle birlikte uzaklaştırılır. Genel olarak uzama, eğme özellikleri bulunduğu miktara bağlı olarak olumsuz etkilenir ve kırılabilirlik yapar. Yalnız özellikle kırılabilirliğinin yüksek olmasının istendiği durumlar olabilir, otomat çeliklerinde olduğu gibi, bu durumlarda yapıda bulunması talaş kabiliyeti bakımından olumlu sonuçlar çıkarmaktadır(Bain [22]).

5.1.13 Kükürt

Fosfor gibi yapıda istenmeyen bir diğer elementtir. Malzemenin tokluğunu ve sünekliğini olumsuz etkilediğinden ve kaynak kabiliyetini düşürdüğünden otomat çelikleri hariç bulunması istenmez. Kükürt, demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz düşük ertitme sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ertiyerek sıcak kırılabilirliğe sebep olur. Takım çeliklerinde fosforla birlikte cüruf altı ertitme yöntemiyle yapıdan uzaklaştırılması tercih edilir. Yukarıda da bahsedildiği gibi mangan alaşım elementinin kükürtü bağlama özelliğinden yararlanılarak bu olumsuz etkiden korunulabilir. Sadece talaşlı şekillendirilmeye uygun otomat çeliklerinde kükürt miktarı yüksek tutulur(Bain [22]).

5.1.14 Azot

Kırılabilirliğine neden olması ve eğme özelliklerini kötüleştirir. Bu nedenle istenmeyen bir elementtir. Atom çapının çok küçük olması nedeniyle yapıdan uzaklaştırmak oldukça zordur. Yalnız kübik yüzey merkezli kafes yapısında çözünürlüğü çok yüksek olduğundan γ sahasını genişleten elementlerdendir(Bain [22]).

5.1.15 Hidrojen

Hidrojen gevrekliğine neden olur. Azottan daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır(Bain [22]).

Çizelge 5.1 Alaşım elementlerinin çeşitli özelliklere etkisi (QTS [23])

Alaşım Elementi	Sertlik	Mukavemet	Akma Noktası	Uzama	Kesit Daralması	Darbe Direnci	Elastisite	Yüksek Sıcaklığa Dayanım	Soğuma Hızı	Karbür Oluşumu	Aşınma Direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Oksitlenme Eğilimi	Korozyon Dayanımı
Si	↑↑	↑↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑↑	↑↑	↑↑	~	~	~	↑↑	~	↓	~	↓	↑	↓	~	-
Mn*	↓	↑	↓	↑↑	~	-	-	-	↓	-	-	↓	↓	↓	-
Cr	↑↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑↑	↑	↓	-	↓	↑↑
Ni	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓	-	↓	↓	↓	↓	-
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓	-	↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	~	-	↑↑	↓	↑↑	↑	↓	↓	↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S				↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓	↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓	↓	↓	↑↑

5.2 Alaşım Elementlerinin Yüksek Sıcaklıklardaki zelliklere Etkisi

Düşük alaşımlı ya da alaşımsız elik yüksek sıcaklıklarda sertliğini kaybetmektedir. Bu durumda malzemenin akma sınırı sıcaklık olarak aşağıya inmekte ve malzemenin bu sıcaklıklarda deforme olması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle çelikler genel olarak 450°C zerindeki sıcaklıklarda, sonsuz uzunluktaki bir sreye dayanıklı değillerdir. Bu gibi yüksek sıcaklıklarda belirli bir süre için durabilirler ve bu sıcaklığa dayanabilirler. Gerilme ve sıcaklık ne kadar ykseke elik malzeme için dayanım ömrü o derece azdır.

Yüksek sıcaklıklarda kullanılacak çeliklerin sıcakta akma sınırı ve sürünme direnci yüksek olmalıdır. Srnmeye karşı yüksek direnç ancak uygun bir ısıl işlem rejimi ile elde edilir. Alaşımı düşük olan çelikler için bu sıcaklık yaklaşık 500°C dereceye kadardır. Takım eliklerinde ise, yapılarındaki alaşım element miktarı sayesinde bu sıcaklık çok daha yukarı çıkmaktadır. Bu sıcaklıklarda ayrışma sertleşmesi gereklidir. İnce taneli olan bir iç yapıya sahip olacağı sıcaklığa kadar olan işlem sıcaklıklarında, mukavemet özellikleri vardır.

Sıcakta alışan ve sıcaklığa dayanıklı olması gereken çelikler bu nedenle alaşım olarak karbon ve krom içermektedirler. Bu sayede malzemenin çekirdeğine kadar ısıl işlemde ıslah işlemi yapılabilmektedir. Ayrıca yapıda molibden, vanadyum, tungsten ve kobalt elementleri bulunabilmektedir. Bu elementler alaşım elementlerinin çeliklere etkisi başlığında daha detaylı olarak incelendiği üzere menevişleme sıcaklığını yukarı çıkarmaktadır. Bu alaşımlar temperleme sıcaklığında mukavemetlerini alaşımsız bir çeliğe nazaran daha yavaş şekilde kaybederler. Çeliğin alaşım miktarlarına ve türüne bağlı olarak bu temperleme sıcaklıkları 450°C dereceden başlayarak 760°C dereceye kadar değişmektedir. Alaşımların karbürleri bu sıcaklıklarda yapıda homojen olarak dağıldığından atom tabakalarının sıcakta kaymasını engellemektedir. Buna bağlı olarak malzemenin sürünme direnci de artmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda çalışacak malzemeler için kullanım sıcaklıkları temperlendikleri sıcaklıklardan daha düşük olmalıdır. Bunun tersi bir durum olması durumunda malzemenin iç yapısında değişimler meydana geleceğinden yeni i yapı oluşabilir. Bu nedenle kullanım sıcaklıkları ile malzemenin temperlenme sıcaklığı arasında bir emniyet farkı oluşturulur(Topbaş [21]).

Çeliklerde üç farklı sıcaklıkta kullanım alanı bilinmektedir:

- Isıya dayanıklı yapı çelikleri
- Sıcak iş takım çelikleri
- Yüksek hız takım çelikleri(Topbaş [21])

5.2.1 Isıya Dayanıklı Yapı Çelikleri

Bu çelik türünün mümkün olduğunca sıcakta çalışması için sığağa dayanım, kaynak edilebilirlik ve soğuk deformasyon kabiliyeti gereklidir. Bu özelliklerin bir çelikte sağlanabilmesi için aşağıdaki çizelgedeki gibi alaşım elementleri içermesi gerekmektedir.

Çizelge 5.2 Isıya dayanıklı yapı çeliklerinde kullanılan alaşım elementleri ve alaşımların bu çeliklerin özelliklerine etkisi(Topbaş [21])

Alaşım Elementi	Alaşım Miktarı (%)	Alaşım Elementinin Etkisi
Karbon	0,10 - 0,35	Kaynak Kabiliyeti ve soğuk şekillendirilebilmesini sağlar.
Krom	1,40	Islah edilebilmesini sağlar.
Molibden	1,00	Temper sıcaklığı dayanımı sağlar.
Vanadyum	0,30	Temper sıcaklığı dayanımı sağlar.
Silisyum	0,50	Çeliklerin genel alaşım elementi
Manganez	0,80	Çeliklerin genel alaşım elementi

Yukarıdaki çizelgede yer alan alaşım yapısına uygun bir çelik olan 13CrMo4 4 çeliğinin yükselen sıcaklıklardaki dayanımları Wolfgang WeissBach'ın kitabında yer alan bilgilere göre oda sıcaklığında 50 kp/mm²'den 500°C derecede 24 (kp/mm²)/10⁴ değerlerine kadar inmektedir(Topbaş [21]).

5.2.2 Sıcak İş Takım Çeliklerinde Yüksek Sıcaklıklara Dayanım

Önceki bölümlerde daha detaylı olarak açıklanan çelik türü olan sıcak iş takım çelikleri sıcakta şekillendirilmede kullanıldığından, kaynak edilebilirlik özelliğine ya da soğuk şekillendirme kabiliyetine ihtiyaç duyulmamaktadır. Buna karşın bu çelikten beklenen özellikler farklıdır. Sıcakta kalıplama ve preslemede çalışacağından sıcakta sertliğinin kaybolmaması ve aşınma direncini koruması beklenir. Ayrıca çalışacağı ortamda darbe görmesi durumunda darbe dayanımı önemlidir. Bu özelliklerin gerektiği koşullarda

çalışacak bir sıcak iş takım çeliğinde aşağıdaki çizelgede yer alan alaşım elementleri bulunması gerekmektedir(Topbaş [21]).

Çizelge 5.3 Sıcak iş takım çeliklerinde alaşım elementleri ve özelliklerine etkisi(Topbaş [21])

Alaşım Elementi	Alaşım Miktarı (%)	Alaşım Elementinin Etkisi
Karbon	0,3 - 0,6	Süneklik değerine bağlı değişmektedir.
Krom	1 - 5	Sertleşme sağlar, ısıya dayanım sağlar.
Vanadyum	0,3 - 0,9	Temperlemeye dayanım sağlar.
Tungsten	1,5 - 9	Isı mukavemeti, aşınma mukavemeti sağlar.
Molibden	3	Tungsten yerine kullanılabilir.

Sıcak iş takım çeliklerinde %1 molibden içeriği, özellikler bakımından %3 tungsten varlığı ile aynıdır. Bu nedenle eğer sıcak iş takım çeliğinde molibden kullanılırsa, çeliğin içerdiği alaşım elementi oranı düşer. Çelik malzemelerde bahsedilen alaşım miktarı arttıkça, düşen ısı iletkenlik değerleri molibdenli çelikte daha azalır. Bu fark çeliğin içinde sıcaklık farkları oluşmasına engel olduğu gibi, ani sıcaklık değişimlerinde parçanın hassas davranmasını önler(Topbaş [21]).

5.2.3 Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Yüksek Sıcaklıklara Dayanım

Yüksek hız takım çelikleri, kesici takım malzemesi olarak yüksek miktarda talaş kaldırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu çelikler çalıştıkları ortamlarda (örneğin; torna, freze ve matkap) yüksek sürtünmeye maruz kaldıklarından, uçları 600°C dereceye kadar ısınmaktadır. Bu nedenle bu çelikten beklenen özellikler, bu yüksek sıcaklıklarda sertliğini kaybetmemesi, bu sıcaklığa da uzun süre dayanabilmesidir. Malzemenin sıcak sertliği yüksek olması için temperlemeye karşı dayanıklı olması, ucun ulaştığı maksimum sıcaklık olan 600°C derecede malzemenin yapısında bir değişim olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde malzemenin keskinliğini kaybetmesi söz konusudur.(Weissbach[24], Topbaş [21])

5.2.3.1 Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisi

Yüksek hız takım çeliklerinde bahsedildiği üzere, T ve M serisi hız çeliklerine çok çeşitli alaşım elementleri ilave edilmekte ve bu hız çeliklerinin özellikleri buna göre değişmektedir. Bu elementlerden en önemli olanları şu şekilde sıralanmaktadır:

Karbon

En yakından takip edilen ve özelliklere en büyük etkisi olan element olan karbon yüksek hız takım çeliklerinde en sıkı limitleri ile takip edilen alaşım elementidir. Bu limit değerlerin değiştirilmesi malzeme yapısında ve özelliklerinde çok önemli değişimlere yol açmaktadır. Çelikte karbon miktarının artması malzemenin sertliğini arttırmaktadır. Buna bağlı olarak hız çeliğinin aşınma direnci ve sıcak sertliği yükselmektedir[13].

Silisyum

Silisyumun, hız çeliğinde etkisi %1 içeriğe kadar oldukça azdır. Buna rağmen yüksek hız takım çeliğinde, %0,15 ile %0,45 arasında artan silisyum içeriği, karbür yapısına olan etkisinden dolayı, meneviş sertliğini biraz arttırmaktadır. Bu özellik ayrıca malzeme tokluğunu pek etkilemediğinden önemsenmektedir. Bazı yüksek hız takım çeliği üreticileri silisyum miktarını %0,65 dolaylarında sabit olarak tutmaktadır. Yalnız bu değerler hız çeliğinin östenitleme sıcaklığını düşürmekte, bu nedenle östenitlemede kaba taneli mikroyapı oluşma riskini doğurmaktadır[13].

Mangan

Yüksek hız takım çeliğinde genel olarak gevreklik yarattığı için alaşım miktarları oldukça sınırlı olan elementtir[13].

Krom

Yüksek hız takım çeliklerinde her zaman %3 ile %5 arasında bulunan alaşım elementidir. Sertleşebilirlik özelliğini sağlayan en önemli alaşım elementi olarak kabul edilebilir. Genel olarak kullanımın %4 olarak ayarlanmasının temel sebebi, bu değerlerin sertlik ve tokluk arasındaki en iyi uyumu vermesinden kaynaklı olduğu bilinmektedir[13].

Tungsten

Hız çeliklerinde bulunan en önemli alaşım elementlerinden biridir. Tüm T tipi yüksek hız takım çeliklerinde yer aldığı gibi, iki çeşit M tipi yüksek hız takım çeliğinde de bulunmaktadır. Hız çeliğinde yer alan demir, karbon ve tungstenden oluşan karbür çok

sert bir karbür olarak çeliğin aşınma direnci oldukça yükseltmektedir. Ayrıca tungsten sıcak sertliği yükselten, hız çeliğinin ikincil sertleşmesinde rol alan bir alaşım elementidir. Bu özelliği ile meneviş dayanımı yüksek bir hız takım çeliğinde yer alması gereken alaşım elementi olarak kabul edilmektedir. Genellikle yapısında tungsten olmayan takım çeliklerinde açık, molibden ilavesi ile kapatılmaktadır[13].

Molibden

Molibden alaşım elementi aynı tungstenin yaptığına benzer bir karbür oluşturmaktadır. Fakat molibden atomik kütle birimi bakımından tungstenden daha düşük bir ağırlığa sahip olduğundan, aynı yapıli karbürlerde yer alan tungsten miktarından iki kat daha fazla molibden gereksinimi olmaktadır. Molibden, tungstene göre daha düşük ergime sıcaklığına sahip olduğundan, daha dar bir östenit sahasına sahiptir. Ayrıca M tipi yüksek hız takım çeliklerinin sıcak sertlikleri biraz daha düşüktür. Yalnız bu hız çeliklerinin toklukları daha yüksektir. Sıcak sertlikte oluşan farkı kapatmak adına, yapıya bir miktar vanadyum ilavesi yapılmaktadır. Bu şekilde alaşımlandırılmış (M2, M3, M4) hız çeliklerinin bu derece ünlü olmasının temel sebebi de sıcak sertlikte farkın bu derece kapatılmış olmasıdır[13].

Vanadyum

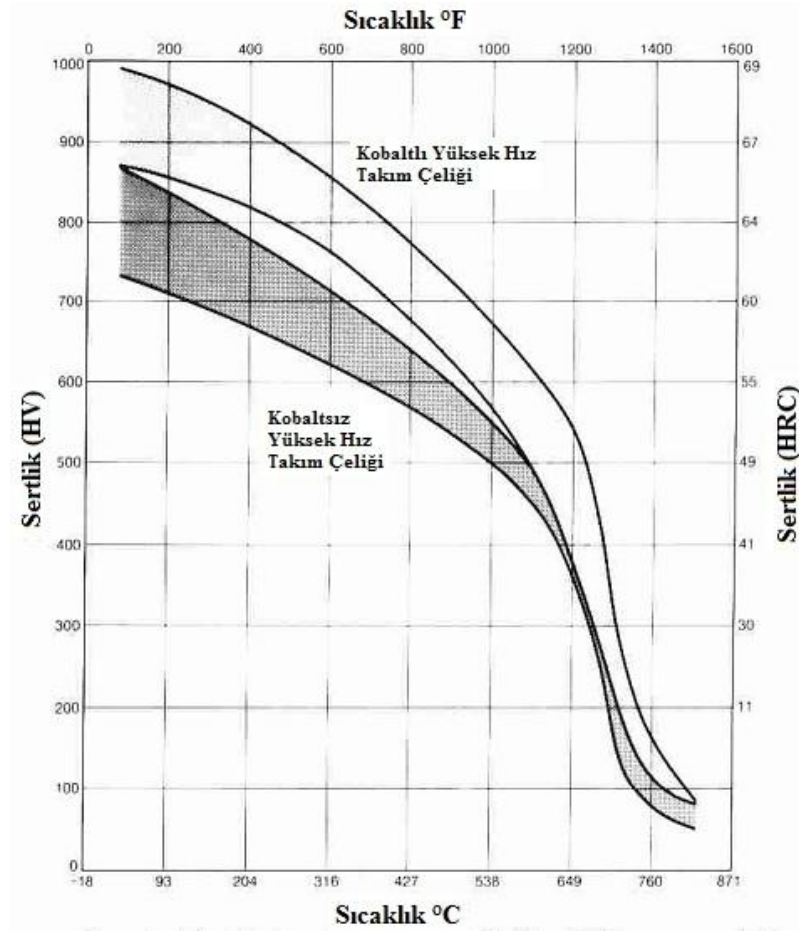
Yüksek hız takım çeliklerine ilk ilavelerinde cüruftaki empüriteleri toplamak adına ergitmede azot seviyesini düşürme amaçlı kullanılmaktayken, sonrasında bu elementin kesme kabiliyetini arttırmasından yararlanılmaya başlanmıştır. Vanadyum ilavesi hız çeliğinde yüksek sertlik, kararlı karbür ve yüksek aşınma direnci sağlamaktadır. Karbonla birlikte vanadyum miktarındaki artışı, hız çeliğinin tokluğuna etkisi göreceli olarak oldukça azdır. Bu sebeple vanadyum içeren hız çeliğinin kesici uç olarak kullanılması oldukça uygun bir seçimdir. Yüzeyin aşırı sert olması bitirici uç olarak kullanılmasını yaygın kılmaktadır. T15, M4 ve M15 takım çeliklerinde %5 civarında alaşım elementi olarak bulunmaktadır[13].

Kobalt

Yüksek hız takım çeliklerinde yer alan kobalt, alaşım elementi olarak hız çeliğinin sıcak sertliğini, kesme verimliliğini arttırmaktadır. Kobalt, ergime sıcaklığını arttırdığı için

ısıtıl işlem sıcaklıklarını yukarı çekmektedir. Örnek olarak kobaltlı hız çeliklerinin östenitleme sıcaklığı 14°C ile 28°C arasında daha yukarıda olmaktadır. Ayrıca hız çeliğine belirli bir oranda gevreklik katmaktadır.

Kobaltlı hız çeliklerinin kullanım alanları daha kaba, daha derin kesim ve diş açma işleridir. Yalnız bitirici işlem uçları için kobaltlı olanlar tercih edilmemektedir çünkü bu tür işlemlerde sıcaklık çok yükselmemektedir. Sadece derin kesme, yüksek hızda sert malzeme kesiminde tercih edilmektedir[13].



Şekil 5.2 Kobalt alaşım elementinin artan sıcaklıkta sertlik dayanımına etkisi [13]

BÖLÜM 6

KARBÜRLER

Karbürler hem metalik bağlantı karakteri hem de kimyasal bağlantı karakteri taşıdığından oldukça karmaşık yapılardır. Demir içinde yer alan karbürlerin türü elementlerin periyodik tablodaki yeri ile ilgilidir. Buna bağlı olarak da karbürlerin kararlılığı belirlenmektedir.

6.1 Çeliklerde Karbür Oluşumu ve Özellikleri

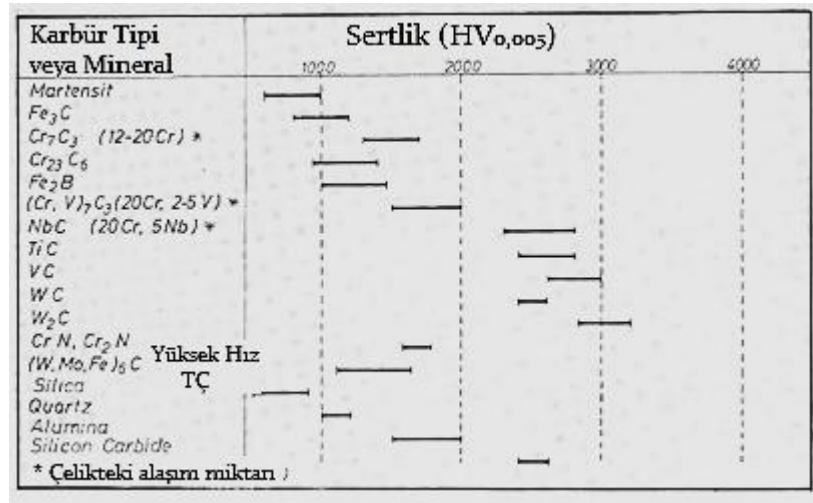
Demirde karbür elementi ile bir başka element daha karbür içinde yer alabilir. Bu durumda karbür toplam 3 elementten meydana gelebilmektedir. Bu nedenle de karbürlerden genel olarak bahsedilirken karbür içinde yer alan tüm elementler hakkında bilgi sahibi değilsek genel gösterimi kullanabiliriz. M_3C , M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ gibi örnekler verilebilir. Aşağıdaki tabloda periyodik tablodaki sistematige uygun karbürlerin bağlantıları yer almaktadır.

Çizelge 6.1 Periyodik tabloda karbürlerin kristal yapılarına göre dağılımı (Topbaş [21])

	IV	V	VI	VII	VIII		
3	TiC	VC/V ₄ C ₃	Cr ₂₃ C ₆	Mn ₂₃ C ₆	Fe ₃ C	Co ₃ C	Ni ₃ C
			Cr ₇ C ₃	Mn ₇ C ₃			
			Cr ₃ C ₂	Mn ₃ C			
4	ZrC	NbC / Nb ₄ C ₃	Mo ₂ C MoC				
5	HfC	TaC	W ₂ C				
		Ta ₂ C	WC				

Karbonca zengin olan karbürlerin yapıları oldukça basittir. Yukarıdaki tabloda da IV. ve V. grup karbürleri olarak görülmektedir. Genellikle kübik kafes şeklinde ve karbon atomu ara yer şeklinde olmaktadır. Bu karbür tipine örnek olarak, TiC, ZrC, VC, NbC gösterilebilir. Yalnız karbon atomu bütün boşlukları dolduramadığından bu yapı içerisinde atom çapları nispeten küçük olan diğer elementler girebilmektedir. Bunlara örnek olarak azot ve oksijen atomları sayılabilmektedir. Zaten nitrür tabakalarında görülen, karbonitrür, oksikarbonitrür ve oksikarbürler de bu şekilde meydana gelmektedir. Bu nedenle sitokiyometrik olarak vanadyum karbür gibi kararlı değildir.

Hekzagonal yapıda olan karbürler bu sınıflandırmada ayrı bir basamak oluşturmaktadırlar. Bu yapı içerisinde oldukça kararlı olan karbürler de bulunmaktadır. MC ve MC₂ konsantrasyonlarındadır. Bu yapı içerisinde karbon atomları oktaedrik ara hacimde, metal düzlemleri arasındadır(Topbaş [21]).

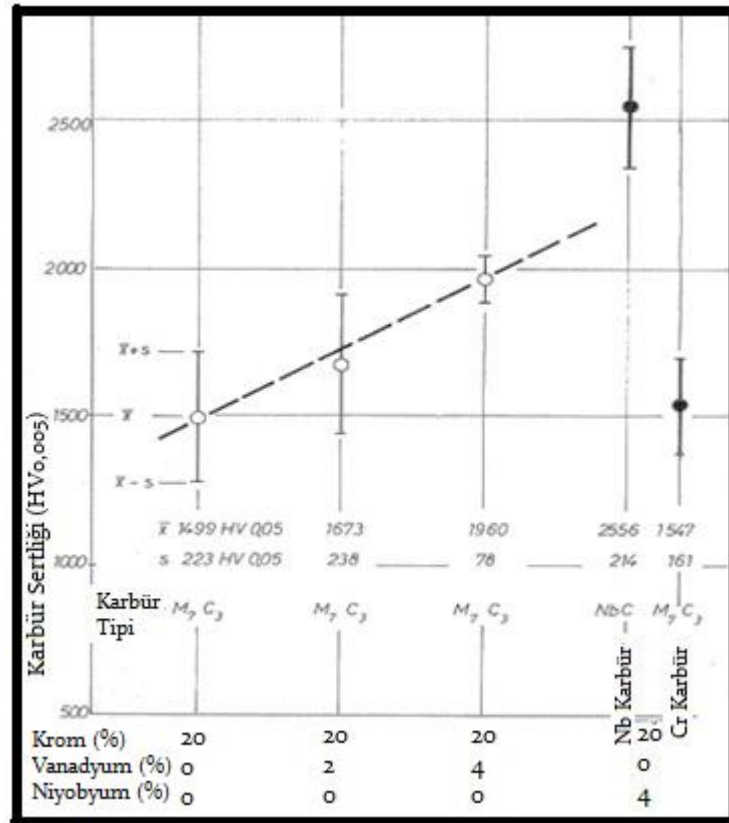


Şekil 6.1 Çeşitli karbürlerin veya minerallerin sertlikleri (Wilmes ve Zwick [25])

Karbürler içerisinde en az stabiliteye sahip bir diğer grup ise genelde krom elementinin karbürü olarak bilinen M₇C₃ karbürleridir. Bu karbürlerin östenit içerisindeki stabilitesi diğer iki gruba göre daha düşüktür. Çözünebilirliği ise daha yüksektir. Bu karbürlerin kafes yapıları ise ortorombik kristalleridir. Stabilitesi en düşük karbür tipidir ve bu nedenle boyutları ve yapıları benzer bir yabancı atomla karbürdeki element yer değiştirebilmektedir. Özellikle krom elementinin karbür oluşturması konsantrasyona bağlıdır. Buna bağlı olarak krom karbürün çevresinde yüksek miktarda demir atomu bulunmaktadır(Topbaş [21]).

Eğer çeşitli alaşım elementlerinin karbür oluşumuna etkisini özetlersek:

- Vanadyum öncelikle MC tipi karbür oluşumunu tetikler. İkinci öncelikte ise diğer karbür tipleri yerine M_2C tipi karbür oluşmasına meyillidir
- Molibden M_2C tipi karbürleri kararlı kılan elementken, tungstenle birlikte M_6C karbürü çökmesini tetikler
- Krom M_7C_3 karbürünü kararlı kılar (Molinari vd.[26])



Şekil 6.2 Alaşım elementlerinin farklı kimyasal oranlarıyla oluşan karbür tipleri ve sertlikleri (Wilmes ve Zwick [25])

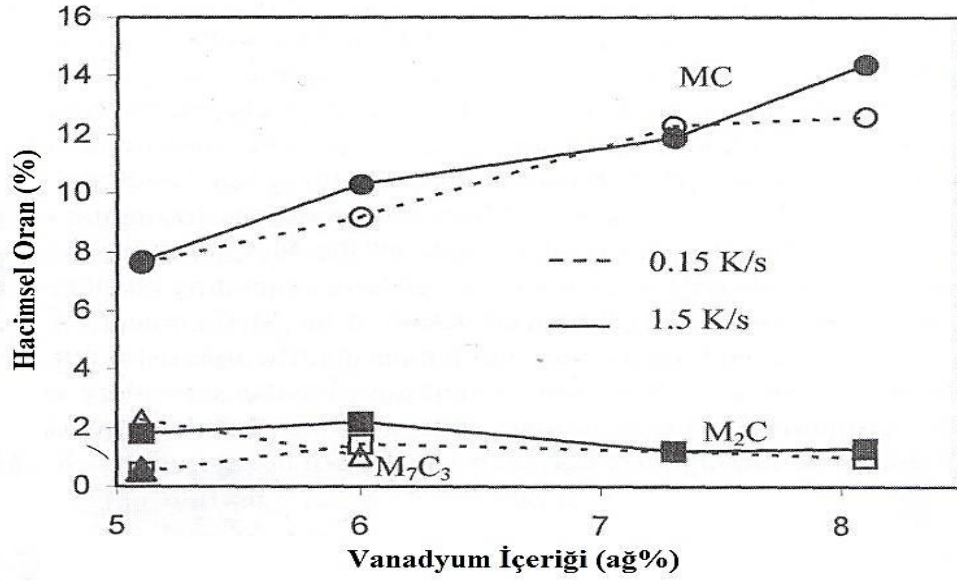
6.2 Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Karbürler

Yüksek hız takım çeliklerinde bulunan karbürlerin malzeme özelliklerine etkisi oldukça yüksektir. Yüksek hız takım çelikleri yüksek alaşımlı takım çelikleri sınıfında yer aldığından bu malzemelerin sıcağa karşı mukavemetleri, yüksek aşınma dirençleri ve kesme kabiliyetlerinin iyi olması bu alaşım elementlerinin oluşturduğu karbürlerin varlığı ile açıklanmaktadır.

Yüksek hız takım çeliklerinde birincil karbürler, çeliğin katılaşması sırasında çökmektedirler. Genellikle doğrudan sıvı fazdan teşekkülleri söz konusudur. Bu karbürler iki türlü olabilir. Proötektik yapıda olanlar ötektik fazın katılaşmasından önce çökelen karbürler, ötektik yapıda olanlar ise ötektik katılaşması sırasında çökelen karbürlerdir. Buna bağlı olarak proötektik bir karbür yüksek hız takım çeliğinde proötektik dendritlerinde, proötektik östenitte veya delta ferritte yer almaktadır. Ötektik karbürler ise sürekli ağ şeklinde, yapıda ötektik ve interdendritik yapıların içinde veya hücre boşluklarında bulunurlar.

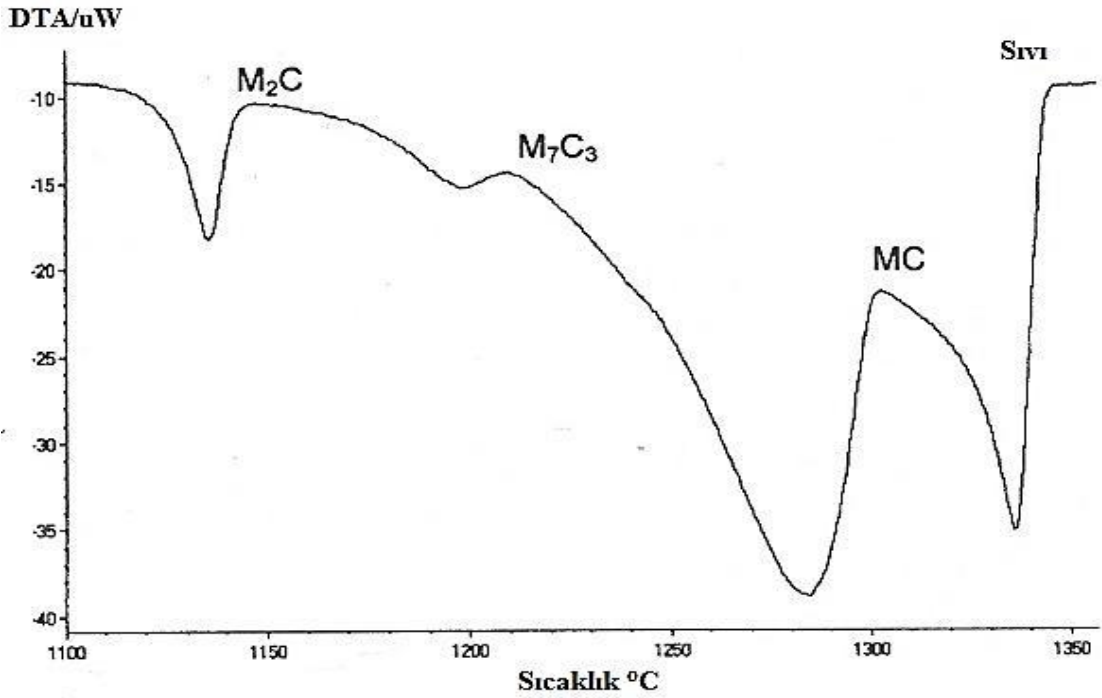
Proötektik karbürler, genellikle saf karbürlerdir. Kimyasal yapıları ise vanadyum ve/veya niyobyum karbür şeklinde olup MC veya M_4C_3 formlarındadır. Hız çeliğinin yapısına oldukça az miktarda katıldığından, yapıdaki oranları düşüktür. Bu karbürlerde saflık, karbürlerin çökme sıcaklıkları ile orantılı olduğundan niyobyum karbürün yapısı, vanadyum karbüre göre daha saf olmaktadır. Boyutları $10\mu m$. civarındadır ve sertlikleri 2500 HV'nin üstündedir. Bu yapıdaki proötektik karbürlerin çökmesi için yapıda bu alaşım elementleri ve yeteri kadar karbon olması şarttır. Genel olarak, takım malzemesi olarak üretilen yüksek hız takım çeliklerinde oluşması beklenen karbürlerdir. Üstün sertlikleri ile bu amaçla üretilen yüksek hız takım çeliklerine yüksek aşınma direnci kabiliyeti ve sertlik kazandırmaktadırlar.

Ötektik karbürler, takım malzemesi olarak tasarlanan yüksek hız takım çeliklerinin dışındaki durumlarda kullanılan karbür türüdür. Bu karbürler ötektik yapı katılaşırken çökmektedirler ve bu nedenle artık interdendritik sıvı içerisinde bulunmaktadırlar. Doğal olarak bu sıvı ile reaksiyon göstermektedir ve üç farklı öteklikte teşekkül eder. Bunlar, $\gamma + MC$, $\gamma + M_2C$, $\gamma + M_7C_3$ 'tür. Bu ötektik karbürler içerisinde $\gamma + MC$ karbür yapısı ilk olarak çökelen tiptir. Diğer $\gamma + M_2C$ ve $\gamma + M_7C_3$ karbürlerinin çökmesi ise sonraki adımlarda gerçekleşmektedir. Bu karbürlerin oluşmasında soğuma esnasında alaşım elementlerinin kimyasal kompozisyon bakımından ayrışması ve soğuma hızı etkilidir. Bu iki karbürden M_2C yapısı yüksek tungsten, molibden, vanadyum miktarlarıyla ve hızlı soğuma kapasitesi ile mümkün olmaktadır. M_7C_3 yapısı ise yüksek krom ve karbon miktarı ile yavaş soğuma oranlarında teşekkül eder(Boccalini ve Sinatora [27]).



Şekil 6.3 Artan vanadyum alaşımı ve soğuma hızının ötektik MC, M₂C ve M₇C₃ karbürü oluşumuna etkisi (Boccalini ve Sinatora [27])

Aşağıdaki Şekil 6.2’de Fe-1.9C-2Mo-2W-4Cr-V yapısındaki hız çeliğinin 1450°C dereceden 1100°C dereceye soğutulması sırasında diferansiyel termal analizi (DTA) sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.4 Fe-1.9C-2Mo-2W-4Cr-V alaşımının DTA sonucu (Boccalini ve Sinatora [27])

MC yapısında olan ötektik karbürler, proötektik karbürlerden farklı olarak molibden, tungsten ve krom içerebilmektedir. Ayrıca M_6C yapısında olacak kadar genişlemiş türleri demir, tungsten, molibden, vanadyum ve krom içerebilmektedir. Mikroyapısı incelendiğinde çok ince ve düzenli lamelli bir morfolojisi olduğu görülmektedir. Böyle bir karbürün boyutları ise 100 mikron civarında, ancak sertlikleri proötektikden farklı olarak 1100 ile 1500 HV arasındadır. Daha az kompleks M_2C yapısında olan türleri de bulunmaktadır. Bunlarda kimyasal farklılık, krom ve molibden miktarının daha yüksek, demir miktarının ise daha düşük olmasıdır. Bu durumda sertlikleri de göreceli olarak yükselmektedir(2000HV). Hız çeliğinde en geniş yapıdaki karbür ise M_7C_3 karbürüdür ve daha önce bahsedildiği üzere bu karbür krom elementi içermektedir(Molinari vd. [26])

Çizelge 6.2 Ötektik karbürlerin kimyasal kompozisyonu (Boccalini ve Sinatora [27])

Karbür	Analiz Aralığı (ağ%)				
	V	W	Mo	Cr	Fe
MC	40 - 60	10 - 30	10 - 25	3 - 8	2 - 4
M_2C	7 - 13	10 - 40	30-50	8 - 15	4 - 15
M_7C_3	4 - 8	4 - 8	5 - 10	20-30	40-50

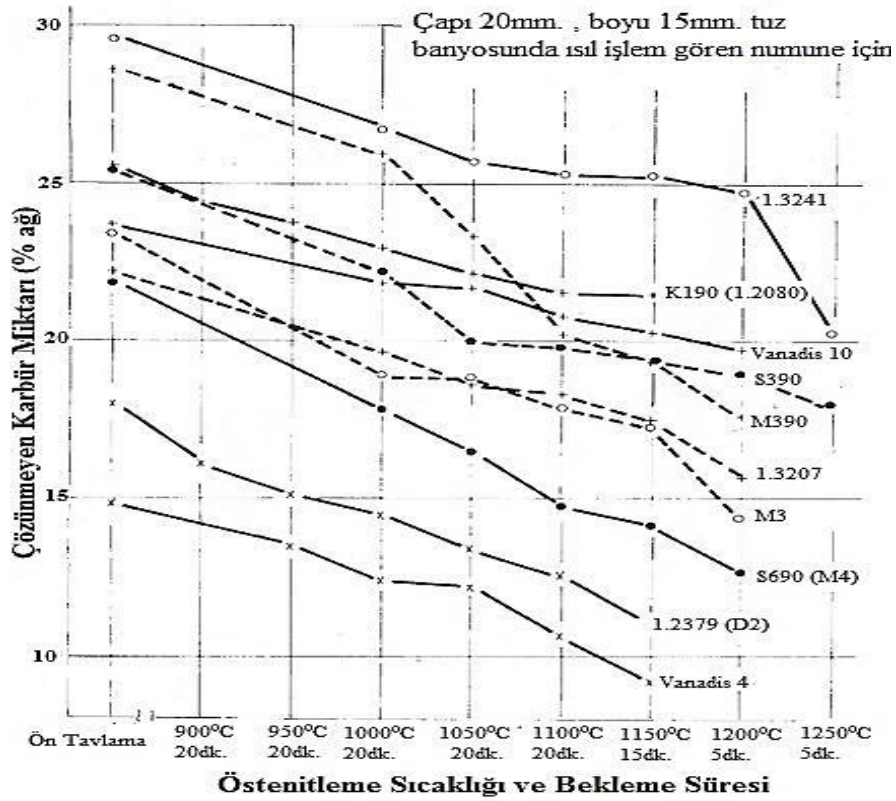
6.2.1 Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Karbürlerin Özelliklere Etkisi

Karbürlerin özelliklere etkisini incelersek; sertleştirme işleminde çözünmeden kalan karbürlerin malzemenin sertliğini arttırdığı ve buna bağlı olarak kesme kabiliyetini ve aşınma dayanımını büyük ölçüde yükselttiği görülmektedir. Buna bağlı olarak bir takım malzemesine sertlik veren ve abrasiv aşınma direnci sağlayan, karbürlerin miktarı, boyutları ve dağılımıdır. Aşınma direnci ise bu karbürlerin boyutlarından ve boşluklarından etkilenmektedir. Eğer toz metalurjik parçalarda olduğu gibi karbür tanelerinin ve boşluklarının boyutları oldukça benzerse, bu durumda çözünmeden kalan karbür miktarı aşınma direncini belirlemektedir.

Ayrıca ikinci kademede ayrılan karbürlerin hız çeliklerinde, meneviş dayanıklılığı ile sıcakta sertliği yükselttiği görülmektedir.

Karbürlerin yüksek alaşımlı takım çeliklerinde 900°C derece ile 1250°C derece arasındaki östenitleme sıcaklığında çözünme oranlarını inceleyen bir araştırmada farklı

bekleme sürelerinde çeşitli karbür tiplerinin çözünme değerleri tespit edilmiştir. Dokuz adet toz metalurjik olarak üretilmiş D2 soğuk iş takım çeliği üzerinde yapılan çalışmada, 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C ve 1100°C derecede 20 dakika, 1150°C derecede 15 dakika, 1200°C ve 1250°C derecede 5 dakika östenitleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafikte yer almaktadır(Wilmes ve Kienopf [28]).



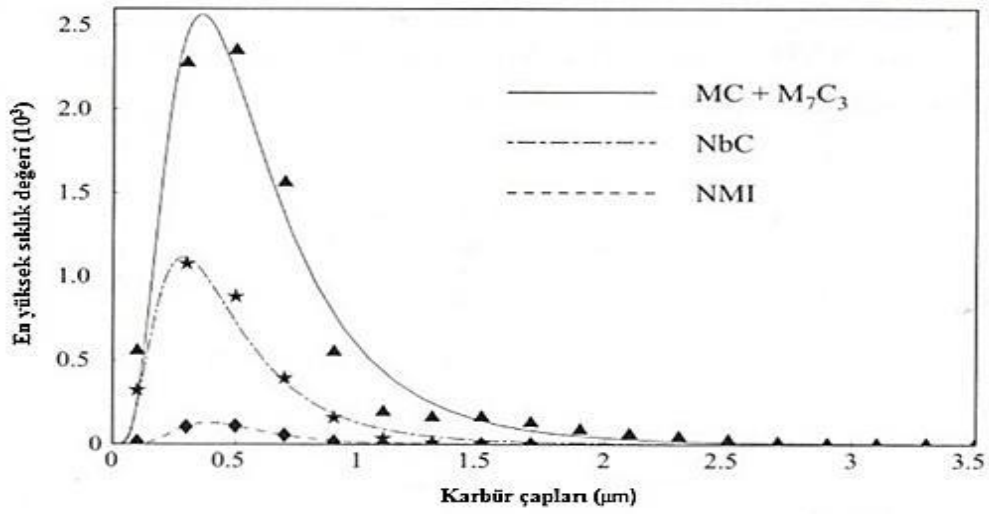
Şekil 6.5 Çeşitli takım çeliklerinin farklı sıcaklık ve sürelerde karbür çözünme miktarları (Wilmes ve Kienopf [28]).

Hız çelikleri gibi yüksek alaşımlı çeliklerde karbürü oluşturan elementler yapıda iki şekilde bulunabilir. Bu elementler ya ferritle birlikte sementit içinde yer alırlar ya da ferritle birlikte özel karbür olarak bulunurlar. Karbür içerisinde bulunan elementlerin karbon miktarıyla oranları, karbürün stabilitesini etkilediğinden daha önce bahsedilmiştir. Buna göre karbür oluşturan elementler kesici takım olarak kullanılan hız çeliklerinin yapısı içerisinde yüksek miktarda karbür oluşturan halde; küçük miktarda ise sementite dahil halde bulunmaktadır.

Krom gibi çok farklı şekilde karbürler meydana getirebilen elementler ise yüksek hız çeliği içinde birden fazla karbür tipi oluşturmaktadır. Aynı anda yapı içerisinde aynı

elementin farklı karbürleri yer alırsa bu durumda stabiliteye göre karbürlerin çözünme özellikleri görülmektedir. Kromun iki karbürü olan Cr_{23}C_6 ve Cr_3C_2 karbürlerinden Cr_3C_2 daha kararlı yapıda olduğundan östenitte Cr_{23}C_6 karbürü çözünmektedir. Cr_3C_2 ise çözünmeden kalmaktadır. Çözünen karbürler ise hız çeliklerinin meneviş sıcaklığına denk gelen 450°C - 600°C dereceler arasında tekrar ayrışarak ikincil sertliği oluştururlar.

Yüksek karbon ve yüksek krom içeren soğuk iş takım çeliği sınıfında yer alan 4 numune üzerinde yapılan bir çalışmada, farklı alaşımlı soğuk iş takım çelikleri östenitlenme ve meneviş işlemi görmüştür. Her biri üç meneviş görmüş numunelerin sertlikleri 60 HRC'dir. Daha sonrasında elektron tarama mikroskobu (SEM) kullanılarak mikroyapıları incelenmiştir. Bu mikroskobun ikincil elektron (SE) görüntüleri ve geri saçılan (BE) görüntüleri ile farklı karbürlerin fark edilebilir olması sağlanmıştır. Böyle karbür büyüklükleri, dağılımları ve çeşitleri tespit edilmiştir. Buna göre soğuk iş takım çeliğinde aşınma direnci sağlayan karbürlerin dağılımı aşağıdaki grafikte sunulmaktadır (Blaha vd. [29]).



Şekil 6.6 Farklı karbürlerin boyut dağılımı (Blaha vd. [29])

BÖLÜM 7

MÜHENDİSLİKTE MALZEME SEÇİMİ

Bir metalürji mühendisinin ya da tasarımcının görevlerinden birisi, özel bir tasarım, üretim, operasyon ve bakım gereksinimlerini tam anlamıyla yeterli bir şekilde karşılayacak doğru ve uygun malzemeyi seçmektir. Ayrıca seçilen malzemedan kabul edilebilir maliyetlerle üretim yapmaktır. Buna göre parçanın kullanım alanı, koşulları ve kolaylığı uygun malzemeyi seçmede önemli rol oynamaktadır.

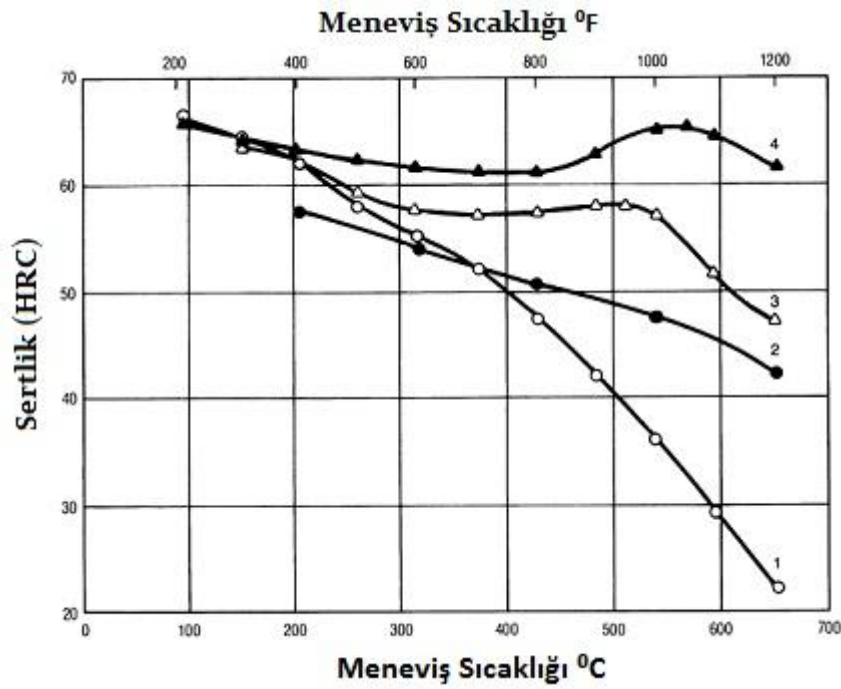
Bir mühendisin kullanabileceği çok geniş bir mekanik ve fiziksel özellik aralığına sahip binlerce alternatif malzeme mevcuttur. Burada unutulmaması gereken, malzeme seçiminde sadece özelliklerin göz önünde bulundurulmasının yeterli olmayacağı aynı zamanda tasarım ve imalat faktörlerinin değerlendirilmesinin gerekliliğidir.

Uygun malzeme seçiminde ilk olarak dikkate alınacak malzemenin özellikleridir. Bu özellikler çoğunlukla sayısal değerler olduğundan malzemenin bu kullanım alanına uygun olup olmadığı incelenmelidir(John [30]). Bunlar:

- Elastiklik modülü
- Akma ve maksimum dayanım
- Sertlik ve aşınma direnci
- Süneklik
- Kırılma tokluğu
- Yorulma dayanımı
- Sürünme özellikleri
- Elektriksel özellikler
- Oksidasyon ve korozyon direnci

- Manyetik özellikler
- Isıl genleşme ve iletkenlik
- Yoğunluk (John [30])

Yalnız unutulmamalıdır ki, malzemenin özellikleri farklı çalışma koşullarında değişebilmektedir. Örnek olarak, yüksek sıcaklıklara çıkılan koşulların olduğu bir çalışma ortamında malzeme seçiminde öncelikle malzemenin özelliklerini değil, malzemenin o sıcaklıklarda özelliklerini ne kadar kaybettiği ya da koruduğunu araştırmak gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere seçilebilecek çeşitli takım çeliği malzemelerden sadece iki gruptaki takım çeliği sıcakta çalışmaya uygundur(John [30]).



Şekil 7.1 Takım çeliklerinin artan meneviş sıcaklıklarında sertlik değişimi [4]

Şekil 7.1'de görüldüğü üzere yüksek sıcaklıklarda sertlik değerleri takip edilen takım çelikleri, artan sıcaklıklarda sertliklerinde önemli değişimler göstermektedir. Buna göre 1 numara ile gösterilen takım çelikleri AISI standardında W ve O sınıfı takım çelikleridir. 2 numara ile gösterilen takım çelikleri AISI standardında S sınıfına denk gelmektedirler. Sıcakta nispeten özelliklerini koruyan diğer iki sınıftaki takım çelikleri ise, 3 numarada gösterilen AISI standardında A tipi, 4 numara ise AISI standardında M tipi takım çelikleridir.

Bu nedenle yüksek sıcaklık ortamında kullanılacak malzeme ona uygun menevişlere dayanabilecek özelliklere sahip bir takım çeliğinden seçilmelidir.

Yukarıda sayılan özellikler dışında mühendisin amaçlarından biri de kullanım süresi boyunca çalışma koşullarını uygun bir şekilde yerine getirilebilecek ürünlerin üretimini ve tasarımını, çalışan bir işletme için karşılanabilir maliyetle yapabilmektedir. Bu nedenle malzeme seçiminde maliyet analizi gerçekte çok önemli bir olgudur. Çelik malzemelerin, özellikle bu çalışmanın konusu olan yüksek hız takım çeliklerinin, içerdiği alaşım elementlerinin miktarlarının yüksek olmasına bağlı olarak maliyetleri yüksektir. Yalnız gerçekte bilinmesi gereken, satın alınan malzemenin fiyatının, işlenerek son ürün haline getirilme maliyetinin yarısına denk geldiğidir. Bu nedenle malzeme seçimi iki kat önemli olmaktadır. Çünkü yapılan yanlış bir seçimde hem malzeme maliyeti hem de bu malzemenin işleme maliyeti kalıbın toplam maliyetini oluşturacaktır.

Malzeme fiyatları genel olarak ton başına Euro (€) veya Dolar (\$) olarak ifade edilir. (Ancak malzemenin kütlesinden daha çok malzemenin ölçüleri önemlidir.) Maliyet hesabında dikkate alınması gereken, malzemenin maliyetinin her proses ve her ısıl işlem sonrası artmasıdır. Ayrıca alaşımlama, alaşımların maliyetinin saf malzemenin fiyatından yüksek olmasına sebep olur(John [30]).

Çizelge 7.1 Çelik üretiminde kullanılan alaşım elementleri ve maliyetleri (100 kg. için)
(Mattar [31])

Element	Kullanılan Alaşım	Alaşım Miktarı (kg.)	Maliyet (USD \$)
V	Fe-V	1,50	7,5
Cr	Fe-Cr	1,50	3
Si	Fe-Si	0,25	0,25
Mn	Fe-Mn	0,25	0,25
Mo	Fe-Mo	4,50	22
W	Fe-W	3,00	15
TOPLAM			48

7.1 Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Malzeme Seçim Faktörleri

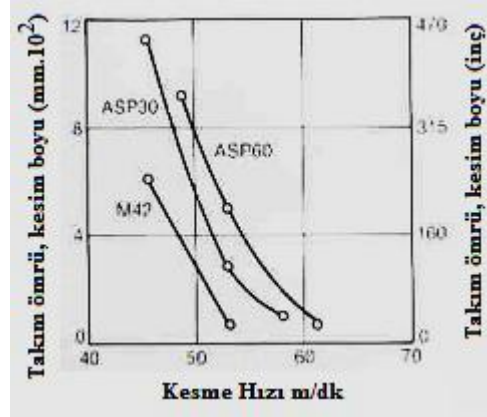
Yüksek hız takım çeliklerinin en yaygın kullanımı takım malzemesi olduğundan, takımlardan beklenen çeşitli özellikler aynı zamanda yüksek hız takım çeliklerinden de beklenmektedir:

- Yalnızca oda sıcaklığında değil, oda sıcaklığında da takım, iş parçasından daha sert olmalıdır.
- Aralıklı kesme işlemlerinde (freze) görülen mekanik şoklardan (darbeli yüklemelerden) sonra işlevini yürütebilmesi için yeterli tokluğa sahip olmalıdır. Çünkü takımlarda, sert fazlar içeren parçaların talaşlı işlenmesinde dahi mekanik şoklar oluşabilmektedir.
- Takımlar, aralıklı kesme işlemlerinde hızlı ısınma ve soğuma meydana geldiğinden termal şok direncine sahip olmalıdır. Yetersiz olan tokluk ve termal şok direnci, takım ucunda küçük parçaların kopmasına ve hatta takımın kırılmasına neden olur.
- İş parçasına düşük yapışma, bölgesel kaynaklanmayı ortadan kaldırır. Düşük sertlik ve iş parçasına yüksek yapışma, takım şeklinde distorsiyona, takım burnunun kütleşmesine, sertbest yüzey ve krater şeklinde takım aşınmasına neden olduğu için istenmemektedir.
- İş parçası malzemesinde, takım malzemesinin difüzyonu ile hızlı aşınma meydana gelir; bu nedenle iş parçası içinde takımın çözünürlüğü düşük olmalıdır (Ahlatçı [33])

Yüksek hız takım çeliklerinin türleri içerisinde tüm kesme faaliyetlerine uygun bir alışımda malzeme yoktur. Bu nedenle kullanım alanına göre doğru alıştır seçilmektedir. Bunun dışında genel olarak uygulamalarda tercih edilen birkaç tipte yüksek hız takım çeliği bulunmaktadır. Bunlar, molibdenli sınıftan M1, M2, M7 hız çelikleri ile tungstenli sınıftan T1 hız çeliğidir. Bu alaşımlar en yüksek tokluk değerlerine sahip hız çelikleridir. Ayrıca kesim kabiliyeti bakımından üstündürler. Yalnız bu çeliklerin bir dezavantajı, ısı işlem sonrasında kazandıkları maksimum sertlik değerlerinin diğer yüksek hız takım çeliklerine nazaran düşük olmasıdır.

Yukarıda bahsedilen yüksek hız takım çeliklerinin sertliklerinin göreceli olarak düşük olması nedeniyle sert ve zorlu kesimlerde ömürleri azalmaktadır. Anlaşıldığı üzere aşınma direnci bakımından biraz geride kalmaktadırlar. Bu sorun belirli miktarlarda

vanadyum ilavesi sonucunda malzemede bir gelişim sağlamasıyla çözülmektedir. Artan vanadyum miktarına bağlı olarak sertlik yükselmekte ve artan sıcaklıkta sertliğini koruma dayanımı artmaktadır. Bu bakımdan %5 V içeren yüksek hız takım çeliği olan T15 daha yüksek sertlik değerlerine sahip olmakta, alüminyum, paslanmaz çelik, refrakter malzemeleri gibi sert malzemelerin kesilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 7.2 Kesim hızının takım ömrüne etkisi için en uygun malzeme seçimi [13]

Dövme yüksek vanadyumlu hız çelikleri ise toz metalurjik üretilmiş hız çeliklerine nazaran daha zor parlatılabildiğinden bu konuda da yüksek vanadyumlu hız çelikleri yerine toz metalurjik hız çelikleri tercih edilmektedir.

Yüksek kobalt alaşımlı hız çelikleri artan sıcaklıklarda sertliklerini muhafaza ettiklerinden, sıcak sertliğin istenildiği durumlarda öncelikli olarak tercih edilmelidir. Sıcak sertlik dayanımının miktarları artan kobalt alaşım miktarıyla orantılıdır. Fakat artan kobalt miktarı hız çeliğinin kırılganlığını da artırmaktadır. Bu nedenle kullanım alanında tercih edilirken, yeterince sert malzeme kesileceğinden ve malzemenin kesinlikle ısınıp ısınmayacağından emin olmak gerekmektedir[13].

BÖLÜM 8

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmamız Quantum Takım Sanayi Ürünleri Çelik Ticaret A.Ş. ve Uğur Vida Sanayi İthalat İhracat Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir. İlk tesiste hazırlanan ve ısıtıl işlem gören yüksek hız takım çelikleri diğer tesiste vida üretiminde kullanılan vida kesme cihazında çalıştırılmıştır. Bu cihazda yer alan beş kesici uca deneysel çalışmalarımızda kullanmak üzere hazırladığımız malzemeler yerleştirilmiş ve bu malzemelerin işlemdeki performanslarının yapılan farklı ısıtıl işlemlerle nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu çalışma için beş farklı analizde yüksek hız takım çeliği, dört farklı östenitleme sıcaklığında sertleştirilmiş ve iki farklı menevişleme sıcaklığında üç adet meneviş işlemi görmüştür. Özelliklerin karşılaştırılması amacıyla toplamda kırk adet numune hazırlanmıştır. Bu çalışma sonrasında, yapılan vida başı kesme işlemi için en yüksek performansta çalışma ömrü sunan yüksek hız takım çeliği malzemesi ve bu malzemeye uygulanan en uygun ısıtıl işlem parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 8.1 Deneysel çalışmamızda kullanılan kırk adet yüksek hız takım çeliği

8.1 Deneyde Kullanılan Yüksek Hız Takım Çelikleri

Deneysel çalışmamızda yüksek hız takım çelikleri grubundan farklı kimyasal analizlere sahip beş malzeme kullanılmıştır. Bunlar DIN normuna göre 1.3343, 1.3243, 1.3207 yüksek hız takım çelikleri ile toz metalurjik olarak üretilen SPM 10 ve ASP 2052'dir. Aşağıda yer alan Çizelge 8.1 'de her malzemenin kimyasal analizi yer almaktadır.

Çizelge 8.1 Çalışmada kullanılan yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal analizi

Malzeme No.	C (%)	Cr (%)	Mo (%)	W (%)	Co (%)	V (%)
1.3343	0,9	4,2	5	6,4	-	1,8
1.3243	0,93	4,2	5	6,4	4,8-5	1,8
1.3207	1,27	4	3,5	9,5	9,5-10	3,1
SPM 10	2,45	5,2	1,3	-	-	9,7
ASP 2052	1,6	4,8	2	10,5	8,5-9	5

8.1.1 DIN 1.3343 Yüksek Hız Takım Çeliği

DIN 1.3343 yüksek hız takım çeliği AISI standardında M2, Avrupa normlarında HS 6-5-2 olarak bilinmektedir. Yüksek hız takım çelikleri içerisinde orta alaşımlı yüksek hız takım çeliği olarak bilinmektedir. Genel olarak rayba, broş, kesme bıçağı, testere ve delici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 8.2 DIN 1.3343 malzemenin fiziksel özellikleri

Malzeme No: 1.3343	SICAKLIK		
	20°C	400°C	600°C
Yoğunluk (g/cm ³)	8,1	8,1	8
E Modülü (kN/mm ²)	225 33x10 ⁶	200 29xx10 ⁶	180 26xx10 ⁶
Isıl Genleşme Katsayısı	-	12,1x10 ⁻⁶	12,6x10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/m°C)	24	28	27
Özgül Isı (J/kg°C)	420	510	600

8.1.2 DIN 1.3243 Yüksek Hız Takım Çeliği

DIN 1.3243 yüksek hız takım çeliği AISI standardında M35, Avrupa normlarında HS 6-5-2-5 olarak bilinmektedir. DIN 1.3343 yüksek hız takım çeliğinden kimyasal analiz

olarak tek farkı yapısında kobalt alaşım elementi bulunmasıdır. Genel olarak kullanım alanları DIN 1.3343 malzemeyle aynıdır.

Çizelge 8.3 DIN 1.3243 malzemenin fiziksel özellikleri

Malzeme No: 1.3243	SICAKLIK		
	20°C	400°C	600°C
Yoğunluk (g/cm ³)	8,1	8	8
E Modülü (kN/mm ²)	230 34x10 ⁶	205 31x10 ⁶	184 27x10 ⁶
Isıl Genleşme Katsayısı	-	11,6x10 ⁻⁶	11,9x10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/m°C)	24	28	27
Özgül Isı (J/kg°C)	420	510	600

8.1.3 DIN 1.3207 Yüksek Hız Takım Çeliği

DIN 1.3207 yüksek hız takım çeliği, Avrupa normunda HS 10-4-3-10 olarak bilinmektedir. Genel olarak planya, torna ve otomat takımlarında kesici malzeme olarak tercih edilmektedir. Ayrıca kaba talaş kaldırma kalemi olarak kullanımı yaygındır.

Çizelge 8.4 DIN 1.3207 malzemenin fiziksel özellikleri

Malzeme No: 1.3207	SICAKLIK		
	20°C	400°C	600°C
Yoğunluk (g/cm ³)	8	7,9	7,9
E Modülü (kN/mm ²)	225 33x10 ⁶	200 29x10 ⁶	180 26x10 ⁶
Isıl Genleşme Katsayısı	-	11,5x10 ⁻⁶	11,8x10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/m°C)	24	28	27
Özgül Isı (J/kg°C)	420	510	600

8.1.4 SPM 10 Toz Metalurjik Yüksek Hız Takım Çeliği

SPM 10 toz metalurjik olarak üretilmiş yüksek hız takım çeliğidir. Yaygın olarak yüksek titreşim oranlarında çalışan kesme, zımbalama, çekme ve eğme takımlarında kullanılmaktadır.

Çizelge 8.5 SPM 10 malzemenin fiziksel özellikleri

E Modülü (20°C)	2,2x10 ⁵ MPa
Yoğunluk (20°C)	7,41 g/cm ³
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı ile 500°C Arasındaki Isıl Genleşme Katsayısı	11,9x10 ⁻⁶ m/mK

8.1.5 ASP 2052 Toz Metalurjik Yüksek Hız Takım Çeliği

ASP 2052 toz metalurjik bir diğer yüksek hız takım çeliğidir. Avrupa normu HS 10-2-5-8 olarak gösterilmektedir. Kullanım alanı parmak freze, normal freze ve kesme takımıdır.

Çizelge 8.6 ASP 2052 malzemenin fiziksel özellikleri

Malzeme No: ASP 2052	SICAKLIK		
	20°C	400°C	600°C
Yoğunluk (g/cm ³)	8,2	8,1	8,1
E Modülü (kN/mm ²)	245	218	196
Isıl Genleşme Katsayısı	-	11,2x10 ⁻⁶	11,7x10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/m°C)	24	28	27
Özgül Isı (J/kg°C)	420	510	600

8.2 Numunelere Yapılan Isıl İşlemler

Malzemelere Quantum Takım Sanayi Ürünleri Çelik Ticaret A.Ş.'de yer alan vakum ısıtma işlem fırınları ile çeşitli ısıtma işlem reçeteleri uygulanmıştır. Bu işlemler, malzemelere uygulanan farklı östenit sıcaklıkları ve meneviş sıcaklarıdır. İşlemlerde malzeme cinsinden bağımsız olarak her numuneye üç meneviş yapılmıştır ve genel olarak malzemelerin kazandığı sertlikler ve ömürleri karşılaştırılmıştır.

Yüksek hız takım çeliklerine ısıtma işlemi yapılmak için iki adet vakum fırın kullanılmıştır. Sertleştirme işlemi için Schmetz marka vakum sertleştirme fırını, menevişler için de B.M.I. marka vakum temperleme ve nitrasyon fırını kullanılmıştır.

Deneysel çalışmamızda 600 x 900 x 600 mm boyutlarında, maksimum 1350 °C sıcaklığa çıkabilen, 10 Bar soğutma kapasiteli Schmetz marka bir vakum sertleştirme fırını kullanılmıştır. Fırının işleyişi sırasında, istenildiğinde değerler değiştirilebilmekte

ve bu şekilde proses tamamen kontrollü bir şekilde yürütülmektedir. Termokupllar sayesinde malzemenin hangi sıcaklıkta olduğu kontrol edilebilmekte ve bunu baz alarak da süreç uzatılabilmekte ya da kısaltılabilmektedir. Soğutma azot gazının istenen basınç değerlerinde iki yönlü olarak alttan ve üstten üflenmesiyle gerçekleşmektedir.

Östenitleme, temperleme, kriyojenik temperleme (minimum -200°C), normalizasyon, gerilim giderme, yumuşatma tavlama gibi işlemleri yapmaya uygun bir fırın olan Schmetz, tek seferde 1 ton malzemeyi işleme alabilme kapasitesine sahiptir.



Şekil 8.2 Schmetz vakum sertleştirme fırını

Yüksek hız takım çeliği malzemelerimizin menevişleme işleminde kullanılan BMI fırını da tıpkı Schmetz gibi 600 x 900 x 600 mm boyutlarına sahip, maksimum 750°C derece sıcaklığa çıkabilen, 600 kg yükleme kapasiteli vakum temper fırınıdır. Fırının iç sıcaklığını ve malzeme sıcaklığını ayrı ayrı ölçer ve kontrollü bir ortamda işlem yapmaya olanak sağlar. Ayrıca temperleme, gerilim giderme, yumuşatma, normalize, nitrasyon, oksidasyon işlemleri yapabilmektedir.

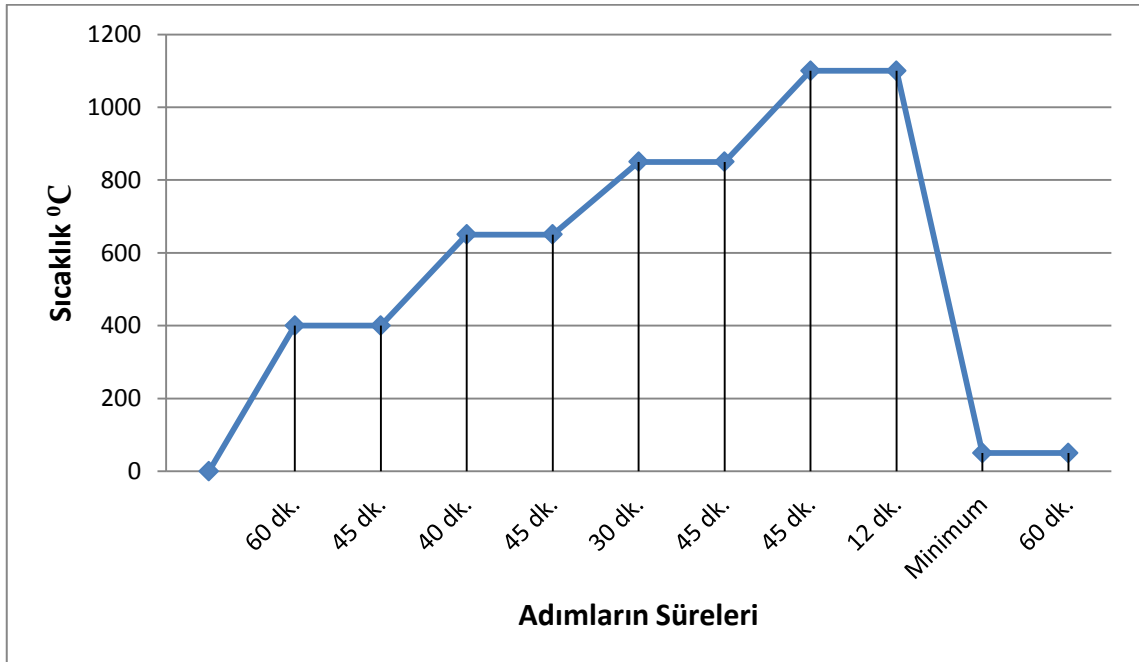


Şekil 8.3 B.M.I. vakum temperleme fırını

Her malzeme numunesi östenitleme sıcaklığı olarak sırasıyla 1080°C, 1140°C, 1180°C ve 1200°C’ de östenitlenmiştir. Malzemelerin östenit sıcaklıklarına çıkış hızları ve östenit sıcaklıklarına gelene kadar tercih edilen ön ısıtma adımları sabit tutulmuştur. Bunun için deneyimizde kullanmış olduğumuz tüm yüksek hız takım çeliği malzemeleri 400°C, 650°C ve 850 °C ‘ lerde 45 dakika kadar bekletilmiştir. Bu bekleme adımlarında ve bu adımlara ulaşmak için yapılan ısıtma işlemlerinde rampalar sabit tutulmuştur. Bunun için oda sıcaklığından 400°C dereceye kadar yapılan ısıtma işlemindeki rampanın süresi 60 dakika, 400°C ile 650°C arasındaki rampanın süresi 40 dakika ve 650°C ile 850°C ‘ler arasındaki rampanın süresi ise 30 dakika olarak sabitlenmiştir. Östenitlemelerin tamamında ortak olarak kullanılan Schmetz vakum sertleştirme fırınında ısıtma işlemi, bu üç ön ısıtma adımında konvansiyonel olarak azot gazının yer aldığı ortamda yapılmıştır. 850°C adımından sonra fırında hassas vakum işlemi yapılmış olup, bu adımdan sonraki rampa ve bekleme süreçlerinde ortamın vakum olması sağlanmıştır. Tüm işlem boyunca fırında yer alan malzemelerin sıcaklıkları N tipi termokupl ile sürekli takip edilmiştir. Isınma adımlarında ve bekleme adımlarında parçanın fırın sıcaklığını aynı aralıkta takip edip etmediği kontrol edilmiştir.

Östenitleme sonrasında da kullanılan soğutma parametrelerinin de sabit olması için, malzemeler aynı sürede östenitleme sıcaklığından 50°C ‘ye soğutulmuştur. Soğutma

işleminde her malzeme için ve her östenitleme sıcaklığı için aynı parametreler kullanılmıştır. Vakum fırında malzemeyi homojen olarak soğutmak için numunelere ortak bir soğutma adımı belirlenmiştir. Yüksek hız takım çeliklerinin yüksek alaşımlı yapısı daha öncede belirtildiği gibi ısı iletkenliği olumsuz etkilediğinden fırındaki parça hem alt yüzeyinden hem de üst yüzeyinden soğutulmuştur. Bunun için Schmetz marka fırının soğutma yönleri menüsünden iki yönlü soğutma seçilmiş ve her soğutma adımı 30 saniye olarak belirlenmiştir. Buna göre deneysel çalışmamızda yer alan yüksek hız takım çeliği malzeme, östenit sıcaklığından oda sıcaklığına inerken fırının iç odasının aynı parametrelerle soğuması sağlanmıştır. Fırının iç odası, 3000 mbar basınçta azotun 30 saniye için alt yüzeyden ve takibindeki 30 saniye için üst yüzeyinden üflenmesi ile soğutulmuştur. Soğutma işleminde fırının iç odasının sıcaklığı 50°C dereceye ulaştıktan sonra ortama aynı basınçta, aynı üfleme yönlerinde ve aynı üfleme sürelerinde azot üflenmesi işlemi devam etmiştir. Malzemenin sıcaklığının 50°C 'ye inmesi için soğutma adımından sonra 60 dakikalık durma soğutma adımı uygulanmıştır. Bu şekilde bir çalışma ile yüksek hız takım çeliklerinin her birinin sadece östenit sıcaklıkları farklı tutulması sağlanmıştır. Buna göre sertleştirme işleminin ortak basamakları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir(Şekil 8.4).



Şekil 8.4 Sertleştirme işlemindeki ön ısıtma kademeleri ve bekleme süreleri

Deneysel çalışmamızda yer alan yüksek hız takım çeliği numuneleri farklı östenitleme sıcaklıklarından sonra menevişleme işlemi için B.M.I. marka vakum temperleme fırınına alınmış ve burada her malzemeye her östenitleme sıcaklığı için farklı iki meneviş işlemi denenmiştir. Deneysel çalışmamızda 1080°C, 1140°C, 1180°C ve 1200°C 'ler olan östenitleme sıcaklıkları için iki adet meneviş sıcaklığı belirlenmiştir. Sertleştirme işleminden sonra ayrılan numuneler 525°C ve 560°C 'lerde üç meneviş görmüştür. Bütün deneysel numunelerde, menevişleme işleminde aynı işlem parametreleri kullanılması amacıyla malzemeler fırına yerleştirildiğinde malzemeye bağlanan K tipi termokupl ile sıcaklığı takip edilmiş ve fırın belirlenen meneviş sıcaklığına ulaştıktan sonra 120 dakika bu sıcaklıkta malzemeler bekletilmiştir. Daha sonrasında malzemeler fırında soğumaya bırakılmıştır. Her numunenin parça boyutları aynı olduğundan ısınma süreleri ve soğuma süreleri tüm numuneler için ortaktır. Deneysel çalışmada yer alan her numune aynı sıcaklıkta üç adet meneviş işlemi gördükten sonra performansları incelenmeden önce sertlikleri ölçülmüştür.

8.3 Numunelerin Sertleştirme ve Meneviş Sonrası Sertliklerinin Ölçümü

Sadece östenit sıcaklıkları farklı olacak şekilde ayarlanmış sertleştirme işleminden sonra malzemeler meneviş işlemine tabii tutulmadan önce sertlikleri ölçülmüştür. Sertliklerini ölçmek için deneysel çalışmadan önce malzemenin sertlik kalibrasyonu TSE'ye yaptırılmış ve Bulut Makina markalı bir sabit analog Rockwell C sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada yer alan her yüksek hız takım çeliği numune sertlik ölçümü için Rockwell C sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Isıl işlem gördükten sonra sertlik ölçümü için malzemelerin yüzeyi önce keçe uçlu matkap ile düzleştirilmiş daha sonra da yıkanarak temizlenmiştir. Sabit sertlik ölçüm cihazında uygun malzeme aparatı olan düz tablaya yerleştirilmiş ve yatayla 90° açı yapacak şekilde sabit kalması sağlandıktan sonra sertliği ölçülmüştür. Sertlik ölçüm işleminde batıcı uç olarak tepe açısı 120° olan basık elmas uç kullanılmıştır. Ön yükleme 10 kg olmak üzere toplam 150 kg yük altında elmas ucun batırılması ile ölçüm yapılmıştır.



Şekil 8.5 Çalışmamızda kullanılan Bulut Makina markalı Rockwell C sertlik ölçüm cihazı

Çalışmamın ekler kısmında Quantum Takım Sanayi Ürünleri Tic. A.Ş. ısıtım tesislerinde yapılan ısıtım işlemlerin fırın raporları yer almaktadır. Buna göre 8 farklı ısıtım işlem rejimi uygulanmış ve her ısıtım işlem rejimine DIN 1.3343, DIN 1.3243, DIN 1.3207, SPM 10 ve ASP 2052 ‘den birer numune alınması kaydıyla beş adet malzeme alınmıştır.

Yapılan ısıtım işlem rejimleri ise şu şekildedir:

- 1080°C ‘de östenitleme ve 525°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1080°C ‘de östenitleme ve 560°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1140°C ‘de östenitleme ve 525°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1140°C ‘de östenitleme ve 560°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1180°C ‘de östenitleme ve 525°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1180°C ‘de östenitleme ve 560°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1200°C ‘de östenitleme ve 525°C üç adet 120 dakikalık meneviş
- 1200°C ‘de östenitleme ve 560°C üç adet 120 dakikalık meneviş

8.4 Vida Üretimi

Deneysel çalışmamız için hazırlanmış olan kırk numune, Uğur Vida Sanayi İthalat İhracat Ltd. Şti. 'de yer alan vida başı kesme makinesinde performans testine tutulmuştur. Numunelerimizin hepsi birbirinden farklı ısıtılma işlem parametrelerine sahip olmakta ve bu parametreler sonucu elde ettiği sertlik değerleri bir sonraki bölümde yer alan tablolarda ve grafiklerde sunulmaktadır.

Uğur Vida Sanayi İthalat İhracat Ltd. Şti. 'de vida üretimi öncelikle balya olarak bulunan ham maddenin vida başı şişirme ve kesme makinesi ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 8.6 Vida üretimi için alınmış sarmal ham madde görüntüsü

Yukarıdaki Şekil 8.6 'da görüldüğü üzere makineye bağlanan demir çubuk ham maddesi öncelikle silindirik haddeler yardımıyla düzleştirilmekte ve makineye bu şekilde alınmaktadır.



Şekil 8.7 Ham maddenin haddelendiği silindirik haddelerin görüntüsü

Makineye giriş yapan silindirik ham madde, üretilecek vida boyutlarında parçalanmakta ve makinenin beş tane olan vida başı kesme ağızlarına doğru beslenmektedir. Vida kafasının şişirildiği ve kesildiği bu bölgede yüksek miktarda sürtünme ve yüksek hızda demir kesimi gerçekleşmektedir.



Şekil 8.8 Yüksek hız takım çeliklerinin yerleştirildiği beş bölmenin görüntüsü

Yukarıda resmi görülmekte olan çalışma bölgesinde yüksek devirde kesim yapıldığından çalışma ortamı devire bağlı olarak ısınmaktadır (Şekil 8.8). Kesim uçlarının çevresinde resimde görüldüğü gibi bakır borularla çevrili bir bölge

bulunmaktadır. Bu borulardan geçen su ile uç soğutulmakta ve ucun aşırı ısınması engellenmektedir. Çalışma koşullarının dengede olması kesici uç açısından önemlidir. Kesim sırasında ısınıp yüksek sıcaklıklara çıktığında (400°C) ve besleme için durduğunda kesici uçta büyük sıcaklık farklarının oluşmamasını isteriz. Bunun temel sebebi kesici ucun büyük sıcaklık farklarıyla karşılaşp termal şok görmemesidir. Daha öncede bahsedildiği üzere yüksek hız takım çeliklerinin yüksek alaşımlı yapısı malzemenin ısı iletkenliğini düşürmektedir. Bu nedenle ani sıcaklık farkları parçada termal şok oluşturup çatlak başlangıçları yaratabilir. Bu makinede deneysel çalışma sırasında parçanın bu şekilde büyük termal farklara maruz kalmaması için panelden kontrol yapılmış ve deneysel çalışmada malzemelerin termal şok dirençleri kıyaslanmamıştır. Çalışma esnasında çekilmiş bir görüntü aşağıdadır(Şekil 8.9).



Şekil 8.9 Çalışma ortamının görüntüsü

Vida üretim makinesinde çalışma parametreleri oldukça önemlidir. Üretilen parçanın boyu, üretim adedi, üretim hızı gibi değerler makinenin kontrol panelinden ayarlanmaktadır. Deneysel çalışmamızda kullanmış olduğumuz yüksek hız takım çeliklerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla tüm çalışma boyunca kesilen malzemelerin kesim boyları ve kesim hızları sabit tutulmuştur. Buna göre makinenin çalışma performansı dakikada 140-142 vida üretim seviyesine getirilmiş ve

sabitlenmiştir. Çalışma esnasında, çalışma bölgesinde sıcaklık artışı ya da azalması engellenmiş, çalışma koşulları sıcaklık bakımından da tüm numuneler için ortak konuma getirilmiştir. Makinenin çalışması esnasında her kesici ucun ortak sayıda vida ürettiği kabul edilmektedir. Buna bağlı olarak üretilen vidalar sürekli kontrol edilmektedir. Eğer üretilen vidalar arasında fark gözlemlenirse üretim durdurulmakta ve uçlar gözle muayene edilmektedir. Bu şekilde hasar görmüş ya da hasar başlangıcı olmuş kesici uçlar yenileri ile değiştirilmektedir. Deneysel çalışma boyunca her uç hasar oluşana kadar çalıştırılmış ve böylece maksimum çalışma ömürleri dikkate alınmıştır. Çalışmada hasar görmüş uçlar toplandıktan sonra yapılan incelemede hepsinin keskin kenarlarından başlamış bir çatlağın ilerleyerek aynı zamanda derinleşerek parça boyunca yayıldığı ve kesici ucun kırılarak çalışma ömrünü tamamladığı görülmüştür.



Şekil 8.10 Vida kesme makinesinin kontrol paneli

Yukarıda resmi görülen kontrol panelinde üretimi yapılacak malzemelerin boyutları, üretim miktarları; üretim bölgesinin soğutma sisteminde kullanılan su sıcaklığı, su

basıncı, ortamın sıcaklığının artması ya da azalması yönünde ivmelendirme ayarları yapılmaktadır (Şekil 8.20).

Deneysel çalışma süresince üretilen vidaların kalitesi takip ve kontrol edilmiştir. Buna göre tüm kesici uçların aynı performansı sağladığı garantilenmiş ve aralarındaki tek farkın çalışma koşullarına dayanma ömrü ve üretim adetleri olması sağlanmıştır. Üretim adetleri ise makineye bağlı iken takip edilen çalışma sürelerine göre not edilmiştir. Aşağıdaki resimde de üretilen vidaların görüntüsü yer almaktadır(Şekil 8.11).



Şekil 8.11 Üretilen vidaların görüntüsü

Detaylarıyla açıklanan makinenin çalışma koşullarına göre; makinenin beş ayrı ağız kısmına sırasıyla farklı ısıtma işlem parametreleri ile işlem görmüş yüksek hız takım çelikleri yerleştirilmiş, çalışma ömürleri ve bu ömür içerisinde başarılı olarak yaptığı kesim adetleri belirlenmiştir.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

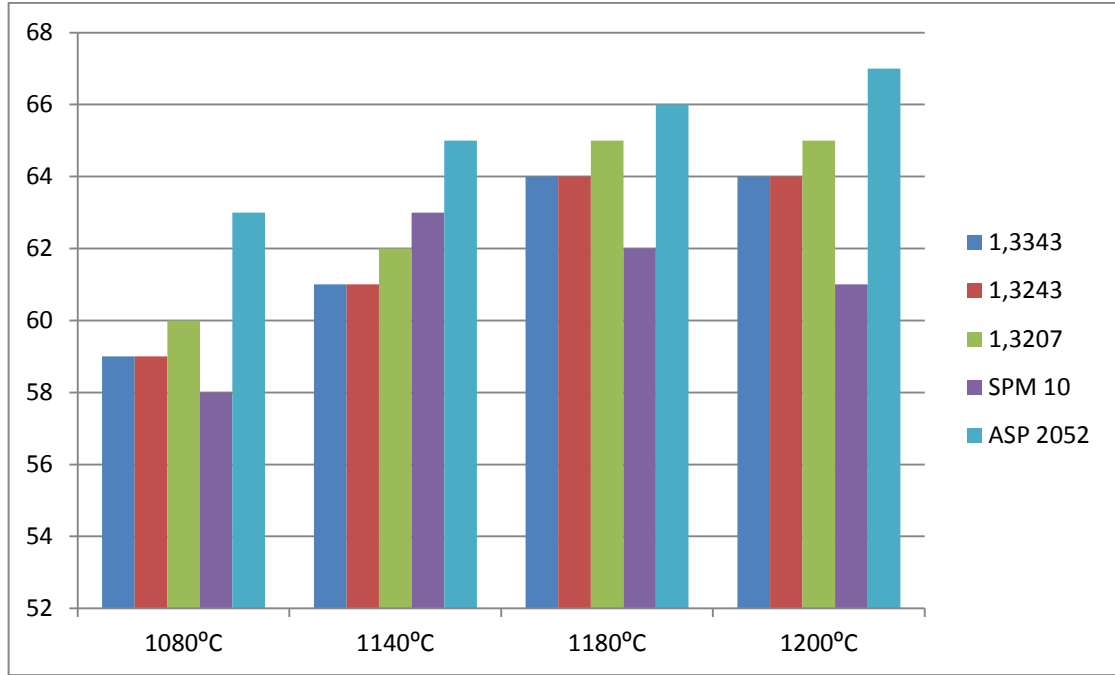
Alınan beş farklı yüksek hız takım çeliği numunesinin gördüğü farklı ısıtma işlemleri ve sonrasında uygulanan performans testi sonuçları aşağıdaki kısımlarda yer almaktadır.

9.1 Sertleştirme İşlemi Sonrası Sonuçların Karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 9.1’de sertleştirme işleminden sonra ölçüm yapılan yüksek hız takım çeliklerinin sertlikleri ve bu sertlikleri elde ettikleri östenitleme sıcaklıkları yer almaktadır.

Çizelge 9.1 Malzemelerin östenitleme sıcaklığına göre sertlikleri

Malzeme Cinsi	Östenitleme Sıcaklığı			
	1080°C	1140°C	1180°C	1200°C
1.3343	59 HRC	61 HRC	64 HRC	64 HRC
1.3243	59 HRC	61 HRC	64 HRC	64 HRC
1.3207	60 HRC	62 HRC	65 HRC	65 HRC
SPM 10	58 HRC	63 HRC	62 HRC	61 HRC
ASP 2052	63 HRC	65 HRC	66 HRC	67 HRC



Şekil 9.1 Malzemelerin östenitleme sıcaklığına göre sertliklerinin grafiksel gösterimi

Yukarıdaki Şekil 9.1’ de de görüldüğü üzere yüksek hız takım çeliği numuneleri arasında en yüksek sertliğe 1180°C ve 1200°C ‘de yapılan östenitleme işlemleri ile ulaşılmıştır. Genel olarak kobaltlı yüksek hız takım çeliklerinde en yüksek östenitleme sıcaklığı etkili olmuş ve maksimum sertlik bu kademedede elde edilmiştir. Sadece SPM 10 numunesi için östenitlemenin 1140°C ‘de optimum olduğu söylenebilmektedir. Buna göre tüm numunelerden, 1080°C ‘de yapılan östenitlemenin (maksimum sertliğin elde edildiği östenitleme sıcaklığı olmadığından) yüksek hız takım çeliklerinde yüksek miktarda bulunan birincil karbürlerin yapıda çözünüp tam olarak dağılmadığı kolayca anlaşılmaktadır. MC yapısında olan birincil karbürler, teorik olarak 1100°C ‘nin üzerindeki sıcaklıklarda çözünmeye başladığından, 1080°C ‘de yapılan östenitleme işlemi birincil karbürleri çözmeye yeterli olmayan bir sıcaklık olduğu bu sonuçlarla da görülmüştür.

Aynı şekilde SPM 10 numunesi hariç diğer tüm yüksek hız takım çelikleri numuneleri içinde 1140°C ‘nin östenitleme için yetersiz kaldığı söylenebilmektedir. Tablodan da açıkça görüldüğü üzere SPM 10 maksimum sertliği bu östenitleme sıcaklığında elde etmektedir. Ayrıca malzemenin 1140°C ‘den daha yüksekte tercih edilen östenitleme işlem sıcaklıklarında maksimum sertliğinden giderek uzaklaştığı tespit edilmiştir. SPM

10 toz metalurjik yüksek hız takım çeliğini ayrı tutarsak, diğer tüm yüksek hız takım çeliği numunelerin 1140°C derecede yapılan östenitleme işleminde maksimum sertliklerine ulaşmadığı görülmektedir. Bu durumda yukarıda bahsedilen MC karbürlerinin çözünmesi ve yapıda homojen olarak dağılması için bu sıcaklığın da tam yeterli olmadığı görülmüştür.

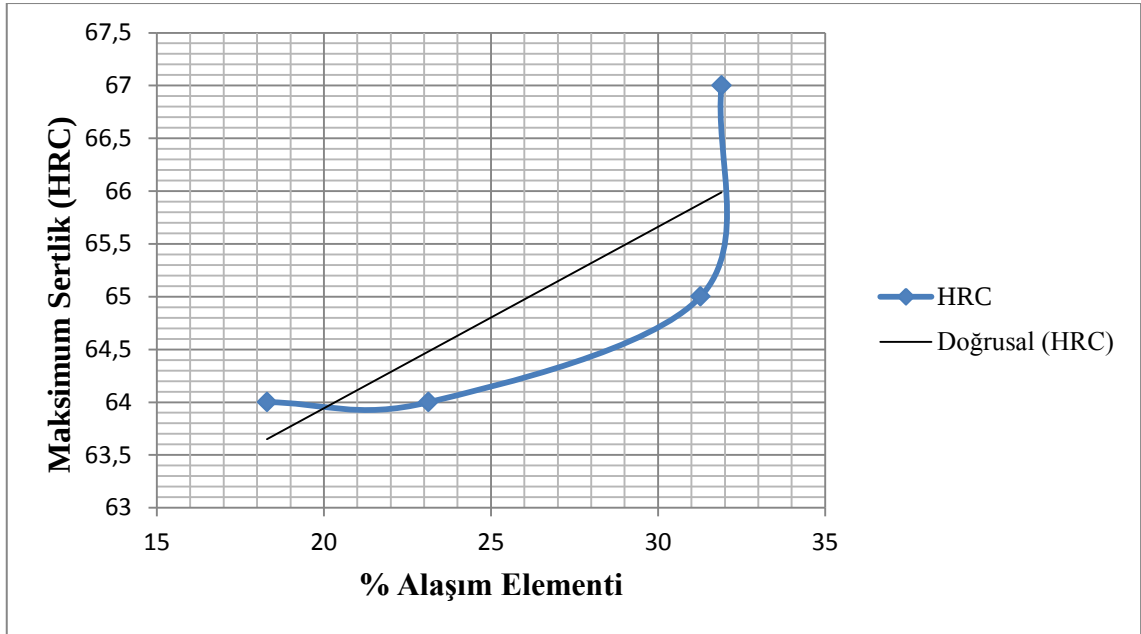
Toz metalurjik yüksek hız takım çeliklerinin daha düşük östenit sıcaklığında, diğer yöntemle üretilen çeliklere nazaran daha yüksek sertlikte olması ise; bu çeliklerin yapılarında diğer yöntemle üretilen çeliklere nazaran daha yüksek karbon ve alaşım elementi bulundurmalarına bağlanmaktadır. Bu durum ayrıca maksimum sertliklerini daha kolay elde ettiklerinin anlaşılması ile açıklanmaktadır.

1180°C ve 1200°C 'lerde yapılan östenitleme işleminin ise yüksek hız takım çeliklerinin çözünmesi için yeterli olduğu görülmektedir. Çoğu yüksek hız takım çeliği numunesinin maksimum sertliklerini bu sıcaklık aralığında yakalandığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca 1180°C 'de, yapısında %5 kobalt bulunan 1.3243 yüksek hız takım çeliğinin maksimum sertlik değerlerinin, yapısında kobalt bulunmayan 1.3343 malzemenin sertlik değerleri ile aynı olduğu görülmüştür. Bunun temel sebebi ise; alaşım elementi olarak kobaltın malzemenin yapısında aslında sertlik arttırıcı bir görevde bulunmaması olarak açıklanmaktadır. Bunun için detaylı olarak 1.3343, 1.3243 ve 1.3207 numunelerinin östenitleme sonrası karakterlerini incelersek 1.3343 ve 1.3243 aynı sertlik değerlerine ulaştığı 1.3207'nin 1 HRC daha yüksek sertlik değerinde olduğu görülmektedir. Buna göre yalnız bu üç yüksek hız takım çeliği numunenin arasında maksimum sertliklerde fark olmasının temel sebebi 1.3207'nin birincil karbür yapan W ve V alaşımları bakımından daha zengin olması olarak açıklanmaktadır.

Genel olarak Çizelge 9.1' deki veriler incelenerek, maksimum sertliğe ulaşan yüksek hız takım çeliğinin en yüksek alaşımlı çelik olduğu görülmektedir. Ayrıca kobalt alaşım elementi yapısında bulunan yüksek hız takım çeliklerinin daha yüksek östenitleme sıcaklıklarında çok daha yüksek sertliklere ulaştıkları tespit edilmiştir.

Yüksek hız takım çeliklerinde sertlik oluşturan mekanizma olarak birincil karbür yapan alaşım elementleri yüksek miktarda kullanıldığından, malzemelerin maksimum sertliklerini karşılaştırmada bize yapılarında yer alan W ve V elementleri ışık tutmaktadır. (Yukarıda elde edilen sonuca göre yapıda yer alan Co elementi

malzemenin maksimum sertliğine etki etmediğinden, sertlik kazandıran element olarak kabul edilmemiştir.) Buna göre yapısında en yüksek miktarda W ve V alaşım elementlerini barındıran yüksek hız takım çeliğinin en yüksek sertlik değerlerine ulaştığı görülmüştür. Toz metalurjik yöntemle üretilen ve yapısında kobalt bulunmayan SPM 10 malzeme ise ulaştığı maksimum sertlik değeri bakımından diğer yüksek hız takım çeliklerinden daha alçakta kalmasının temel sebebi de aynı duruma bağlanarak, malzemede birincil karbür oluşturan elementlerden yeteri kadar yüksek miktarda bulunmadığı kabul edilmiştir. Buna göre aşağıdaki şekilde yüksek hız takım çeliklerinin maksimum sertlikleri ile malzemenin alaşım değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir(Şekil 9.2).



Şekil 9.2 Yüksek hız takım çeliklerinde artan alaşım elementi miktarına bağlı maksimum sertliğin değişimi

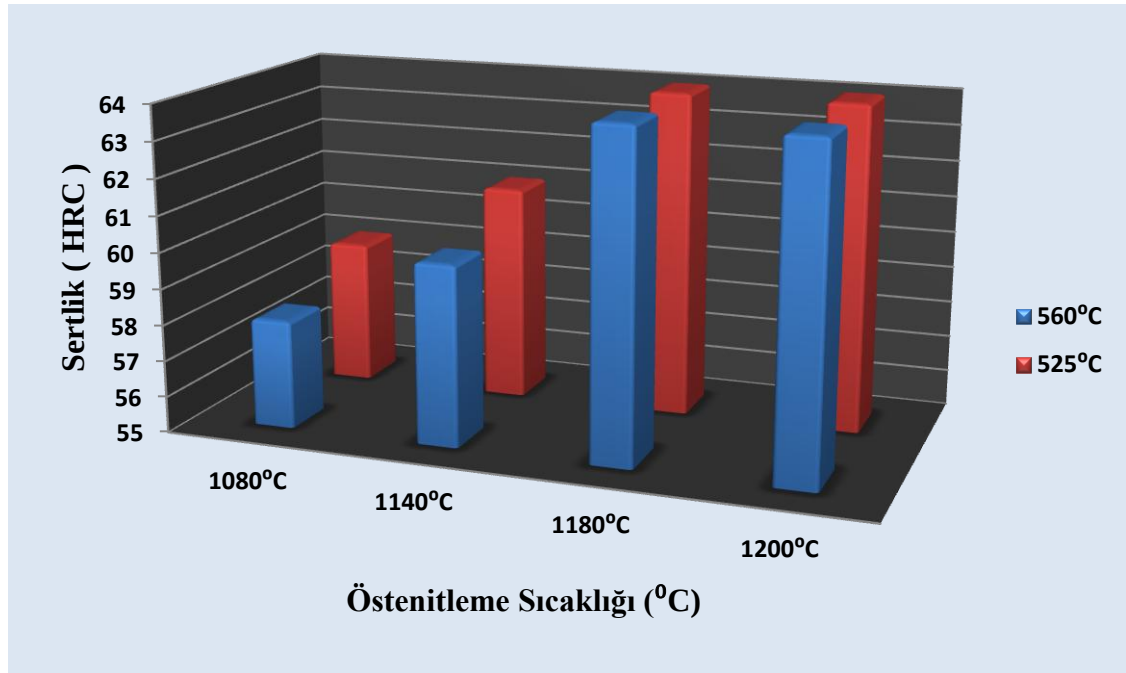
Ekler kısmında işlem raporları görülen yüksek hız takım çeliklerinin sertleştirme ve meneviş işlemlerinden sonra yapılan sertlik ölçümünden elde edilen değerler her malzeme için bir sonraki kısımda tablolandırılmıştır.

9.2 DIN 1.3343 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan DIN 1.3343 malzemeden yapılmış toplam sekiz adet numunenin, sertleştirme ve menevişleme işlemlerinden oluşan ısıtıl işlem adımından sonra Rockwell C sertlik ölçüm yöntemine göre yapılan ölçümlerinin sonuçları aşağıdaki Çizelge 9.2 'de yer almaktadır.

Çizelge 9.2 DIN 1.3343 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler

Östenitleme Sıcaklığı	Meneviş Sıcaklığı	
	525°C	560°C
1080°C	59 HRC	58 HRC
1140°C	61 HRC	60 HRC
1180°C	64 HRC	64 HRC
1200°C	64 HRC	64 HRC



Şekil 9.3 DIN 1.3343 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması

Yukarıda yer alan Çizelge 9.2 'de ve Şekil 9.3 'te görüldüğü üzere DIN 1.3343 yüksek hız takım çeliği maksimum sertliğe 1180°C ve 1200°C 'lerdeki östenitleme işlemleri ile kavuşmuştur. Bu malzeme işlemler sonunda maksimum 64 HRC sertliktedir. Çizelge ve şekilde görüldüğü üzere DIN 1.3343 yüksek hız takım çeliğinin yüksek sıcaklık

menevişine dayanımını ve bu sıcaklıkta sertliğini kaybetmemesi için yapılması gereken 1200°C ‘de östenitlenmesidir. Buna göre deneysel çalışmamızdaki kullanım yerinde yüksek sıcaklıklara maruz kalacak parçanın sıcaklığa dayanımının önemli olduğu düşünülürse, bu malzemedan 1200°C ‘de östenitleme ve 560°C ‘de meneviş işlemi ile en yüksek miktarda üretim yapılacağı tahmin edilmektedir.

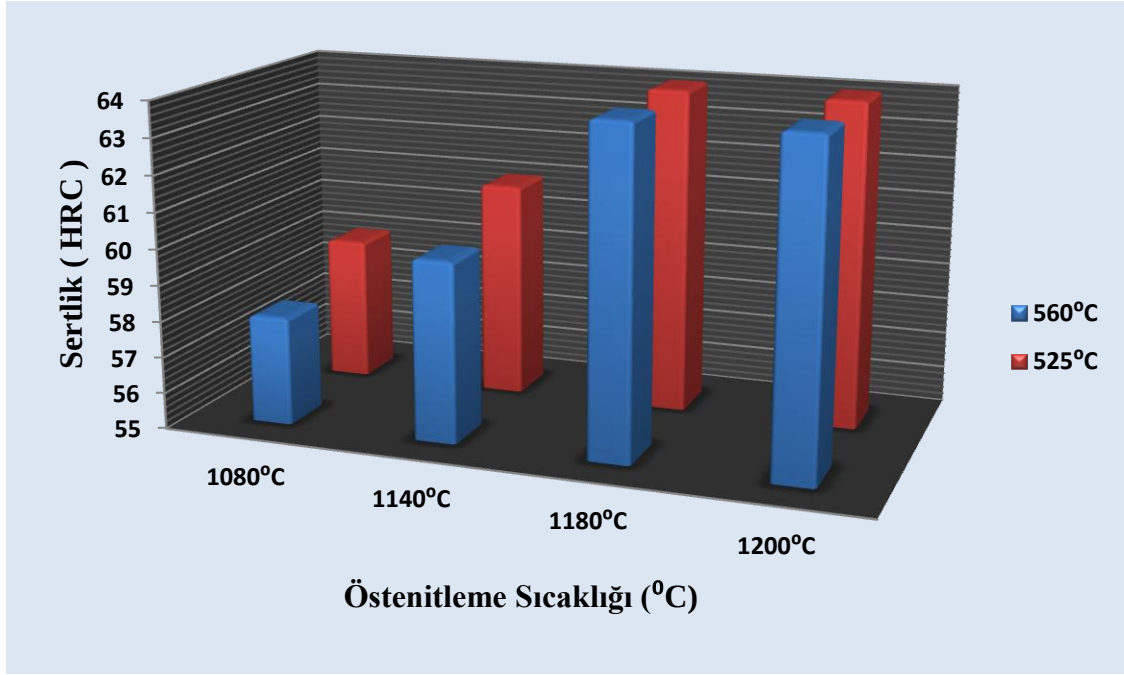
9.3 DIN 1.3243 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan DIN 1.3243 malzemedan yapılmış toplam sekiz adet numunenin, sertleştirme ve menevişleme işlemlerinden oluşan ısıl işlem adımından sonra Rockwell C sertlik ölçüm yöntemine göre yapılan ölçümlerinin sonuçları aşağıdaki Çizelge 9.3 ’te yer almaktadır.

Çizelge 9.3 DIN 1.3243 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler

Östenitleme Sıcaklığı	Meneviş Sıcaklığı	
	525°C	560°C
1080°C	59 HRC	58 HRC
1140°C	61 HRC	60 HRC
1180°C	64 HRC	64 HRC
1200°C	64 HRC	64 HRC

Yukarıdaki Çizelge 9.3 ve aşağıdaki Şekil 9.4 ’te görüldüğü üzere DIN 1.3243 malzeme çeşitli ısıl işlem koşullarında sertleştirildikten sonra en yüksek 64 HRC sertliğe ulaşmaktadır. Bu malzemenin yapısında yer alan kobalt alaşımı sayesinde sıcakta çalışma dayanımı daha yüksektir. Malzemenin sertliğinin 1180°C ve 1200°C ‘lerde östenitlenmesinden sonra 560°C ‘de yapılan yüksek menevişleme işleminde sertliğinin değişmediği görülmektedir. Buna göre bu malzemenin yüksek sıcaklıkta olan çalışma şartlarında vida üretiminde kullanılması durumunda yüksek üretim adetlerini bu östenitleme sıcaklıklarında ve yüksek meneviş işlemi görmüş numunelerde yakalayacağı ön görülmektedir.



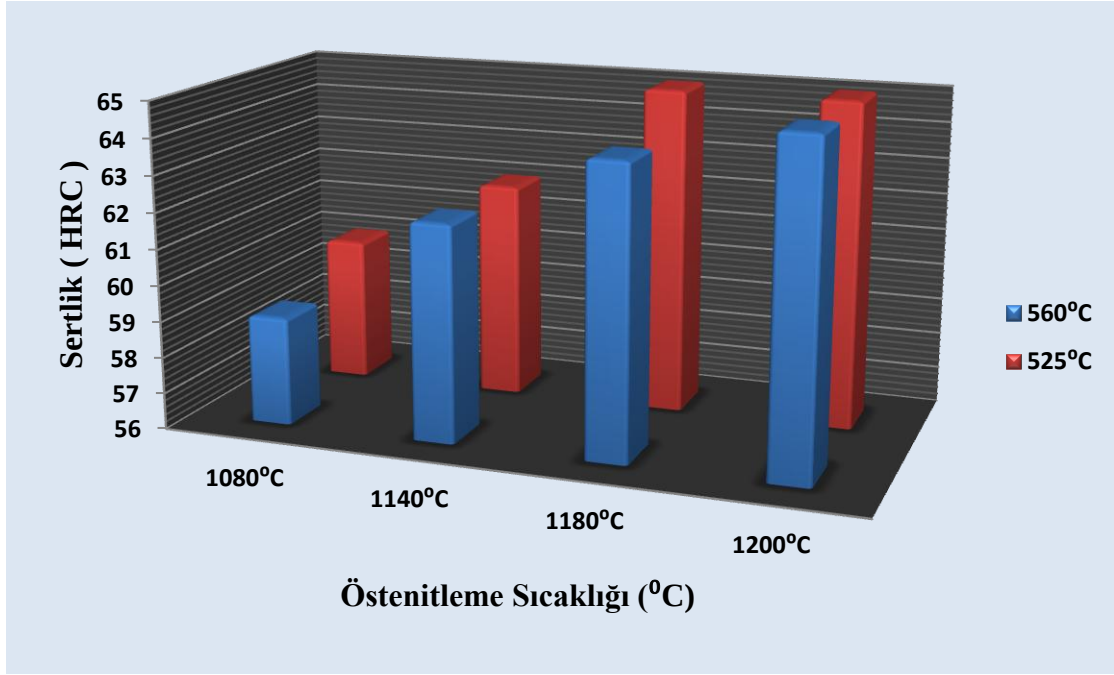
Şekil 9.4 DIN 1.3243 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması

9.4 DIN 1.3207 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan DIN 1.3207 malzemedan yapılmış toplam sekiz adet numunenin, sertleştirme ve menevişleme işlemlerinden oluşan ısıtım işlem adımından sonra Rockwell C sertlik ölçüm yöntemine göre yapılan ölçümlerinin sonuçları aşağıdaki çizelgede yer almaktadır(Çizelge 9.4).

Çizelge 9.4 DIN 1.3207 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler

Östenitleme Sıcaklığı	Meneviş Sıcaklığı	
	525°C	560°C
1080°C	60 HRC	59 HRC
1140°C	62 HRC	62 HRC
1180°C	65 HRC	64 HRC
1200°C	65 HRC	65 HRC



Şekil 9.5 DIN 1.3207 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması

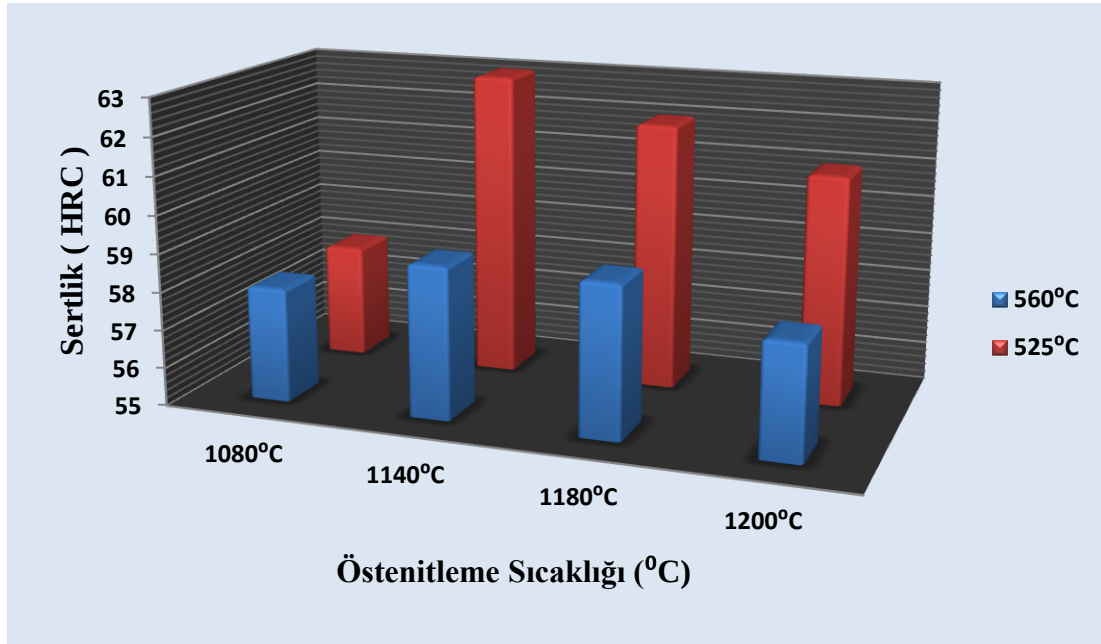
Yukarıda yer alan Çizelge 9.4 ve Şekil 9.5 incelendiğinde DIN 1.3207 yüksek hız takım çeliği ilk iki numuneye göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmıştır. Özellikle 1200°C 'de yapılan östenitleme sonrasında 65 HRC sertliğe kadar çıkmış ve bu sertliğini yüksek menevişleme sıcaklığında da kaybetmediği görülmüştür. Buna göre yüksek östenitleme koşullarında, yüksek kobaltlı bir malzeme olan DIN 1.3207 yüksek hız takım çeliği 560°C 'de yapılan menevişleme işleminde sertlik değerlerini düşürmediği ve bu sıcaklığa yakın çalışma koşullarında en yüksek performansa ulaşacağı tahmin edilmektedir.

9.5 SPM 10 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan SPM 10 malzemedan yapılmış toplam sekiz adet numunenin, sertleştirme ve menevişleme işlemlerinden oluşan ısıtım işlem adımından sonra Rockwell C sertlik ölçüm yöntemine göre yapılan ölçümlerinin sonuçları aşağıdaki çizelgede yer almaktadır(Çizelge 9.5).

Çizelge 9.5 SPM 10 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler

Östenitleme Sıcaklığı	Meneviş Sıcaklığı	
	525°C	560°C
1080°C	58 HRC	58 HRC
1140°C	63 HRC	59 HRC
1180°C	62 HRC	59 HRC
1200°C	61 HRC	58 HRC



Şekil 9.6 SPM 10 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması

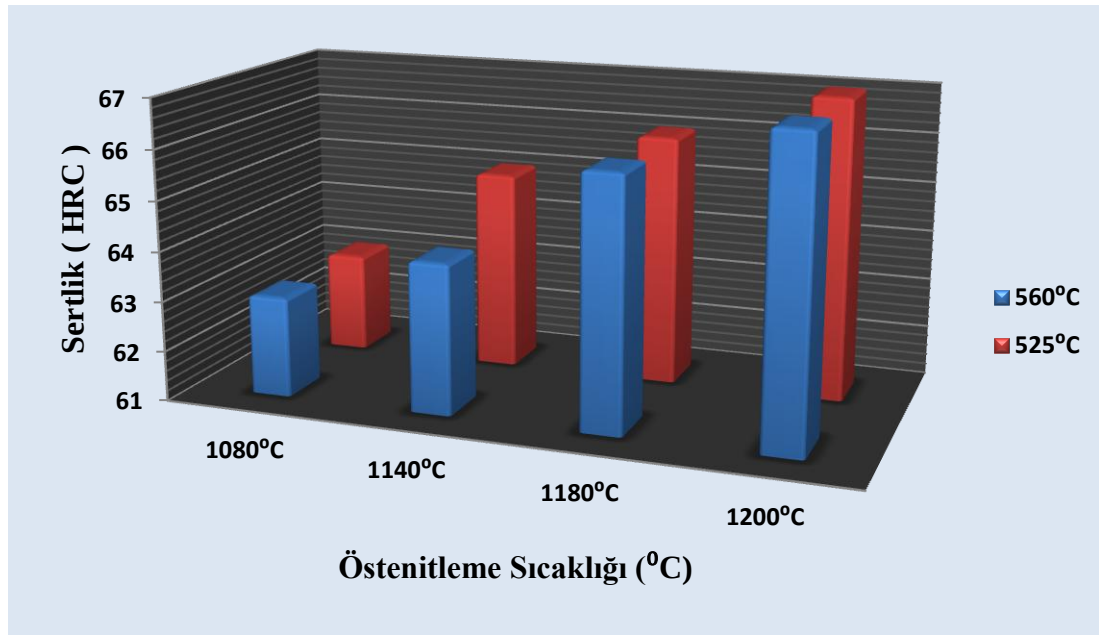
Yukarıdaki Çizelge 9.5 ve Şekil 9.6 incelendiğinde alaşım değerleri bakımından numuneler içerisinde en düşük alaşım oranına sahip yüksek hız takım çeliği olan SPM 10, diğer yüksek hız takım çeliklerine nazaran daha düşük sertliklere ulaşmıştır. Sadece 1140°C 'de yapılan östenitleme sonucunda 63 HRC sertliğe ulaşmış fakat bu östenitleme koşullarında da yüksek menevişleme koşullarına dayanıklı olamadığı görülmüştür. Buna göre maksimum sertlikte de diğer hız çeliklerine göre daha düşük değerlerde kalan ve yüksek sıcaklıktaki çalışma koşullarında sertliğini koruyamayacağı anlaşılan SPM 10 malzemenin üretim adetlerinin diğer hız çeliklerine nazaran daha düşük sayılarda kalacağı ön görülmektedir.

9.6 ASP 2052 Malzemenin Farklı Östenit ve Meneviş İşlemleri Sonrasında Sertlik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneysel çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan ASP 2052 malzemeden yapılmış toplam sekiz adet numunenin, sertleştirme ve menevişleme işlemlerinden oluşan ısıtıl işlem adımından sonra Rockwell C sertlik ölçüm yöntemine göre yapılan ölçümlerinin sonuçları aşağıdaki çizelgede yer almaktadır(Çizelge 9.6).

Çizelge 9.6 ASP 2052 yüksek hız takım çeliğinin farklı östenitleme ve meneviş sıcaklıklarında elde ettiği sertlikler

Östenitleme Sıcaklığı	Meneviş Sıcaklığı	
	525°C	560°C
1080°C	63 HRC	63 HRC
1140°C	65 HRC	64 HRC
1180°C	66 HRC	66 HRC
1200°C	67 HRC	67 HRC



Şekil 9.7 ASP 2052 malzemenin farklı östenitleme ve menevişleme işlemleri sonrası elde ettiği maksimum sertliklerin karşılaştırılması

Numuneler arasında en yüksek alaşımlama oranına sahip olan toz metalurjik yöntemle üretilen ASP 2052 malzeme yukarıdaki çizelge ve şekillere göre en yüksek sertlik değerlerine ulaşan takım çeliğidir(Çizelge 9.6 ve Şekil 9.7). Yapısında yer alan yüksek kobalt alaşımı ve sertliğini yukarı çeken birincil karbür yapıcı alaşım elementleri ile bu

çeliğin üretimde maksimum adetleri yakalayacağı tahmin edilmektedir. Bu yüksek hız takım çeliği için en yüksek sertlik ve ısıya dayanım koşulları 1200°C 'de yapılan östenitleme ile elde edilmektedir. Maksimum 67 HRC olarak meneviş sonrası sertlik ölçümü alınan ASP 2052 yüksek hız takım çeliğinin, bu sertlik değerlerini yüksek menevişleme işleminde de koruduğu gözlenmektedir. Buna göre çalışma ortamına en uygun işlem olan yüksek menevişleme işleminden sonra numuneler arasında en yüksek sertlikte, sıcak sertlik direnci en yüksek olan bu yüksek hız takım çeliğinin vida üretim adetleri bakımından diğer çeliklerden üstün olması beklenmektedir.

9.7 Vida Üretim Sonuçları ve Karşılaştırılması

Çizelge 9.7 Deneysel çalışmada kullanılan kırk adet numunenin kesim adetleri

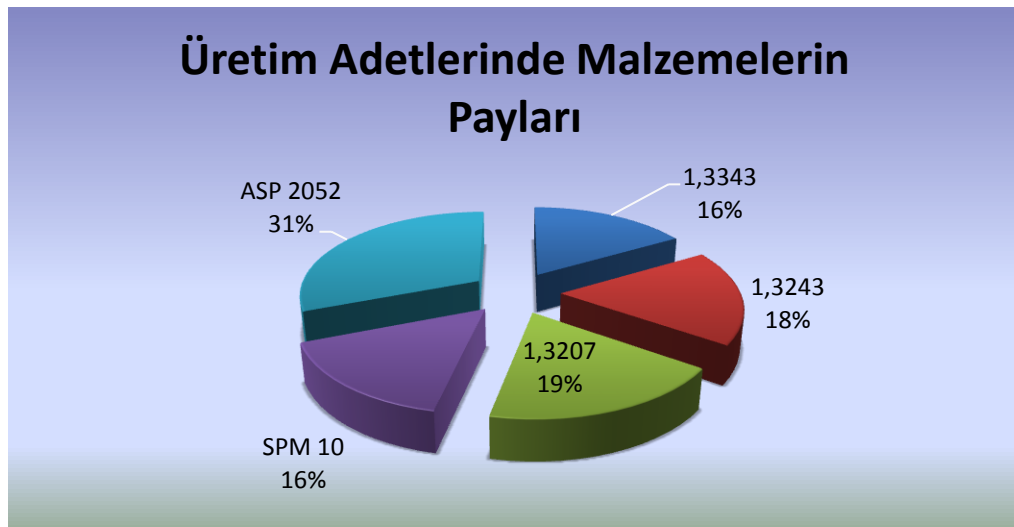
			Vida Başı Kesim Adedi
1.3343	1080°C	525°C	67000
		560°C	65000
	1140°C	525°C	67500
		560°C	67000
	1180°C	525°C	69250
		560°C	69000
	1200°C	525°C	69000
		560°C	69000
1.3243	1080°C	525°C	67000
		560°C	65000
	1140°C	525°C	67500
		560°C	67000
	1180°C	525°C	80000
		560°C	79500
	1200°C	525°C	82250
		560°C	82250
1.3207	1080°C	525°C	69000
		560°C	68000
	1140°C	525°C	69100
		560°C	69000
	1180°C	525°C	82150
		560°C	81000
	1200°C	525°C	86900
		560°C	87000

Çizelge 9.7 Deneysel çalışmada kullanılan kırk adet numunenin kesim adetleri (devamı)

SPM 10	1080°C	525°C	62000
		560°C	60800
	1140°C	525°C	68000
		560°C	65000
	1180°C	525°C	67900
		560°C	65000
	1200°C	525°C	66000
		560°C	60000
ASP 2052	1080°C	525°C	95250
		560°C	95500
	1140°C	525°C	100000
		560°C	98750
	1180°C	525°C	143000
		560°C	143000
	1200°C	525°C	167000
		560°C	167300

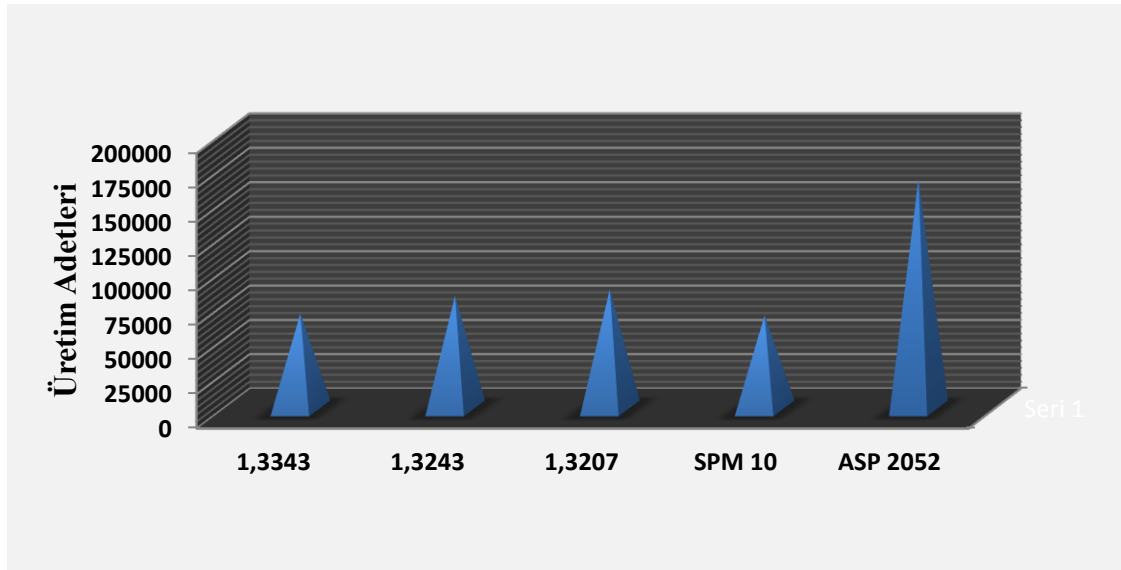
Yukarıda verilen Çizelge 9.7 ‘ye göre vida başı kesim adetleri hem malzemeler arasında değişmekte hem de aynı malzeme için farklı ısıtım koşullarında değişmektedir.

Deneysel çalışmamız boyunca toplam 3.269.900 adet vida imalatı gerçekleştirilmiştir. Maksimum üretim süresi ve üretim adetleri yukarıdaki Çizelge 9.7 ‘de görüldüğü üzere ASP 2052 malzeme ile elde edilmiştir. Bu malzeme ile toplam yapılan üretimin % 30 ‘u gerçekleştirilmiştir.



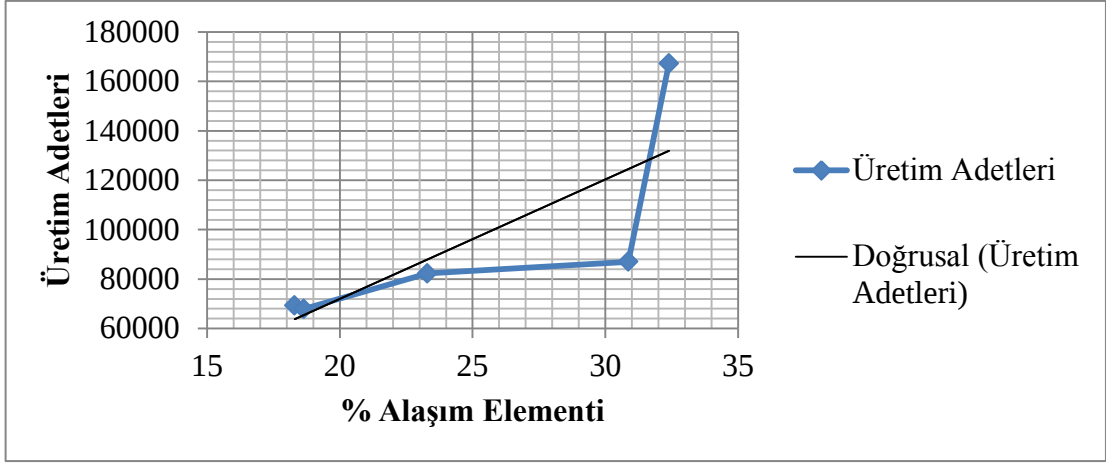
Şekil 9.8 Çalışmada üretilen vidaların malzeme cinsine göre % dağılımı

Yukarıdaki Çizelge 9.7 ‘de görüldüğü üzere aynı sertlik değerlerine sahip DIN 1.3343 ile DIN 1.3243 yüksek hız takım çeliklerinin vida üretiminde yakaladığı rakamlar birbirinden farklı olmuştur. Aynı sertlik değerlerinde aynı aşınma değerleri beklenen bu iki malzemenin, arasında maksimum ürünün elde edildiği koşullarda 13.000 vida kadar fark bulunmaktadır. Bu sonuca göre 1.3243 malzemenin yapısında yer alan kobalt alaşım elementi malzemenin sıcakta dayanımı arttırmakta olduğu ve bu dayanıma etkisi ile üretimde çalışma süresinin arttığı kanıtlanmıştır.



Şekil 9.9 Deneysel çalışmada malzemelere göre maksimum üretim adetleri

DIN 1.3343 ve DIN 1.3243 arasındaki üretim adetleri farkının kobaltın ısıya dayanım direnci olarak açıklandıktan sonra artan kobalt miktarı ile üretim adetlerinde yüksek performans beklenmiştir. Buna bağlı olarak yapısında %10 Kobalt bulunan DIN 1.3207 malzemede maksimum üretim hedeflenmektedir. Deney sonuçları da göstermiştir ki artan kobalt miktarı üretim adetlerini olumlu yönde etkilemiştir. Fakat analizinde DIN 1.3207 malzemeden daha az miktarda kobalt alaşım elementi bulunduran ASP 2052 malzeme, maksimum üretim adetlerine ulaşan yüksek hız takım çeliği olmuştur. Bu sonuçlar ise aşınma ömrü bakımından sertlik değerlerinin de önemli olduğunu ve maksimum sertliğe ulaşan ASP 2052 numunesinin maksimum üretim adetlerini yakaladığını ortaya çıkarmıştır.



Şekil 9.10 Deneysel çalışmada üretilen vida adetlerinin % alışım elementine göre grafiği

BÖLÜM 10

GENEL SONUÇLAR

- Deney numunesi olarak DIN 1.3343, DIN 1.3243, DIN 1.3207, SPM 10 ve ASP 2052 yüksek hız takım çelikleri kullanılmıştır. Her malzemeden yapılan sekiz numune dört farklı östenitleme sıcaklığında östenitlenmiş ve iki farklı meneviş sıcaklığında işlem görmüştür.
- Yüksek hız takım çeliklerinin genel olarak yüksek devirde kesici takım malzemesi olarak kullanılması, bu çeliklerin sıcakta aşınmaya karşı dayanımının olmasını gerektirmektedir. Yüksek hızda kesim sırasında ısınan ve aşınmaya zorlanan yüksek hız takım çeliği için beş farklı alışımda malzeme seçilerek, aşınma dayanımında ve üretim adetlerinde artış sağlanması hedeflenmiştir. Bu farklı beş malzemenin fiziksel özelliklerinin farklı ısıtıl işlem parametrelerinde değişimleri incelenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.
- Alışimleri farklı olan beş yüksek hız takım çeliği 1080°C, 1140°C, 1180°C ve 1200°C 'lerde östenitlenmiştir. Aralarındaki farkları görmek amacıyla östenitlemeden sonra sertlikleri Rockwell C tipi sabit sertlik ölçer cihazla ölçülmüştür. Her malzemenin 525°C ve 560°C 'lerde olmak üzere iki farklı meneviş sıcaklığında iki saat süreli üç defa menevişleme işlemi gerçekleştirilmiş ve sertlikleri ölçülmüştür.
- Yapılan sertlik ölçümleri sonrasında en yüksek aşım elementini yapısında bulunduran yüksek hız takım çeliğinin en yüksek sertlik değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak yüksek hız takım çeliklerinde kullanılan aşım elementlerinin birincil karbür yapıcı elementler olması ve bu karbürlerin çeliğin sertliğini arttırması olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapıda bulunan kobalt aşım

elementinin malzemelerin en yüksek sertlik değerlerine etki etmediği, alaşım bakımından aralarında sadece kobalt miktarları farkı olan iki takım çeliğinin en yüksek sertlik değerlerinin aynı çıkması ile doğrulanmıştır.

- Yapılan östenitleme işlemlerine göre 1080°C ve 1140°C 'lerde sıcaklıkların birincil karbürleri çözmede ve yapıda dağıtmada yeterli olmadığı görülmüş ve elde edilen sertlik değerleri incelendiğinde sadece SPM 10 malzemesi hariç tüm yüksek hız takım çeliklerinin 1180°C ve üzerindeki östenitleme sıcaklıkları ile en yüksek sonuçları verdiğinin anlaşılması ile doğrulanmıştır.
- Deney çalışmasında yapılan kesimler esnasında kesici ucun yüksek sıcaklıklara kadar ısındığı ve sıcakta sertlik kaybı ile malzemenin zamanla aşındığı anlaşılmış ve buna göre yapılan yüksek sıcaklık menevişlerinde kesim adetlerinin düşük meneviş sıcaklığına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklık menevişleri gören malzemelerin sıcakta sertliklerini kaybetmelerine kobalt alaşım elementinin doğrudan etkisi olduğu meneviş sonrası yapılan sertlik ölçümleri ile görülmüştür.
- Sıcakta dayanım ve aşınma direnci için artan kobalt alaşım miktarının olumlu etki yaptığı ve en yüksek verimin %8-10 kobalt alaşımı aralığında elde edildiği görülmüştür. Aynı sertlikteki kobaltlı ve kobaltsız kesici uçlar arasında yapılan üretim adetleri karşılaştırması ile bu değerler doğrulanmıştır.
- Vida kesiminde kullanılan yüksek hız takım çeliğinde en önemli dayanım parametrelerinden birinin aşınma dayanımı olduğu görülmüş, en yüksek sertlik değerine ulaşan takım çeliğinde en yüksek kesim adetleri yakalanması ile tespitin doğruluğu görülmüştür.
- Yüksek hız takım çeliklerinde östenitleme sıcaklığı arttıkça malzemenin maksimum sertliği artmaktadır.
- ASP 2052 bu çalışma koşulları için en uygun çelik ve bu çelik için 1200°C östenit ile 560°C 'de üç meneviş en uygun ısı işlem rejimi olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen kesim adetlerinin bu malzemenin tercih edilmesini avantajlı hale getirdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

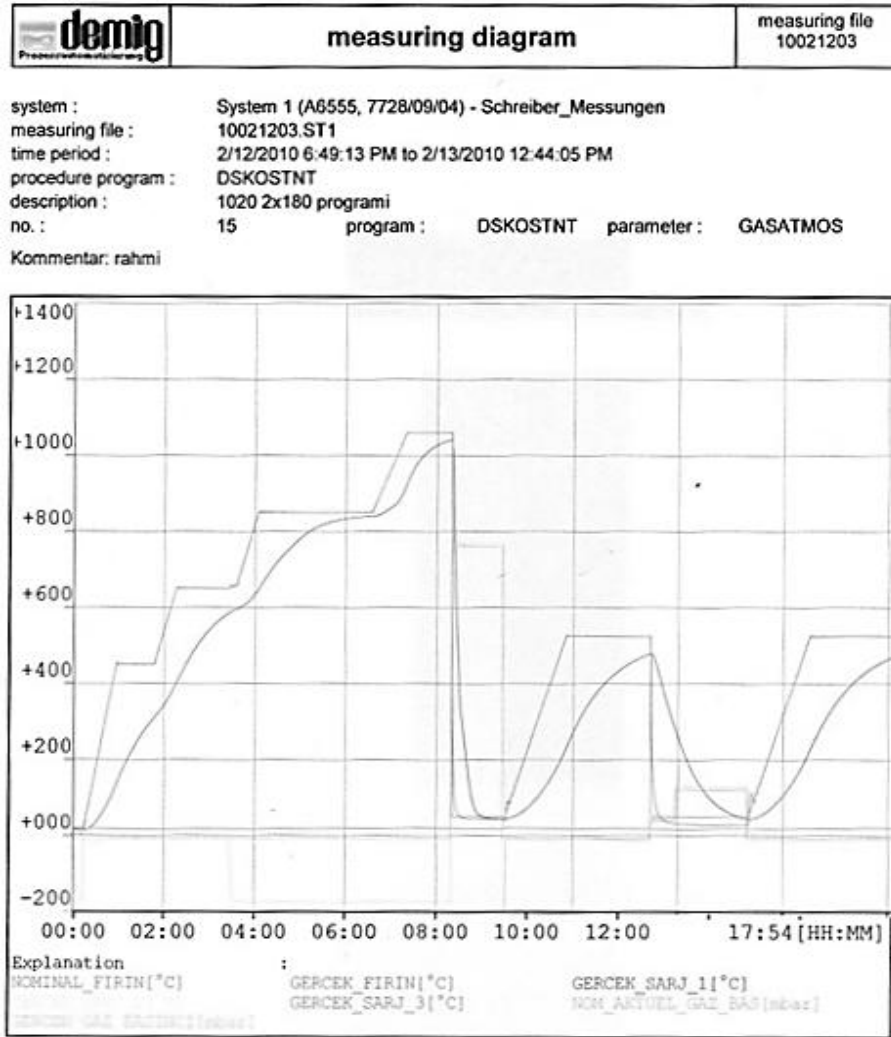
- [1] Karaaslan, A., (2010), Mühendislik Alaşımları İçin Faz Diyagramları, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [2] Smith, W., (2000), Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri (Çev. M. Erdoğan), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [3] OHBA's Laboratory, Structure, http://www.geocities.jp/ohba_lab_ob_page/English.html, 1 Mayıs 2011.
- [4] ASM International Handbook Committee, (1990), ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys, ASM International, Ohio.
- [5] Totten, G. E., (2007). Steel Heat Treatment, Taylor & Francis, New York
- [6] Bhadeshia, H. K. D. H. ve Honeycombe, R. W. K., (2006), Steels, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [7] Marder, A.R., Benschoter, A.O. ve Krauss, G., (1970), "Microcracking Sensitivity in Fe-C Plate Martensite", Metall. Trans.,1: 1545–1549.
- [8] Materkowski, J.P. ve Krauss, G., (1979), "Tempered Martensite Embrittlement in SAE 4340 Steel", Metall. Trans. A, 10A: 1643–1651.
- [9] Onaran, K., (2003), Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [10] Yücel, Ö. Kurttepli, H. ve Demirkaya, M.H., (1998). "Yeni Nesil Vakum Fırınlarında Takım Çeliği Isıl İşleminde Soğutma Parametrelerinin Karakterizasyonu", 1. Isıl İşlem Sempozyumu, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.
- [11] Viale, D. Béguinot, J. Chenou, F. ve Baron G., (2002). "Optimizing Microstructure for High Toughness Cold-Work Tool Steels", 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [12] Gümpel, T. Bogatzky, T. Huber, A. ve Geigges B., (2002). "Comparison of Different Characteristics of Modern Hot-Work Tool Steels", 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [13] ASM International Handbook Committee, (1989), ASM Handbook Volume 16 Machining, ASM International, Ohio.

- [14] Maili, I. Rabitsch, R. Liebfahrt, W. Makovec, H. ve Putzgruber, E., (2002). “New Powder Metallurgy High Speed Steel with Excellent Hot Hardness”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [15] Karagöz, Ş. ve Zeren, M. (1998). “Elmas Kesici Takımlarda Isıl İşlem Koşullarının Optimizasyonu ile Takım Ömrünün Arttırılması Etüdü” , 1. Isıl İşlem Sempozyumu, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.
- [16] ASM International Handbook Committee, (1991), ASM Handbook Volume 4 Heat Treating, ASM International, Ohio.
- [17] Asay, M., (1998). “Yüksek Hız Çeliklerinin Isıl İşlem Sonrası Taşlama Operasyonunda Meydana Gelen Yumuşak Tabakanın Giderilmesi”, 1. Isıl İşlem Sempozyumu, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.
- [18] Fabian, R., (1993). Vacuum Technology Practical Heat Treating and Brazing, First Edition, ASM International, United States of America.
- [19] Choudhury, A., (1990). Vacuum Metallurgy, First Edition, ASM International, United States of America
- [20] Leskovšek, V. ve Ule, B., (2002). “Influence of Vacuum Heat-Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of High-Speed Steel”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [21] Topbaş, M.A., (1992). Çeliğin Isıl İşlemi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 250, İstanbul.
- [22] Bain, E.C., (1939). Functions of the Alloying Elements in Steel, American Society for Metals, Cleveland.
- [23] QTS, (2004). Kalıp Malzemeleri ve Isıl İşlemi, Baskı No:1, İstanbul.
- [24] Weissbach, W. (1967). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (Çev: Prof. Dr. Salâddin ANIK ve Sabri ANIK), Birinci Baskı, İstanbul
- [25] Wilmes, S. ve Zwick, G., (2002). “Effect of Niobium and Vanadium as an Alloying Element in Tool Steels with High Chromium Content”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [26] Molinari, A. Pellizzari, M. Biggi, A. Corbo, G. ve Tremea, A., (2002) “Primary Carbides in Spincast HSS for Hot Rolls and Their Effect on the Oxidation Behaviour”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [27] Boccalini jr, M. ve Sinatora, A., (2002). “Microstructure and Wear Resistance of High Speed Steels for Rolling Mill Rolls”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [28] Wilmes, S. ve Kientopf G., (2002). “Carbide Dissolution Rate and Carbide Contents in Usual High Alloyed Tool Steels at Austenitizing Temperatures Between 900°C and 1250°C”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [29] Blaha, J. Krempaszky, C. Werner, E.A. ve Liebfahrt, W., (2002). “Carbid Distribution Effects in Cold Work Tool Steels”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.

- [30] John, V.B., (2001). Mühendislik Malzemeleri (Çev: Topuz, A. Marşoğlu, M. Küçükkaragöz, S. Çiğdem, M.), Birinci Baskı, Taç Ofset Matbaacılık, İstanbul.
- [31] Mattar, T., (2002).” Electro Slag Remelting of AISI M41 High-Speed Tool Steel Scrap”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [32] Mesquita, R.A. ve Barbosa, C.A., (2002). “High Speed Steel Produces Through Conventional Casting, Spary Forming and Powder Metallurgy”, 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- [33] Ahlatçı, H. Türküz, C. Çimenoglu, H. Ürgen, M. ve Kayalı, E.S., (1998). “Sertleştirme İşlemi Görmüş İki Farklı Kalitedeki Yüksek Hız Takım Çeliğinden Yapılan Kesici Takımların Performanslarının Karşılaştırılması”, 1. Isıl İşlem Sempozyumu, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.

EK-A

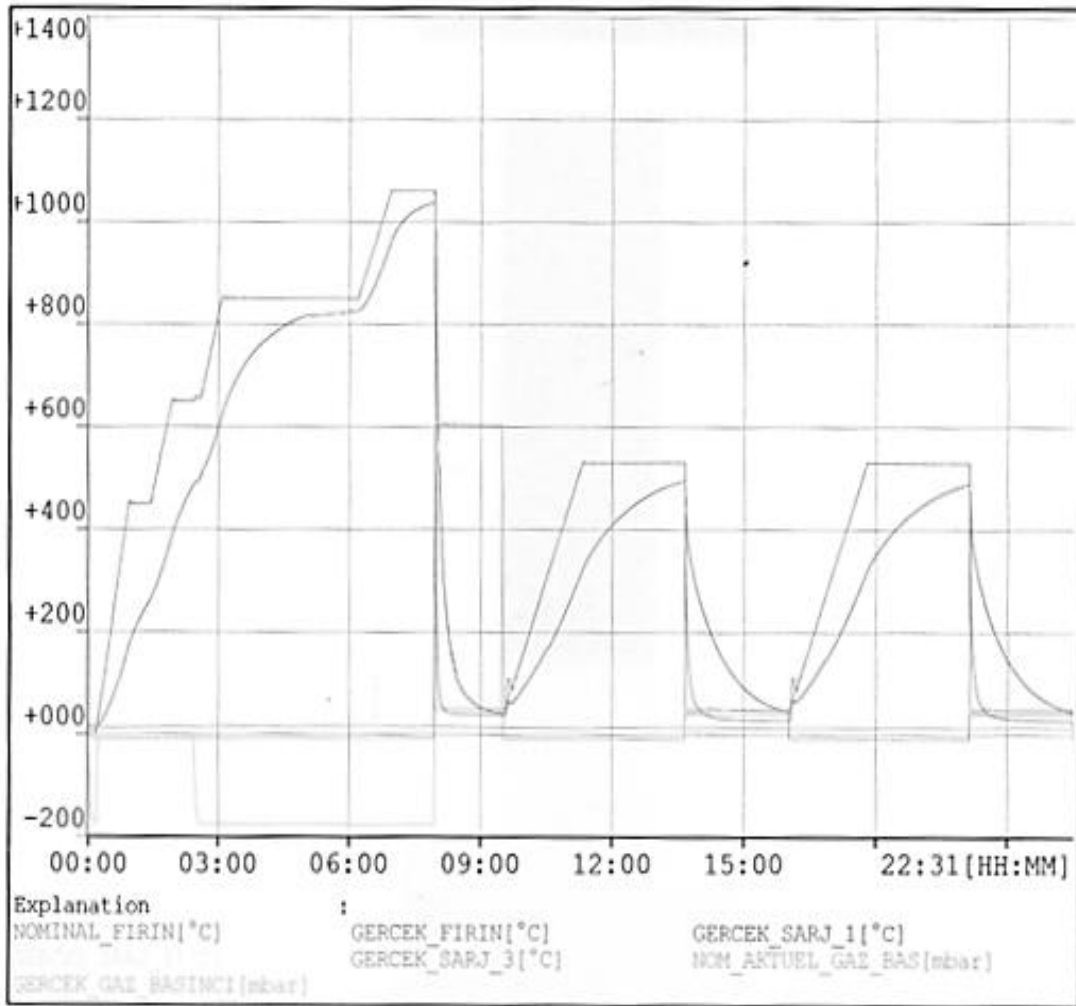
RAPORLAR



Şekil A-1 Östenitlemesi 1080°C ve menevişleme işlemi 525°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

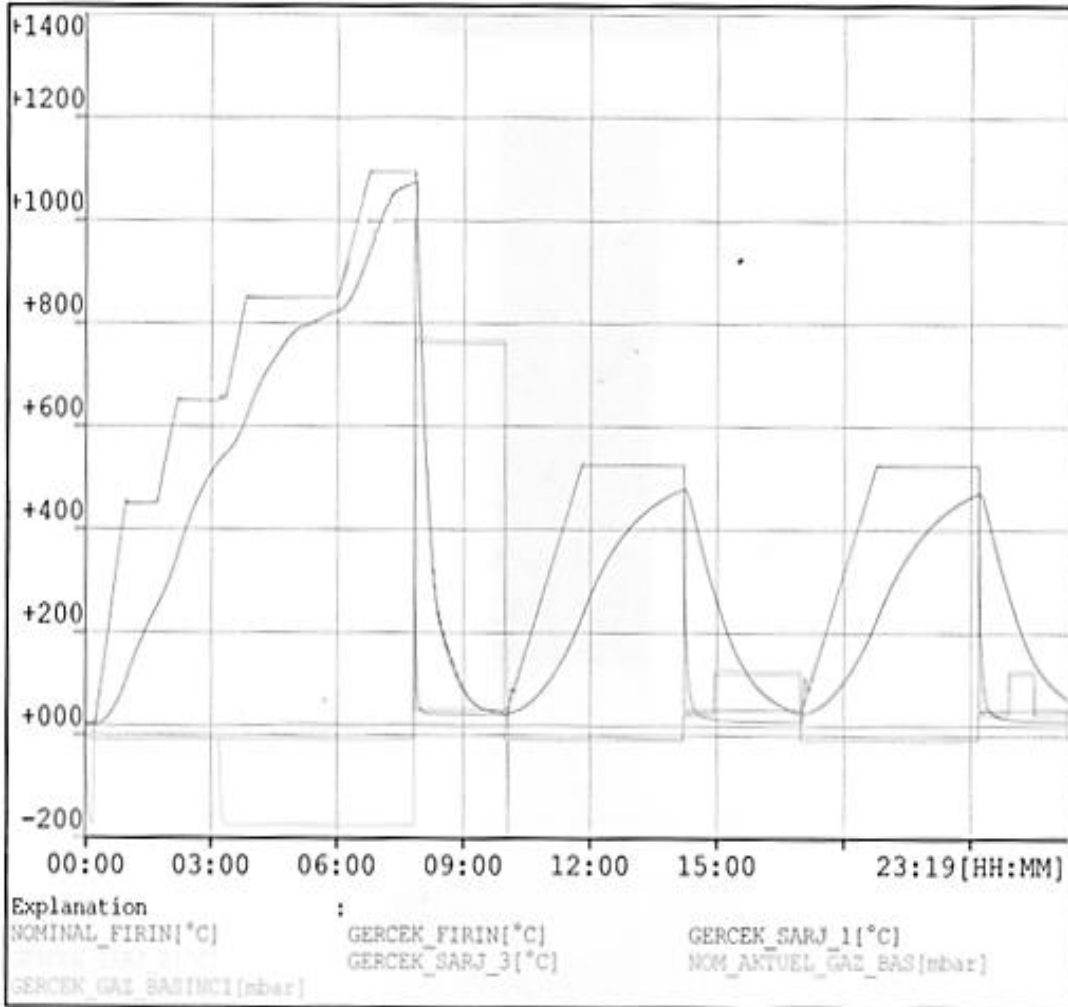
demig Produktionsmaschinenbau	measuring diagram	measuring file 09122102
---	--------------------------	----------------------------

system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
 measuring file : 09122102.ST1
 time period : 12/21/2009 6:26:19 PM to 12/22/2009 4:57:40 PM
 procedure program : QTS1060
 description : 2379-2344 sertlestime
 no. : 13 program : QTS1060 parameter : STANDARD
 Kommentar: orkun



Şekil A-2 Östenitlemesi 1080°C ve menevişleme işlemi 560°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

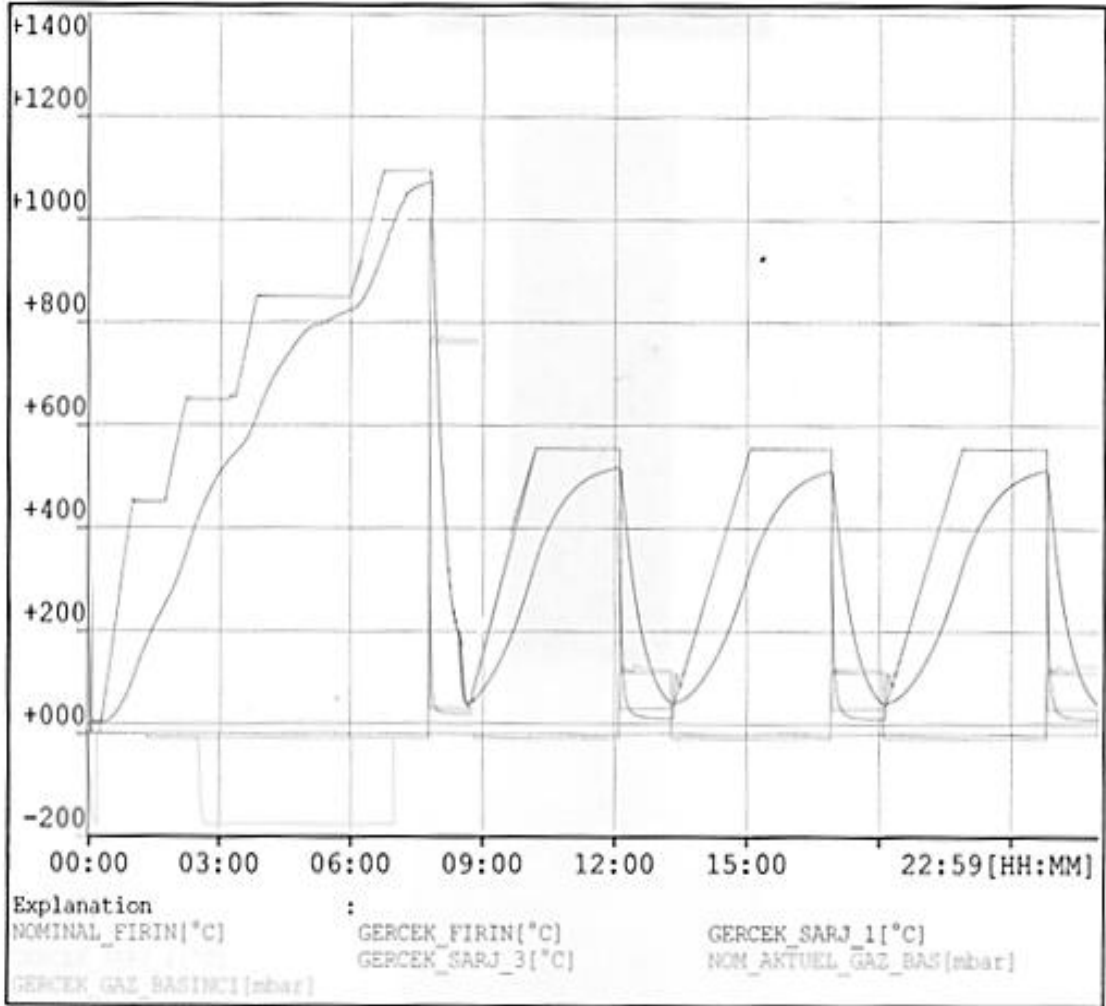
system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
measuring file : 10010703.ST1
time period : 1/7/2010 6:06:27 PM to 1/8/2010 5:26:21 PM
procedure program : QTS1060
description : 2379-2344 sertlestirme
no. : 13 program : QTS1060 parameter : STANDARD
Kommentar: sahin



Şekil A-3 Östenitlemesi 1140°C ve menevişleme işlemi 525°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

demig Produktentwicklung	measuring diagram	measuring file 10010901
------------------------------------	--------------------------	----------------------------

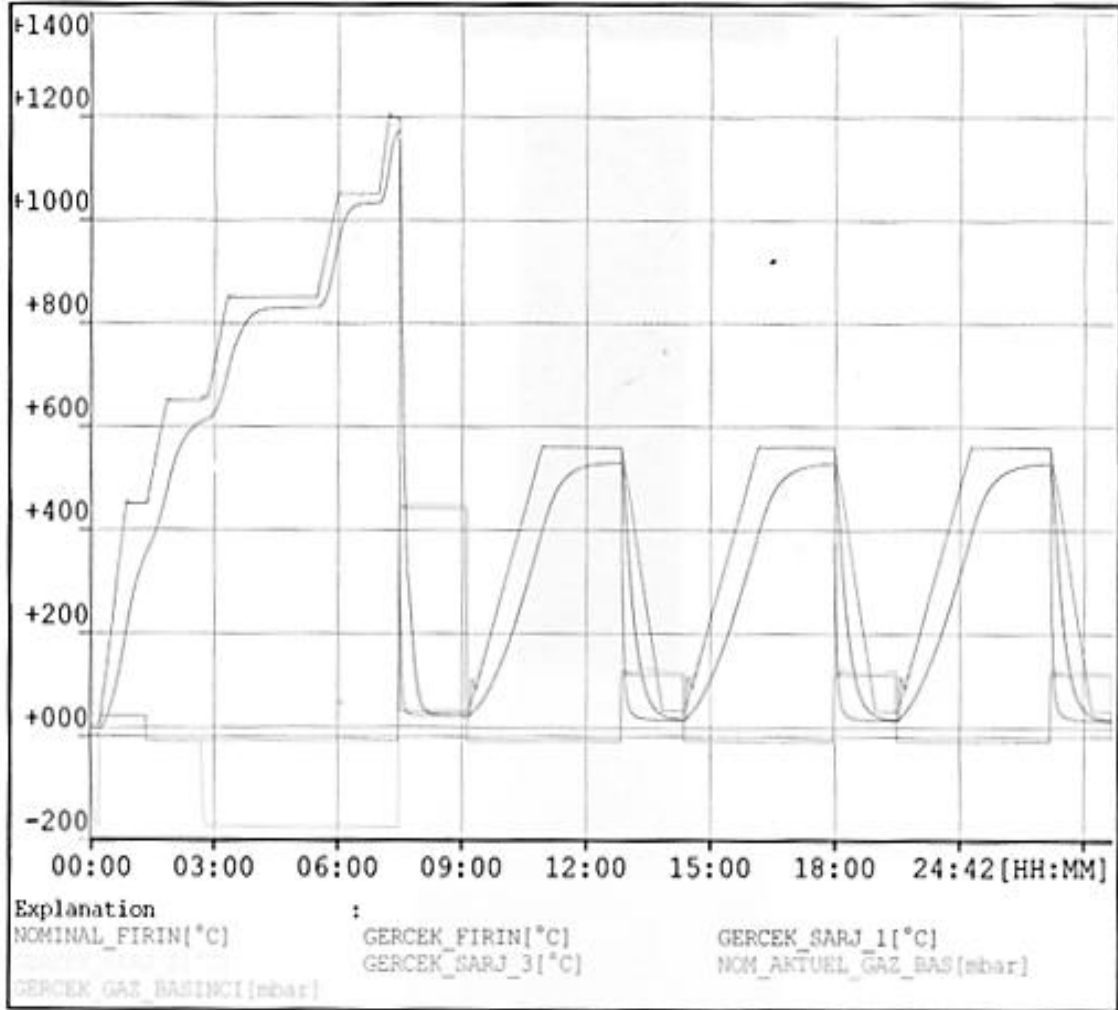
system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
 measuring file : 10010901.ST1
 time period : 1/9/2010 4:43:08 PM to 1/10/2010 3:42:48 PM
 procedure program : HSSSERT
 description : HSS ASP sertlestirme
 no. : 13 program : HSSSERT parameter : STANDARD
 Kommentar: akif



Şekil A-4 Östenitlemesi 1140°C ve menevişleme işlemi 560°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

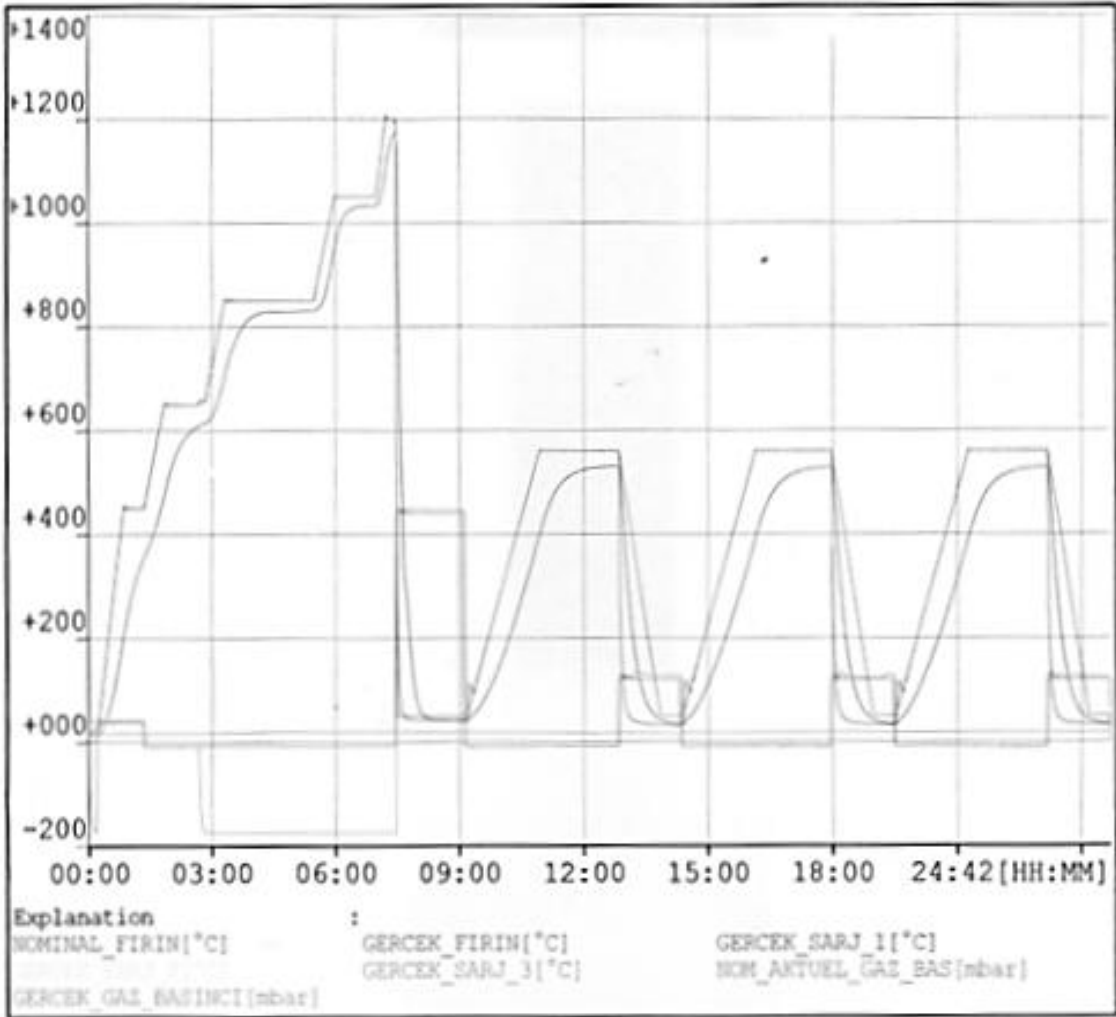
demig Process Automation	measuring diagram	measuring file 10021302
------------------------------------	--------------------------	----------------------------

system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
 measuring file : 10021302.ST1
 time period : 2/13/2010 7:08:55 PM to 2/14/2010 7:51:15 PM
 procedure program : HSSSERT
 description : HSS ASP sertlestirme
 no. : 13 program : HSSSERT parameter : STANDARD
 Kommentar: rahmi



Şekil A-5 Östenitlemesi 1180°C ve menevişleme işlemi 525°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

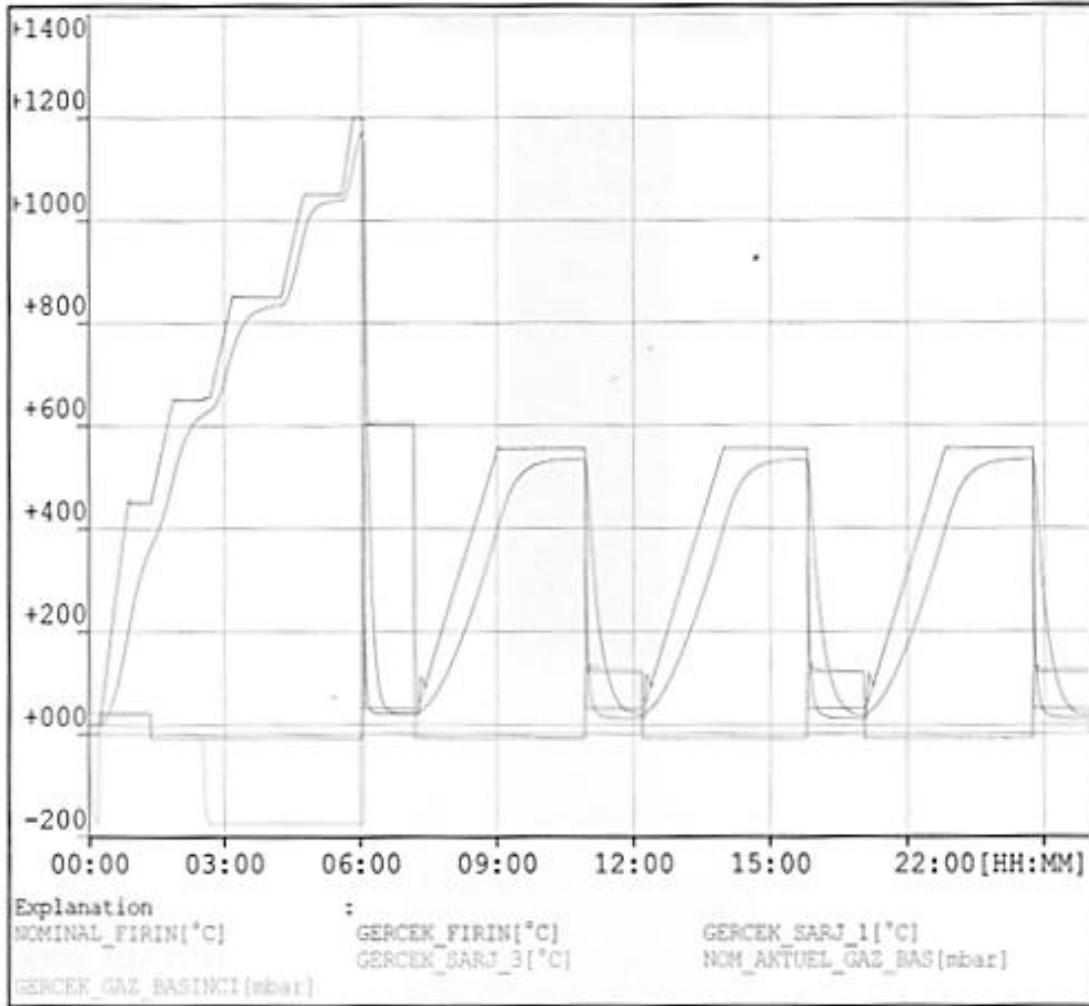
system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
 measuring file : 10021302.ST1
 time period : 2/13/2010 7:08:55 PM to 2/14/2010 7:51:15 PM
 procedure program : HSSSERT
 description : HSS ASP sertleştirme
 no. : 13 program : HSSSERT parameter : STANDARD
 Kommentar: rahmi



Şekil A-6 Östenitlemesi 1180°C ve menevişleme işlemi 560°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

demig Produktionstechnik	measuring diagram	measuring file 09103101
------------------------------------	--------------------------	----------------------------

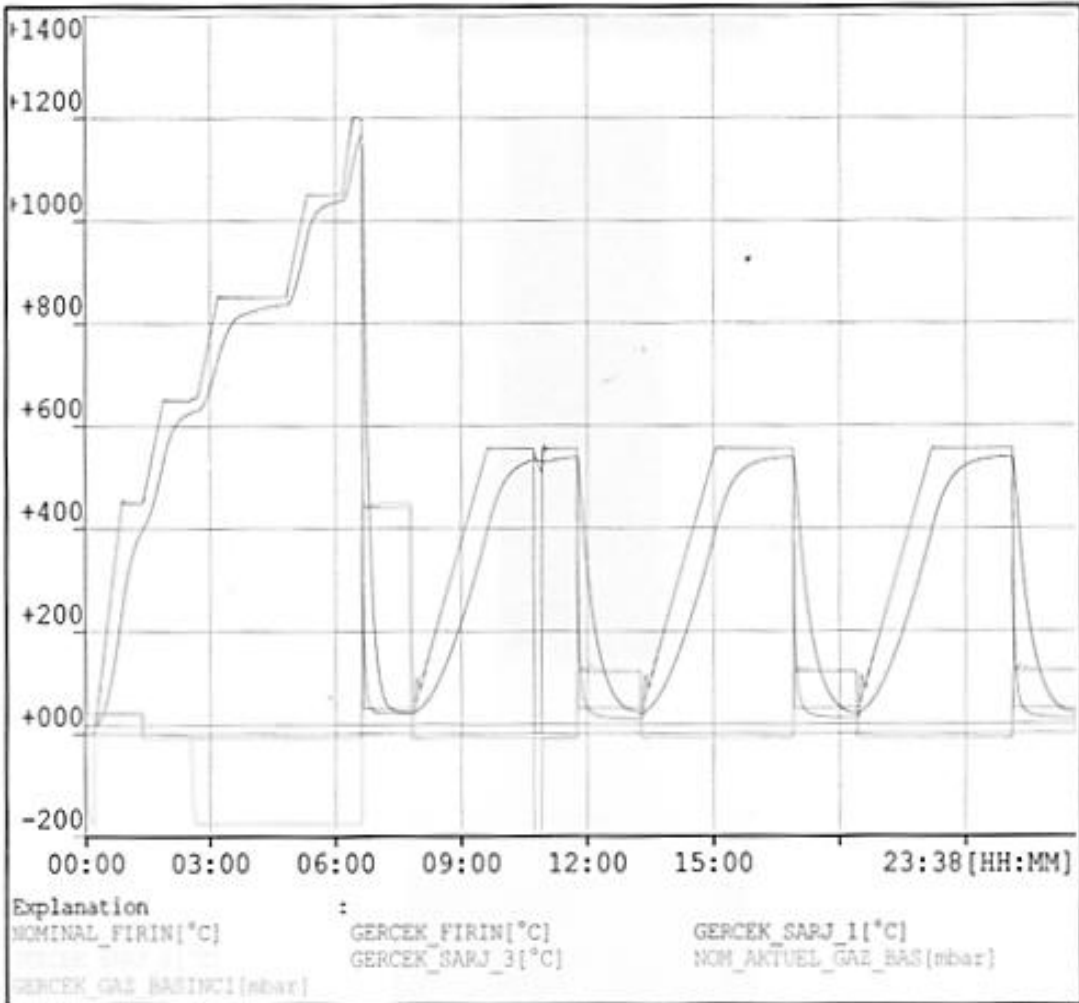
system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
 measuring file : 09103101.ST1
 time period : 10/31/2009 3:04:02 PM to 11/1/2009 1:04:24 PM
 procedure program : HSSSERT
 description : HSS ASP sertlestime
 no. : 13 program : HSSSERT parameter : STANDARD
 Kommentar: akif



Şekil A-7 Östenitlemesi 1200⁰C ve menevişleme işlemi 525⁰C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

demig Produktentwicklung	measuring diagram	measuring file 09112101
------------------------------------	--------------------------	----------------------------

system : System 1 (A6555, 7728/09/04) - Schreiber_Messungen
 measuring file : 09112101.ST1
 time period : 11/21/2009 3:15:34 PM to 11/22/2009 2:53:44 PM
 procedure program : HSSSERT
 description : HSS ASP sertlestage
 no. : 13 program : HSSSERT parameter : STANDARD
 Kommentar: rahmi



Şekil A-8 Östenitlemesi 1200°C ve menevişleme işlemi 560°C derecede yapılan yüksek hız takım çeliği kesme kalıplarının vakum fırında gördüğü işlem raporu

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : GÜVEN ORKUN TOPTOP
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.02.1986 İSTANBUL
Yabancı Dili :İNGİLİZCE
E-posta :guvenorkun@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri Matematik	Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Quantum Takım Sanayi Ürünleri Çelik Ticaret A.Ş.	Isıl İşlem İşletme Müdürü
2008	SihirliKule Ltd. Şti.	Online Satış Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. “Toz Metalurjisi ile Yüksek Hız Takım Çeliklerinin Gelişimi”,
Takımçeliği.com Dergisi, Sy:58-59, İstanbul,2011
2. “Metal Isıl İşlemlerinde Vakum Teknolojisi”, ST Demir Çelik&Ağır
Sanayi, Sy:9-10, İstanbul, 2011

Proje

1. Alüminyum Matrisli Al₂O₃/SiC Takviyeli Kompozit Üretimi
2. Monolitik Refrakterlerde Bağlayıcı Kimyasalların Özelliklere Etkisi