

174289

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUKTA TALAŞSIZ ŞEKİLLENDİRME  
KALIPLARINDA HASARLAR VE PERFORMANS  
ARTIRICI GELİŞMELER

Metalurji Yük. Müh. Aziz HATMAN

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında  
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

**Tez Savunma Tarihi:** 14 Kasım 2003

**Tez Danışmanı:**

**Jüri Üyeleri:**

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)

Prof. Dr. Eyüp Sabri Kayalı (İTÜ)

Prof. Dr. Mehmet Koz (MÜ)

Prof. Dr. Nişan Sönmez (YTÜ)

Prof. Dr. Mustafa Çiğdem (YTÜ)

*(Handwritten signatures and marks)*  
S. Kayalı  
M. Koz  
N. Sönmez  
M. Çiğdem

İSTANBUL, 2003

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	viii
KISALTMA LİSTESİ .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ .....	x
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiv
ÖNSÖZ .....	xvi
ÖZET .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
1. GİRİŞ .....	1
2. TAKIM ÇELİKLERİ ve FİZİKSEL METALURJİSİ .....	7
2.1 Soğuk İş Uygulamalarında Hasar Mekanizmaları .....	10
2.1.1 Aşınma .....	12
2.1.1.1 Abrasif Aşınma .....	12
2.1.1.2 Adhesif Aşınma .....	13
2.1.1.3 Atrisyon yada Yüzey Yorulması .....	14
2.1.1.4 Karışık Aşınma .....	14
2.1.2 Plastik Deformasyon (Çökme) .....	14
2.1.3 Sıvanma (Sarma) .....	15
2.1.4 Ağız Dökülmesi .....	15
2.1.5 Kırılma .....	16
2.2 Takım Çeliklerinde Mikroyapısal Ögeler .....	16
2.2.1 Metalik Anayapı (Matris) .....	17
2.2.2 Büyük Sert Parçacıklar .....	19
2.2.3 Çökeltiiler .....	25
2.3 Soğukta Talaşsız Şekillendirme Kalıpları .....	27
3. KALIP İMALATINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER .....	31
3.1 Kalıp Tasarımında Esaslar .....	32
3.2 Geleneksel Metalurjik Takım Çeliklerinde Gelişmeler .....	36
3.3 Yeni Üretim Teknolojileri .....	38
3.3.1 Toz Metalurjik Soğuk İş Takım Çelikleri .....	38
3.3.2 Püskürtme-Biriktirme (Spray Forming) .....	41
3.4 Çekirdeğe Kadar Sertleştirme Isıl İşleminde Tartışmalar ve Gelişmeler .....	45
3.5 Yeni Yüzey İşlemlerinin Takım Çeliklerine Uygulanması .....	49
4. KALIP PERFORMANSI .....	53

5.	SOĞUK İŞ UYGULAMALARINDA TİPİK HASARLAR.....	58
5.1	Olay I: Hatalı Isıl İşlem Sonucu Kırılma.....	62
5.1.1	Olayın Geçmişi .....	62
5.1.2	Gözle Muayene.....	62
5.1.3	Sertlik Ölçümü.....	62
5.1.4	Kimyasal Analiz .....	62
5.1.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	63
5.1.6	Sonuç .....	65
5.1.7	Öneriler .....	65
5.2	Olay II: Hatalı Tasarım ve Hatalı Isıl İşlem Sonucu Kırılma.....	66
5.2.1	Olayın Geçmişi .....	66
5.2.2	Gözle Muayene.....	67
5.2.3	Sertlik Ölçümü.....	68
5.2.4	Kimyasal Analiz .....	68
5.2.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	68
5.2.6	Sonuç .....	72
5.2.7	Öneriler .....	72
5.3	Olay III: Taşlama Sırasında Oluşan İç Gerilme Nedeniyle Çatlama.....	73
5.3.1	Olayın Geçmişi .....	73
5.3.2	Gözle Muayene.....	73
5.3.3	Sertlik Ölçümü.....	74
5.3.4	Kimyasal Analiz .....	74
5.3.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	74
5.3.6	Sonuç .....	77
5.3.7	Öneriler .....	77
5.4	Olay IV: Hatalı Tasarıma Bağlı Tuz Korozyonu Nedeniyle Çatlama.....	78
5.4.1	Olayın Geçmişi .....	78
5.4.2	Gözle Muayene.....	79
5.4.3	Sertlik Ölçümü.....	79
5.4.4	Kimyasal Analiz .....	79
5.4.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	80
5.4.6	Sonuç .....	82
5.4.7	Öneriler .....	83
5.5	Olay V: Tel Erozyonda Korozyon Nedeniyle Çatlama.....	84
5.5.1	Olayın Geçmişi .....	84
5.5.2	Gözle Muayene.....	85
5.5.3	Sertlik Ölçümü.....	85
5.5.4	Kimyasal Analiz .....	85
5.5.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	85
5.5.6	Sonuç .....	87
5.5.7	Öneriler .....	87
5.6	Olay VI: Tel Erozyon Sırasında Ortaya Çıkan Taşlama Çatlakları.....	89
5.6.1	Olayın Geçmişi .....	89
5.6.2	Gözle Muayene.....	90
5.6.3	Sertlik Ölçümü.....	90
5.6.4	Kimyasal Analiz .....	90
5.6.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	90
5.6.6	Sonuç .....	91
5.6.7	Öneriler .....	93
5.7	Olay VII: Hatalı Tasarım Nedeniyle Ani Kırılma .....	94

5.7.1	Olayın Geçmişi .....	94
5.7.2	Gözle Muayene .....	95
5.7.3	Sertlik Ölçümü .....	95
5.7.4	Kimyasal Analiz .....	95
5.7.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	95
5.7.6	Sonuç .....	96
5.7.7	Öneriler .....	97
5.8	Olay VIII: Tasarım Hatası ve Hatalı Hadde Yönü Seçimi Nedeniyle Çatlama ....	98
5.8.1	Olayın Geçmişi .....	98
5.8.2	Gözle Muayene .....	98
5.8.3	Sertlik Ölçümü .....	99
5.8.4	Kimyasal Analiz .....	99
5.8.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	99
5.8.6	Sonuç .....	101
5.8.7	Öneriler .....	102
5.9	Olay IX: Tel Erozyon Hatası Nedeniyle Ölçü Büyümesi .....	103
5.9.1	Olayın Geçmişi .....	103
5.9.2	Gözle Muayene .....	103
5.9.3	Sertlik Ölçümü .....	103
5.9.4	Kimyasal Analiz .....	103
5.9.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	104
5.9.6	Sonuç .....	106
5.9.7	Öneriler .....	107
5.10	Olay X: Yetersiz Sertlik Nedeniyle Deformasyon Sonucu Kırılma .....	108
5.10.1	Olayın Geçmişi .....	108
5.10.2	Gözle Muayene .....	108
5.10.3	Sertlik Ölçümü .....	108
5.10.4	Kimyasal Analiz .....	108
5.10.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	110
5.10.6	Sonuç .....	110
5.10.7	Öneriler .....	111
5.11	Olay XI: Tuz Banyosu Korozyonu Nedeniyle Çatlama .....	112
5.11.1	Olayın Geçmişi .....	112
5.11.2	Gözle Muayene .....	112
5.11.3	Sertlik Ölçümü .....	112
5.11.4	Kimyasal Analiz .....	113
5.11.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	113
5.11.6	Sonuç .....	116
5.11.7	Öneriler .....	116
5.12	Olay XII: Ağır Karbür Segregasyonu Nedeniyle Çatlama .....	117
5.12.1	Olayın Geçmişi .....	117
5.12.2	Gözle Muayene .....	118
5.12.3	Sertlik Ölçümü .....	118
5.12.4	Kimyasal Analiz .....	118
5.12.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	118
5.12.6	Sonuç .....	119
5.12.7	Öneriler .....	119
5.13	Olay XIII: İşleme Hatası Sonucu Ağız Dökülmesi .....	121
5.13.1	Olayın Geçmişi .....	121
5.13.2	Gözle Muayene .....	122
5.13.3	Sertlik Ölçümü .....	122



5.13.4	Kimyasal Analiz .....	122
5.13.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	123
5.13.6	Sonuç .....	123
5.13.7	Öneriler .....	124
5.14	Olay XIV: Hatalı Isıl İşlem Nedeniyle Tel Erozyon Esnasında Çatlama.....	125
5.14.1	Olayın Geçmişi .....	125
5.14.2	Gözle Muayene.....	126
5.14.3	Sertlik Ölçümü.....	126
5.14.4	Kimyasal Analiz .....	126
5.14.5	Mikro Yapı İncelenmesi .....	126
5.14.6	Sonuç .....	126
5.14.7	Öneriler .....	128
5.15	Olay XV: Yüksek Sertlik Nedeniyle Ağız Dökülmesi .....	129
5.15.1	Olayın Geçmişi .....	129
5.15.2	Gözle Muayene.....	130
5.15.3	Sertlik Ölçümü.....	130
5.15.4	Sonuç .....	130
5.15.5	Öneriler .....	130
5.16	Olay XVI: Düşük Sertlik ve Yüksek Yüzey Pürüzlülüğü Nedeniyle Sıvanma...	132
5.16.1	Olayın Geçmişi .....	132
5.16.2	Gözle Muayene.....	132
5.16.3	Sertlik Ölçümü.....	132
5.16.4	Yüzey İncelemesi.....	132
5.16.5	Sonuç .....	133
5.16.6	Öneriler .....	134
6.	PERFORMANS ARTTIRICI DENEMELER.....	135
6.1	Deneme I: Islah Çeliği Yerine Takım Çeliği Kullanımının Etkisi .....	135
6.1.1	Uygulama.....	135
6.1.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Önlemler.....	135
6.1.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	136
6.1.4	Değerlendirme .....	136
6.2	Deneme II: Kalın Kesmede Soğuk İş Takım Yerine Sıcak İş Takım Çeliği Kullanımı .....	137
6.2.1	Uygulama.....	137
6.2.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	137
6.2.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	138
6.2.4	Değerlendirme .....	138
6.3	Deneme III: Sıvanmaya Karşı Ark-PVD CrN Kaplamanın Etkisi .....	140
6.3.1	Uygulama.....	140
6.3.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	141
6.3.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	141
6.3.4	Değerlendirme .....	141
6.4	Deneme IV: Kalın Sac Delme Zimbalarında Farklı Takım Çeliklerinin Etkisi ..	142
6.4.1	Uygulama.....	142
6.4.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	142
6.4.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	143
6.4.4	Değerlendirme .....	143
6.5	Deneme V: Sac Delme Zimbalarında Parlatma ve Kaplamanın Etkisi .....	145
6.5.1	Uygulama.....	145

6.5.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	145
6.5.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	146
6.5.4	Değerlendirme .....	147
6.6	Deneme VI: Form Verme Zımbalarında TiN Kaplamanın Etkisi .....	148
6.6.1	Uygulama.....	148
6.6.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	148
6.6.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	149
6.6.4	Değerlendirme .....	150
6.7	Deneme VII: Form Vermede Toz Metalurjik Çelik Denemesi .....	151
6.7.1	Uygulama.....	151
6.7.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	151
6.7.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	152
6.7.4	Değerlendirme .....	152
6.8	Deneme VIII: Laminasyon Kalıbında Toz Metalurjik Çelik Denemesi.....	153
6.8.1	Uygulama.....	153
6.8.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	153
6.8.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	154
6.8.4	Değerlendirme .....	154
6.9	Deneme IX: Sıvanma ve Kırılmaya Karşı Yeni Çelik Denemesi.....	156
6.9.1	Uygulama.....	156
6.9.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	156
6.9.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	157
6.9.4	Değerlendirme .....	157
6.10	Deneme X: Demir Tozu Preslemede Toz Metalurjik Çelik Denemeleri.....	159
6.10.1	Uygulama.....	159
6.10.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	159
6.10.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	160
6.10.4	Değerlendirme .....	161
6.11	Deneme XI: Seramik Tozu Preslemede Toz Metalurjik Çelik Denemeleri .....	162
6.11.1	Uygulama.....	162
6.11.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	162
6.11.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	163
6.11.4	Değerlendirme .....	163
6.12	Deneme XII: Takviyeli Kağıt Kesmede Farklı Çelik Denemeleri .....	165
6.12.1	Uygulama.....	165
6.12.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	165
6.12.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	166
6.12.4	Değerlendirme .....	166
6.13	Deneme XIII: Soğuk Dövme Zımbasında Isıl İşlem Ortamının Etkisi .....	168
6.13.1	Uygulama.....	168
6.13.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	169
6.13.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	170
6.13.4	Değerlendirme .....	170
6.14	Deneme XIV: Ovalama Tarağında Ağız Dökülmesini Engellemek için TM Çelik Denemesi .....	171
6.14.1	Uygulama.....	171
6.14.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	171
6.14.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	172
6.14.4	Değerlendirme .....	172
6.15	Deneme XV: Sıvanmayı Engellemek için TM Çelik Denemesi .....	174
6.15.1	Uygulama.....	174

6.15.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	174
6.15.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	175
6.15.4	Değerlendirme .....	175
6.16	Deneme XVI: Sıvanmayı Engellemek için Geleneksel Yüzey İşlemi: Nitrüleme	176
6.16.1	Uygulama.....	176
6.16.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	176
6.16.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	176
6.16.4	Değerlendirme .....	177
6.17	Deneme XVII: Aşınmayı Engellemek için Püskürtme Biriktirme ile Üretilmiş Takım Çeliği Kullanımı Denemesi.....	178
6.17.1	Uygulama.....	178
6.17.2	Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler .....	178
6.17.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	179
6.17.4	Değerlendirme .....	179
7.	PERFORMANS HESAPLAMA DENEMELERİ.....	180
7.1	Performans Denemesi I.....	180
7.2	Performans Denemesi II .....	182
7.3	Performans Denemesi III.....	185
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	187
KAYNAKLAR.....		190
ÖZGEÇMİŞ.....		198
EKLER .....		199

## SİMGE LİSTESİ

$b$	Burgers vektörü
$d$	Menevişlenmiş martensit tane boyutu
$D$	Karbür çapı
HRC	Rockwell Sertliği
Hv	Vickers Sertliği
$K_{1c}$	Kırılma tokluğu
$k_2$	Malzeme sabiti
$k_3$	Malzeme sabiti
$r_p$	Çökelti boyutu
$\alpha_k$	Darbe tokluğu
$\sigma_o$	Saf demirin akma dayanımı
$\sigma_y$	Akma mukavemeti
$\sigma_{yc}$	Basmada akma dayanımı
$\Delta\sigma_{com}$	Birincil karbürler gibi malzeme bileşenlerinin mukavemete katkısı
$\Delta\sigma_{gr}$	Tane sınırı sertleşmesi nedeniyle mukavemetteki artış
$\Delta\sigma_p$	Çökelme nedeniyle mukavemetteki artış
$\Delta\sigma_{ss}$	Katı çözeltili sertleşmesi nedeniyle mukavemetteki artış
$\Delta\sigma_{wh}$	Pekleşme nedeniyle mukavemetteki artış
$\lambda$	Karbürler arası mesafe

## KISALTMA LİSTESİ

ATS	Avusturya Şilini
EAO	Elektrik Ark Ocağı
EDM	Electro Discharge Machining (Dalma Erozyon)
ESR	Curuf Altı Ergitme
GM	Geleneksel Metalurji
HSS	Yüksek Hız Çeliği
KOÜ	Kocaeli Üniversitesi
PACVD	Plazma Destekli CVD
PB	Püskürtme Biriktirme
PESR	Basınçlı Curuf Altı Ergitme
PM	Powder Metallurgy
SP	Spray Forming
TM	Toz Metalurjisi
UTAB	Uddeholm Tooling AB
VAR	Vakum Ark Remelting
Vb	Ve Benzerleri
Vd	Ve Diğerleri
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
ZSD	Zaman Sıcaklık Dönüşüm

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Soğuk İş Uygulamalarında Hasar Mekanizmaları (Jervis, 1992).....	11
Şekil 2.2 Yüzey Kalitesinin Yorulma Ömrüne Etkisi (Sandberg, 1997) .....	11
Şekil 2.3 Abrasif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ), (Moster, 1997).....	12
Şekil 2.4 Adhesif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ), (Moster, 1997).....	13
Şekil 2.5 Plastik Deformasyona Uğramış bir Takım Ağzı, (Siyah hat orijinal takım boyutu.), (Karagöz, 1988) .....	14
Şekil 2.6 Sıvanmaya Yol Açan Yığıma Köşesinin Oluşumu (Karagöz, 1988).....	16
Şekil 2.7 1.2379 (X155CrVMo12 1) Soğuk İş Takım Çeliğinin Tipik Mikroyapısı, Işık Mikroskobu, 100X, (UTAB, 2002).....	17
Şekil 2.8 Takım Çeliğinde Mikroyapısal Ögeler (Ebner vd., 1999).....	18
Şekil 2.9 1.2379 (X155CrVMo12 1)'da Yetersiz Dövülmüş Durumda Mevcut Karbür Ağı (UTAB, 2002) .....	20
Şekil 2.10 Bir Sıcak İş Takım Çeliği Olan 1.2344 (X40 CrMoV5 1)'ün Çentiksiz Darbe Tokluğuna Birincil Karbürlerin Etkisi (Broeckmann, 1999).....	20
Şekil 2.11 Eski Nesil Bir Soğuk İş Takım Çeliği Olan 1.2080 (X210 Cr12)'de Karbür Yönlenmesinin Kırılma Tokluğuna Etkisi (Broeckmann, 1999).....	21
Şekil 2.12 Kütük Ölçüsüne Bağlı Olarak Karbür Bantlaşması için Referans Yapılar (Edelstahlwerke 1984) .....	23
Şekil 2.13 Farklı Çeliklerde Yönlenmenin Darbe Enerjisine Etkisi (UTAB, 2000); a: Sverker 21 ( $\approx$ 1.2379 (X155CrVMo12 1)), b: Vanadis 4, c: Vanadis 23, d: Vanadis 10 .....	24
Şekil 2.14 Malzeme no: 1.2344 (X40 CrMoV5 1) Sıcak İş Takım Çeliğinde Kükürdün Darbe Enerjisi Üzerine Etkisi, (Broeckmann, 1999).....	25
Şekil 2.15 Soğukta Talaşsız Şekillendirme Kalıplarının Dağılımı, (UTAB, 2002a) .....	28
Şekil 2.16 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Direnci-Tokluk İlişkileri, (UTAB, 2000)....	29
Şekil 2.17 Bazı Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kıyaslamalı Özellikleri (Hatman, 2000), (Johanson ve Jervis 2000).....	29
Şekil 3.1 Kesme Kuvvetlerinden Oluşan Gerilmelerin Foto-Elastik Görünümü (Karagöz, 1988) .....	33
Şekil 3.2 Isıl İşleme Yönelik Kalıp Tasarımında Belli Başlı Hatalar (Hatman, 2000) .....	34
Şekil 3.2 Isıl İşleme Yönelik Kalıp Tasarımında Belli Başlı Hatalar (Devam) .....	35
Şekil 3.3 Toz Metalurjisinin Şematik Aşamaları (Sandberg, 2000).....	39
Şekil 3.4 TM ve GM Çeliklerinde Mikroyapı ve Kesici Köşe Karşılaştırması (Sandberg, 2000). .....	39
Şekil 3.5 Eğme Mukavemetinin Hata Çapı ile Değişimi, (Tornberg ve Fölzer, 2002).....	40
Şekil 3.6 Bazı TM Soğuk İş Çeliklerinin Abrasif Aşınma Davranışları (UTAB, 2000).....	41
Şekil 3.7a Şematik Olarak Püskürtme Biriktirme Yönteminin Kademeleri (Schulz, 2002) ....	42
Şekil 3.7b Şematik Olarak PB Yöntemde Birikme Mekanizması (Kalkanlı, 2000). .....	42
Şekil 3.8 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1) Mikroyapıları (Schneider, 2002) .....	43
Şekil 3.9 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1)'ların Çentiksiz Darbe Toklukları (Schneider, 2002). D2: 1.2379 (X155CrVMo12 1), N: Yüksek Azot Seviyesi .....	43
Şekil 3.10 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1)'ların Abrasif Aşınma Direnci (Schneider, 2002) M2: 1.3343; D2: 1.2379 (X155CrVMo12 1); H13: 1.2344 (X40 CrMoV5 1); N: Yüksek Azot Seviyesi.....	44
Şekil 3.11 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1)'ların Adhesif Aşınma	



Direnci (Schneider, 2002). M2: 1.3343; D2: 1.2379 (X155CrVMo12 1); H13: 1.2344 (X40 CrMoV5 1); N: Yüksek Azot Seviyesi.....	44
Şekil 3.12a Malzeme No 1.2344 Sıcak İş takım Çeliğinin Sürekli ZSD Diyagramı Üzerinde Soğutma Ortamları ve Karşılık Geldiği Soğuma Hızları (Bennani, 1992).....	48
Şekil 3.12b 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un Sürekli ZSD Diyagramı (Thyssen, 1996) .....	48
Şekil 3.13 Kalıplarda Kullanılan Yüzey İşlemlerinin Sertlik-Derinlik İlişkisi (Spies, 1999)..	49
Şekil 3.14 Farklı CVD ve PVD Kaplamalarda Ortaya Çıkan Çelik Karşısında Sürtünme Katsayısı (Escher, 2002) .....	51
Şekil 3.15 CVD, PVD Kaplamalarda Kaplama Türlerinin Arttırdığı Özellikler (Escher, 2002)	51
Şekil 3.16 Denemeye Konu Olan Ürün ve Takım (Schulz, 1992) .....	52
Şekil 3.17 Farklı Kaplamalarının Takım Ömrüne Etkisi (Schulz, 1992) .....	52
Şekil 4.1. UTAB'ın Modeline Göre Üretim Miktarı ile Toplam Kalıp Maliyeti İlişkisi .....	56
Şekil 5.1. Olay I: Kırılan Şekil Verme Makarası .....	62
Şekil 5.2. Olay I: Mikroyapı Fotoğrafı 500X .....	63
Şekil 5.3. Olay I: Mikroyapı Fotoğrafı 1000X .....	64
Şekil 5.4a ve b Olay II: Kırılan Şekil Verme Makaraları .....	66
Şekil 5.5a ve b Olay II: Kırılan Şekil Verme Makaralarında Kama Kanalı Detayları .....	67
Şekil 5.6 Olay II: Işık Mikroskopunda Mikroyapı Fotoğrafı 50X .....	68
Şekil 5.7 Olay II: Işık Mikroskopunda Mikroyapı Görüntüsü 500X .....	69
Şekil 5.8 Olay II: SEM'de Mikroyapı Görüntüsü 750X .....	69
Şekil 5.9 Olay II: SEM'de Mikroyapı Görüntüsü 1200X .....	70
Şekil 5.10 Olay II: Birincil Karbürlerin EDX Analizi.....	71
Şekil 5.11 Olay II: Tane Sınırı Fazlarının EDX Analizi .....	71
Şekil 5.12 Olay II: Matriksin EDX Analizi.....	72
Şekil 5.13 Olay III: Kesme Kalıbı (a) ve Zimba (b).....	73
Şekil 5.14 Zimba Ağzındaki Çatlak, (Ok Taşlama Yönünü Göstermektedir) .....	74
Şekil 5.15 Olay III: Zimba Merkezinin Işık Mikroskobu ile Mikroyapı Fotoğrafı 1000X.....	75
Şekil 5.16 Olay III: Zimba Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, SEM, 950X .....	75
Şekil 5.17 Olay III: Zimba Yüzeyinin Işık Mikroskopunda Mikroyapı Fotoğrafı, 100X.....	76
Şekil 5.18 Olay IV: Kesme Kalıbı, Ok Hasarlı Zımbayı Göstermektedir .....	78
Şekil 5.19 Olay IV: Kırılmış Matrisler, Oklar Kesme Yüzeylerini Göstermektedir.....	78
Şekil 5.20 Olay IV: Matrislerde Çatlaklar .....	79
Şekil 5.21 Olay VI: Matris Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 500X.....	80
Şekil 5.22 Olay IV: Matris A'da Çatlak Başlangıcı Işık Mikroskobu, 50X.....	81
Şekil 5.23 Olay IV: Matris B'de Delik içindeki Dişlerin Görüntüsü Işık Mikroskobu, 50X... 81	
Şekil 5.24 Olay IV: Matris B'de Diş Dibinde Korozyon, Işık Mikroskobu, 200X.....	82
Şekil 5.25 Olay V: Somun Üretiminde Kullanılan Kesme Kalıbı.....	84
Şekil 5.26 Olay V: Çatlayan Kesme Kalıbı, (Çatlak Çizilerek Belirginleştirilmiştir) a: Ön Yüz; b: Arka Yüz'den Detay .....	84
Şekil 5.27 Olay V: Kalıp Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 1000X.....	86
Şekil 5.28 Olay V: Kalıp Yüzeyinde Erozyon Hasarı, Işık Mikroskobu, 1000X.....	86
Şekil 5.29 Olay VI: Çatlayan Kalıp Bloğu .....	89
Şekil 5.30 Olay VI: Kalıp Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 100X .....	91
Şekil 5.31 Olay V: Kalıbın Taşlanmış Yüzeyinde Mikro Sertlik Taraması.....	92
Şekil 5.32 Olay VII: Çatlayan Kesme Kalıbı, a: Arka Yüzü, b: Ön Yüzü .....	94
Şekil 5.33 Olay VII: Kırılma Yüzeyi .....	94
Şekil 5.34 Olay VII: Kalıp Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 500X.....	96
Şekil 5.35 Olay VII: Kalıp Tasarımı için Öneriler .....	97
Şekil 5.36 Olay VIII: Çatlayan Kesme Kalıbı .....	98
Şekil 5.37 Olay VIII: Hadde Yönünde Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 50X.....	99
Şekil 5.38 Olay VII: Hadde Yönünde Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 50X.....	100



Şekil 5.39 Olay VII: Kalıp Çeliğinin Çelik Kütükten Çıkarılış Biçimi, Ok: Hadde Yönü ....	101
Şekil 5.40 Kalıplarda Çalışma Yönlerine Göre Tercih Edilmesi Gereken Hadde Yönü .....	102
Şekil 5.41 Olay IX: Ölçü Değişimi Görünen Kesme Kalıbı .....	103
Şekil 5.42 Olay IX: Numune Merkezinden Mikroyapı Fotografi, Işık Mikroskobu 200X....	104
Şekil 5.43 Olay IV: Tel Erozyon Kesim Yüzeyi, Işık Mikroskobu 50X .....	105
Şekil 5.44 Olay IV: Tel Erozyon Kesim Yüzeyi, Işık Mikroskobu 500X .....	105
Şekil 5.45 Olay IX: Tel Erozyon Kesim Yüzeyinde Mikro Sertlik Taraması Hv <sub>0.1</sub> .....	106
Şekil 5.46a Olay X: Kırılan Ezme Kalıbı .....	108
Şekil 5.46b ve c Olay X: Kalıp Yüzeyinde Çatlaklar ve Deformasyon, Stereo Mikroskop ..	109
Şekil 5.47 Olay X: Numune Merkezinden Mikroyapı Fotografi, Işık Mikroskobu 200X .....	110
Şekil 5.48a Olay XI: Hasarlı Kesme Kalıbı .....	112
Şekil 5.48b Olay XI: Kırılan Kesme Kalıbı Detayı .....	113
Şekil 5.49 Olay XI: Numune Merkezinden Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 50X.....	114
Şekil 5.50 Olay XI: Numune Merkezinden Enine Kesit, Işık Mikroskobu 500X.....	114
Şekil 5.51 Olay XI: Numune Yüzeyinde Korozyon, Işık Mikroskobu 50X .....	115
Şekil 5.52 Olay XI: Numune Merkezinden Enine Kesit, Işık Mikroskobu 50X.....	115
Şekil 5.53 Olay XII: Çatlayan Hadde Rölesi.....	117
Şekil 5.54 Olay XII: Çatlak Detayı .....	117
Şekil 5.55a Olay XII: Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 50X .....	118
Şekil 5.55b Olay XII: Enine Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 50X.....	119
Şekil 5.56 Olay XIII: Ütülemenin yapıldığı Bölge ve Ürün .....	121
Şekil 5.57 Olay XIII: Atma Oluşan Kesme Kalıbı .....	121
Şekil 5.58 Olay XII: Atma Detayı .....	122
Şekil 5.59 Olay XII: Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 100X .....	123
Şekil 5.60 Olay XIVa: 1.2436 Sertleştirilmiş Bloкта Çatlama.....	125
Şekil 5.61 Olay XIVb: 1.2379 (X155CrVMo12 1) Sertleştirilmiş Bloкта Çatlak .....	125
Şekil 5.62 Olay XIVc: 1.2080 (X210 Cr12) Sertleştirilmiş Bloкта Çatlama .....	128
Şekil 5.63 Olay XV: Atma Oluşan Zimba ve Ürün.....	129
Şekil 5.64 Olay XV: Zımbanın Kesildiği Sertleştirilmiş Kütük.....	129
Şekil 5.65 Olay XV: Atma Detayı.....	130
Şekil 5.66 Olay XVI: Kalıplarda Sarma Görülen Yüzeyler .....	132
Şekil 5.67 Olay XVI: Kalıplarda Sarma Görülen Yüzeyler .....	133
Şekil 6.1 Deneye Konu Olan Uygulama .....	135
Şekil 6.2 Deneye Konu Olan Uçar Makasın Teknik Resmi .....	137
Şekil 6.3 Deneye Konu Olan Ürün .....	140
Şekil 6.4 Deneye Konu Olan Derin Çekme Uygulaması .....	140
Şekil 6.5 Deneye Konu Olan Bijon Delik Zımbaları (a) ve Zımbada Hasar (b) .....	142
Şekil 6.6 Deneye Konu Olan Delik Zımbaları .....	145
Şekil 6.7 Deneye Konu Olan Zimba ve Ürün.....	148
Şekil 6.8a Deneye Konu Olan Zimba ve Ürün.....	151
Şekil 6.8b Deneye Konu Olan Hasar ve Zımbalar .....	151
Şekil 6.9 Deneye Konu Olan Kalıp, Zimba ve Ürün.....	153
Şekil 6.10 Deneye Konu Ürün.....	156
Şekil 6.11 Deneye Konu Maça ve Ürün .....	159
Şekil 6.12 Deneye Konu Olan Yer Karosu Presleme Kalıbı ve Yan Bıçakları.....	162
Şekil 6.13 Deneye Konu Olan Bıçak (a) ve Bıçak Ağzında Atma (b) .....	165
Şekil 6.14 Deneye Konu Olan Zımbalar .....	168
Şekil 6.15 Zımbalarda Sıvanma .....	168
Şekil 6.16 Deneye Konu Olan Ürün, Takım (a )ve Hasar (b) .....	171
Şekil 6.17 Deneye Konu Ürün (a) ve Zımbalar (b) .....	174
Şekil 6.18 Deneye Konu Ürün (a) ve Takım (b) .....	176

Şekil 6.19 Deneye Konu Olan Türk Kafaları .....	178
Şekil 7.1 Çizelge 7.1’de Performans Kıyaslaması Yapılan Kalıp .....	180
Şekil 7.2 Çizelge 7.1’deki Denemede Üretim Adedine Bağlı Olarak Toplam Kalıp Maliyetlerinin Kıyaslanması .....	182
Şekil 7.3 Çizelge 7.2 ve 7.3’de Performans Kıyaslaması Yapılan Laminasyon Kalıbı .....	182
Şekil 7.4 Çizelge 7.2’deki Denemede Üretim Adedine Bağlı Olarak Toplam Kalıp Maliyetlerinin Kıyaslanması .....	184
Şekil 7.5 Çizelge 7.3’deki Denemede Üretim Adedine Bağlı Olarak Toplam Kalıp Maliyetlerinin Kıyaslanması .....	184



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Takım Çeliklerinin Kronolojisi (Roberts, Cary, 1980) ve (Chandrasekaran, 1999)	7
Çizelge 2.1 Takım Çeliklerinin Kronolojisi (Devam).....	8
Çizelge 2.2 Takım Çeliklerinde Hasar Mekanizmaları-Malzeme Özellikleri (Ebner, 1999)...	10
Çizelge 2.3 60 HRC'ye Sertleştirilmiş Malzeme No 1.2379 (X155CrVMo12 1) Soğuk İş Takım Çeliğinin Farklı Dövme Teknikleri ile Çentikli Darbe Toklukları (Broeckmann, 1999) .....	21
Çizelge 2.4 Türkiye'de Çok Kullanılan Soğuk İş Kalıp Çelikleri ve Uluslararası Karşılıkları, (Hatman, 2000), (Böhler, 2000), (Thyssen, 1996) (Crucible, 2003) .....	30
Çizelge 3.1. Malzeme No 1.2344 Sıcak İş takım Çeliğinde Farklı Soğutma Hızlarının U- Çentikli Darbe Tokluğuna Etkisi, (Bennani, 1992) .....	47
Çizelge 4.1 Kalıp İmalat Maliyeti'nde Başa Baş Durum; (Sandberg ve Roberts, 1987).....	54
Çizelge 4.2 Performans Hesaplaması için Model Önerisi, (Makovec vd., 1992) .....	55
Çizelge 4.3 Performans Hesaplaması için Kullanılan Model.....	57
Çizelge 5.1 Hasarlı Kalıplarda UTAB Tarafından Saptanan Hasar Nedenleri (Ridefors, 2003)	60
Çizelge 5.2 Hasarlı Kalıplarda Assab Korkmaz Tarafından Saptanan Hasar Nedenleri.....	61
Çizelge 5.3 Isıl İşlem Hatalarının Sınıflanması (Kayalı, 2002) .....	61
Çizelge 5.4 Olay I: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	63
Çizelge 5.5 Olay II: Numunenin Kimyasal Bileşimi.....	68
Çizelge 5.6 Olay III: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	74
Çizelge 5.7 Olay III: Numunede Mikro-Sertlik Taraması.....	76
Çizelge 5.8 Olay IV: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	80
Çizelge 5.9 Olay V: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	85
Çizelge 5.10 Olay VI: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	90
Çizelge 5.11 Olay VII: Numunenin Kimyasal Bileşimi.....	95
Çizelge 5.12 Olay VIII: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	99
Çizelge 5.13 Olay IX: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	104
Çizelge 5.14 Olay X: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	109
Çizelge 5.15 Olay XI: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	113
Çizelge 5.16 Olay XII: Numunenin Kimyasal Bileşimi.....	118
Çizelge 5.17 Olay XIII: Numunenin Kimyasal Bileşimi .....	122
Çizelge 5.18 Olay XIV: Numunelerin Kimyasal Bileşimi .....	126
Çizelge 6.1 Deneme I'de Elde Edilen Sonuçlar .....	136
Çizelge 6.2 Deneme II'de Elde Edilen Sonuçlar .....	138
Çizelge 6.3 Deneme III'de Elde Edilen Sonuçlar.....	141
Çizelge 6.4 Deneme IV'de Elde Edilen Sonuçlar .....	143
Çizelge 6.5 Deneme V'de Elde Edilen Sonuçlar.....	146
Çizelge 6.6 Deneme VI'da Elde Edilen Sonuçlar .....	149
Çizelge 6.7 Deneme VII'de Elde Edilen Sonuçlar .....	152
Çizelge 6.8 Deneme VIII'de Elde Edilen Sonuçlar.....	154
Çizelge 6.9 Deneme IX'da Elde Edilen Sonuçlar .....	157
Çizelge 6.10 Deneme X'da Elde Edilen Sonuçlar.....	160
Çizelge 6.11 Deneme XI'da Elde Edilen Sonuçlar .....	163
Çizelge 6.12 Deneme XII'de Elde Edilen Sonuçlar .....	166
Çizelge 6.13 Deneme XIII'de Elde Edilen Sonuçlar.....	170
Çizelge 6.14 Deneme XIV'de Elde Edilen Sonuçlar .....	172
Çizelge 6.15 Deneme XV'de Elde Edilen Sonuçlar.....	175
Çizelge 6.16 Deneme XVI'da Elde Edilen Sonuçlar .....	177
Çizelge 6.17 Deneme XVII'de Elde Edilen Sonuçlar .....	179
Çizelge 7.1 1 mm Saç Kesme Kalıbında Performans Analizi.....	181

Çizelge 7.2 0.60 mm Laminasyon Kesme Kalıbında Performans Analizi.....	183
Çizelge 7.3 0.60 mm Laminasyon Kesme Kalıbında Performans Analizi.....	186



## ÖNSÖZ

1980'lerin başında, o zamana kadar pazar ekonomilerde egemen olan ithal ikameci model, tüm dünyada yerini ulusal ekonomilerin dünya pazarı ile daha fazla entegrasyonuna dayalı ihracat yönelimli bir başka modele bırakıyordu. Örneğin 1990 ilâ 2000 yılları arasında dünya ticaret hacmi tam sekiz kat arttı.

Bu yönelime bağlı olarak Türkiye ve benzeri ulusal ekonomiler dış pazarda ihracat olanakları yakalayabilmek için birbirleriyle kıyasıya bir rekabete giriştiler. Bu rekabetin öne çıkan yansıması ücretlerin düşürülmesi ve emek piyasalarının esnekleştirilmesi olduysa da; bu rekabet teknoloji, verimlilik ve kalite kavramları etrafında başta otomotiv olmak üzere metal eşya sanayi ve makine imalat sanayi gibi pek çok geleneksel sektörde, bir dizi arayışa da yol açtı. Bu arayışlar bir dizi teknolojik yeniliği üretim süreçlerine taşıdı yada en azından tanıttı.

Öte yandan, ulusal pazar için yapılan üretimle karşılaştırıldığında ihracata dayalı üretimin göze çarpan farklılıklarından bir diğeri de, yüksek üretim adetleridir. Bunun iki temel nedeni bulunmaktadır: Bunlardan birincisi kuşkusuz uluslararası pazardaki talebin yüksekliğidir; ikincisi ise, bu pazara girebilmek için ihtiyaç duyulan üretkenliğin ancak yüksek üretim adetleri ile sağlanabilmesidir. Özetlersek, yeni üretim tekniklerinin hedefi parça başına düşen üretim maliyetlerin en aşağıya çekilmesidir.

Bunu sağlamak için; bir, üretim birimlerinin üretim hızları arttırılmalı ve iki, üretim dışı süreler en aza indirilmelidir. Bu yüzden, ihracata dönük üretimin asli hedef olmadığı dönemlerde önemsenmeyen her türlü duruşlar artık mühendisin birincil önemle üzerine eğilmesi gereken sorunlar haline gelmiştir.

Böylelikle, üretim süreci içinde özel bir yere ve öneme sahip olan kalıplar ve tüm şekillendirme takımları, Türkiye gibi ekonomiler için geçmişte olduğundan çok daha önemli bir hale gelmiştir. Sipariş adetleri ile kıyaslandığında düşük ömürlü kalıplar, dar terminler karşısında sık sık duruşlara bu nedenle de zaman ve kapasite kayıplarına yol açan kalıplar günümüzde artık büyük birer sorundur. 2000'lerin ilk yıllarına, bunalım ve kriz kavramlarının damga vurduğu ve ülkenin borç batağında debelendiği bir dönemde, bu sorunlar daha da yakıcı bir hal almaktadır.

Kalıp imalatında ve kullanımında mevcut anlayışın eksiklikleri ile kalıp performansını arttırabilmenin yollarını incelemeye çalıştığımız bu doktora çalışmasında asıl merakımız ise Türkiye'nin sahip olduğu bu bağlamdaki birikimin aslında ne denli derin ve üzerinde emek harcanırsa Türkiye'ye katkı yapabileceğini bir anlamda göstermeye çalışmaktır. Çünkü teknolojinin hammaddesi aslen bilimsel bilgidir. Bilimsel bilgi ise endüstride sınanmadıkça, üretime tahvil olmadıkça hâlâ hamdır. Burada bilgiyi hem üretmeye hem de sınamaya; yani bir anlamda olgunlaştırmaya ağırlık verdik.

Bu vesileyle belirtmek istediğim bir hususa daha değinmeden geçemeyeceğim. Genç bir mühendis ve bir bilim insanı adayı iken, bu alanda attığım her adımda irkilmeme yol açan bir şiâr vardı: "Bilim evrenseldir." Yani mal edinilemez ancak temellük edilebilirdi. Bugün aynı yolda bir adım daha atmaya çalışırken, buna bir ek yapma ihtiyacı duyuyorum: "Yerele katkısı olmayanın evrenselde de olamaz." Açıkçası bu ülkede üretilenin bilim olarak tescillenebilmesinin önkoşulu bu ülkeye bir katkısının olmasıdır, diyorum. Yaptığımız çalışmanın da bu ülkeye bir katkısı olmasını açıkça umuyorum.

Öte yandan; takım çelikleri ve kalıplar söz konusu olunca, "katkı" yapmanın, oldukça zor bir uğraş olduğunu belirtmek gerekiyor ve bu konuda Türkiye'ye ve mutlu bir tesadüf eseri aynı zamanda da kişisel olarak bana katkıda bulunanları muhakkak ki takdirle ve teşekkürle anmak gerekiyor. Onların bu çalışmadaki payları belki de benden daha fazladır.



Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'ndeki ağır Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemler dersleri ile bana malzeme bilimini sevdiren, öğreten yıllarca asistanlığını yaptığım sevgili hocam Prof. Mehmet Ali Topbaş'a saygılarımı sunuyorum. Sanayiden, aynı manaya gelmek üzere üretimden uzak bir akademinin olsa olsa bir meslek okulu yada hizmet üretim merkezi olabileceğini bana ilk o göstermiştir.

Takım çelikleri söz konusu olunca ikinci mutlu tesadüf Prof. Dr. Şadi Karagöz ile birlikte çalışma şansımın olmuş olmasıdır. Fiziksel metalurjinin en karmaşık uygulaması olan takım çeliklerini ondan aldıklarımla çözmeye çalıştım; hâlâ da çözmeye çalışıyorum. Sevgili hocama teşekkürlerimi yazıyorum.

Son dönemde Prof. Dr. Erdoğan Tekin ile teşviki mesai yapma olanağı bulduğum için de ayrıca mutluyum. Kendilerine teşekkür ederim.

YTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde yetiştim. Malzeme bilimi ile ilk tanışmam bu bölümde Prof. Dr. Nişan Sönmez sayesinde gerçekleşti. Bundan sonra "fazlar" hep önemli oldu benim için. Kendisine de teşekkür ederim. Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu ise "mikroyapı" ile girdi hayatıma. Hâlâ mikro-yapının büyüğü dünyasında dolaşıyorum. Mikroyapıyı sayesinde anlayamayan olmaktan kurtuldum; kendilerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bölümdeki tüm hocalarımla, meslektaşlarımla, bölümün tüm emekçilerinin benim üzerimde hakkı vardır. Haklarını teslim ediyorum.

Bu doktora çalışmasının ortaya çıkmasında hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Topuz'un katkıları aslidir. Kendisine sonsuz teşekkürlerimi arz ediyorum. Hatalar ve eksiklikler ise tamamen bana aittir.

Hakkını teslim etmek bahsi açılmışsa aslında öncelik muhakkak ki kişinin ailesine olmalıdır. Son yıllarda eşim Ülkü Hatman olmadan yaptıklarımın hemen hemen hiç birini yapamazdım. Hakkını teslim ediyor ve teşekkürlerimi yazıyorum. Annem, Babam ve Ağabeyim ise benim için hep ter döktüler. Onlar için ne desem az.

Son olarak, bu çalışmanın gerçekleşmesinde birinci dereceden pay ve katkı sahibi bir aile daha var. Onları tanıtmak istiyorum.

Dört yıldan fazladır bir Uddeholm Tooling AB ve ASSAB ortaklığı olan Assab Korkmaz Çelik A.Ş.'de çalışıyorum. Kuşkusuz kalıp çelikleri ve ısıl işlemleri üzerine faaliyet gösteren uluslararası bir firmada çalışıyor olmam, bu tezin ortaya çıkmasında birincil derecede etkili olmuştur. Kişisel gelişmenin her zaman önünü açan bir anlayışla firmayı yöneten Sayın Levent Ganiyusufoğlu ile Assab Korkmaz'ı teknik bilgiyi paylaşma ekseninde kuran Sayın Mehmet Ganiyusufoğlu'na çok teşekkür ediyor ve saygılarımı sunuyorum. Sayın Önder Yücel'in, gerek kalıp çelikleri gerekse de ısıl işlem konusunda çok değerli katkılarını bu çalışmada bolca kullandığımı belirtmek istiyorum. Kendilerine sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Assab Korkmaz'dan Nur Erdoğan, Mehmet Hakan Demirkaya, Mustafa Ocak ve Sakine Başeğmez ile Uddeholm Tooling AB'den başta Dan Ridefors olmak üzere, Teknik Hizmetlerdeki tüm çalışma arkadaşlarıma katkı ve destekleri için ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

Soğukta talaşsız şekillendirme için kullanılan kalıplar ve bu kalıpların performansı, başta otomotiv (Taşıt Araçları Sektör) olmak üzere, Metal Ana Sanayi ve Makine İmalat Sanayiinin ve genel olarak da İmalat Sanayiinin verimliliği üzerinde belirleyici etkiye sahiptir.

Bir kalıpta üretilen birim ürün başına kalıp maliyeti olarak ifade edilen kalıp performansının artırılmasının yollarını araştıran bu çalışmada, öncelikle soğukta şekillendirme kalıplarında yoğun olarak kullanılan soğuk iş takım çeliklerinin fiziksel metalurjisi incelenmiş ve bu tür kalıp çeliklerindeki gelişmeler ve kalıplara uygulanabilecek yenilikler tartışılmıştır.

Soğukta talaşsız şekillendirme kalıplarının onaltı farklı endüstriyel uygulamasında hatalı ısıl işlemler, hatalı tasarımlar, hatalı taşlama, tel erozyon, hatalı çelik seçimi, yetersiz yada aşırı sertlik, ve düşük yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanan tipik hasarlar incelenerek, bu hasarlar açıklanmaya çalışılmış ve çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır. Öte yandan benzer tipik uygulamalarda onyedinci endüstriyel ölçekli deney yapılarak farklı takım çeliği, ısıl işlemi, kaplama ve bitirme işlemlerinin kalıp ömürlerine olan etkileri saptanmıştır. Ayrıca geliştirilen model üzerinden bazı uygulamalar için kalıp performansları hesaplanmıştır.

Toz metalurjik ve püskürtme biriktirme gibi yeni teknolojilerle üretilmiş yeni nesil takım çeliklerinin; Ark-PVD esaslı ince film kaplama tekniklerinin kalıp ömür ve performanslarını yükseltmede yararlı oldukları saptanmıştır. Ancak, bu tekniklerin etkin olarak uygulanabilmesi için tasarım, ısıl işlem ve bitirme işlemlerinin sağlıklı bir biçimde yerine getirilmesinin zorunlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Kalıp, Takım Çeliği, Soğuk İş Takım Çeliği, Toplam Kalıp Maliyeti, Kalıp Performansı, Isıl İşlem, Yüzey İşlemleri ve Kaplama.



## **ABSTRACT**

Punch and dies and their performances have a dominant effect on the productivity of manufacture such as metal industries and machinery, and especially on automotive industry.

In this study, ways of increasing punch and dies's performance that are stated as punch and dies's cost per unit product, are investigated. First, physical metallurgy of cold work tool steels used extensively in punch and dies is examined and developments of tool steels and innovations that can be and are applied to them are discussed.

Typical failures that arise from wrong heat treatment, designing, grinding, wire EDM, steel selection, inadequate or excessive hardness and low surface roughness in sixteen different industrial applications of punch and dies are examined. These failures are then explained and solutions are tried to be developed. On the other hand, seventeen industrial experiments were conducted on similar typical applications, and effects of different tool steels, heat treatments, surface treatments and finishing operations on the lives of punch and dies were found. Moreover, punch and dies performances for certain applications were calculated using the developed model.

It is found out that new generation tool steels that are produced with new technologies such as powder metallurgy and spray forming, and Arc-PVD based thin film coating techniques are useful in increasing punch and dies's lives and performances. However, in order to apply these techniques efficiently, it is necessary to have appropriate design, heat treatment and finishing processes.

**Keywords:** Die and Punches, Tool Steels, Cold Work Tool Steels, Total Tool Cost, Die and Punch Performance, Heat Treatment, Surface Treatment and Coating

## 1. GİRİŞ

Başta kalıplar olmak üzere tüm şekillendirme takımları, imalat sanayiinin *verimliliği* üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu belirleyici etki özellikle *ihracat yönelimli* bir sanayi yapısına geçiş sancuları yaşayan Türkiye ve Türkiye benzeri ülke sanayileri için özellikle önem arz etmektedir.

İhracat için üretim yapan sanayiiler söz konusu olduğunda yerel kalıpcılık endüstrisinin gelişkinliğinin, kullandığı ve uyguladığı teknolojinin niteliğinin imalat sanayiinin geneli üzerindeki etkisinin farkında olan ülkelerin, kalıpcılık endüstrisinin gelişimine özel bir önem attikleri görülmektedir. Örneğin, 1990 yılında Şangay'da gerçekleştirilen Kalıp Teknolojisi Uluslararası Konferansı'nın Xueyu (1990) tarafından sunulan açılış tebliği Çin Halk Cumhuriyeti'nin konuya verdiği önemi yansıtmaktadır.\*

Türkiye'de sanayiinin kalıp ihtiyacı üç farklı biçimde karşılanmakta olup pek çok durumda bu biçimlerin ikisi ve zaman zaman da üçünün aynı firmada devrede olduğu görülmektedir:

- 1) Kalıp kullanıcıları tarafından kalıp imalatı (içerde üretim)
- 2) Kalıp kullanıcılarına alt-yükleniciler tarafından kalıbın imalatı (dışarıda üretim)

Kalıbın bütün olarak imalatı

Kalıp elemanlarının imalatı

- 3) Kalıp ithalatı

Bunların dışında nadiren kalıp ihracatının da yapıldığına rastlanmaktadır. Kalıp ithalatı ve ihracatının önündeki en büyük zorluk deneme baskısı sonrası ihtiyaç duyulan çeşitli değişikliklerin ve ilerleyen aşamalarda kalıp bakım ve tamirlerinin kalıp imalatçısı tarafından gerçekleştirilmesinin önündeki coğrafi ve gümrükleme ile ilgili yasal engellerdir. İthal edilen kalıpların genellikle büyük ve karmaşık tasarımlı plastik enjeksiyon ve metal enjeksiyon kalıpları olduğu görülmektedir. Ayrıca nadiren de olsa hassas kesme ve laminasyon kalıpları gibi kesme kalıplarının da ithal edildiğine rastlanmaktadır.

---

\* Türkiye'de kalıpcılığa ilişkin politikalarının oluşturulmaya çalışıldığı söylemek pek mümkün olmadığı gibi Gazi Üniversitesi bünyesindeki Kalıpcılık Meslek Yüksek Okulu dışında kalıpcılık eğitimi veren bir kurum da mevcut değildir. Ayrıca konuya ilişkin hem bilimsel çalışmaların hem de bunların ticari yansımalarının son birkaç yıl içinde arttığına tanık olmaktayız. Kalıpcılık sektöründe Kalıp Dünyası ve Kalıp Teknolojileri isimli iki ticari derginin yayın hayatına girmesi, alanda bir canlanma sağlamış olmakla birlikte, bu dergilerin akademik ve magazinsel uçlarda salınan bir yayın politikasına sahip olma durumunda kalmaları hem sektörde bilginin teknolojik hale gelememesinin bir kanıtıdır hem de bunun bir sonucu. Diğer taraftan kalıpcılık konusunda biri Prof. Dr. Erdoğan Tekin tarafından editörlüğü üstlenilen ve birbirini tamamlayan iki akademik toplantının son yıllarda peş peşe düzenlenmiş olması umut vericidir.

İmalat sanayiinde kalıpların önemi, üretim hızını ve hemen hemen aynı anlama gelmek üzere *üretkenliği* belirleyen dar boğazların, genel olarak şekillendirme takımlarının, özel olarak ise kalıpların yer aldığı aşamalarda doğmasından kaynaklanmaktadır. Bu dar boğazların kalıplarla ilişkili nedenleri özetlenecek olur ise:

- 1) Kalıpların bir uzvu olarak çalıştığı pres vb. üretim sistemlerindeki ileri otomasyon teknikleri ile bunlara bağlı olarak hızla yenilenen konstrüksiyonların kullanılmasıyla ulaşılan üretim hızlarına, ürün çeşidine bağlı olarak imalatı gerçekleştirilen kalıpların ayak uyduramaması;
- 2) Yukarda anılan üretim sistemlerinin hızına, mevcut teknolojiler kullanılarak üretilmiş yada yeni teknolojilerin kısmi kullanımıyla üretilmiş kalıplarla, uyum sağlanmaya çalışıldığında, kalıp ömürlerindeki beklenmedik düşüşler sonucunda, çok sayıda kalıp imalinin zorunlu hale gelmesi ile ürün başına düşen kalıp maliyetlerinin artışı;
- 3) Aynı miktarda üretim için çok sayıda kalıbın kullanılması ile ortaya çıkan kalıp değiştirme maliyetlerine ek olarak, sökme-takma zamanlarının büyük üretim kayıplarına yol açması;
- 4) İmalat hızındaki artışlara kalıpların adapte edilmeye çalışılmasıyla, kalıpların çok daha fazla bakım-onarım ihtiyacının ortaya çıkması ve bu bakım-onarımlar yüzünden yine üretimin sıklıkla durdurulmak zorunda kalınmasıyla ortaya çıkan üretim kayıpları.
- 5) Ürün kalitesindeki düşüşe paralel fire miktarının artması ve böylece oluşan fire maliyetlerine ek olarak kapasite kayıpları.

Öte yandan, Tam Zamanda Üretim ve Esnek Uzmanlaşma\* gibi organizasyon tekniklerinin üretim ile uyumlu bir biçimde çalışabilmesi ve hedeflediği verimlilik artışına yol açan sonuçlar verebilmesi de bu dar boğazların aşılması yada yumuşatılması ile mümkündür.

Özetlersek; yüksek teknolojiye haiz (ve genellikle ithalata dayalı temin edilen) üretim hattında ihracat için üretilmesi hedeflenen farklı farklı ürünler için ihtiyaç duyulan farklı farklı (yerli imalata dayalı) kalıplarda kullanılan teknolojinin, bu üretim hatları için yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu yetersizlik, hattın tümünde üretkenliği düşürdüğü için bu çok pahalı yatırımların verimsiz çalışmasına yada yatırım hedeflerine uygun çalışmamasına yol açmaktadır. Kalıp imalatına dair aşağıda özetlenmeye çalışılan kimi özgünlükler de, kalıpların imalat sanayii içinde daha da kritik bir konuma taşımaktadır. Bu özellikler, aynı zamanda yukarıda sıralanan sorunların çözülmesinin önemi de arttırmaktadır.

Amerikalı bir kalıp üreticisi olan Ethyl Tooling Group'dan David W. Lundy'nin kavramlarıyla ifade edecek olursak; Toplam Kalıp Maliyeti bir buzdağı ise, Kalıp İmalat

---

\* Esnek Uzmanlaşma: Aynı üretim hattında (yada üretim hücresinde) başta kalıplar ve takımlar olmak üzere bazı teçhizatın (hızla) değiştirilmesiyle aynı üretim hattında başka başka parçaların üretilebilmesine olanak sağlayan emek süreci organizasyonu biçimi.

Maliyeti bunun ancak görünen kısmıdır (Lundy, 1987). Buzdağının suyun altında kalan kısmında ise; bakım-onarım, kaynak, yeniden-taşlama, yeniden-parlatma, temizlik, söküp-takma, üretim kayıpları, teslimat gecikmeleri vb. pek çok kalem bulunmaktadır. Eylül 2001'de Precision Toolmaker dergisinde çıkan bir haberde, Hotpoint çamaşır makinalarının üretim hattındaki kimi kalıplarda, üretim kayıplarını azaltmak üzere, BD2 takım çeliği yerine ASP 2005 toz metalurjik takım çeliği kullanılması ile %20 üretim artışı sağlandığı haberi verilmektedir.

Thyssen Edelstal'dan Beker ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya göre Kalıp İmalat Maliyetini oluşturan kalemler ve bu kalemlerin payları aşağıdaki gibidir (Beker, 1987):

- Tasarım Maliyeti: % 5-15
- Malzeme Maliyeti: %5-20
- Isıl İşlem Maliyeti: %2-5
- İşleme Maliyeti: %63-80

İşleme maliyeti esas olarak emek ve tezgah ile kesici uç maliyetinden oluşmakta olup; kalifiye emeğe ihtiyaç duyan kalıpcılıkta kalıp imalatının en büyük girdisi ve kalıp imalat maliyetindeki en büyük maliyet kalemi emek gücüdür. Bunun bir nedeni kalıp imalatının kalifiye emeğe duyduğu ihtiyaçsa bir diğer nedeni de kalıp imalatının çok uzun süre almasıdır. Yüksek hızlı işleme teknolojileri ile bile basit bir kesme kalıbının imalatı bir aydan önceye yetişmemekte; progresif bir kesme kalıbı söz konusu olduğunda bu süre iki-üç aya uzamakta ve bir metal enjeksiyon kalıbı gündeme geldiğinde ise dört-beş aydan söz edilmektedir.

Bunun anlamı, kalıp imalatının geri dönüşü olmayan bir imalat olduğudur. Kalıp imalatı sırasında yapılacak hataların genellikle telafisi mümkün değildir. Tam zamanda üretim kavramının geçerli olduğu bir üretim organizasyonunda, bunun anlamı açıktır. Bu koşullarda üretkenliğin yükseltilmesi ve üretim maliyetlerin düşürülmesi, kalıp performanslarının artırılmasına giderek daha fazla bağlı olmaktadır Kalıp performansı ise American Die Casting Institute'un Teknik Müdürü olan Anderson'a göre ise birincil derecede şu parametrelere bağlıdır:

- Takım Çeliğinin Kalitesi
- Isıl İşlem
- Kalıp Dizaynı ve İmalatı
- Üretim Koşulları (Kalıp Kullanımı)

Bu çalışmada yukarıda tanımlanan çerçeveden hareketle kalıp performansını arttırmak için kullanılabilir yöntemlerin ve alınabilecek önlemlerin neler olabileceği öncelikle tartışılmış ve bu yöntemlere ve önlemlere ilişkin olarak kalıp performanslarındaki değişimleri saptamak üzere endüstriyel ölçekte deneyler yapılmıştır.

Öncelikle, kalıp ömrünün ve kalıp performansının düşmesine sebep olan kimi tipik hatalar tespit edilmeye ve incelenmeye çalışılmıştır. Bu çok rastlanan hataların nedenleri hasar analizi de kullanılarak tanımlanmaya çalışılmış ve bu hataların önlenmesine ilişkin öneriler geliştirilmeye çalışılmıştır. Öte yandan; mevcut kalıp performanslarını arttırmak için kullanılabilir gelişmeler ile yeni yöntemler ve yeni teknolojiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Başta otomotiv ile beyaz eşya üretiminde yaygın kullanımı söz konusu olduğu için Türkiye için özel bir öneme sahip soğuk iş uygulamalarında, endüstriyel ölçekte bu yöntemler denenerek kalıp ömürlerindeki değişiklikler gözlenmiştir. Ayrıca toplam kalıp maliyeti esas alınarak bu uygulamaların kalıp performansına olan etkileri hesap edilmeye çalışılmıştır.

Aşağıda; kalıp imalat aşamalarına denk gelecek bir biçimde, kalıp performansı üzerinde etkili olabilecek gelişen teknolojiler ve yeni uygulamalar özetlenmeye çalışılmıştır:

- 1) Tasarım: Bilgisayar Destekli Tasarım,
- 2) Çelik Seçimi: Kalıp Çeliklerinde Gelişmeler,
  - Tamamen yeni, özgün kimyasal bileşime haiz takım çeliklerinin gelişmesi,
  - Eski çeliklerin azot gibi elementler ile modifikasyonu sonucu üretilen yeni çelikler
  - Ca-enjeksiyonu, Vakum Gaz Giderme, Vakum Ark Yeniden-Ergitme (VAR), Basınçlı ESR (PESR) gibi pota metalurjisi ve ikincil metalurjik işlemler ile
    - Eski çeliklerin modifiye edilerek üretilmesi
    - Bu teknolojilere uyumlu yeni çeliklerin geliştirilmesi
  - Termo-mekanik işlemler ile
    - Eski çeliklerin modifiye edilerek üretilmesi
    - Bu teknolojilere uyumlu yeni çeliklerin geliştirilmesi
  - Toz metalurjisi ve Püskürtme-Biriktirme gibi yeni üretim teknolojileri kullanılarak
    - Eski kimyasal bileşime haiz çeliklerin üretimi
    - Tamamen yeni, özgün kimyasal bileşime sahip çeliklerin geliştirilmesi
- 3) İşleme: İşleme Teknolojilerinde Gelişmeler
  - Hızlı İşleme Teknolojileri, Erozyon Teknolojileri vb

#### 4) Isıl İşlem: Tam Sertleştirmede Gelişmeler

- Vakum Teknolojileri

#### 5) Yüzey İşlemleri: Yüzey Teknolojilerinde Gelişmeler

- İnce Seramik Film Kaplamalar
- Yüzey Alaşımlama

#### 6) Bitirme İşlemleri: Bitirme İşlemlerinde Gelişmeler

Yukarıdaki özetle belirtilen 2, 4 ve 5 doğrudan bu çalışmanın kapsamına girmektedir. Bu başlıklar takip eden bölümlerde detaylı olarak tanıtılmaya ve kalıp performansına etkileri endüstriyel ölçekteki deneysel çalışmalarda ortaya konmaya çalışılacaktır.

Yukarıda 1, 3, ve 6 ile ifade edilen Tasarım, İşleme ve Bitirme İşlemleri gibi doğrudan malzeme bilimine dayalı olmayan konular ise, kendi başlarına özgül birer inceleme başlığı olabilecek kadar önemli ve uzmanlık isteyen konulardır. Bu başlıklar, bu çalışmada özel olarak incelenemeyecek ancak kalıplarda sık karşılaşılan hatalar ve bu hatalara karşı alınabilecek önlemlerinin araştırılmaya çalışıldığı bölümde erozyon ve taşlama hataları gibi bu başlıklardan kaynaklanan tipik hasarlar ile karşılaşıldığında, konunun üzerinde durulmaya çalışılacaktır.

Öte yandan, özellikle kalıp çeliklerindeki, ısıl işlemlerindeki ve yüzey işlemlerindeki gelişmeler ile bunların soğuk iş kalıplarına uygulama olanaklarını tartışabilmek, bu uygulamaların kalıp performansına olan etkilerini saptayabilmek için öncelikle takım çeliklerinin fiziksel metalurjisi üzerinde durulmasında, bu alandaki son gelişmeleri özetlemekte yarar görülmüştür. Tezin ikinci bölümü bu başlığa ayrılmıştır. Üçüncü Bölüm'de ise kalıp performansını arttırabilmek için kullanılabilir yöntemler, bu alandaki gelişmeler ve hasarları engellemek için alınabilecek önlemler açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışmamızın, uygulama ve deneysel çalışmalarına girerken Dördüncü Bölüm'de "Kalıp Performansı" kavramı üzerinde durulmuş ve bu kavramı karşılamak üzere bir hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde, endüstriyel ölçekli bir örnekte bu hesaplama yöntemi uygulanarak tanıtılmıştır. Beşinci Bölüm, kalıplarda sıkça karşılaşılan tipik hatalara ayrılmış olup; bu bölümde, on beş ayrı hasar incelemesine yer verilmiştir. Hasarlı kalıplar üzerinde yapılan çalışmalarda hasara sebep olan etkenler saptanmaya çalışılmış ve alınabilecek önlemlerin öneri olarak getirilmesi denenmiştir. Altıncı Bölüm'de ise on yedi farklı kalıpta ısıl işlem, takım çeliği, kaplama vb. parametreler değiştirilerek bunların kalıp ömürleri üzerine etkileri analiz edilmeye çalışılmıştır.

Deneysel çalışmaların son adımını oluşturan Yedinci Bölümde ise, Performans Hesaplama Denemeleri gerçekleştirilerek, üç farklı kalıpta kalıpların performansları nümerik olarak hesaplanmaya çalışılmıştır.





## 2. TAKIM ÇELİKLERİ ve FİZİKSEL METALURJİSİ

Takım çeliği üzerine fiziksel metalurji yönelimli bir tartışma söz konusu olduğunda, yani mikroyapı ile takım çeliği özellikleri arasındaki ilişkilerin, bağlantıların tartışılması gündeme geldiğinde, üzerinden hareket edilmesi gereken temel metinler kuşkusuz hâlâ F. B. Pickering'in çok bilinen çalışmaları olmaktadır (Pickering, 1978).

Genellikle, fiziksel metalurjinin en karmaşık ve en gelişmiş örneği olan yüksek hız çelikleri üzerinden hâlâ büyük bir hızla devam eden çalışmalardan da görülmektedir ki, takım çeliklerinin fiziksel metalurjisinde anlaşılammış yada tartışmalı pek çok başlık bulunmaktadır. Bu çalışma; Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi modern bilimde yaklaşık yüz yıllık geçmişi ile oldukça genç bir konu olan takım çeliklerindeki fiziksel metalurjinin birikimini aktarmak ve tartışmalı başlıkları açmak gibi bir hedefe ne yazık ki kapsamı itibarı ile sahip değildir.

Çizelge 2.1 Takım Çeliklerinin Kronolojisi (Roberts, Cary, 1980) ve (Chandrasekaran, 1999)

Yıl	Gelişme
MÖ 350	Hindistan'da Wootz Çelikleri
MS 300	Şam ve Toledo Çelikleri
Orta Çağ	Semente Çelik
1740	Huntsman Tarafından İzabenin Yeniden Keşfi
1868	Mushet Çeliği (%2 C, %7 W, % 2.5 Mn)
1898	Taylor'un Denemeleri: Sıcak Sertlik için Aşırı Isıtma
1903	Modern Yüksek Hız Çeliğinin Prototipi: (% 0.7 C, % 14 W, % 4 Cr)
1904	% 0.3 V Katkısı
1906	Elektrik Fırınında İzabe
1910	İlk 18W-4Cr-1V Çeliği
1912	Sıcak Sertlik için %3-5 Co İlavesi
1923	%12 Co'lu Yüksek Hız Çeliği

Çizelge 2.1 Takım Çeliklerinin Kronolojisi (Devam)

1939	Yüksek Karbon-Yüksek Vanadyum: Süper HSS
1940-52	W'ın Mo ile İkame Edilmeye Başlanması
1953	Kükürtlü Otomat HSS
1960	70 HRC Sertliğe Ulaşabilen HSS, M40 Serisi
1970	Toz Metalurjik HSS'in Doğuşu
1973	Yüksek Si ve Ni ile Artan Sertlik: M7 serisi
1980	Kobaltsız Süper HSS; Aşınma Direnci için TiN Kaplama
1982	Al ile Modifiye HSS
1983	Yüksek Sıcak Sertlik için N ile Alaşımlanmış HSS
1985	İkinci Jenerasyon Toz Metalurjik HSS
1990	VAR İşlemi ile Temiz HSS
1994	ESR ile Kalıntı Denetimi
1996	Yeni Nesil Aşınma Dirençli Kaplamalar

Soğuk iş kalıplarında görülen tipik hasarların tanımlanması ve engellenmesi için alınabilecek önlemler ile bu kalıplarda kalıp ömürlerini, yani performansı arttırmak için kullanılabilecek yeni malzeme, teknoloji ve yöntemlerin yine tipik endüstriyel uygulamalar için sınanmasını amaçlayan bu çalışmanın hedeflerine uygun olarak, bu bölümde ele alabildiğimiz, literatürdeki kalıp uygulamalarına odaklı bazı derlemeleri kayıt altına almak ve bu çalışmanın deneysel kısmında sıkça kullanacağımız esaslara değinmeye çalışmak olabilecektir.

Ömür, performans ve hasar kavramları ile iştigal edince, yöntemimiz de doğal olarak şu silsileyi izlemiştir: Öncelikle soğuk iş uygulamalarında görülen hasar mekanizmalarının kavranması ve bu hasarları engellemek için kalıp çeliğinden beklenen özelliklerin ortaya çıkarılması; bu özellikleri sağlamak için takım çeliğinde nasıl bir mikroyapıya ihtiyaç duyulduğu; ve ek olarak da, bu özellikleri geliştirmek yada kazandırmak için ısı işleme, yüzey işlemleri, işleme, bitirme vb işlemlerin neler olabileceği. Bu başlıkları soğuk iş takım çelikleri

ve soğuk iş kalıplarında ele almadan önce, kısaca, genel olarak takım çeliklerinde karşılaşılan hasarları ve bu çeliklerden beklenen özellikleri özetleyelim.

Bilindiği gibi kalıplar çok yüksek mekanik gerilmeler altında çalışan takımlardır. Bu gerilmeler, kalıplar söz konusu olduğunda kalıbın belli (çalışan) bölgelerinde yoğunlaşır ve verdikleri hasar da eşik bir değerin üzerine çıktığında kalıp kullanılamaz hale gelir.

Ebner, Leitner, Jeglitsch ve Çalışkanoğlu'na göre bütün takım malzemelerinden; kalıplarda kırılma ve özellikle de aşırı yük binen çalışan bölgelerdeki çatlamalara karşı tokluk ile plastik deformasyon ve aşınmayı engellemek için sertlik istenir. Bu iki temel özellik, birincil özellikler olarak anılır (Ebner, 1999). İkincil özellikler ise bu birincil özelliklere bağımlı değişken durumunda olup aşağıdakilerdir:

- Kolay İşlenebilirlik
- Mikroyapıda Eşyönlü Özellikler
- Sertleştirme Sırasında Boyutsal Kararlılık
- Yüksek Meneviş Direnci
- Oda Sıcaklığında ve Yüksek Sıcaklıkta Yüksek Mukavemet ve Tokluk
- Yüksek Isıl Yorulma Direnci
- Yüksek Aşınma Direnci
- Çalışma Sırasında Boyutsal Kararlılık
- Yüksek Oksidasyon Direnci

Ebner ve arkadaşlarına göre kalıp performansını arttırmanın ilk yolu, uygulamada devrede olan baskın hasar mekanizmasına karşı uygun özelliklere sahip takım çeliğinin seçilmesidir. Çizelge 2.2'de hasar mekanizmalarına karşı yüksek tutulması öngörülen malzeme özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Takım Çeliklerinde Hasar Mekanizmaları-Malzeme Özellikleri (Ebner, 1999)

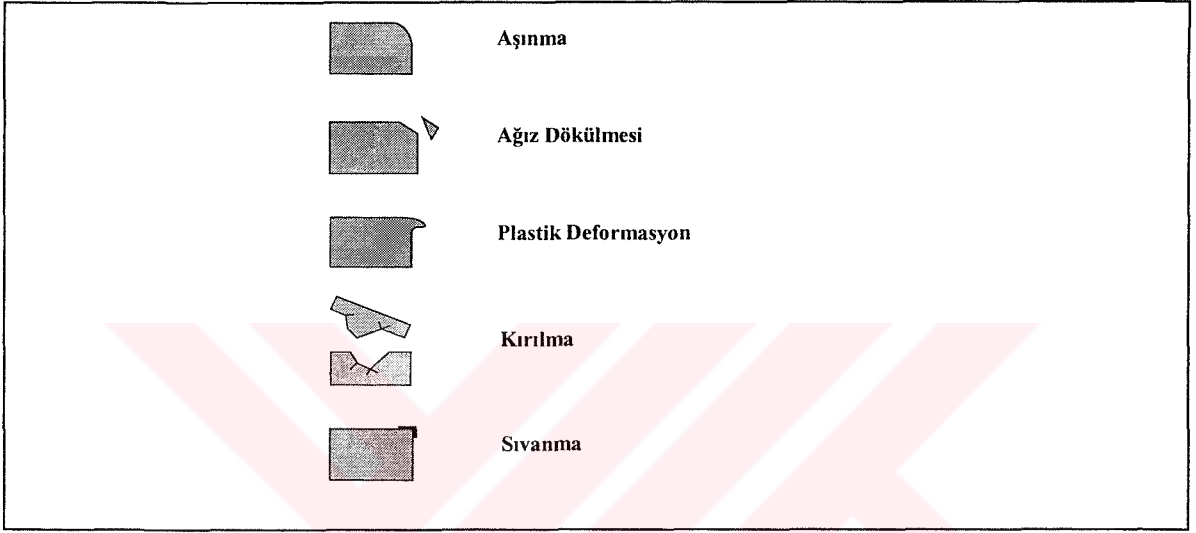
Hasar Mekanizmaları		Talep Edilen Malzeme Özelliği yada Mikroyapı
Aşırı Mekanik Yük		Yüksek Sertlik; Uygun Kırılma Tokluğu
Yüksek Sıcaklıklarda Aşırı Mekanik Yük		Yüksek Sıcak Sertlik; Mikroyapıda Isıl Kararlılık
Tekrarlanan Mekanik Yük (Yorulma)		Yüksek Sertlik; Yüksek Yorulma Dayanımı; İnce Mikroyapı; Az ve Küçük Yapısal Hatalar
Aşınma	Abrasif	Yüksek Sertlik; Mikroyapıda Eş Dağılmış, Çok Miktarda, Uygun Büyüklükte ve Çok Sert Parçacıklar Bulunması
	Adhesif	Yüksek Sertlik; Yüzeyde Oksit Tabakası; Takım Malzemesi ile İş Parçası Arasında Düşük Kimyasal İlgisi
	Atrasyon	Yüksek Sertlik; Yüksek Yorulma Dayanımı;
Yüksek Sıcaklık		Mikroyapıda Isıl Kararlılık; Yüksek Oksidasyon Direnci
Isıl Çevrim		Mikroyapıda Isıl Kararlılık; Yüksek Sıcak Sertlik; Yüksek Sürünme Dayanımı; Düşük Genleşme Katsayısı; Yüksek Oksidasyon Direnci;

## 2.1 Soğuk İş Uygulamalarında Hasar Mekanizmaları

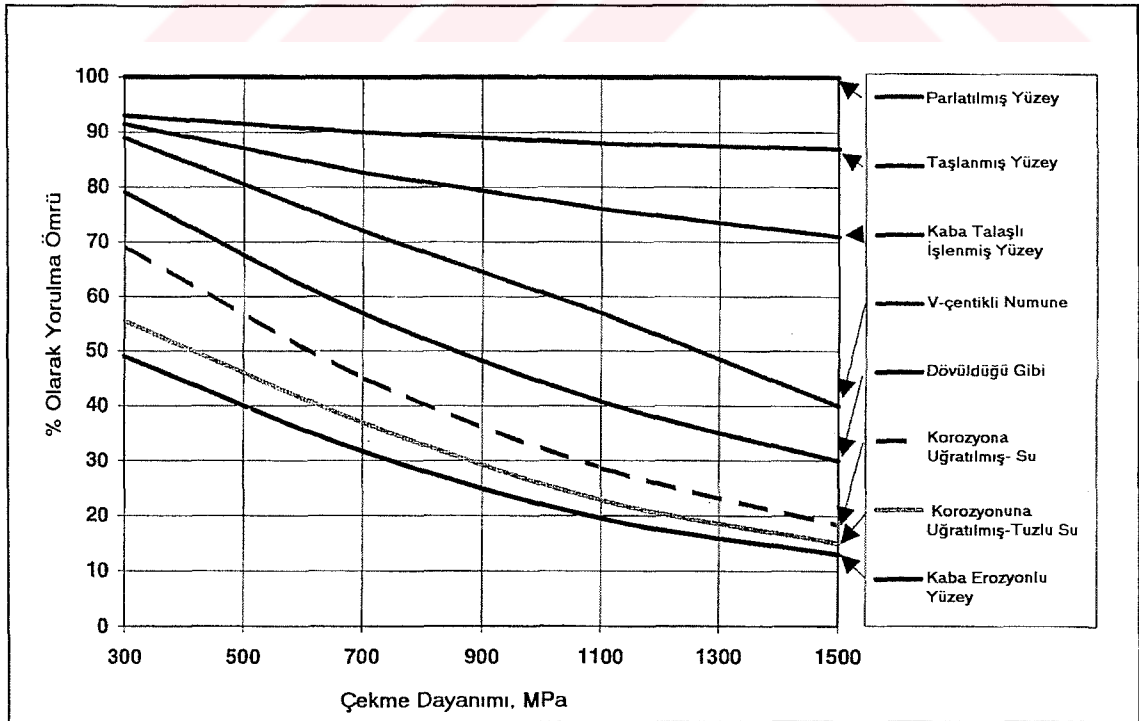
Soğuk iş kalıplarında çalışma esnasında devrede olan hasar mekanizmaları Şekil 2.1’de özetlenmiştir (Jervis, 1992). Kalıp kullanımında olduğu sürece bu mekanizmaların tümü de devrededir. Ancak bu mekanizmalardan biri diğerlerine göre daha baskındır ve kalıp ömrünü böylece de kalıp performansını belirlemektedir. Kalıp performansını arttırabilmek için önemli olan, bu belirleyici mekanizmayı devre dışı bırakacak yada etkisini azaltacak önlemlerin alınabilmesi için bu mekanizmaların anlaşılması bir zorunluluktur. Bu nedenle ilerleyen sayfalarda bu hasar mekanizmaları açıklanmaya çalışılacaktır.

Prensip olarak, kalıbın aşınarak ömrünü tamamlaması talep edilir. Başka bir deyişle aşınma dışındaki hasar mekanizmalarını elimine edici önlemler alınmalı ve aşınma da en aza indirilmelidir. Ancak bu önlemler sadece malzeme seçimine yada kalıba uygulanan ısıl işleme bağlı olmayıp kalıp tasarımı ve kalıbın imalatı esnasındaki işleme sürecine de bağlıdır; yani kalıp ömrü ve kalıp performansı üzerinde son derece belirleyicidir.

Örneğin, Şekil 2.2’de gerek işleme gerekse de kalıbın çalışma ortamına bağlı olarak, kalıbın yüzey pürüzlülüğünün (yüzey kalitesinin) potansiyel yorulma ömrünü hangi oranlarda düşürebileceği gösterilmiştir (Sandberg, 1997). Bu şekilden de görülmektedir ki, örneğin kaba erozyonlu yüzey, malzemenin yorulma dayanımı % 80 oranında kaybetmesine yol açabilmektedir. Ağız dökülmesi, abrasif aşınma, sıvanma ve kırılma için etkin bir malzeme özelliği olan yorulma dayanımının bu biçimde azalması anılan bu hasar mekanizmalarının da o oranda hızla devreye girmesine yol açabilmektedir.



Şekil 2.1 Soğuk İş Uygulamalarında Hasar Mekanizmaları (Jervis, 1992)



Şekil 2.2 Yüzey Kalitesinin Yorulma Ömrüne Etkisi (Sandberg, 1997)

### 2.1.1 Aşınma

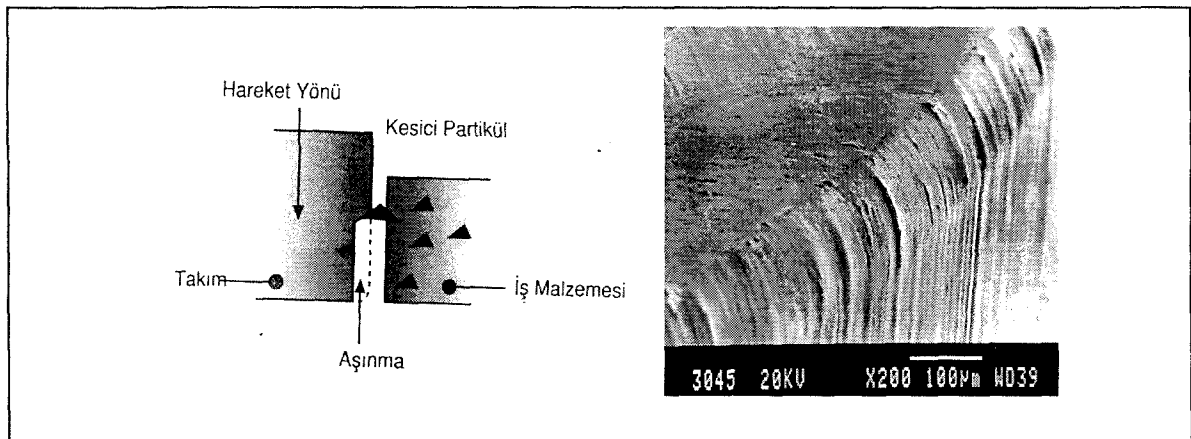
Aşınmayı ortadan kaldırmak mümkün değildir; ancak azaltılabilir. Aşınma, abrasif, adhesif ve yüzey yorulması olmak üzere üç farklı mekanizma ile ortaya çıktığından ayrıştırılmıştır:

#### 2.1.1.1 Abrasif Aşınma

Sert olanın yumuşak olanı çizmesi, biçiminde tanımlanabilecek Abrasif Aşınma; Şekil 2.3'de gösterildiği gibi kesilen/form verilen iş parçasının kendi sertliği yada içerdiği sert parçacıklar aracılığı ile, kalıp malzemesini çizmesi, kalıp malzemesinden parçacık koparmasıdır.

Abrasif aşınma tipik olarak, silisli saçlar yada Ck 70 gibi orta ve yüksek karbonlu sertleştirilmiş saçların, soğuk haddelenmiş saçların kesiminde, seramik toz presleme takımlarında ve ahşap bıçaklarında ortaya çıkar.

Abrasif aşınma dayanımını attırmak için çelik mikroyapısı, karbür, nitrür, borür gibi sert ve iri parçacıklar içermelidir; aksi takdirde, parçacıklar talaş ile birlikte yapıdan koyuca uzaklaşabilir ve etkisizleşir. Bunun anlamı çeliğin Cr, W, Mo, V vb. gibi sert ve iri karbür yapıcılarla alaşımli olması gerektiğidir. Ayrıca parçacık miktarının da yüksek olması ve eş bir dağılıma sahip olması gereklidir ki, aşınma miktarı az ve eş yönlü gerçekleşebilsin. Bunun sağlanabilmesi için de yapının dövülmüş birincil karbür ağlarının dağıtılmış olması gerektiğidir. Bu parçacıkları taşıyan matrisin sertliğinin de benzer biçimde yüksek olması gereklidir. Hem matriksde yüksek setlik elde edebilmek hem de karbür yapıcı elementler için ihtiyaç duyulan karbonu karşılamak için soğuk iş takım çelikleri yüksek oranda karbon da içerirler. (Norström ve Johansson, 1989)



Şekil 2.3 Abrasif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ), (Moster, 1997)



Ancak dövme ile ulaşılabilecek karbür eş dağılımının sınırları vardır. Mikroyapıda daha yüksek oranda karbür elde edebilmek ve bu karbürlerin dağılımını denetleyebilmek için geleneksel metalurji ile ulaşılabilecek sınırlar belli olduğu için ; daha yüksek homojen karbür dağılımı için Toz Metalurjisi (TM) zaruri hale gelmektedir.

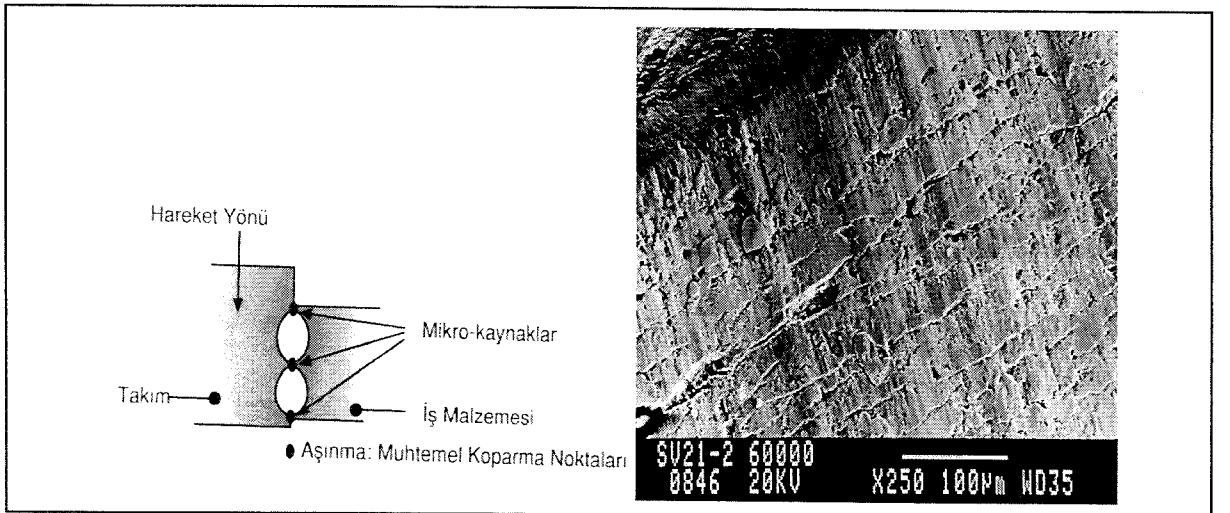
### 2.1.1.2 Adhesif Aşınma

Adhesif aşınmada yumuşak olanın sert olandan parçacık koparmasıdır söz konusu olan. Kalıp ile iş parçasının (örneğin kesilen saçın yada derin çekilen saçın) temas ara yüzeyinde son derece büyük bir basınç ve sürtünme nedeniyle de soğuk kaynaklar ortaya çıkar. Temas anındaki bu koşullar kalıp-iş parçası ara yüzeyinde Şekil 2.4'de görüldüğü gibi anlık mikro kaynaklara neden olur. Bu mikro kaynaklar, bir adım sonra, kopar gider. Sorulması gereken soru, bu kaynakların oluşup oluşmadığı ve oluşuyor ise de koparken, kalıptan da bir parçayı beraberinde koparıp koparamadığıdır. Adhesif aşınma; asıl olarak yapışma-kopma çevrimleri sırasında oluşur. Bu yüzden adhesif aşınmayı engelleyebilmek yada azaltabilmek için yapışmayı engellemek ve sünekliği yüksek malzemeler kullanılması tercih edilmelidir. Ayrıca aslen bir ara yüzey mekanizması olduğu için kalıp-iş parçası ilişkisinin engellenmesi de adhesif aşınmaya müdahale etmenin bir yöntemidir. Özetleyecek olursak adhesif aşınmayı önlemek için aşağıdaki önlemler alınabilir:

Yüksek Kalıp Sertliği ve Yüksek Yüzey Sertliği

Düşük Sürtünme Katsayısı Sağlayacak Kaplama (Örneğin ince film CrN)

Yüksek Süneklik/Yüksek Tokluk



Şekil 2.4 Adhesif Aşınmanın Oluşumu Şematik (sol) ve Kesici Kenarın SEM Görüntüsü (sağ), (Moster, 1997)



Bu tür aşınmaya tipik olarak paslanmaz çelikler, yumuşak çelikler, bakır ve alüminyum gibi yumuşak iş parçaları ile çalışılırken rastlanır. Adhesif Aşınma, özellikle derin çekme, soğuk dövme, haddeleme ve kesme sırasında ortaya çıkar.

### 2.1.1.3 Atrasyon yada Yüzey Yorulması

Özellikle soğuk iş uygulamalarında sürekli görülen tekrarlanan mekanik yükler, kalıp çeliğinin yüzeyinde yorulmaya neden olur. Çalışan yüzeylerde mikro çatlakların oluşmasına yol açan atrasyon, bu çatlakların ilerlemesi sonucu mikro boyutta ağız dökülmesi biçiminde kendini gösterir.

Atrasyonun engellenmesi yada geciktirilmesi ise, takım çeliğinin yüksek yorulma dayanımına sahip olması ve yüksek sertlik ile mümkündür.

### 2.1.1.4 Karışık Aşınma

Unutulmamalıdır ki her zaman bu aşınma mekanizmalarının hemen tümü tipi aynı uygulamada hep birlikte bulunur. Ancak birinin daha belirleyici olduğuna çok sık rastlanır. Kimi zaman ise, örneğin sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin kesilmesinde, aşınmayı engellemek için hem abrasif hem de adhesif aşınma için önlem alınmalıdır.

### 2.1.2 Plastik Deformasyon (Çökme)

Kullanım sırasında Çökme, Ağız Dönmesi olarak da anılan Plastik Deformasyon aslında, kullanılan kalıp malzemesinin bu uygulamada yeterli basma dayanımına sahip olmadığı anlamına gelmektedir. Kalıp, mevcut çalışma yükleri altında plastik deformasyona uğramaktadır. Şekil 2.5’de plastik deformasyona uğramış bir takım ağızı gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Plastik Deformasyona Uğramış bir Takım Ağızı, (Siyah hat orijinal takım boyutu.), (Karagöz, 1988)

Çökmenin önüne geçmek için kalıbın sertliğinin yüksek seçilmesi ve kalıp çeliği olarak yüksek akma dayanımlı bir çelik kullanılması gerekmektedir. Kaplama vb. yüzey işlemlerinin çökmeyi engellemekte herhangi bir etkisi yoktur; çünkü deformasyon aslen alt-yapı ile ilgili bir hasardır.

### 2.1.3 Sıvanma (Sarma)

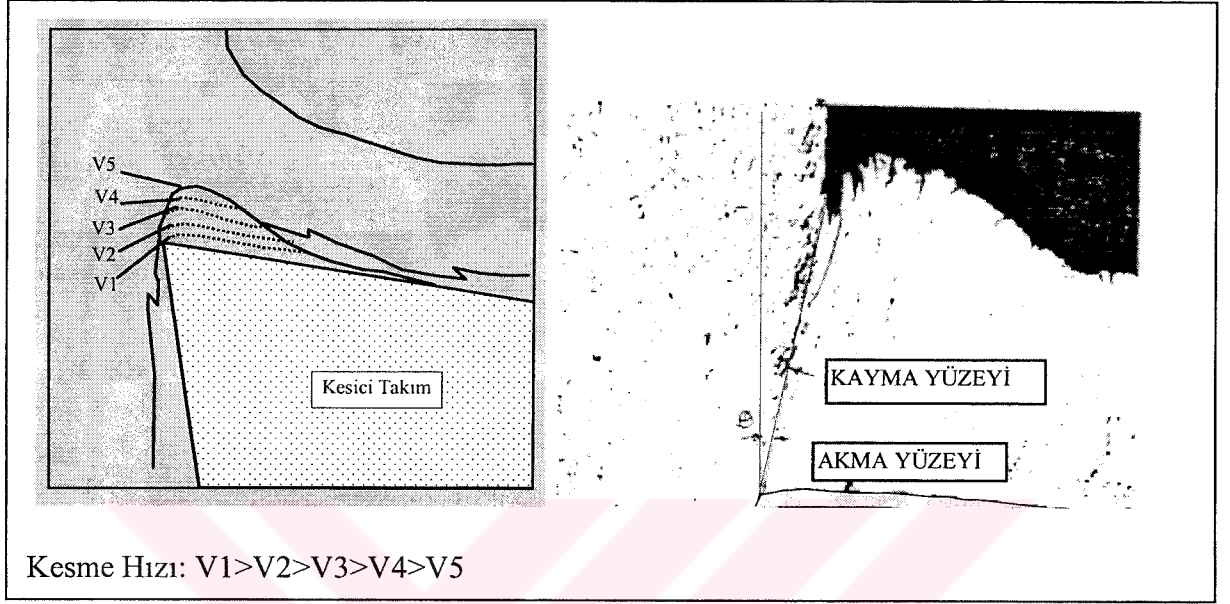
Sıvanma; yumuşak, adhesif metallerin kesilmesinde ve özellikle de derin çekilmesinde karşılaşılan ve sarma olarak da adlandırılan bir hasar mekanizmasıdır. Kalıbın kesici köşesine kesme sırasında adhesyon ile yapışan ve Şekil 2.6'da gösterildiği üzere burada üst üste yığılarak biriken (built-up edge) iş parçasından parçacıklar, basınç altında plastik deformasyona uğrayarak pekleşir ve kesici köşenin işlevini üstlenirler; ilerleyen süreçte kesmeyi bu yığılma köşesi gerçekleştirir. Ancak, köşedeki bu yığın bir adım sonra olduğu yerden koparak hem kesici köşeden parça koparır hem de kalıbın çalışan yüzeyinde genellikle boydan boya çizilmeye yol açar. Bu mekanizma yine bir ara-yüzey mekanizması olduğu için çözümünü de yine aslen ara-yüzey modifikasyonlarında aramak gerekir. Düşük sürtünme katsayısına ve yüksek sertliğe sahip CrN, TiAlN, TiCN ve VC gibi PVD ve CVD kaplamalar üzerinde durulabilir. Özetlersek sıvanmayı azaltmak yada engellemek için: Yüzey sertliğini artırmak, sürtünme katsayısını düşürmek ve tokluğu yüksek çelikler kullanmak, gereklidir.

Sıvanma direncini arttırmak için son dönemde azot ile alaşımlama üzerine yapılan çalışmalar başarılı sonuçlar vermiştir. Çizelge 2.4'de özellikleri gösterilen ve yüksek toklukları nedeniyle sıvanma direnci geleneksel çeliklere göre zaten yüksek olan Vanadis serisi toz metalurjik çeliklerle, azot ilavesi ile M(C,N) tipi sert parçacıklarla zenginleştirilmiş yeni TM çeliklerin kaplamalı ve kaplamasız koşullarda sıvanma dirençlerinin Heikkila ve Slycke tarafından yapılan kıyaslanmasında ilginç sonuçlara ulaşılmıştır. Kaplamasız Vanadis 6 ile CVD TiCN kaplı Vanadis 23 ve CVD VC kaplı Vanadis 23'ün sıvanma dirençlerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada; N ilaveli yeni TM çeliklerin kaplamalı Vanadis 23'ler kadar iyi sonuç verdiği, kaplamasız Vanadis 6'dan ise daha da başarılı olduğu saptanmıştır (Heikkila, Slycke, 2002).

### 2.1.4 Ağız Dökülmesi

Kullanım sırasında atma olarak karşımıza çıkan ve aslında düşük çevrimli yorulma (atrisyon) olan Ağız Dökülmesi, kalıbın çalışan kenarında oluşan mikro çatlakların kısa sürede büyüyerek ve esas olarak birbirleriyle birleşerek kesici köşeden parça kopmasına neden olmasıdır. Ağız Dökülmesi'nin önüne ancak sünekliği ve tokluğu yüksek kalıp çeliği

kullanarak geçilebilir. Sorun bir kez ortaya çıktığında, kalıp bir miktar yumuşatılmalı ve taşlamanın ardından tekrar kullanıma alınmalıdır.



Şekil 2.6 Sıvanmaya Yol Açan Yığılma Köşesinin Oluşumu (Karagöz, 1988)

### 2.1.5 Kırılma

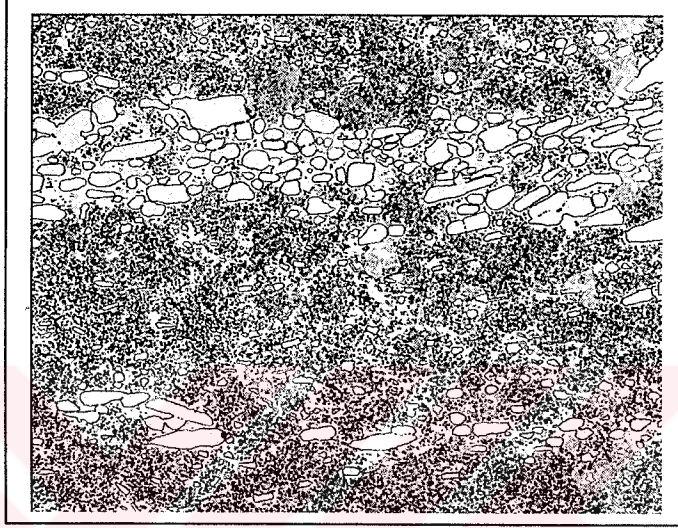
Tasarım aşamasından başlayarak, ısıl işlem, kullanım ve üretim şartlarına kadar her adımda, kalıbın kırılmasına yol açabilecek hasarlar oluşturmak mümkündür: Keskin köşeler, kalem izi bırakılmış işleme, taşlama hataları, ısıl işlem hataları, EDM hasarları, kaynak hataları, kullanımda bindirme, ayarsızlık vb. Bunun dışında, kalıpta ağız dökülmesi, deformasyon hatta aşınma ortaya çıktığında gerekli önlemlerin hemen devreye alınmaması ve hasarlı kalıpların çalıştırılması da kırılmanın oluşmasına yol açabilir. Kalıbın kırılması geri dönüşü olmayan bir süreç olması nedeniyle kesinlikle kabul edilebilir bir hasar değildir. Bu yüzden kalıbın kırılma riskine karşı daima;

- Kalıp sertliği kabul edilebilir bir aşınmaya yol açacak kadar düşük tercih edilmelidir,
- Tokluğu yüksek çelikler daima kullanılmalıdır.

## 2.2 Takım Çeliklerinde Mikroyapısal Öğeler

Takım çelikleri yumuşak tavlı durumda 220-300 HV'lık bir sertlik seviyesi ile oldukça kolay işlenebilir çeliklerdir. Ancak kalıp uygulamalarında sertleştirilmiş durumda kullanılan takım çeliklerinin mikroyapısı genellikle menevişlenmiş martensittir. Yüksek alaşımlı takım

çeliklerinde ki soğuk iş uygulamalarında yaygın olarak bu yüksek alaşımlı takım çelikleri kullanılır; tam sertleştirilmiş mikroyapıda menevişlenmiş martensitin yanı sıra karbürler bulunmaktadır. Birincil karbürler mikron ile ölçülebilirken ikincil karbürler ancak nonometre boyutundadır. Şekil 2.7’de bir soğuk iş takım çeliği olan DIN 1.2379 (X155CrVMo12 1) standardındaki çeliğin sertleştirilmiş ve yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş durumdaki mikroyapı fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 2.7 1.2379 (X155CrVMo12 1) Soğuk İş Takım Çeliğinin Tipik Mikroyapısı, Işık Mikroskobu, 100X, (UTAB, 2002)

Şekil 2.8’de verilen çizimde ise yüksek alaşımlı takım çeliklerinin karakteristik mikroyapısal fazları gösterilmiş ve bu fazların etkiledikleri özellikler özetlenmiştir.

### 2.2.1 Metalik Anayapı (Matris)

Mikroyapının %70 ilâ %100’ünü teşkil edebilen anayapı, takım çeliklerinde pek çok özelliğin kaynağı durumundadır ve bu yüzden anayapıyı tanımak önemlidir. Çoğu durumda anayapı içine dağılmış olan karbür, nitrür ve borür gibi sert parçacıkların taşıyıcısı durumunda olan anayapının özellikleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

Anayapının Kimyasal Bileşimi

Mikroyapısal Hatalar

- Noktasal Hataların türü ve yoğunluğu
- Dislokasyon Yoğunluğu
- İkiz Sınırları Yoğunluğu
- Martensit Tane Boyutu
- Çökeltilerin hacim oranı, büyüklüğü, dağılımı, şekli, sertliği vb.

- Birincil Çökeltiler: Ötektoid Karbürler, Ön-Ötektoid Çökeltiler vb.
- İkincil Çökeltiler

Bu özellikler içinden özellikle basma mukavemeti ve basma mukavemeti ile paralellik arz eden sertlik önemli ölçüde anayapıya bağlı olarak ortaya çıkar. (İçyapı kusurları ve çatlak başlangıç noktaları nedeniyle çekme mukavemeti ile sertlik arasında benzer bir paralellik kurmak ise zordur.) Takım çeliklerinin basma mukavemetini ve buna paralel olarak sertliği birkaç önemli sertleşme mekanizmasının etkilerinin toplamı olarak kavramak mümkün olup bu durum aşağıdaki formülle açıklanmaya çalışılmıştır (Ebner vd., 1999):

$$\sigma_{yc} = \sigma_o + \Delta\sigma_{ss} + \Delta\sigma_{wh} + \Delta\sigma_p + \Delta\sigma_{gr} + \Delta\sigma_{com} \quad (2.1)$$

$\sigma_{yc}$ : Basmada akma dayanımı

$\sigma_o$ : Saf demirin akma dayanımı

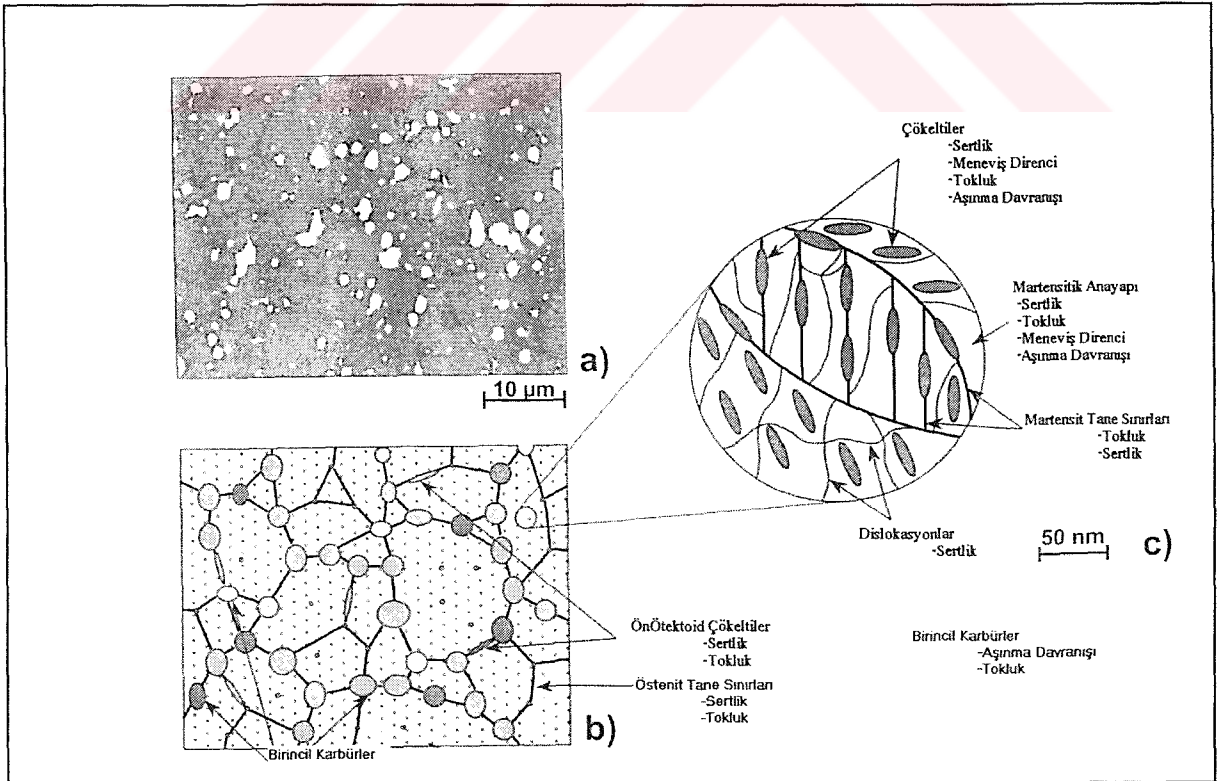
$\Delta\sigma_{ss}$ : Katı çözültü sertleşmesi

$\Delta\sigma_{wh}$ : Pekişme

$\Delta\sigma_p$ : Çökelme sertleşmesi

$\Delta\sigma_{gr}$ : Tane sınırı sertleşmesi

$\Delta\sigma_{com}$ : Birincil karbürler gibi malzeme bileşenlerinin etkisi



Şekil 2.8 Takım Çeliginde Mikroyapısal Ögeler (Ebner vd., 1999)



Bu mekanizmaların içlerinde takım çeliklerinde en önemli olanları katı çözeltili sertleşmesi, pekleşme, çökme sertleşmesi ve tane boyutu etkisidir. Asıl etki, karbondan ve azottan dolayı çözeltili sertleşmesi ve ikincil karbürlerden dolayı çökme sertleşmesinden gelmektedir. Pekleşme ve tane sınırı sertleşmesinin etkisi sınırlıdır. Birincil karbürlerin mukavemete etkisi ancak hacim oranı % 15'in üzerine çıktığında kayda değer bir hal almaktadır.

### 2.2.2 Büyük Sert Parçacıklar

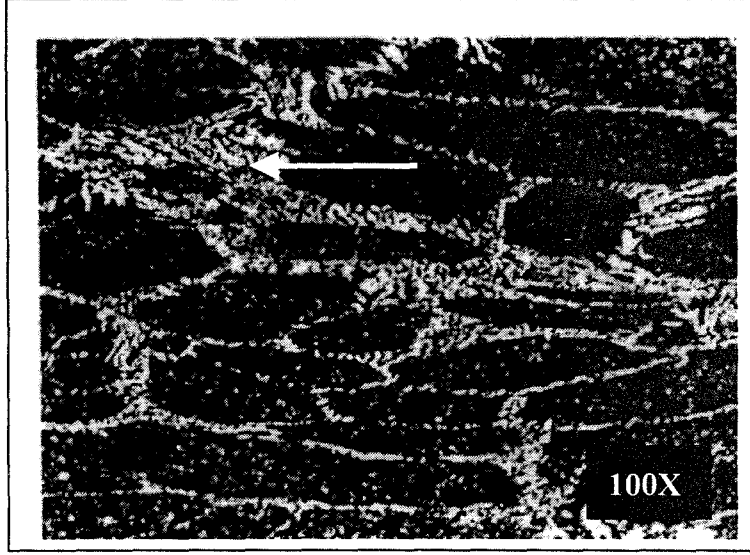
Taşıyıcı anayapı içinde boyutları 0.1 ilâ 100 µm arasında bulunan sert parçacıklar, takım çeliğinin tokluğunu önemli ölçüde azaltsalar da aşınma direncine yaptıkları belirleyici katkı nedeniyle özellikle yüksek hız çelikleri ve soğuk iş takım çeliklerinde son derece kritik bir öneme sahiptirler. Bu parçacıklar genellikle aşağıdaki fazlardan oluşurlar:

- MC, M<sub>2</sub>C, M<sub>6</sub>C ve M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> tipi karışık karbürler
- Nitrürler ve Borürler
- Kalıntılar

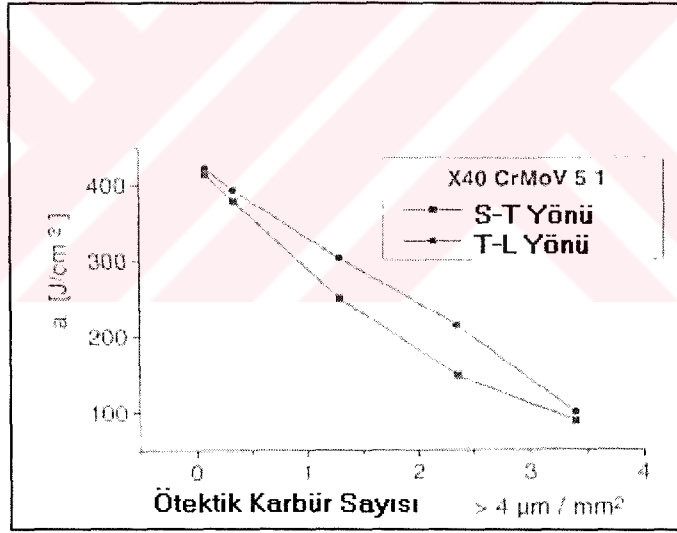
Karbürlerin -daha önce de değinildiği gibi- iri ve sert olması özellikle abrasif aşınma direncini arttırmaktadır. Bu karbürlerin önemli bir kısmı ergiyik fazda oluşan ötektoid karbürler olduklarından (Fischmeister vd., 1989) yüksek karbonlu ledaburitik takım çeliklerinin döküm yapısında ağ formunda teşkil ederler ve termomekanik işlem ile yani dövme yada haddeleme ile ağ formundan uzaklaştırılmaları tokluğa yaptıkları olumsuz etkiyi azaltmak için zorunludur. Yani takım çeliğine uygulanan redüksiyonun miktarı aynı zamanda birincil karbürlerin eş dağılımının da bir anlamda ölçüsüdür (Broeckmann, 1999). Şekil 2.9'da çok kullanılan bir soğuk iş takım çeliği olan 1.2379 (X155CrVMo12 1)'da yetersiz bir redüksiyon sonucu parçalanmadan kalmış ve beyaz ok ile işaretlenmiş ötektoid karbür ağı görülmektedir.

Birincil karbürlerin çentiksiz numunede darbe tokluğuna olan etkisi, bir sıcak iş takım çeliği olan 1.2344 (X40 CrMoV5 1) için Şekil 2.10'da verilmiştir (Broeckmann, 1999). 1.2344 (X40 CrMoV5 1)'ün soğuk iş takım çelikleri ile kıyaslandığında düşük karbonlu bir çelik olduğu ve ledaburitik bir çelik olmadığı göz önüne alınırsa, birincil karbürlerin tokluk üzerindeki etkisinin büyüklüğü daha iyi anlaşılabilir. Soğuk iş takım çelikleri bu döküm yapısı ve karbür ağı nedeniyle farklı doğrultularda farklı tokluklar gösterirler.





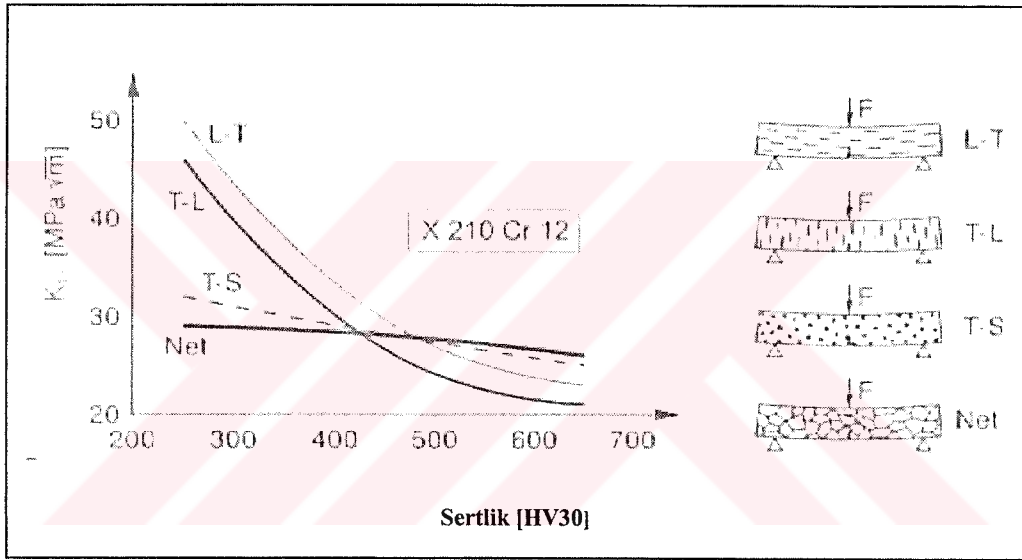
Şekil 2.9 1.2379 (X155CrVMo12 1)'da Yetersiz Dövülmüş Durumda Mevcut Karbür Ağı (UTAB, 2002)



Şekil 2.10 Bir Sıcak İş Takım Çeliği Olan 1.2344 (X40 CrMoV 5 1)'ün Çentiksiz Darbe Tokluğuna Birincil Karbürlerin Etkisi (Broeckmann, 1999)

Şekil 2.11'de yaygın kullanılan bir soğuk iş takım çeliği olan 1.2080 (X210 Cr12)'in karbür ağı parçalanmamış durumu (net) ile dövülmüş kütüğün farklı doğrultularındaki kırılma toklukları karşılaştırılmıştır. Bu şekilden de görülmektedir ki, ağ yağısı (net) parçalanmadığı koşulda tokluk son derece zayıf olmakla birlikte, hadde yönüne bağlı olarak çeliğin tokluğunda çok büyük değişimler görülebilmektedir. Kalıp imalatında bu yönlenmeye bağlı olarak takım çeliğinin kullanılmaması başta ani kırılma olmak üzere, çeşitli hasarlara yol açar.

Geleneksel Metalurji (GM) ile üretilmiş bu tür yüksek karbonlu ledaburitik çeliklerin dövme ile karbür ağlarının parçalanmasında yeni dövme teknikleri üzerine çalışıldığını Broeckmann, aynı çalışmasında aktarmaktadır (Broeckmann, 1999). Broeckmann'ın aktardığına göre Czerny ve arkadaşları tarafından çalışılan ve Çapraz Haddeme olarak adlandırılan yeni termomekanik işlem, geleneksel termomekanik işlem ile kıyaslandığında, hem boylamasına ve enlemesine özellikler arasındaki farkı ortadan kaldırmakta hem de enlemesine özellikleri son derece etkin bir ölçüde arttırabilmektedir. Çizelge 2.3'de, bu çalışmalardan elde edilen, 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinin farklı dövme koşullarında çentikli darbe toklukları karşılaştırılmıştır Tokluk değerleri, 60 HRC'ye sertleştirilmiş numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 2.11 Eski Nesil Bir Soğuk İş Takım Çeliği Olan 1.2080 (X210 Cr12)'de Karbür Yönlenmesinin Kırılma Tokluğuna Etkisi (Broeckmann, 1999)

Çizelge 2.3 60 HRC'ye Sertleştirilmiş Malzeme No 1.2379 (X155CrVMo12 1) Soğuk İş Takım Çeliğinin Farklı Dövme Teknikleri ile Çentikli Darbe Toklukları (Broeckmann, 1999)

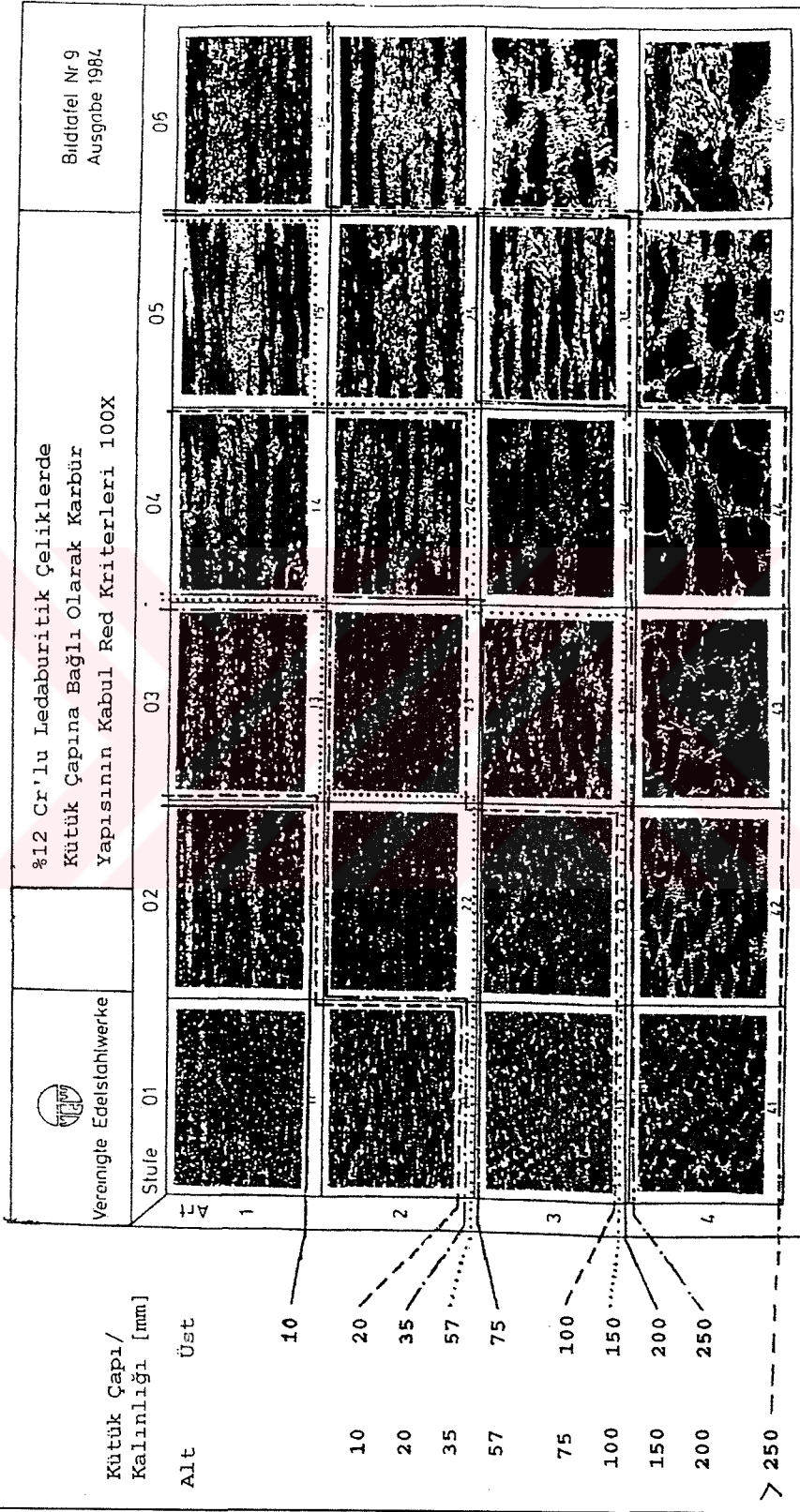
	$\alpha_k$ [J/cm <sup>2</sup> ]	
	Boylamacına, L-Yönü	Enlemesine, T-Yönü
Çapraz Şekillendirme	12.5	14.0
Geleneksel Şekillendirme	13.5	5.5

Ancak unutulmamalıdır ki, ne türlü bir dövme teknolojisi kullanılacak olursa olsun ingot

dökümü ardından yapılan termomekanik işlem ile karbür ağının dağıtılablmesinin sınırları vardır ve ingot ölçüleri arttıkça bu sınırlar daha da daralır. Bu yüzden çelik üreticileri, her bir kütük çapı için birincil karbür dağılımına ilişkin kabul red kriterleri oluştururlar. Şekil 2.12’de Uddeholm Tooling AB’nin bu konuda kullandığı referans yapılar çaplara bağlı olarak verilmiştir (UTAB, 2002).

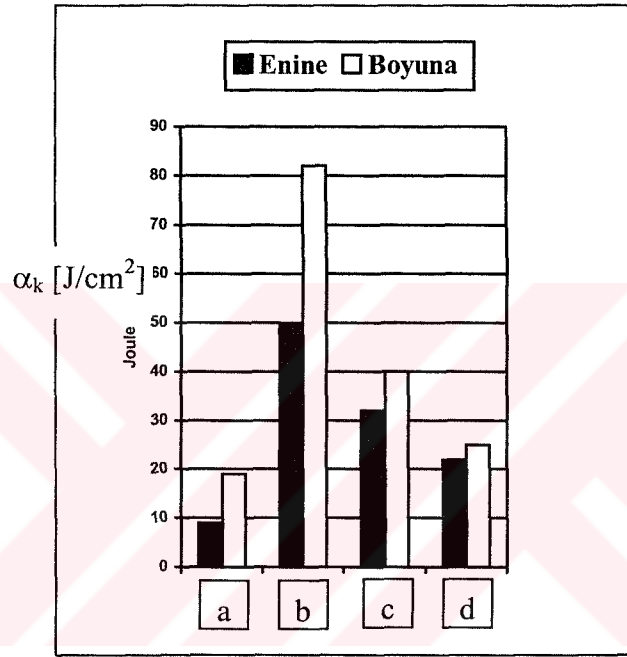
Bu sınırları aşmanın, yada başka bir ifade ile büyük çaplı kütüklerin homojen bir karbür dağılımı ile üretilmesinde toz metalurjisi kullanılmaktadır. Toz metalurjik çelikler, hangi yöntemle dövülmüş olurlarsa olsunlar geleneksel çeliklere kıyasla hem toklukları daha yüksektir hem de farklı yönlerde daha eş tokluk gösterirler. Şekil 2.13’de Uddeholm Tooling AB’nin (UTAB) üretmiş olduğu özel termomekanik işlemden geçmiş geleneksel bir çelik olan Sverker 21’in Vanadis serisi toz metalurjik soğuk iş takım çelikleri ile tokluk özellikleri yönlerine bağlı olarak kıyaslanmıştır.





Şekil 2.12 Kütük Ölçüsüne Bağlı Olarak Karbür Bantlaşması için Referans Yapılar (Edelstahlwerke 1984)

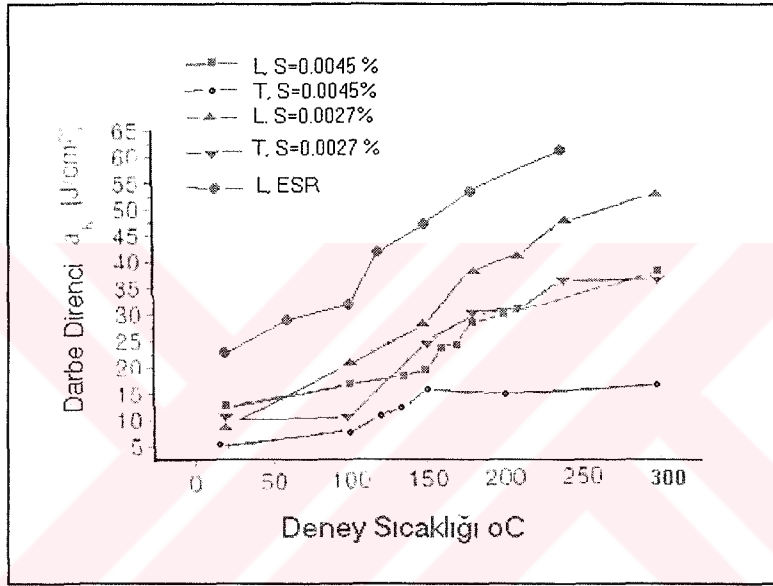
Malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliği üzerine yapılan başka bir çalışmada ise, birincil karbür boyutlarının mekanik özelliklere, özel olarak da tokluğa olan etkileri incelenmiştir (Yokoi vd., 1999). Çekme gerilmesi altındaki takım çeliğinde, sıralı karbür yerleşimi ile birlikte artan karbür boyutu ile klivaj çatlak oluşumu olasılığını arttırdığı saptanmıştır. Öte yandan dekohezyon da, yani karbürün anayapı ile bağlantısının kopması da bu tür çeliklerde çatlak başlangıcı oluşumunun bir diğer nedenini teşkil etmektedir (Berns vd., 1992).



Şekil 2.13 Farklı Çeliklerde Yönlenmenin Darbe Enerjisine Etkisi (UTAB, 2000);  
a: Sverker 21 ( $\approx 1.2379$  (X155CrVMo12 1)), b: Vanadis 4, c: Vanadis 23, d: Vanadis 10

Karmaşık şekilli ve çatlak başlangıcı etkisi yapan keskinlikleri genellikle içeren kalıplarda kullanılan takım çeliklerinin sertleştirilmesi esnasında çok yüksek soğutma hızları kullanılması, ısıl işlem çatlaklarına yol açabileceğinden tercih edilmez. Ancak görelî yavaş soğutma da özellikle tane sınırlarında ötektoid öncesi (proeutectoid) karbür çökeltmelerine yol açar (Şekil 2.8). Tane sınırlarında ortaya çıkan bu ön-ötektoid çökeltmeler, çeliğin tokluğunda kayda değer kayıplara yol açacağı için üst beynite girmeden kesilecek martemperleme tavsiye edilir (Karagöz, 1992).

Takım çeliklerinin mikroyapısındaki en iri fazlar kuşkusuz alumüna ve mangansülfür gibi kalıntılardır. Geleneksel soğuk iş takım çeliklerinin toklukları üzerinde belirleyici bir düşüşe yol açmasalar da özellikle toz metalurjik soğuk iş takım çeliklerinde kayda değer tokluk kayıplarına neden olan kalıntıların temizlenmesi için bu tür çeliklerde Microclean (Maili, 2002), Superclean (Sandberg, 2000) gibi özel temizlik yöntemleri kullanılmaktadır. Öte yandan sıcak iş takım çelikleri söz konusu olduğunda bu mikroyapısal temizlik çok büyük bir önem arz etmektedir. Şekil 2.14'de binde mertebesindeki kükürt katkısının Malzeme no: 1.2344 (X40 CrMoV5 1) sıcak iş takım çeliğinin çentikli darbe tokluğuna etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Malzeme no: 1.2344 (X40 CrMoV5 1) Sıcak İş Takım Çeliğinde Kükürdün Darbe Enerjisi Üzerine Etkisi, (Broeckmann, 1999)

### 2.2.3 Çökeltiler

Taşıyıcı metalik anayapı içinde genellikle 1 ilâ 50 nm boyutunda dağılmış olan çökeltiler, esas olarak aşağıdaki fazlardan oluşurlar:

- İkincil Sertlik Çökeltileri
- İntermetalik Fazlar

Çökeltiler takım çeliğinin tokluğunu ve sünekliğini düşürseler de sertliğini, sıcak sertliğini ve ısıl kararlılığını geliştirdikleri için soğuk iş takım çelikleri de dahil olmak üzere tüm yüksek alaşımli takım çeliklerinde tercih edilen öğelerdir.

İkincil çökeltilerin sağladığı ikincil sertleşme özelliği esasen yüksek hız çeliklerine özgü bir özellik olup HSS takımın çalışma sıcaklığında çökeltinin sürmesi sayesinde takımın sıcak



sertliğini korumasını (Karagöz ve Andren, 1992), böylelikle de takım performansının atmasını sağlamaktadır (Karagöz ve Fischmeister, 1991).

İkincil sertleşme, özet olarak, ani soğutulmuş takım çeliğinin menevişlenmesi sırasında kimyasal bileşimine bağlı olarak değişen ve yaklaşık olarak 520-580 °C aralığı olarak tanımlanabilecek bir sıcaklık aralığında, sertlik kazanmasıdır. Sertliğin artışına bu sıcaklıkta çökelen Mo<sub>2</sub>C ve VC sebep olmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi ile birlikte Bu karbürler çözünmeye başlayarak yerlerine Cr zengin M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> tipi karbürler çökmeye başlar. Bu karbürler daha iri karbürler olduklarından sertlikte düşme görülür (Pickering, 1987).

Bu ikincil çökeltilerin sertlik ve mukavemet üzerindeki etkisi esas olarak dislokasyonları kilitlemelerinden kaynaklanmaktadır. Çökeltilerin büyüklüğü ve anayapı ile bağdaşık (koheran) olma durumu etkilerinin de şiddetini belirlemektedir. Belli bir eşik değerin altındaki (özellikle MC ve M<sub>2</sub>C tipi) boyutlarda genellikle anayapı ile bağdaşık olan çökeltiler mukavemet üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Aşağıda bu etkiyi açıklayan formül verilmiştir (Ebner vd., 1999):

$$\Delta\sigma_p = k_2 * \sqrt{r_p} \quad (2.2)$$

$\Delta\sigma_p$ : Çökeltme nedeniyle mukavemetteki artış

$k_2$ : Malzeme sabiti (çökeltilerin hacim oranına, kayma mukavemetine vb. bağlı)

$r_p$ : Çökelti boyutu

Unutulmamalıdır ki menevişleme esnasında çökeltme kinetik olduğu için çökelti hacim oranı sabit değildir ve  $k_2$  de böylece sürekli değişmektedir. Pickering, martensit içine çökelen bu çökeltilerin akma mukavemetine olan etkisi için daha gelişkin bir formül olan Ashby-Orowan bağıntısını önermektedir (Pickering, 1987).

$$\sigma_y \cong 71 + \frac{0.015}{\lambda} \ln \frac{D}{2b} + 23.9d^{-1/2} \quad (2.3)$$

$\sigma_y$ : Akma Mukavemeti [Mpa]

D: Karbür Çapı [Å]

$\lambda$ : Karbürler arası Mesafe [ $\mu$ m]

d: Menevişlenmiş Martensit Tane Boyutu [mm]

b: Burgers Vektörü

Karbür boyutu eşik bir büyüklüğün üstüne çıktığında çökelti anayapı ilişkisi değişmekte ve çökeltilerin dislokasyonları kilitleme potansiyeli azalmaktadır; bağdaşık olmayan diye

tanımlanan bu durumda artık dislokasyonlar çökeltileri kesebilir durumdadır. Bu kritik boyutun üzerindeki çökeltilerin ikincil sertliğe olan katkıları daha azdır ve aşağıdaki formülle bu katkı ifade edilebilir (Ebner vd., 1999):

$$\Delta\sigma_p = k_3 \cdot \frac{1}{r_p} \quad (2.4)$$

$\Delta\sigma_p$ : Çökeltme nedeniyle mukavemetteki artış

$k_3$ : Malzeme sabiti (çökeltilerin hacim oranına, kayma mukavemetine vb. bağlı)

$r_p$ : Çökelti boyutu

### 2.3 Soğukta Talaşsız Şekillendirme Kalıpları

Genel olarak 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda çalışan tüm kesme, form verme, dövme vb. uygulamalarda kullanılan takım ve kalıplar soğukta talaşsız şekillendirme kalıpları olarak adlandırılır. Genel olarak bu uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış bulunan takım çeliklerine de soğuk iş takım çelikleri adı verilmektedir (Roberts, Cary, 1980). Ancak kimi soğuk iş uygulamalarında yüksek hız çeliklerinin ve sıcak iş takım çeliklerinin daha yüksek performans sağlamaları nedeniyle kullanılması sıkça karşılaşılan bir durumdur. Kullanılan takım çeliğinden bağımsız olarak bu kalıplara kısaca soğuk iş kalıpları yada soğuk iş uygulamaları da denmektedir.

Kesme ve Hassas Kesme (Waller, 1978), Koparma, Delme, Makaslama, Eğme-Bükme, Form Verme ve Haddelme, Derin Çekme (Jevons, 1967), Soğuk Dövme (Lange, 1985), Soğuk Ekstrüzyon (Everhart, 1964), Toz Presleme, Endüstriyel Bıçaklar vb.\* gibi pek çok özel uygulamaya sahip olan bu grup kalıp ve takımlar içinde bazı uygulamalar kullanım yoğunluğu açısından öne çıkmaktadır.

Şekil 2.15'de bazı soğukta talaşsız şekillendirme uygulamalarının payları resmedilmiştir. Görüldüğü gibi kesme kalıpları bu uygulamalar içinde büyük bir ağırlığa sahiptir.

Bu uygulamalarında kullanılacak kalıp malzemesinin aşağıdaki iki özelliğinin birden kalıp ömrü ve performansı açısından yüksek olması talep edilir.

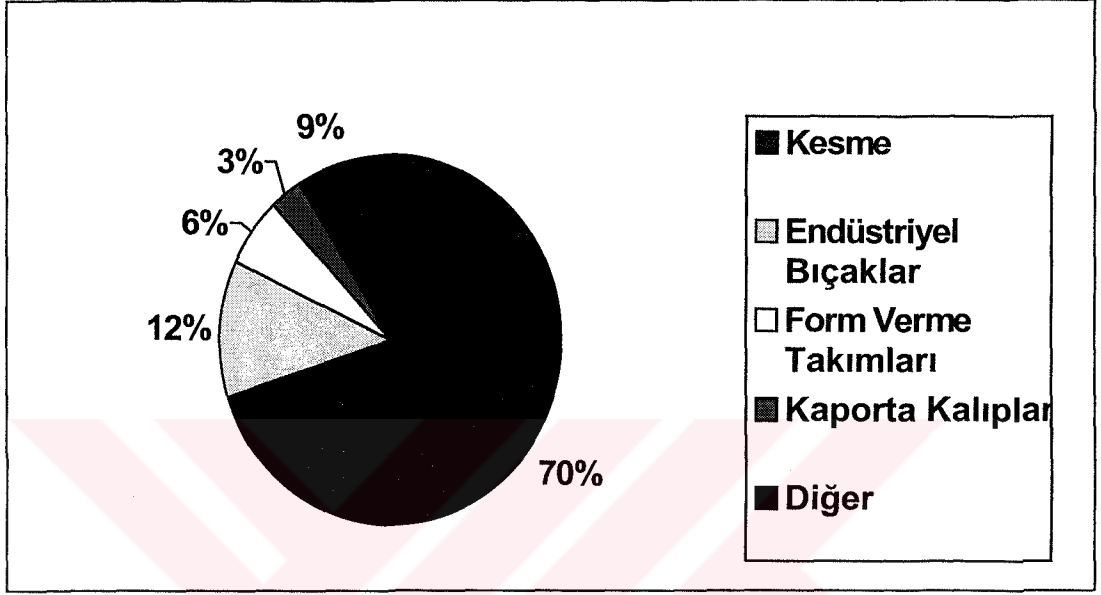
Aşınma Direnci

Tokluk

---

\* Soğuk iş uygulamalarının detayları için lütfen bakınız: (Hinman, 1941; Davis 1998)

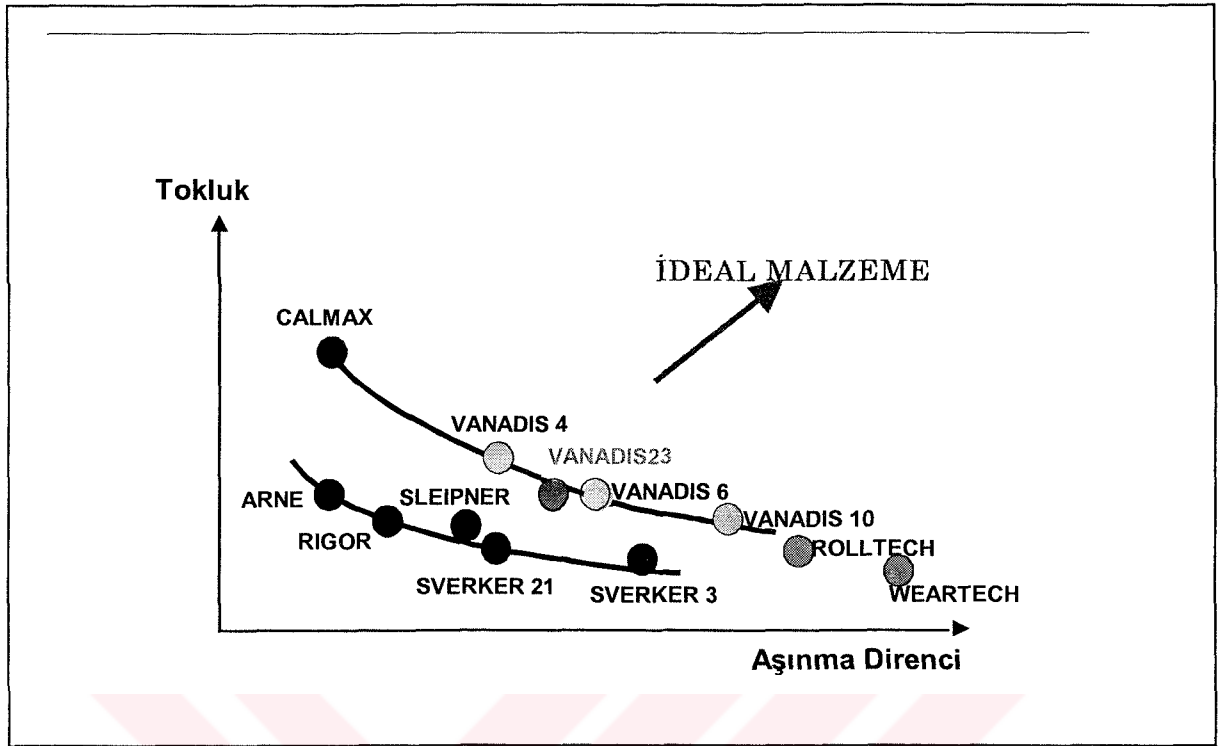
Şekil 2.16'da İsveç takım çeliği üreticisi olan Uddeholm Tooling AB (UTAB) ürün yelpazesi üzerinden gösterilmeye çalışıldığı üzere, ideal soğuk iş takım çeliği, hem aşınma direnci hem de tokluğu yüksek olan çeliktir. Şekildeki yerleşimden, Vanadis serisi toz metalurjik çeliklerin bu eğilime en yakın çelikler olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.15 Soğukta Talassız Şekillendirme Kalıplarının Dağılımı, (UTAB, 2002a)

Ancak birbirleriyle ters orantılı bu iki özelliği aynı malzemede birlikte arttırmak çeliğin kimyasal birleşimi ile olduğu kadar üretim yöntemi ile de ilgilidir ve bu iki özelliğin birlikte arttırılabilmesinin sınırları vardır. Şekil 2.16 ve Şekil 2.17'dan görüleceği üzere, aşınma direnci-tokluk ilişkisinde ideal malzemeye doğru yaklaşan çelikler geleneksel döküm-sıcak deformasyon yöntemi ile üretilen çelikler olmaktan çok Toz Metalurjisi (TM) ile üretilmiş çeliklerdir. Bunun açık nedeni de bu çalışmada 3. Bölüm içerisinde tartışılmış bulunan TM çeliklerdeki ince tane yapısı ve homojen karbür dağılımıdır.

Soğuk iş uygulamaları için çelik seçiminde, uygulamada ortaya çıkan ve kalıp ömrünü belirleyen hasar mekanizması esas alınarak aşınma yönünde mi yoksa tokluk yönünde mi bir tercihte bulunulacağına karar verilmelidir. Bunun için de ilkin bu uygulamalarda karşılaşılan hasar mekanizmalarına vakıf olunmasına ve hangi çeliğin hangi özelliğinin üstün olduğunun bilgisine sahip olunması gerekmektedir.



Şekil 2.16 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Direnci-Tokluk İlişkileri, (UTAB, 2000)

Şekil 2.17’de Uddeholm tarafından üretilen bazı soğuk iş takım çeliklerinin özellikleri görel olarak kıyaslanmıştır:

UHB	Sertlik	İşlenebilirlik	Taşlanabilirlik	Ölçü Değişimi	Abrasif Aşınma	Sıvanmalı Aşınma	Ağız Dökülmesi	Plastik Deformasyon
ARNE	■	■	■	■	■	■	■	■
CALMAX	■	■	■	■	■	■	■	■
RIGOR	■	■	■	■	■	■	■	■
SVERKER 21	■	■	■	■	■	■	■	■
SVERKER 3	■	■	■	■	■	■	■	■
VANADIS 4	■	■	■	■	■	■	■	■
VANADIS 6	■	■	■	■	■	■	■	■
VANADIS 10	■	■	■	■	■	■	■	■
VANADIS 23	■	■	■	■	■	■	■	■
VANADIS 30	■	■	■	■	■	■	■	■
VANADIS 60	■	■	■	■	■	■	■	■
AISI: M2/1.3343	■	■	■	■	■	■	■	■
1.2842	■	■	■	■	■	■	■	■
1.2080	■	■	■	■	■	■	■	■

Şekil 2.17 Bazı Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kıyaslamalı Özellikleri (Hatman, 2000), (Johanson ve Jervis 2000)

Çizelge 2.4 Türkiye’de Çok Kullanılan Soğuk İş Kalıp Çelikleri ve Uluslararası Karşılıkları, (Hatman, 2000), (Böhler, 2000), (Thyssen, 1996) (Crucible, 2003)

Gösterim Karşılıkları		Kimyasal Bileşim %						
Ticari İsimler; DIN, AISI Gösterimleri		C	Mn	Cr	Mo	V	W	Diğer
Karbon Çeliği* ; 1.1730, ; C 45 W		0.47	0.60					0.04 S
K720, (Yağ Çeliği)** ; 1.2842, 90 MnCrV 8, O2		0.90	2.00	0.40		0.10		0.30 Si
K455, (Darbe Çeliği)** ; 1.2550, 60 WCrV 7, S1		0.60	0.35	1.10		0.20	2.00	0.60 Si
Arne** ; 1.2510, 100 MnCrW 4, O1		0.95	1.20	0.60		0.10	0.60	0.30 Si
Rigor** 1.2363, X 100 CrMoV 5 1, A2		1.00	0.80	5.30	1.10	0.20		0.20 Si
K100 (Hava Çeliği)** 1.2080, X 210 Cr 12, D3		2.00	0.30	12.00				0.30 Si
K105** 1.2601, X165CrMoV12, ≈D2		1.60	0.30	11.50	0.60	0.30	0.50	0.35 Si
Calmax***	PATENT	0.60	0.80	4.50	0.50	0.20		0.35 Si
Chipper***	PATENT	0.50	0.50	8.00	1.50	0.50		1.00 Si
Sleipner, ≈K340***	PATENT	1.10	0.40	8.30	2.10	0.50		0.90 Si
Sverker 3**** 1.2436, X 210 CrW 12, D6		2.05	0.80	12.70			1.10	0.30 Si
Sverker 21**** 1.2379, X155CrVMo12 1, D2		1.55	0.40	11.80	0.80	0.80		0.30 Si
K190****, ≈1.2380PM, X220CrVMo13 4		2.3	0.40	12.50	1.10	4.00		0.40 Si
CPM10V, ≈A11PM		2.45	0.50	5.25	1.30	9.75		0.90 Si
Vanadis 4****	PATENT	1.50	0.40	8.00	1.50	4.00		1.00 Si
Vanadis 6****	PATENT	2.10	0.40	6.80	1.50	5.4		1.00 Si
Vanadis 10****	PATENT	2.90	0.50	8.00	1.50	9.80		1.00 Si
PMD4, ≈TSP4****	PATENT	1.30	0.30	4.30	4.80	4.10	5.40	
Vanadis 23***** ≈1.3344PM, S 6-5-3, M3:2		1.28	0.30	4.20	5.00	3.10	6.40	0.50 Si
Vanadis 30, ≈PMD30, ≈TSP30****, ≈M3:2+Co		1.28	0.30	4.20	5.00	3.10	6.40	8.50 Co
Vanadis 60, ≈PMD60****	PATENT	2.30	0.30	4.20	7.00	6.50	6.50	10.5 Co
RollTech*****	PATENT	1.40	0.60	4.60	3.20	3.70		1.0 Si
WearTech*****	PATENT	2.80	0.70	7.00	2.30	8.90		0.8 Si

\* Karbon Takım Çeliği

\*\* Geleneksel Soğuk İş Takım Çeliği

\*\*\* Yeni Nesil Soğuk İş Takım Çeliği

\*\*\*\* Modifiye Soğuk İş Takım Çeliği

\*\*\*\*\* Toz Metalurjik Soğuk İş Takım Çeliği

\*\*\*\*\* Toz Metalurjik Soğuk İş Takım Çeliği

\*\*\*\*\* Toz Metalurjik HSS, Soğuk İş Uygulamaları için

\*\*\*\*\* Spray Forming-Toz Biriktirme ile Üretilmiş Soğuk İş Takım Çeliği

### 3. KALIP İMALATINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER

Kalıp imalat aşamalarına denk gelecek bir biçimde, kalıp performansı üzerinde etkili olabilecek gelişen teknolojiler ve yeni uygulamalar Giriş bölümünde aşağıdaki gibi özetlenmeye çalışılmıştı.

- 1) Tasarım: Bilgisayar Destekli Tasarım,
- 2) Çelik Seçimi: Kalıp Çeliklerinde Gelişmeler,
  - Tamamen yeni, özgün kimyasal bileşime haiz takım çeliklerinin gelişmesi,
  - Eski çeliklerin azot gibi elementler ile modifikasyonu sonucu üretilen yeni çelikler
  - Ca-enjeksiyonu, Vakum Gaz Giderme, VAR, PESR gibi pota metajurjisi ve ikincil metalurjik işlemler ile
    - Eski çeliklerin modifiye edilerek üretilmesi
    - Bu teknolojilere uyumlu yeni çeliklerin geliştirilmesi
  - Termo-mekanik işlemler ile
    - Eski çeliklerin modifiye edilerek üretilmesi
    - Bu teknolojilere uyumlu yeni çeliklerin geliştirilmesi
  - Toz metalurjisi (TM) yada gibi yeni üretim teknolojileri kullanılarak
    - Eski kimyasal bileşime haiz çeliklerin üretimi
    - Tamamen yeni, özgün kimyasal bileşime sahip çeliklerin geliştirilmesi
  - Püskürtme-Biriktirme gibi yeni üretim teknolojileri kullanılarak
    - Eski kimyasal bileşime haiz çeliklerin üretimi
    - Tamamen yeni, özgün kimyasal bileşime sahip çeliklerin geliştirilmesi
- 3) İşleme: İşleme Teknolojilerinde Gelişmeler
  - Hızlı İşleme Teknolojileri
  - Erozyon Teknolojileri
- 4) Isıl İşlem: Isıl İşlemlerde Gelişmeler
  - Vakum Teknolojileri
- 5) Yüzey İşlemleri: Yüzey Teknolojilerinde Gelişmeler
  - İnce Seramik Film Kaplamalar
  - Yüzey Alaşımlama
- 6) Bitirme İşlemleri: Bitirme İşlemlerinde Gelişmeler

Bu bölümde ise, yukarıdaki başlıklar içerisinde bu çalışma kapsamında özellikle önem arz eden Kalıp Çelikleri, Isıl İşlem ve Yüzey İşlemleri konularındaki literatürde yeri olan daha



önce kalıp imalatında denenmiş gelişmeler tanıtılarak, bunların kalıp performansları üzerine etkileri incelenmeye çalışılacaktır. Diğer başlıklar içinden ise Tasarım gibi Isıl İşlem üzerinde belirleyici etkileri doğrudan olan başlıklar özetlenerek geçilecektir.

### 3.1 Kalıp Tasarımında Esaslar

Kalıp imalatının ilk aşaması olan kalıp tasarımı başlı başına bir uzmanlık konusudur ve özel olarak ele alınması gerekmektedir\*. Kalıp tasarımı açıklamak ne yazık ki bu çalışmanın kapsamı dışında olup burada ancak, kalıp hasarlarının kayda değer bir kısmının müsebbibi olan kalıp tasarım hatalarının sık karşılaşılanları örneklenmeye çalışılacaktır. Ancak bu tipik tasarım hatalarına geçmeden önce belirtmek gerekir ki, kalıp tasarımında da son yirmi yıl içerisinde bilgi teknolojilerinin yaygın kullanılmaya başlanmasıyla doğrudan kalıp ömürlerinde etkileri de gözlenen gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeleri iki başlık altında özetlemek mümkündür:

Hakamura'nın ve Guoxue ve arkadaşlarının da belirttiği üzere, CAD/CAM entegrasyonuna dayalı, tasarım hızını artırırken öte yandan da hazırlanan tasarımın CNC tezgahlar vasıtası ile hem uygulanabilirliğini hem de uygulanma hızını arttıran gelişmeler,\*\*

İşleme öncesinde tasarımın sonuçlarını simüle eden bilgisayar programlarının tasarımda kullanılmasıyla tasarım niteliğini yükselten ilerlemeler.

Simulasyon destekli tasarımın özellikle akışkanlar mekaniğinin devrede olduğu metal ve plastik enjeksiyon kalıpları için giderek daha yaygın bir kullanıma ulaştığı söylenebilir. Kalien ve Strum, metal enjeksiyon ile üretilen alüminyum otomobil jantları için geliştirilmiş olan MAGMASOFT yazılımını tartıştıkları çalışmalarında, optimum ısı dağılımını hedefleyerek kalıp ömrünü arttırmayı amaçladıklarını ifade etmektedirler.

Benzer biçimde progresif kesme kalıplarında bilgisayar destekli tasarım üzerinde çalışan Zhigang ve diğerleri de soğuk iş kalıplarında da tasarım faaliyetinin bilgi teknolojileri yardımıyla gerçekleştirilebildiğini göstermişlerdir.

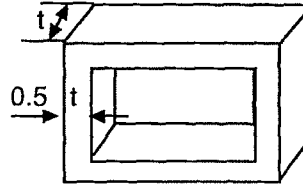
Kalıp tasarımı açısından aşağıda tanımlanan iki bölge özel olarak kalıp hasarları açısından

---

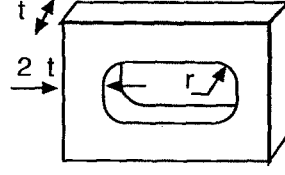
\* Bu konudaki kapsamlı bir çalışmayı Paquin'de (1962) bulabiliriz:

\*\* Bu konuda yapılmış çalışmaların bir arada bulunabileceği kaynaklar için lütfen bakınız: Proceedings of the 1st International Conference on Die&Mould Technology'90 Shanghai, Die&Mould Design ve CAD/CAM/CAE bölümleri. Proceedings of the 2nd International Conference on Die&Mould Technology'92 Singapore, Machining, Finishing & Processes bölümü.

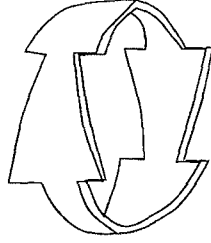




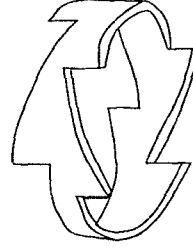
Yanlış: Kesitler çok ince ve iç köşeler çok keskin



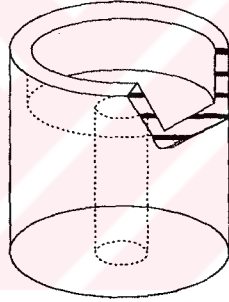
Doğru: Kalın kesit ve yuvarlatılmış köşeler



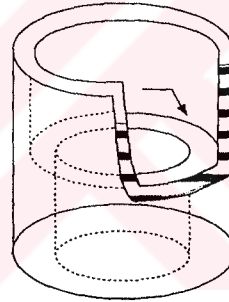
Yanlış: Ters dişler farklı kesit oluşturuyor.



Doğru: Atlamalı diş, daha uygun kesit oluşturur.

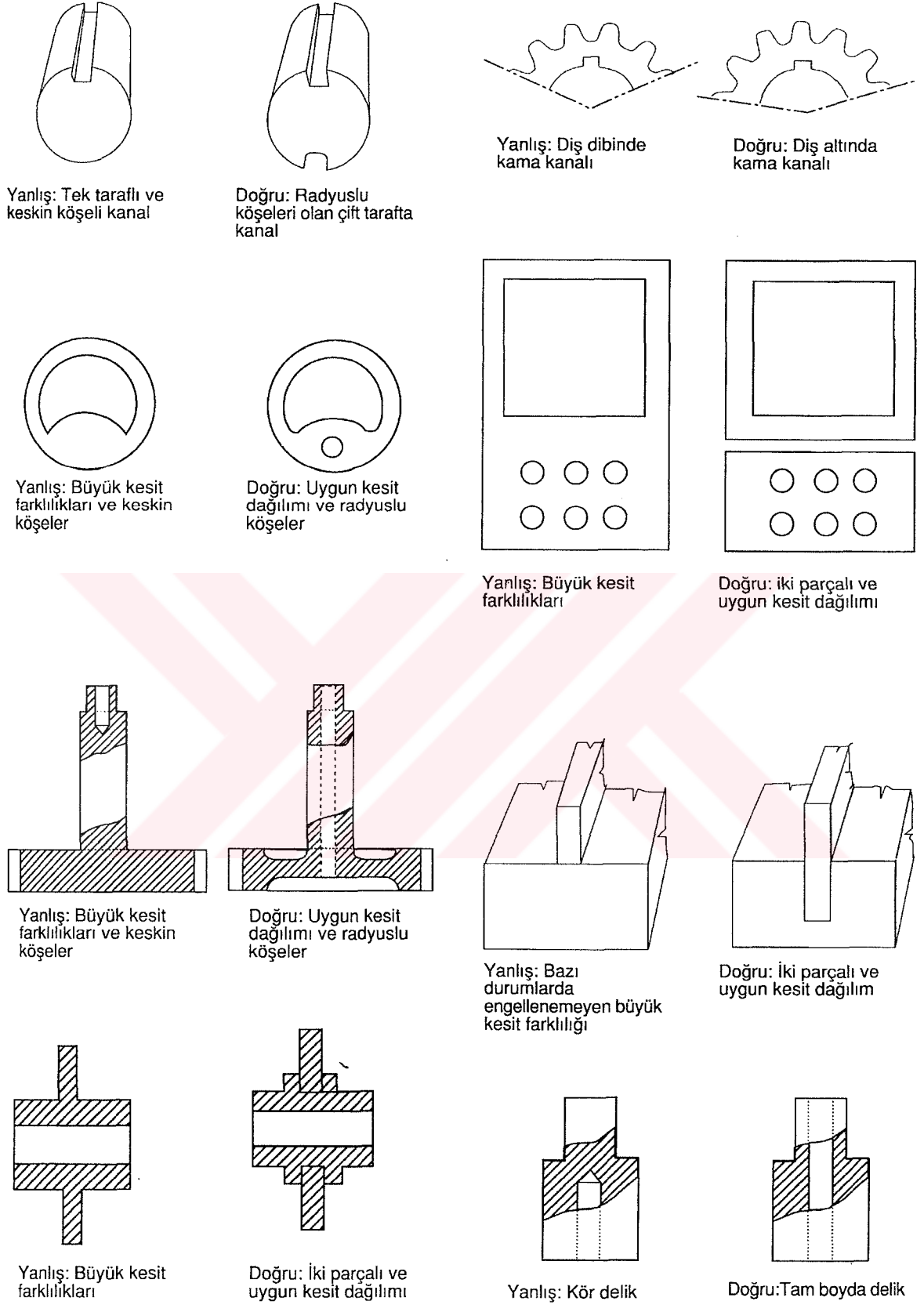


Yanlış: Büyük kesit farklılıkları ve keskin köşeler



Doğru: Uygun kesit dağılımı ve radyuslu köşeler

Şekil 3.2 Isıl İşleme Yönelik Kalıp Tasarımında Belli Başlı Hatalar (Hatman, 2000)



Şekil 3.2 Isıl İşleme Yönelik Kalıp Tasarımında Belli Başlı Hatalar (Devam)

### 3.2 Geleneksel Metalurjik Takım Çeliklerinde Gelişmeler

Takım çeliklerinin geleneksel üretim teknolojisi ingot dökümü ve arkasından yapılan termomekanik işlemlere dayanır. Daha önce de bahsedildiği gibi söz konusu üretim soğuk iş takım çelikleri olduğunda Geleneksel Metalurji (GM) ile gerçekleştirilebilecek üretimin belli sınırları vardır. Bu sınırların en önemlileri,

Kimyasal Bileşim: Belli bir oranın üzerinde alaşımlamanın mümkün olamayışı

Belli alaşım elementlerinin homojenitesini sağlamanın mümkün olamayışı

Karbür dağılımının homojenitesinin sınırları vb.

Yapısal Temizlik Sınırları

Bu sınırları aşmak için aşağıda açıklanmaya çalışılacak olan Toz Metalurjisi ve Püskürtme-Biriktirme (Sprey Forming) gibi tamamen yeni üretim yöntemlerinin, takım çelikleri üretiminde kullanılmasına başlanmış olmakla birlikte, bu durum, GM'de hiçbir boşluk kalmadığı hiçbir gelişme olanağı bırakılmadığı anlamına gelmemektedir. Benzer biçimde bu alanda da çalışmalar hızla sürmektedir.

Bu çalışmalardan biri, döküm yapısının daha homojen hale getirilebilmesini hedefleyen yatay sürekli döküm teknolojisidir. Böhler Edelstahl tarafından geliştirilen yöntemde 1.2080 (X210 Cr12) gibi soğuk iş takım çeliklerinin karbür dağılımında iyileştirmeler rapor edilmiştir (Fauland vd., 1998). Benzer biçimde son yıllarda yine Böhler Edelstahl tarafından geliştirilen bir başka teknoloji de Basınçlı Curuf Altı Ergitme (PESR) ile aşınma ve korozyon direncini artırmak için çelik içine yaklaşık % 0.6 azot sokulmasıdır (Schneider, 1998). Bu uygulama daha çok martensitik paslanmaz çeliklerde kullanılmakta olup, yüksek N katkısı, aşınma direncini arttırırken korozyon direncini düşürmeme arayışına yanıt vermektedir (Altena, 1992). Elde edilen yapısal temizlik Vakum Ark yeniden-Ergitme (VAR) ile elde edilene oldukça yakındır. Daha önce de belirtildiği gibi N katkısının sıvanmayı engelleyici etkileri de rapor edilmiştir (Heikkila, Slycke, 2002).

Pota metalurjisindeki gelişmelerin esas hedefi içyapı temizliğinin arttırılmasına yönelik olup, daha çok sıcak iş takım çelikleri ile plastik kalıplarında yaygın kullanılan kalıp çeliklerine yöneliktir. Bu uygulamalarda yapı temizliği ile hedeflenen kuşkusuz ısıl yorulma (heat checking) dayanımına katkı sağlamak amacıyla yönelik olarak tokluğu arttırmaktır. Öte yandan plastik kalıp uygulamalarında yüzey parlaklığının ve desen uygulamalarının kalitesinin arttırılmasına yönelik olarak da içyapı temizliğinin hedeflendiği görülmektedir.

Soğuk iş takım çelikler söz konusu olduğunda ise içyapı temizliğinin tokluğa bir katkısı

olduğunu iddia edebilmek oldukça zordur. İri karbürler içeren ve bu karbürlerin dağılımı son derece heterojen olan GM ile üretilmiş ve sıcak iş takım çelikleri ile kıyaslandığında çentikli darbe direnci  $5-15 \text{ j/cm}^2$  gibi oldukça düşük bir aralığında dolaşan bu tür çeliklerden ziyade, özel olarak yüksek tokluğu hedefleyerek alaşımlanmış GM takım çeliklerinde ve asıl olarak TM ile üretilmiş ve yüksek tokluğu hedefleyen takım çeliklerinde pota metalurjisi uygulamaları ile tokluk artışlarının hedeflendiği görülmektedir (Tornberg ve Fölzer, 2002). Mısır'dan Mattar ve arkadaşlarının (Mattar, 2002) soğuk iş, sıcak iş ve HSS'lerin üretiminde EAO curufları ve ESR curuf yapıcıları üzerine yaptıkları çalışmada, hem bu işlemlerde alaşım elementlerinin kaybı hem de mikroyapı temizliği üzerine oldukça kapsamlı bilgiler üretilebilmiştir.

Geleneksel metalurjide yaşanan gelişmelerin bir başka ana damarının da alaşımlama konusunda olduğu söylenebilir. Alaşımlama üzerine yapılan güncel çalışmaların dinamiği, artan üretim hızları karşısında yorulma dayanımının iyileştirilmesi; çekme/basma mukavemeti ile birlikte tokluğun artırılması hedeflenmektedir.

Günümüzde soğuk iş uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılan (%1.5) karbonlu ancak yaklaşık %1 V ve %1 Mo içeren %12 Cr'lu ledaburitik çeliklerin (1.2379, X155CrVMo12 1), %2 karbonlu ve %12 Cr'lu çeliklerin (1.2080, X210Cr12) yerini almak üzere geliştirilmesindeki temel felsefenin devamı olarak, bugün yapılmak istenen, yaklaşık 1700 HV sertliğindeki Cr ağırlıklı  $M_7C_3$  karbürlerinin yaklaşık 2800 HV sertliğindeki MC karbürleri ile ikame edilmesidir. İri ve düşük sertliğe sahip, dağılımı kötü  $M_7C_3$  karbür yapıcısı Cr yerine V, Mo, Ti, Nb gibi  $M_2C$  ve MC yapıcılar ikame edilmektedir (Wilmes ve Zwick, 2002), (Kun, 1998). Bunun yeni nesil çeliklerde Cr oranları % 8 ve daha aşağılara doğru düşmektedir. Böylece daha küçük ve dağılımı daha iyi denetlenebilir bir karbür yapısı elde edilmek istenmektedir. Bu da tokluğun ve çekme mukavemetinin kabul edilebilir abrasif aşınma direnci kayıplarıyla kayda değer ölçüde artışını getirmektedir. Malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1) olan soğuk iş takım çeliği yerine geliştiren bir takım çeliği olan Tenasteel'in de geliştirilmesindeki dayanakların benzer olduğu rapor edilmektedir (Viale vd., 2002):

Tokluğu arttırabilmek için C ve Cr oranlarının düşürülmesi,

Sertleşebilirliği, sertliği ve aşınma direncini korumak için Mo içeriğinin arttırılması,

Tane yapısını inceltmek için Ti ilavesi ile küçük  $M_4(C,N_3)$  çökmesinin sağlanması.

Matsuda ve arkadaşlarının geliştirdiği %8 Cr ve %2 Mo içeren soğuk iş takım çeliği, Cr'un Mo ile ikame edilmesine (Matsuda vd., 1998) bir örnek olarak verilebilir. %8 Cr'lu ancak 1.5



Mo, 1 W ve 2.5 V'lu bir başka çelik de SRIM ER5'dir (Jiali ve Zhijian, 1992). Öye yandan, bugün aynı dinamikler üzerinden Böhler tarafından K340 (Böhler, 2000) ve Uddeholm tarafından da Sleipner (Hatman, 2000) isimli malzemeler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Tokluğun yanı sıra aşınma direncinde de artış sağlamak üzere yeni geliştirilmiş bir başka soğuk iş takım çeliği de Böhler K3XX olup; bu çelikde Cr, Mo ve V'un yanı sıra Nb ve Al ile de ikame edilmektedir. Ayrıca bu çeliğe tokluk artışı sağlamak üzere mikroyapısal temizlik için ESR'de uygulanmıştır (Liebfahrt, 1998).

### 3.3 Yeni Üretim Teknolojileri

Geleneksel metalurjinin ötesinde takım çelikleri üretiminde tamamen yeni üretim teknolojileri olarak Toz Metalurjisi ve Püskürtme-Biriktirme telaki edilebilir. Son yıllarda Püskürtme-Biriktirme üzerine yapılan çalışmalarda kayda değer bir artış gözlenmekte olup, bu yöntemle üretilmiş WearTech, RollTech gibi soğuk iş takım çelikleri endüstriyel kullanıma girmiştir.

#### 3.3.1 Toz Metalurjik Soğuk İş Takım Çelikleri

TM, Geleneksel Metalurji (GM) ile dökülmesi zor yada mümkün olmayan kimyasal bileşimlerin, elde edilmesi mümkün olmayan ince ve homojen mikroyapıların üretiminde kullanılan bir çelik üretim yöntemidir. Takım çeliklerinde sadece 30 yıllık bir geçmişi olan bu yöntemde özellikle son yıllarda çok büyük gelişmeler ortaya çıkmış ve üçüncü nesil olarak tanımlanan takım çeliklerinin üretimine geçilmiştir (Tornberg ve Fölzer, 2002).

Şekil 3.3'de gösterildiği üzere su yada gaz atomizasyonu ile alaşımli çelik tozlarının üretiminin ardından paketleme (kapsülleme) ve bu kapsül içinde sıcak izostatik presleme (HIPing) ile %100 yoğunlukta çelik üretime dayanan toz metalurjik kütük üretiminde sıcak şekillendirme ve yüzey işleme yine son aşamalarıdır. Bu tür çeliklerde boşluk yada porizite tokluk kayıplarına neden olmasının yanında sertleşebilirliği de önemli ölçüde düşürdüğü için asla kabul edilemez (Saritaş, 2002). Metalurjik çeliklerin GM takım çeliklerine nazaran avantajları aşağıda özetlenmiştir:

Yüksek Katılma Hızları: İnce tane yapısı

Yeni Alaşımlara Elverişli Katılma

Çok Sert Karbürler ve diğer Çökeltiler

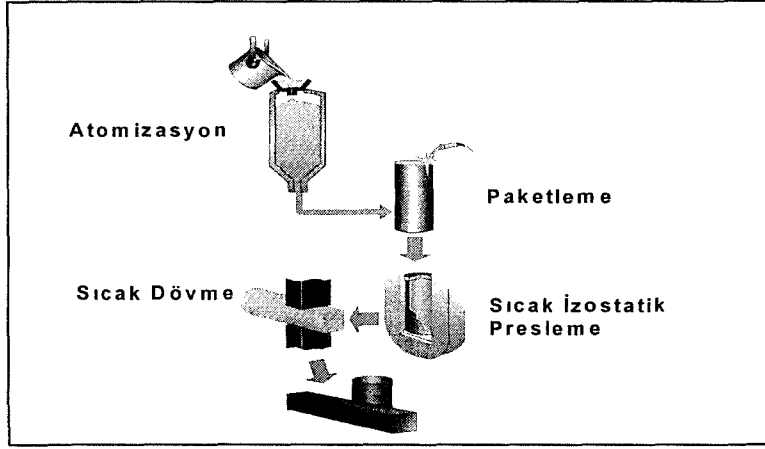
Küçük Çökeltiler

Homojen Karbür Dağılımı ve Eşyönlü Özellikler

Yüksek Tokluk ve Süneklik

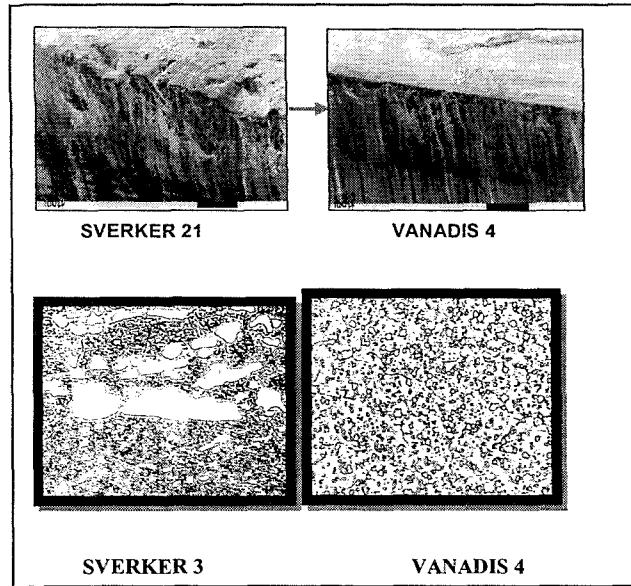
Yüksek Basma Mukavemeti

Yüksek Yorulma Dayanımı



Şekil 3.3 Toz Metalurjisinin Şematik Aşamaları (Sandberg, 2000).

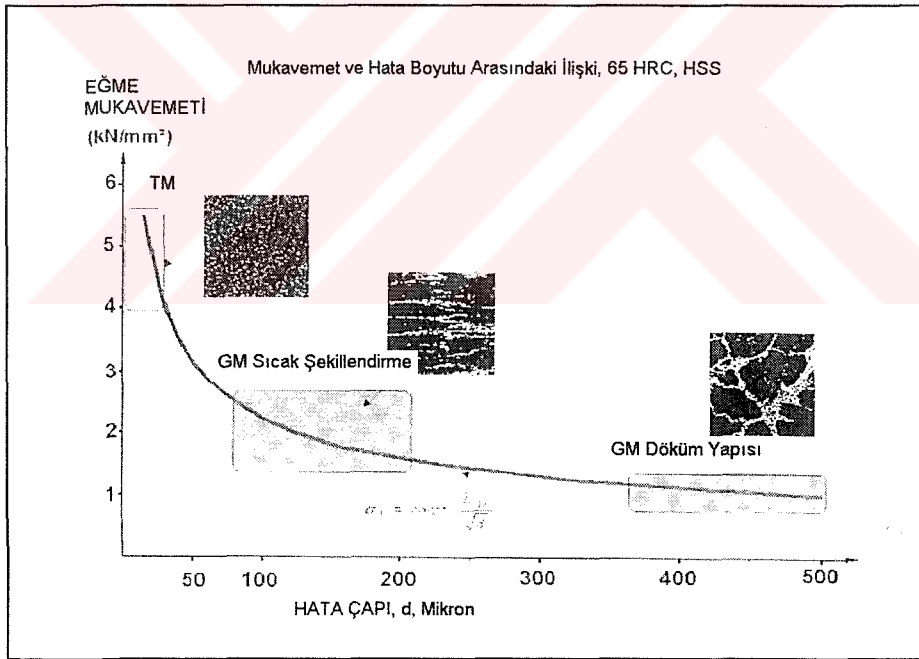
Aşağıda, Şekil 3.4’de, daha önce Çizelge 2.4’de özellikleri verilen farklı GM ve TM çeliklerin mikroyapıları ve çalışma sonrası kesici köşe aşınması karşılaştırılmıştır. Bu görüntülerinden de anlaşıldığı üzere, TM malzemelerde karbürler son derece ince ve homojen dağılımlıdır; bu özelliklere bağlı olarak eş çalışma koşullarında TM malzemeden imal edilmiş kalıpların kesici köşelerinde ağız dökülmesi görülmemekte yada daha geç oluşmaktadır. Toklukları daha yüksek olduğu için daha yüksek sertliklerde çalışma olanağı olan TM çeliklerin kesme, form verme gibi soğuk is uygulamalarında başarılı olmasını sağlayan en büyük avantajı, yüksek sertlik ve tokluğun bileşkesi olarak yorulma dayanımlarının yüksekliğidir (Sandberg, 2000).



Şekil 3.4 TM ve GM Çeliklerinde Mikroyapı ve Kesici Köşe Karşılaştırması (Sandberg, 2000).

Toz metalurjik malzemelerin geleneksel malzemelere karşı bir başka kritik önemdeki avantajı da eşyönlü özellikler gösterebilmeleridir. 1.2379 (X155CrVMo12 1) ile Vanadis 4'ün tokluklarını karşılaştıracak olursak, aralarında 6 ilâ 8 kat fark olduğunu görürüz. Üstelik, TM malzemelerin farklı doğrultularında tokluk özellikleri birbirlerine çok yakındır (%10 ilâ %30 fark bulunur.). Oysa ki geleneksel malzemelerde “hadde yönü” diye anılan boyuna özellikler ile enine özellikler arasında tokluk açısından neredeyse %100 bir fark bulunmaktadır (Şekil 2.13). Bu yüzden geleneksel malzemeler kullanıldığında kalıbın çalışma doğrultusu ile çeliğin hadde yönü mutlaka aynı seçilmelidir. TM çeliklerde ise bu yön kritik bir öneme haiz değildir.

TM malzemelere bu özellikleri kazandıran en önemli özelliği, atomizasyon sırasında oluşan katılaşma hızlarının yüksekliğidir. Esas itibarı ile atomize tozun ikincil dendrit kolları arası mesafesinin kısalığından kaynaklanan bu avantaj, kırılma tokluğunun yükselmesine Şekil 3.5’de görüldüğü gibi hata çapını (defect size) azaltarak sağlar (Tornberg, Fölzer, 2002).



Şekil 3.5 Eğme Mukavemetinin Hata Çapı ile Değişimi, (Tornberg ve Fölzer, 2002).

Gerek HSS üretiminde gerekse de soğuk iş takım çeliklerinin üretiminde toz metalurjisindeki son eğilimler aşağıda özetlenmiştir: (Grinder, 2002).

Basıncılı Curuf Altı Ergitme (PESR) ile kombine % 0.4-0.6 N ilavesi ile sıvanma ve korozyon direncinin artırılması

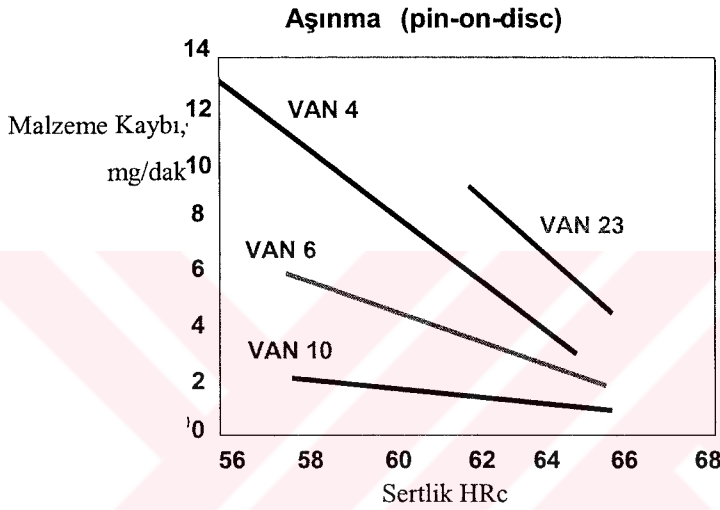
Curuf Altı Ergitme (ESR) ile curuf kalıntılarının temizlenerek tokluğun artırılması

HSS'lerde kükürt katkısı ile işlenebilirliğin iyileştirilmesi

Uygulama yönelimli alaşım geliştirme

Nano-yapı TM takım çeliklerinin geliştirilmesi

Bugün, pek çok TM soğuk iş takım çeliği kullanımında olup bunların Türkiye'de en çok tanınanları Çizelge 4.1'de belirtilmiştir. Kemdi aralarında çok farklı kimyasal bileşimlere ve özelliklere sahip bu çeliklerden bazılarının abrasif aşınma dirençleri (pin on Disk) Şekil 3.6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.6 Bazı TM Soğuk İş Çeliklerinin Abrasif Aşınma Davranışları (UTAB, 2000)

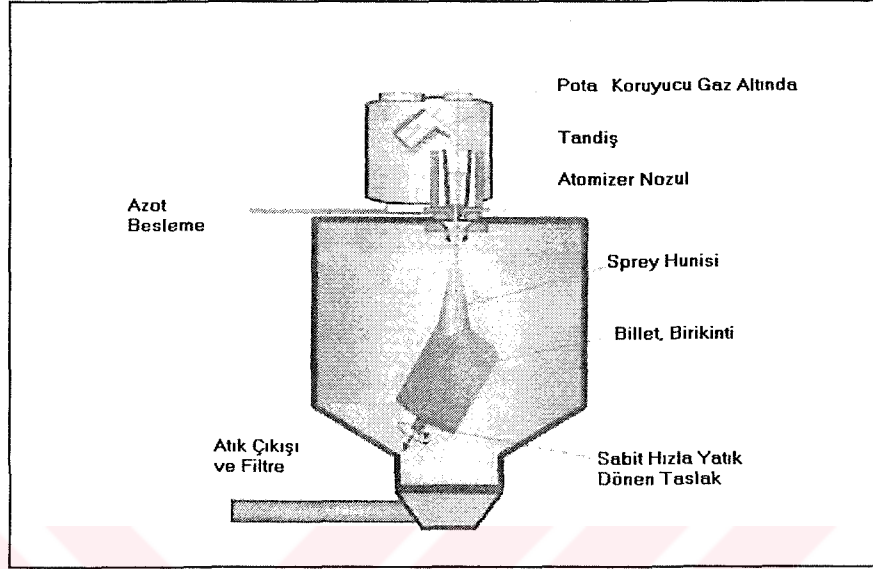
### 3.3.2 Püskürtme-Biriktirme (Spray Forming)

Püskürtme-Biriktirme (PB) yada Spray Forming (SF) ile kalıp çeliği üretimi son dört beş yıl içerisinde geliştirilen bir çelik üretim teknolojisidir ve bugün endüstriyel ölçekte uygulanmaktadır. Yoğun olarak daha önce GM ile üretilmiş soğuk iş takım çeliklerinin ve kısmen de HSS'lerin üretiminde kullanılmaya başlanan PB yöntemi prensip olarak kontrollü atmosfer altında ergitilmiş sıvı metalin tozlaştırmasına ve soğutmalı bir tablada oturan bir taslak üzerinde biriktirilerek katılaşmış ingotun üretimine dayanır (Spiegelhauer, 2002). Şekil 3.7a'da PB yöntemi şematik olarak açıklanmaya çalışılmıştır .

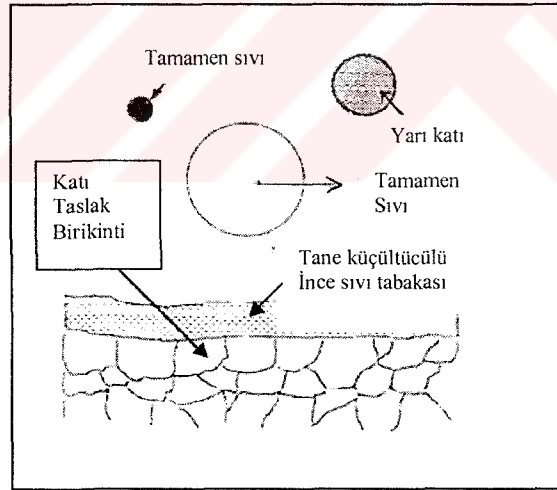
PB'de alaşım ergitildikten sonra gaz atomizasyonu ile toz haline getirilir daha sonra aşırı soğuyan toz tane ve damlaları azot veya argon atmosferinde soğuk kalıp üzerindeki taslakta biriktirilir; burada üst üste biriken aşırı soğumuş damlalar alttan ısı kaybı nedeni ile birikir birikmez katılaşır (Şekil 3.7b). PB sonucu teorik yoğunluğun % 98 değerine ulaşılabilir. Taslak daha sonra tam yoğunluğa ve son şekline sıcak şekillendirme ile, haddemele yada

dövme ile ulaştırılır (Kalkanlı, 2000).

PB'de katılaşma hızı atomize tozda elde edilen katılaşma hızından daha düşük ancak geleneksel ingot dökümündekinden çok daha hızlıdır.



Şekil 3.7a Şematik Olarak Püskürtme Biriktirme Yönteminin Kademeleri (Schulz, 2002)



Şekil 3.7b Şematik Olarak PB Yöntemde Birikme Mekanizması (Kalkanlı, 2000).

Bunun sonucunda elde edilen mikroyapı da TM'e göre kaba ancak GM'ye göre daha incedir. Bu durum tokluk ve aşınma direnci özelliklerinin de her iki yöntemle üretilmiş çeliklerin arasında bir konumda olmasını sağlar. Schneider ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmalar da bu konumu netliğe kavuşturmuştur. Şekil 3.8-3.11'de, GM, PB ve TM yöntemleri ile üretilmiş malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısı, adhesif ve abrasif aşınma dirençleri kıyaslanmıştır (Schneider, 2002). Görülmektedir ki, PB

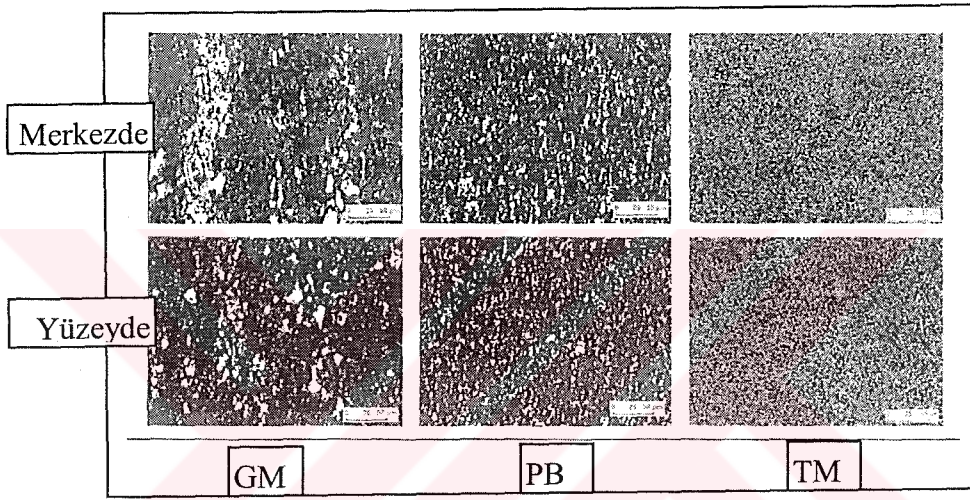


gerçekten de özellikleri itibarı ile TM ve GM'nin arasında bir yerde durmaktadır.

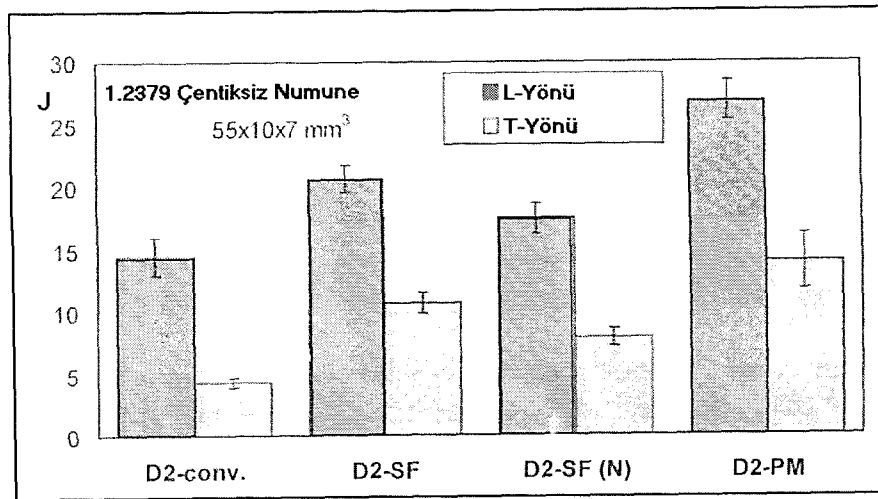
Mikroyapısı TM'den kaba ancak GM'den incedir: Bu yüzden tokluğu TM'den kötü ancak GM'den çok iyidir.

Karbürler TM'den daha kaba ancak GM'den daha küçüktür ve karbür dağılımı TM'den bozuk ancak GM'den çok daha homojendir: Bu yüzden abrasif aşınma direnci en az GM kadar belki biraz daha fazla ve TM'den daha iyidir;

Tokluk ve karbür boyutu ile karbür dağılımının durduğu yer itibarıyla da adhesif aşınma direnci TM'den kötü ancak GM'den çok daha iyidir.



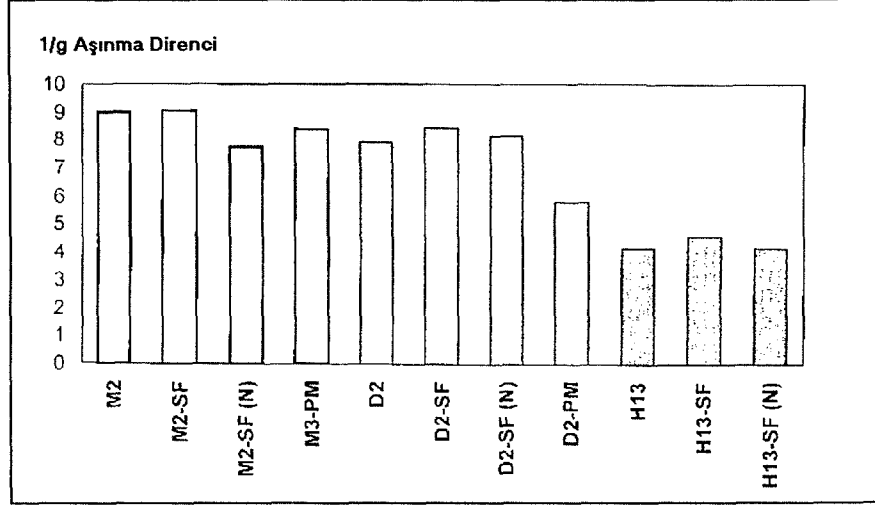
Şekil 3.8 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1) Mikroyapıları (Schneider, 2002)



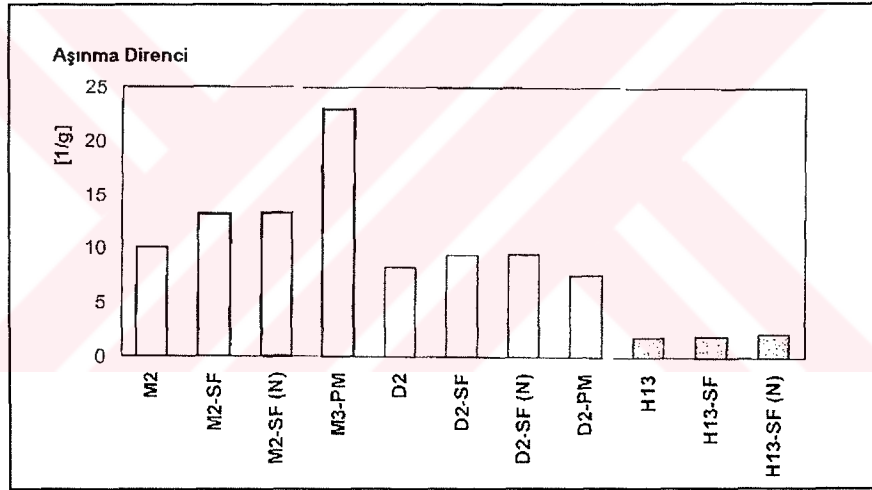
Şekil 3.9 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1)'ların Çentiksiz Darbe Toklukları (Schneider, 2002). D2: 1.2379 (X155CrVMo12 1), N: Yüksek Azot Seviyesi

Farklı çalışmalar da Schneider ve arkadaşlarının elde ettikleri sonuçları teyit eder niteliktedir (Spiegelhauer, 2002; Sandberg ve Jönson, 2002; Schruoff ve Schüler, 2002).





Şekil 3.10 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1)'ların Abrasif Aşınma Direnci (Schneider, 2002) M2: 1.3343; D2: 1.2379 (X155CrVMo12 1); H13: 1.2344 (X40 CrMoV5 1); N: Yüksek Azot Seviyesi



Şekil 3.11 Farklı Yöntemlerle Üretilmiş 1.2379 (X155CrVMo12 1)'ların Adhesif Aşınma Direnci (Schneider, 2002). M2: 1.3343; D2: 1.2379 (X155CrVMo12 1); H13: 1.2344 (X40 CrMoV5 1); N: Yüksek Azot Seviyesi

Yukarıda açıklanmaya çalışılan fiziksel metalurjik faydaların yanında PB ile takım çeliği üretiminin TM'ne göre başka avantajları da vardır. Bu avantaj esas olarak; toz eleme, öğütme, karıştırma, presleme, kapsülasyon ve sinterlemenin gerçekleştiği sıcak izostatik presleme gibi TM süreçlerin PB'de dışlanmış olmasıdır. Böylelikle, TM'e göre yakın metalurjik özellikler sağlayan PB ile üretim, TM'ne göre süre açısından oldukça kısa ve ekonomik bir üretim yöntemidir. İlk yatırım maliyeti de düşük olan PB ile üretim sonucu elde edilen takım çeliği özellikleri, GM'ye göre son derece yüksek olması ile de gelecekte oldukça yaygın kullanılacak bir üretim yöntemi olacağının işaretlerini vermektedir. Beklenti, mevcut GM malzemelerin PB ile ikamesinden ziyade PB'ye uygun çelik tasarımlarının yaygınlaşacağıdır.

### 3.4 Çekirdeğe Kadar Sertleştirme Isıl İşleminde Tartışmalar ve Gelişmeler

Takım çeliğine özelliğini veren çekirdeğe kadar sertleştirilme yani dönüşüm sertleşmesi işlemidir. Kalıp formundaki takım çeliğinin beklenen özelliklerini kazanmasını sağlayan bu işlem esnasında yapılan hatalı uygulamalar kalıplarda çatlama yada kırılmaya yol açabildiği gibi, ısıl işlemin hatalı yada eksik yapılması sonucu kalıp performansında büyük kayıplara da neden olunabilir.

Öte yandan, ısıl işlem sırasında ortaya çıkan ısıl gerilmeler ve faz dönüşümleri nedeniyle oluşan gerilmeler de kalıp imalatı sırasında daha önce yapılan hataların ve oluşturulan iç gerilmelerin de açığa çıkmasına yol açabilir (Sullivan, 1982). Bu çalışmanın 3. Bölüm'ünde Şekil 3.2'de ısıl işlem esnasında hasara neden olabilecek tasarım hataları verilmişti. Başta nihai mikroyapıyı belirleyen soğutma hızı olmak üzere ısıl işlem parametrelerinin kalıp tasarımı göz önüne alınarak yapılmasını zorunlu kılan bu durum, çoğu kez kalıp performansından bilerek feragat edilmesine de neden olmaktadır. Bir örnek vermek gerekirse; kesit farklılıkları yüzünden ısıl işlem sırasında çatlama riski taşıyan bir kalıp elbette ki düşük soğutma hızı tercih edilerek sertleştirilecek ve bu da mikroyapının –belki de- ön-ötektoid çökelti ve hatta beynit yada üst beynit gibi istenmeyen fazlar içermesine yol açacaktır. Bu koşullarda mikroyapı hem tokluğunu hem de aşınma direncini yitirebilecektir.

1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi ısıl işlem esnasında oluşan yapı dönüşümleri ile yapı-özellik ilişkileri çok iyi tanınan tüm soğuk iş takım çeliklerinin ısıl işlemleri için Bryson (1997) çalışması son derece kapsamlı bir kaynak durumundadır. Thelning'e (1984) göre yüksek alaşımli soğuk iş takım çeliklerinin ısıl işleminin takım çeliğinin performansına etkisini, birincil derecede aşağıdaki şu ısıl işlem parametreleri belirler:

Östenitleme Sıcaklığı-Süresi: Çözme tavlı olup menevişte çökelmeyi etkiler

Soğutma Hızı: Anayapıyı ve Ön-Ötektoid Karbür oluşumunu belirler

Menevişleme: Çökelmeyi ve Anayapıyı belirler.

Ayrıca bunlara, son yıllarda takım çeliklerinde yaygınlaşan bir uygulama olan ve artık östenik miktarını denetleyen Derin Soğutma'yı da ekleyebiliriz.

Derin Soğutma: Anayapıyı ve Çökelmeyi Belirler

% 2 C, % 12 Cr ve %1.3 W içeren malzeme no 1.2436 (X210CrW12) abrasif aşınma direnci yüksek soğuk iş takım çeliği üzerinde yapılan çalışmalar (Nykiel, 1998); östenitleme süresi ve sıcaklığının martensit tane boyutu ve morfolojisine, çözünen karbür miktarına, çözeltiliye geçen alaşım elementi miktarına ve artık östenit oranına bu çelik özelinde açıklık getirmiştir.

Bu çalışma da, artan sıcaklık ile östenit tane kabalaşmasının ortaya çıktığını; buna bağlı olarak martensit latalarının kabalaştığını, artık östenit miktarının arttığını ve 1150 °C'den sonra dönüşümün tamamen ortadan kalktığını göstermiştir. 1050 °C'ye kadar tüm  $M_{23}C_6$  karbürleri çözünmekte ve daha yüksek sıcaklıklarda sadece  $M_7C_3$  çözünmeye devam etmektedir. Artan sıcaklık ile çözeltiye alınan alaşım elemanları bu çeliğe, ikincil sertlik özelliği kazandırmaya başlamakla birlikte, hem iri birincil karbürlerin çözünmesiyle abrasif aşınma direnci düşmekte hem de tokluk kaybı başgöstermektedir.

Böhler Edelstahl'dan Pöckl ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1) olan Böhler K110 soğuk iş takım çeliği ile yeni geliştirilmiş % 8 Cr'lu K340'ın farklı soğutma hızlarında mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir (Pöckl, 1998). Soğutma hızını tanımlamak için bu çalışmada kullanılan parametre  $\lambda_{8/5}$  \* olup, 1.2379 (X155CrVMo12 1)'da  $\lambda_{8/5}$  2'den büyük olduğunda darbe enerjisi 9.9 J'den 12.3'e birden sıçramaktadır. Sertlik ise su verilmiş durumda  $\lambda_{8/5}$ 'ya bağlı olarak ya çok az artmakta yada hiç değişmemektedir. Öte yandan Menevişlenmiş durumdaki sertlik ise 60.3 HRC'den 58.8'e düşmektedir. Soğutma hızının artışıyla sertlikte bir kayıp olmaksızın yada çok az bir kayıpla tokluktaki bu artışı artan soğutma hızıyla tane sınırlarına yerleşen ön-ötektoid karbür çökmesinin engellenmesine yormak mümkündür. Karbür çökmesinin engellenmesi ile martensit içinde kalan alaşım yapıcılar katı çözelti sertleşmesi aracılığı ile çeliğin sertliğini bir miktar yükseltmektedir. Ancak metastabil östenit içindeki bu alaşım yapıcıların devam eden soğuma koşullarında hâlâ yerlerini koruyor olması martensit dönüşümünü geciktirir. Böylece  $M_s$  -bu çelik için-  $\lambda_{8/5}$  0.5 olduğunda 120 °C iken  $\lambda_{8/5}$  3.5 olduğunda 275 °C'ye çıkar ve artık östenit oranı da % 2.8'den % 16'ya tırmanır. Kuşkusuz bu durum da sertleştirme sonrası tokluğunu ayrıca yükseltmektedir. Menevişleme esnasındaki sertlik düşümü ise bu artık östenitin stabilizasyonuna delalet etse gerekir. K340'da ise menevişleme sırasında dahi bir sertlik düşüşü görülmemiştir çünkü bu çelik 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a göre daha sert kararlı ve menevişleme esnasında çökme potansiyeli yüksek bir karbür yapıcı olan Mo'i daha yüksek oranda içermektedir.

Ön-ötektoid karbür çökmesini engellemek ve karbür yapıcıları martensit içinde hapsedebilmek için uygulanması gerekenin soğutma hızını arttırmak olduğu kesindir. Ancak endüstriyel uygulamada takım çeliklerinin çekirdek sertleştirme için soğutma hızını, kalıp

---

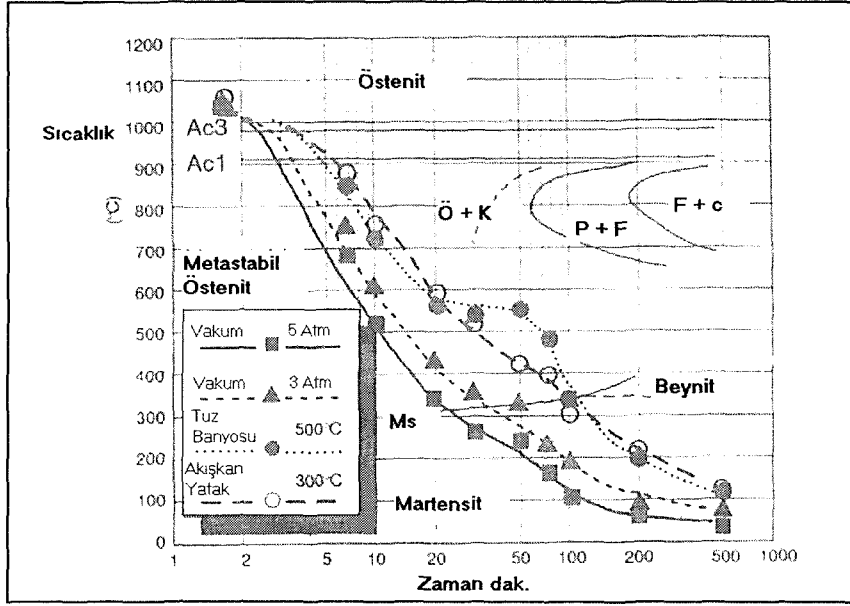
\*  $\lambda_{8/5} = 800 \text{ °C'den } 500 \text{ °C'ye soğuma zamanı [dak]/100$

tasarımının dışında sınırlayan bir başka olgu daha bulunmaktadır. Bu da mevcut ısı işlem fırınlarının soğutma kapasitesidir. Takım çeliklerinin tam sertleştirilmesinde yaygın kullanılan tuz banyoları ve akışkan yataklar sabit soğutma hızına (kapasitesine) sahip ekipmanlar, vakum fırınları, değişken soğutma hızlarının yaratılabildiği ısı işlem ekipmanları olarak dikkati çekmektedir. Bennani ve arkadaşlarının bir sıcak iş takım çeliği üzerinde yaptıkları karşılaştırmalı araştırma ortaya koymuştur ki, vakum fırınlarında yüksek basınçlı gaz ile soğutulduğunda elde edilen çentikli darbe toklukları hem akışkan yataktan hem de tuz banyolarından daha yüksek olmaktadır (Bennani, 1992). Şekil 3.12a'da malzeme no 1.2344 olan sıcak iş takım çeliği için verilen Sürekli Zaman Sıcaklık Dönüşüm Diyagramı (SZSD) üzerinde belirtilen farklı soğuma koşullarında elde edilen çentikli darbe toklukları Çizelge 3.1'de kıyaslanmıştır.

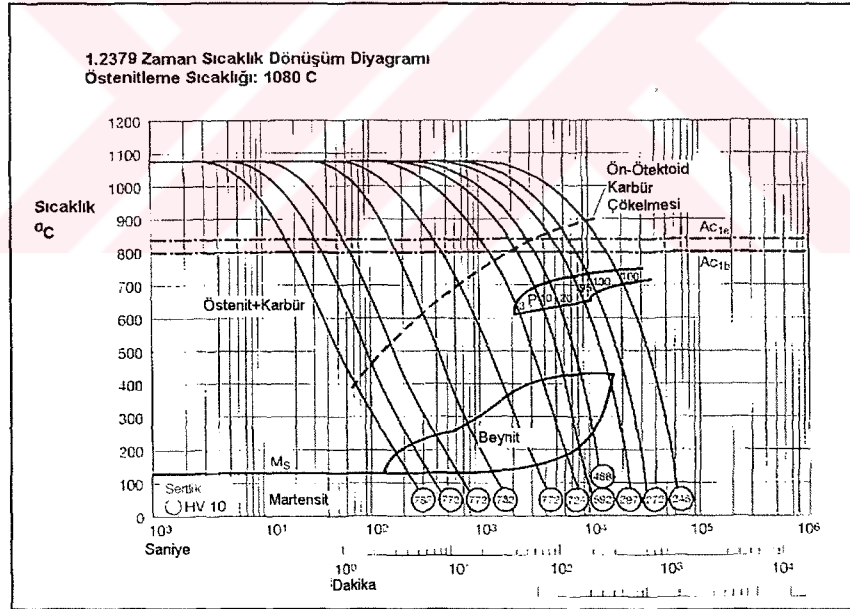
Unutulmamalıdır ki benzer ön-ötektoid karbür çökelme hattı 1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi soğuk iş takım çeliklerinde de bulunmaktadır. Şekil 3.12b'de 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un Sürekli ZSD diyagramı verilmiştir. Soğutma hızlarının tokluk kaybını engellemek için artırılması daha önce de belirtildiği gibi  $M_s$  sıcaklığının yükselmesini ve böylece de artık östenit miktarının artışı beraberinde getirmektedir. Artan soğutma hızı nedeniyle yükselen artık östenitin dönüştürülebilmesi için ise sıfır altı işlemi (derin soğutma) uygulanabilmektedir. Özellikle menevişleme esnasında ikincil sertlik özelliği gösteren 1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi soğuk iş takımlarının ısı işleminde bu yöntem yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ye ve Tidlund, 1998).

Çizelge 3.1. Malzeme No 1.2344 Sıcak İş takım Çeliğinde Farklı Soğutma Hızlarının U-Çentikli Darbe Tokluğuna Etkisi, (Bennani, 1992)

Soğutma Ortamı	Soğutma Hızı °C/d	Darbe Tokluğu J/cm <sup>2</sup>	
		-Kütük Yüzeyinden	-Kütük Merkezinden
Akışkan Yatak 350 °C	31.0	30.1	28.3
Tuz Banyosu 500 °C	33.0	36.9	34.1
Vakum 3 atm Gaz	41.0	39.1	35.5
Vakum 5 atm Gaz	47.0	46.5	40.4



Şekil 3.12a Malzeme No 1.2344 Sıcak İş takım Çeliğinin Sürekli ZSD Diyagramı Üzerinde Soğutma Ortamları ve Karşılık Geldiği Soğuma Hızları (Bennani, 1992)



Şekil 3.12b 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un Sürekli ZSD Diyagramı (Thyssen, 1996)

Oda sıcaklığına soğutma sonrası doğrudan sıvı azot içinde 35 saat tutulması ve ardından düşük sıcaklıkta menevişlenmesi ile 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliklerinin aşınma direncinde kayda değer artışlar saptanmıştır (Pellizzari, 2001). Ancak, sertleştirme sonrası düşük sıcaklık menevişinin ardından yapılan derin soğutma yine de bir alternatif teşkil etmektedir (Pellizzari, 2002).

### 3.5 Yeni Yüzey İşlemlerinin Takım Çeliklerine Uygulanması

Kalıp çeliği-iş parçası ara yüzey özellikleri, kalıp performansı üzerinde son derece etkilidir. Daha önce de belirtildiği üzere, pek çok hasar mekanizması bu ara-yüzey özellikleri üzerinden etkili olur. Bu nedenle de bu hasarları engellemek yada geciktirmek üzere alınacak önlemlerin de asıl olarak bu ara-yüzey özellikleri üzerinde belirleyici olması gereklidir. Yüzey işlemleri doğrudan doğruya ara-yüze müdahil olmanın biricik yöntemidir. Ancak yüzey işlemlerinin sonuçları, yani kalıp performansına etkisi, sadece bu ara-yüze bağlı değildir. Gerçekleştirilen yüzey işleminin nihai sonuçları üzerinde aşağıdaki öğeler de etkili hatta belirleyici olabilmektedir:

Yüzey Özellikleri (Yüzey Pürüzlülüğü vb.);

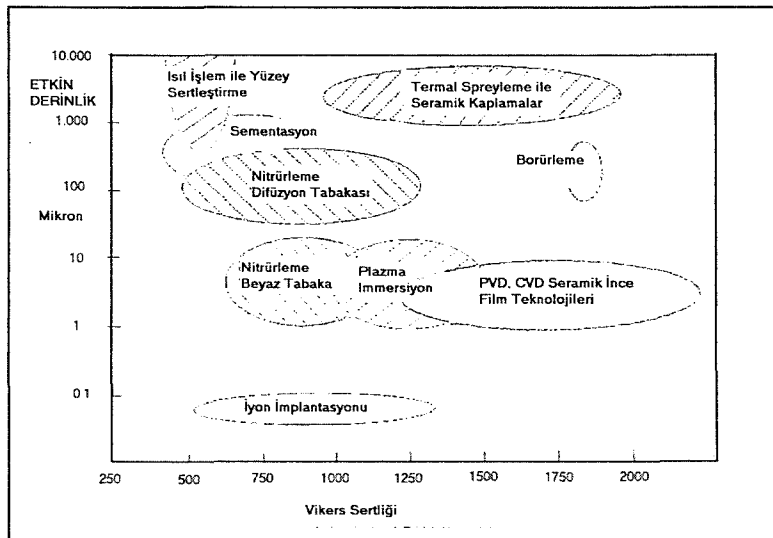
Yüzey İşlemi (Yöntem, Süreçler, Kalınlık vb.);

Katman Özellikleri (Kimyasal Bileşim, Sertlik, Tokluk, vb.)

Ara-yüzey Özellikleri (Sürtünme Katsayısı, Bağ Kuvvetleri vb.)

Taşıyıcı Özellikleri (Mukavemet vb.).

Bu özellikler içinde özellikle kaplama kalınlığı, sertliği ve sürtünme katsayısı, hangi uygulamada hangi yüzey işleminin seçilmesi gerektiğine dair birincil önemdedir. Şekil 3.13'de kalıplarda kullanılan yüzey işlemleri kaplama kalınlığı sertlik ilişkisine bağlı olarak tanımlanmıştır. Kaplama kalınlığı arttıkça kaplama ile altyapı arasındaki bağ zayıflamakta ve kaplama tokluğu genel bir eğilim olarak düşmektedir. Öte yandan getirdiği abrasif aşınma direnci ise artmaktadır denilebilir.



Şekil 3.13 Kalıplarda Kullanılan Yüzey İşlemlerinin Sertlik-Derinlik İlişkisi (Spies, 1999)



Kalıplar ve takımlara uygulanan yüzey işlemleri Lim tarafından aşağıdaki gibi sınıflanmıştır (Lim, 1992):

Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeyen ısı işlemler:

- Alevle yüzey sertleştirme,
- İndüksiyon sertleştirme
- Laser/Elektron Demeti ile sertleştirme (Ben-Salah, 1999; Olofson, 1997; Yang, 1992)

Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştiren teknikler:

- İyon implantasyonu (Taylor, 1986; Singer, 1979)
- Termokimyasal yöntemler
  - Nitürleme ve Nitrokarbürleme, (Sproge, 1997)
    - Tuz Banyosunda
    - Gaz Nitürleme
    - Plazma Nitürleme (Keneş ve Hatman, 1998; Haberling ve Rasche, 1992)
  - Oksidasyon
  - Sementasyon ve Karbonitürleme
  - Borürleme, (Bakhshi, 2001)
  - Yüzey Alaşımama ve Yüzey Kaynağı (Ebner vd., 1999; Köning, 1992)

Kaplamalar

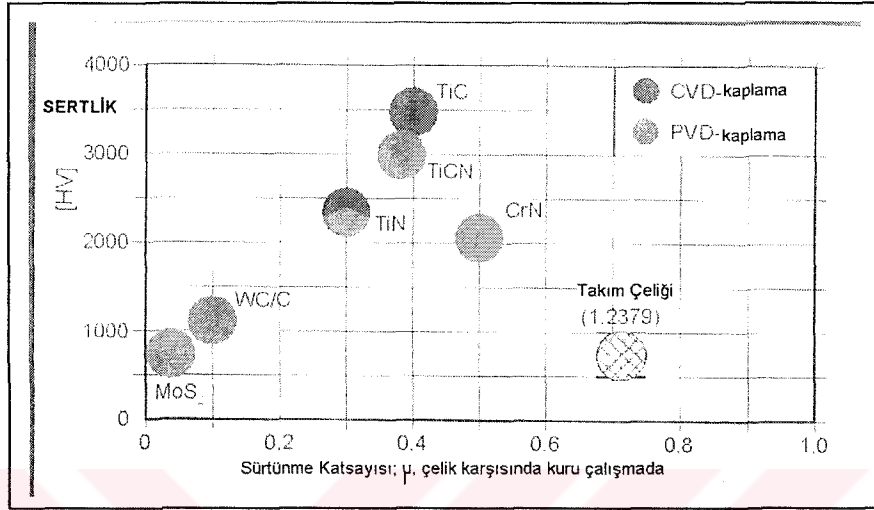
- PVD, (Larsson, 2000; Oral, 2000; Lavallo, 1992; Foller, 1992)
- CVD, (Hakansson, 1997)
- Elektroliz
- Elektriksiz (Electroless) Kaplama,
- Püskürtme (Termal Spreying) ile Kaplama (Abdel-Samad, 2002)\*

Son dönemde yapılan çalışmalara bakıldığında, bir yandan laser ile yüzey sertleştirme ve termal spreying üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir. Öte yandan ise kaplama tokluğunun artırılmasına yönelik olarak vakum teknolojilerinin (PVD, CVD, Plazma Nitürleme, İon İmplantasyonu vb.) kombine kullanılması ile PACVD (Nöbauer, 2001) gibi çok katmanlı kaplamalar üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir (Yanian, 1998; Peiying, 1998). Uygulamada ise bu tür vakum teknolojilerinin artık son derece sık kullanıldığına tanık

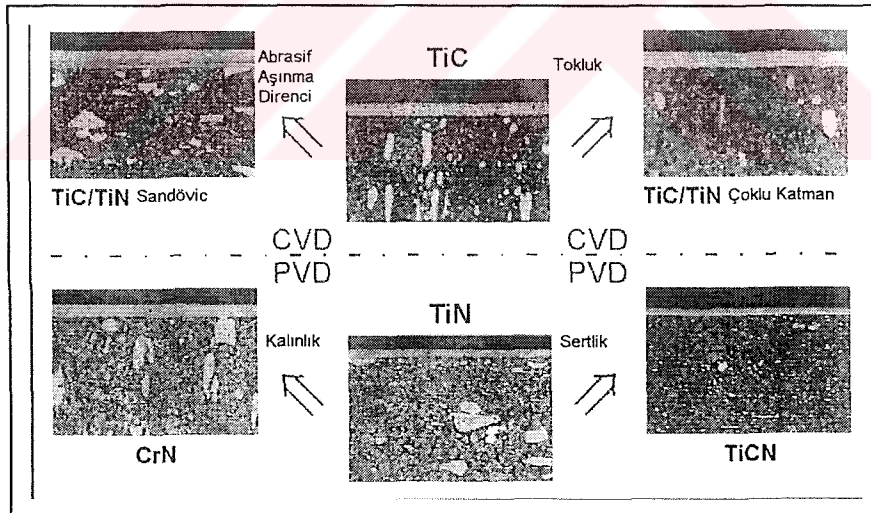
---

\* Thermal Spray-Püskürtme Kaplamalar içinde kalıplara kolayca uygulanan Atmosferik Plazma Kaplama yöntemi ve diğer bu başlıkta telaki edilebilecek kaplama yöntemlerindeki son gelişmeler için lütfen şu kaynağa bakınız: International Thermal Spray Conference, Konferansta Sunulan Tebliğler, (derl.) E. Lugscheider, 2-6 Mart 2002, Essen

olunmaktadır. Şekil 3.14’da, bu tür kaplama yöntemlerinden CVD ve PVD ile elde edilmiş kaplamaların çelik karşısında çalışmaları esnasında ortaya çıkan sürtünme katsayıları kıyaslanmıştır. Sürtünme katsayısının düşmesi özellikle adhesif aşınmayı ve sıvanmayı azaltmaktadır.



Şekil 3.14 Farklı CVD ve PVD Kaplamalarda Ortaya Çıkan Çelik Karşısında Sürtünme Katsayısı (Escher, 2002)

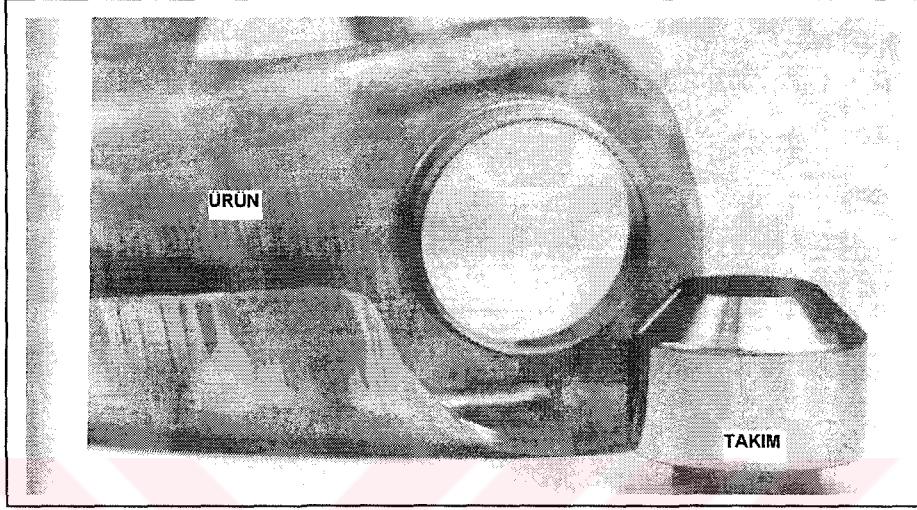


Şekil 3.15 CVD, PVD Kaplamalarda Kaplama Türlerinin Arttırdığı Özellikler (Escher, 2002)

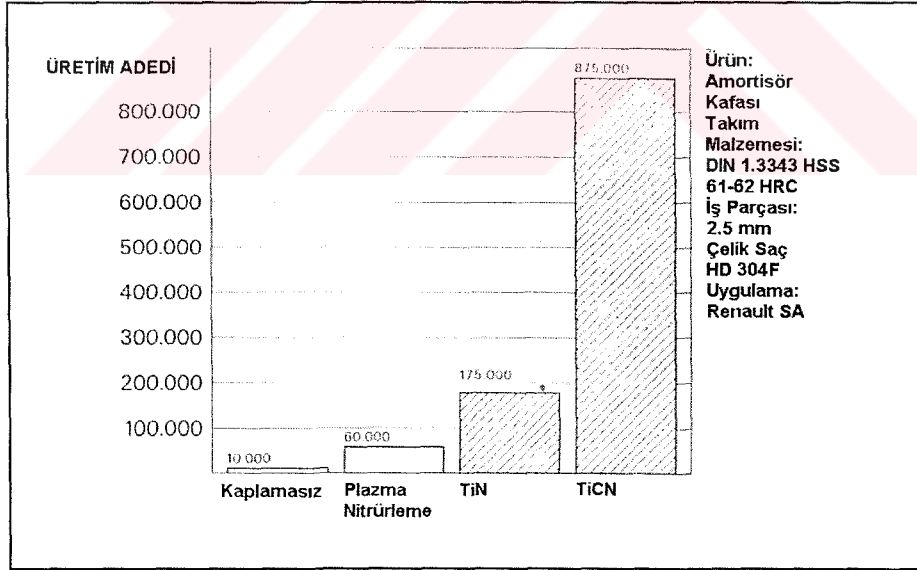
Özellikle adhesif aşınma ve sıvanma ile birlikte yüzey yorulmasından kaynaklanan hasarların engellenmesinde bu tür yeni kaplama tekniklerinin oldukça başarılı olduğu rapor edilmektedir.

Şekil 3.16’da gösterilen amortisör kafasının bağlantı bölgesinin şekillendirilmesinde kullanılan ve daha çok adhesif aşınmaya çalışan form verme zimbadasında yapılan farklı

kaplamaların sonuçları Şekil 3.17’de verilmiştir (Schulz, 1992). Görülmektedir ki, plazma nitrülleme ile 6 kat, TiN kaplama ile 17 kat ve TiCN ile de 80 kat ömür artışı sağlanmıştır.



Şekil 3.16 Denemeye Konu Olan Ürün ve Takım (Schulz, 1992)



Şekil 3.17 Farklı Kaplamalarının Takım Ömrüne Etkisi (Schulz, 1992)

#### 4. KALIP PERFORMANSI

Bu çalışmanın Giriş bölümünde de değinildiği üzere, kalıpların ekonomik analizi, mevcut pazar koşullarında üretimin verimliliği ve rekabet edebilirlik açısından giderek daha belirleyici bir hale gelmiştir. Ülkemizde de bu tür ekonomik analizler üzerine yapılan çalışmalar bulunmakta (Türküz vd., 1998) olup özellikle kesici takımların performansları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Ahlatçı vd., 1998). Ancak, “Kalıp Performansı” üzerinde henüz yerleşik bir kavram olmadığı gibi, önemi de kavranabilmiş değildir.

*Kalıp Performansı*, ilgili kalıptan üretilen birim ürüne yansıyan *Toplam Kalıp Maliyeti* olarak ifade edilmekte olup ürün maliyetini birinci dereceden etkilemektedir. Ancak kalıp maliyeti, daha önce belirtildiği üzere mutlak anlamda kalıbın imalatı esnasında ortaya çıkan Kalıp İmalat Maliyet ile sınırlı değildir. Üretimin kalıp nedeniyle durması sonucu ortaya çıkan kapasite kayıpları, hatalı üretim nedeniyle zayi olan üretim kayıpları ve fireler ile kalıbın tamir-bakımı esnasında kalıba yapılan ikincil harcamalar da bu Toplam Kalıp Maliyeti’ne muhakkak ki dahil edilmelidir. Ayrıca, kalıbın değiştirilmesi ile tamir-bakım nedeniyle üretimin durması nedeniyle oluşan üretim kayıpları da kalıp performansına yansıtılmalıdır.

Bu yüzden de gerek dünyada gerekse de ülkemizde kalıp ömrünün ve kalıp performansının artırılması için yoğun çaba sarf edilmekte, çeşitli araştırmalar yapılmakta, iyileştirmeler ile yeni teknikler devreye alınmakta ve kalıp performansının hesaplanmasına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır.

Kalıp performansının hesaplanmasına ilişkin en çok kabul gören yaklaşımın esası kalıptan üretilen parça başına toplam kalıp maliyeti yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın esasına ilişkin olarak Uddeholm Tooling AB’den Odd Sandberg ile William Roberts’ın 1987’de Illinois’de verdikleri örneği aktarmakta yarar bulunmaktadır. Sandberg ve Roberts, kalıp imalat maliyeti içinde değişken öge olarak malzeme maliyetini almış ve parça başına kalıp imalat maliyetinin sabit kalabilmesi için bu farklı çelikler ile üretilmesi gereken en düşük üretim miktarlarını hesaplamıştır (Sandberg ve Roberts, 1987):

Çizelge 4.1 Kalıp İmalat Maliyeti'nde Başa Baş Durum; (Sandberg ve Roberts, 1987)

	Geleneksel Çelik	Yüksek Performans Çelikleri	
Çelik Maliyeti	10	20	50
Tasarım+Isıl İşlem+İşleme	90	90	90
Toplam Maliyet	100	110	140
<b>Üretim Adedi</b>	<b>1000</b>	<b>1100</b>	<b>1400</b>
Ürün Başına Maliyet	0.1	0.1	0.1

Bu tablonun anlattığını kısaca özetleyecek olursak; daha gelişmiş bir çelik kullanılarak çelik maliyeti %100 arttığında (10 birimden 20 birime çıktığında) eğer üretim adedi sadece %10 artabilir ise (1000 adetten 1100 adede) bu yeni çeliğin performansı ile eski çeliğin performansı başa baş gelmiş olur. Benzer biçimde; kalıp çeliği maliyetinin % 500 artmasına karşılık üretim adetleri % 40 artarsa benzer biçimde başa baş nokta bulunmuş olur. Ancak Sandberg ve Roberts'ın aktarılan örneği, performans yaklaşımının esasını anlatabilmek için Toplam Kalıp Maliyeti yerine sadeleştirmeye giderek sadece Kalıp İmalat Maliyetini veri olarak hesaplama yaptığından, gerçekte başa baş üretim adetleri daha da düşük olmalıdır.

Böhler Edelstal'dan Makovec ve arkadaşları (1992), kalıp performansını belirlerken Toplam Kalıp Maliyetine yakın bir veri tabanı kullandıkları bu yüzden de gerçekliğe daha fazla yaklaştıkları çalışmalarında (rotorlar için 0.50 mm silisli saç kesen bir laminasyon kalıbında) geleneksel çeliğe (Böhler K 107) karşı, toz metalurjisi ile üretilmiş yeni nesil bir soğuk iş takım çeliğini (Böhler K 190 PM) seçmişlerdir. Çizelge 4.2'de bu çalışmadan aktarılmış olan sonuçlara göre, K190 PM ile 8,4 milyon adetlik üretim için sadece tek bir kalıp imalatı yani 64.500 Avusturya Şilinlik (ATS) bir yatırım gerekmektedir (Makovec vd., 1992). Aynı sayıda üretimi K107 ile elde edebilmek için üç adet kalıp imal etmek yani  $3 \times 60.765 = 182.295$  ATS'lik bir yatırım gerekmektedir. Bu da sonuç olarak K 190 PM kullanıldığında, 117.795 ATS'lik bir tasarrufa olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanmaya çalıştığımız performans hesabını, yani ürün başına toplam kalıp maliyetini, mevcut verileri ile bu örnekte hesaplayacak olursak, kalıbın performansı iki farklı kalıp çeliğinden imal edildiği durumlar için aşağıdaki gibi ortaya çıkmaktadır.

K 190 PM'den üretilmiş kalıbın performansı  $64.500/8.400.00 = 0.0076$  ATS/adet

K 107'den üretilmiş kalıbın performansı ise  $117.795/8.400.00 = 0.014$  ATS/adet.



Çizelge 4.2 Performans Hesaplaması için Model Önerisi, (Makovec vd., 1992)

Kalıp Çeliği	X210CrW12 Böhler K107	X230 CrVMo134 PM Böhler K190 PM
Çelik Maliyeti, ATS	756	4.500
Tasarım+ Isıl İşlem + İşleme, ATS	60.000	60.000
Toplam Kalıp İmalat Maliyeti, ATS	60.765	64.500
<b>Üretim Adedi, her taşlamada</b>	<b>150.000</b>	<b>240.000</b>
Taşlama Miktarı	0.3 mm	0.17 mm
Kalıp Bitene Kadar Taşlama Sayısı	20 defa	35 defa
<b>Toplam Üretim Adedi</b>	<b>3.000.000</b>	<b>8.400.000</b>

Bu verilere göre, K190PM ile 35 taşlama ile yapılan üretim K 107 ile ancak 60 taşlama sonunda elde edilebilmektedir. Aradaki 25 taşlamanın fiili taşlama maliyetleri, sökme takma maliyetleri ve kalıpların çalışmadığı sürelerin üretim kaybı olarak değerlendirilmesiyle ortaya çıkacak maliyetlerin performans hesabına yansıtılması sonucu bu iki çelikten imal edilmiş kalıplar arasındaki performans farkı kuşkusuz daha da artacaktır.

Makovec'in bu çalışmada kullandığı veriler, görüldüğü üzere, Sandberg ve Roberts'in çalışmasından (1987) farklı olarak, kalıp imalat maliyetinin ötesindeki iki taşlama arasında bu kalıptan elde edilebilen ürün sayıları, yani taşlama ömrü gibi detayları da içermektedir. Bu sayede daha detaylı bir sonuç elde edilebilmekle beraber, Makovec'in çalışmasında, taşlama süresi ve buna bağlı olarak, taşlama maliyeti, taşlama sırasındaki bekleme süresi nedeniyle ortaya çıkan üretim kayıpları, sökme-takma zamanı ve bu zamana bağlı üretim kayıpları değerlendirmeye alınamamıştır. Bu çalışmada, bu eksiklikleri gidermeye yönelik olarak daha basit bir hali Assab Singapur'dan Li tarafından ortaya konan (Li, 1999) ve UTAB tarafından son hali verilerek geliştirilen bir başka modeli\* kullanacağız (Ridefors, 2003).

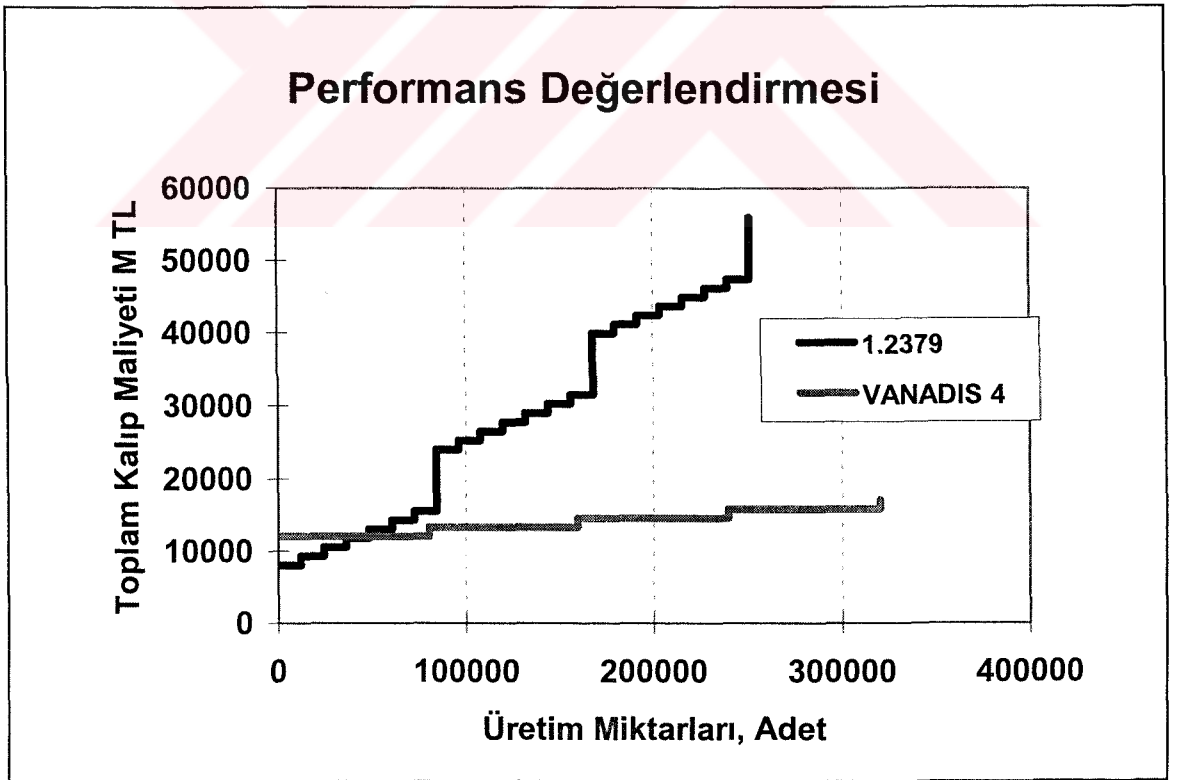
Çizelge 4.3'de, UTAB tarafından geliştirilen kalıp performansı hesaplama yöntemi, yerel bir örnek üzerinden veriler yerleştirilerek açıklanmaya çalışılmıştır. Bu örnekte malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1) olan soğuk iş takım çeliği kullanılarak 800 Milyon TL kalıp imalat bedeli öngörülmüştür. Kalıp imalat bedelinin % 10 kalıp çeliği bedelidir. Bu çelikte 12.000

\* UTAB Müşteri Hizmetleri Tarafından hazırlanan bu model basit bir excel programından oluşmakta olup, henüz yayınlanmamış bir çalışmadır.



adette bir kalıp, aşınma ve ağız dökülmesi nedeniyle taşlanmak zorunda kalınmaktadır. Taşlamada miktarı 0.25 mm olmaktadır ve kalıp 6 defa taşlandığında kalıp ağzı bitmektedir; yani üretimin devamı için yeni bir kalıp imali zorunludur. 250.000 adetlik toplam yıllık sipariş için bu çelikle bu kalıptan toplam 3 adet imal edilmek zorunda kalınmaktadır. Oysa ki aynı kalıpta fiyatı 6 kat daha yüksek olan Vanadis 4 kullanıldığında ağızlarda atma olmadığı için kalıp her bilemede maksimum 0.125 mm taşlanmakta böylece 12 defa taşlanabilmektedir. Ayrıca her bilemede 80.000 adetlik üretim yapılabilir. Aynı taşlama ve söküp takma maliyeti ile sipariş tamamlandığında 1.2379 (X155CrVMo12 1) kullanıldığında parça başına kalıp maliyeti yaklaşık 200.000 TL'den 60.000 TL'ye düşmektedir. Bu durumda kalıp performansının 200 000/60 000 yani 3 kattan daha fazla arttığı ifade edilebilmektedir.

Şekil 4.1'de ise; Çizelge 4.3'deki uygulamanın sonuçlarına göre üretim miktarına bağlı olarak toplam kalıp maliyetinin, aynı program vasıtası ile nasıl değiştiği hesaplanmıştır. Bu diyagramdan görülebileceği üzere ancak 50 bin'lik üretim adetlerinden sonra Vanadis 4, referans çeliğe göre ekonomik hale gelebilmektedir.



Şekil 4.1. UTAB'ın Modeline Göre Üretim Miktarı ile Toplam Kalıp Maliyeti İlişkisi\*

\* UTAB tarafından geliştirilen performans hesaplama modelinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 Performans Hesaplaması için Kullanılan Model\*

<b>Uygulama:</b>	Kesme		
<b>Firma</b>	Tanatar Kalıp		
<b>Takım Türü</b>	Zimba		
<b>İş Parçası</b>	Paslanmaz Çelik		
<b>Malzeme Kalınlığı</b>	4 mm		
<b>Kalıp İmalatı</b>			
	<b>Para Birimi</b>	<b>Referans</b>	<b>Deneme</b>
<b>Takım Çeliği Bedeli</b>	Milyon TL	800	4800
<b>Çelik Kalitesi</b>		1.2379	VANADIS 4
<b>Fiyat Oranı: Deneme / Referans Çelik</b>			6
<b>Oran: Çelik Bedeli/Kalıp Bedeli</b>		0,10	0,40
<b>Kalıp Kullanımı</b>			
<b>Kalıp Bedeli</b>		8000	12000
<b>Kalıp Ömrü/Taşlama</b>		12000	80000
<b>Her Kalıp için Taşlama Adedi</b>		6	12
<b>Taşlama Süresi, h</b>		5	5
<b>Taşlama Maliyeti/Saat</b>			50
<b>Duruş Maliyeti/Saat</b>			200
<b>Taşlama ve Duruş Maliyeti</b>		1250	1250
<b>Her Taşlama için Sipariş Adedi</b>			250000
<b>Sipariş için Gerekli Kalıp Sayısı</b>		3	1
<b>Kalıp Değişirme Maliyeti M TL/h</b>			30
<b>Duruş ve Kalıp Değişirme maliyeti M TL/h</b>			230
<b>Kalıp Değişirme Süresi, h</b>			2
<b>Kalıp Değişirme Maliyeti</b>		8460	12460
<b>Toplam Duruş</b>		94	15
<b>Gerekli Taşlama Adedi</b>		18	3
<b>Toplam Kalıp Maliyeti/Sipariş</b>		47420	15750
<b>Bedel Farkı</b>	Milyon TL		-31670
<b>PERFORMANS</b>			
<b>Milyon TL /ürün</b>		0,19	0,06

\* UTAB tarafından geliştirilen performans hesaplama modelinden elde edilmiştir.

## 5. SOĞUK İŞ UYGULAMALARINDA TİPİK HASARLAR

Deneysel çalışmalarımızın bu ilk bölümünde, soğuk iş uygulamaları özelinde endüstriyel kullanımda sıkça tekrarlanan hataların sebep olduğu hasarlar örneklenerek incelenmeye çalışılacaktır.

Örneklemin, yani bu tipik hasarların tespitine yönelik olarak, öncelikle Uddeholm Tooling AB Müşteri Hizmetleri Bölümü'ne, küresel ölçekte incelenmek üzere ulaşan (her türlü uygulama için kullanılan) takım çeliklerinden elde edilen istatistiksel verilerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 5.1'de UTAB Teknik Müşteri Hizmetleri Bölümü'nde 2000, 2001, 2002 yılları ile 2003'ün ilk üç ayı içinde incelenen kalıplarda tespit edilen hasar nedenlerinin dağılımı verilmiştir (Ridefors, 2003). Bu verilerden de görülebileceği gibi, ilk sırayı hatalı ısıl işlem almaktadır. Kalıpların kullanımı esnasındaki aşırı mekanik ve ısıl yüklerin de hasarların ortaya çıkmasında önemli sebepler oldukları görülmektedir. Ancak asıl ilgi çekici olan, kalıp imalatı aşamasındaki başta erozyon olmak üzere parlatma hataları, düşük yüzey kalitesi (ağırlıklı olarak taşlama hataları ve işleme izleri) gibi kalıp imalat hatalarının yol açtığı hasarların yüksek oranıdır.

Diğer Avrupa kökenli kalıp çeliği üreticilerinden olan Böhler ve Buderus'un kalıp hasarlarının nedenleri üzerine ortaklaşa yürüttükleri araştırmaların sonuçları (Jung vd., 2002) da UTAB'ın verilerini teyit eder niteliktedir. Jung ve arkadaşlarına göre, Avrupa'daki kalıplardaki hasarların önemli bir kısmı, kalıp imalatından, ısıl işlemden ve çalışma koşullarından kaynaklanmakta; malzeme hatalarının oranı ise % 5'i geçmemektedir. Ayrıca, bu çalışmada son yıllarda malzeme hatalarından kaynaklanan hasarların oranında artışlar kaydedildiği ifade edilmekte ve bu artış da, başta eski Sovyet Cumhuriyetleri ve Uzak Doğu olmak üzere, Avrupa dışı kaynaklardan pazara daha fazla çelik girmesine bağlanmaktadır.

Tipik hasarların tespitine yönelik olarak, Türkiye'deki durumu saptamak üzere ise, Assab Korkmaz Çelik AŞ bünyesindeki Müşteri Hizmetleri bölümüne ise 2002 yılı içinde ulaşan soğuk iş uygulamaları ile ilgili kalıplardaki şikayete konu olan sorunların dağılımları incelenmiştir. Çizelge 5.2'de bu sonuçlar derlenmiş olup, kalıp imalatı sürecindeki erozyon, parlatma, yüzey bitirme işlemleri gibi kademelerde yapılan hataların, kalıpların ömürleri üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğu bir kez daha teyit edilmiştir. Benzer biçimde tasarım hataları da dikkate değer bir ağırlık taşımaktadır.

Bunun dışında, özellikle hatalı ısıl işlem ve hatalı sertliğin hasarların ortaya çıkmasında önemli bir sınıflı oluşturduğu görülmektedir. Hatalı sertlik (aşırı yada düşük sertlik), Kayalı'nın ısıl işlem hatalarını sınıflarken belirttiği üzere asıl olarak ısıl işlem çevriminden kaynaklanan bir hatadır; Çizelge 5.3'de Kayalı'ya göre ısıl işlem hataları sınıflanmıştır. Öte yandan kalıplar söz konusu olduğunda, tasarım aşamasında da kalıp sertliğinin (aşırı yada düşük) hatalı tespit edilmesi ile de sık sık karşılaşıldığı için bu çalışmada, hatalı sertlik, ısıl işlemden ayrı bir hasar sebebi nitelenmiştir.

Bu çalışmanın hasar analizlerini teşkil eden bu bölümünde Assab Korkmaz Çelik AŞ laboratuvarına, 2000, 2001 ve 2002 yılları içinde incelenmek üzere ulaştırılan 150 adet (soğuk iş uygulamalarında kullanılan) kalıptan, Çizelge 5.2'de verilen dağılıma uygun olarak seçilen 15 adedi incelenmiştir.

Yapılan bu incelemeler sonucunda, hasarın ortaya çıkmasına zaman zaman birden fazla nedenin birlikte rol oynadığı ancak bunlardan birinin baskın faktör olduğu görülmüştür.

Bu bölümde izlenen yöntemi özetlersek:

Öncelikle kalıpta ortaya çıkan hasar ve hasar mekanizması tanımlanmalıdır.

Bu hasara yol açan yada etkisi olabileceği kestirilen koşullar (hasarın ortaya çıkış biçimi ve çalışma koşulları, ısıl işlem koşulları, EDM, taşlama vb. gibi işleme koşulları) ile tasarım özellikleri saptanmalıdır.

Kalıp çeliğinin niteliği, sertliği belirlenmelidir.

Bu verilerden hareketle (ihtiyaç duyuluyorsa); metalografik inceleme yapılmalı ve hasar bölgesinde, mikro sertlik taraması, ışık mikroskobu ve/yada elektron mikroskobu ile mikro yapı fazları incelenmelidir.

Sonuç olarak elde edilen bu verilerden hareketle hasara yol açan hata yada hatalar saptanmalıdır.

Bu yöntem için büyük ölçüde Riedel'den esinlenilmiştir (Riedel, 1982).

Bu bölümde gerçekleştirilen hasar analizi çalışmalarında yapılan kestirim ve yorumlarla varılan yargılarda, bu yorum ve yargılara dayanak olan kaynaklar olabildiğince belirtilmeye çalışılmıştır. Ancak esas olarak, bu incelemelerde yapılan yorumlar ile yargılara ulaşmakta bu çalışmanın önceki bölümlerinde derlenen ve kurulmaya çalışılan alt yapı kullanılmış ve bu bölümlere atıflarda bulunulmuştur.

Çizelge 5.1 Hasarlı Kalıplarda UTAB Tarafından Saptanan Hasar Nedenleri (Ridefors, 2003)

Hasar Nedeni	Dağılımı
Hatalı Isıl İşlem	% 14.6
Aşırı Mekanik Zorlama	% 14.4
Korozyon	% 10.3
Erozyon ile İşleme Hataları	% 10.0
Aşırı Isıl Zorlama	% 7.1
Tasarım Hatası	% 3.5
Parlatma Hataları	% 2.8
Yetersiz Yüzey Kalitesi	% 2.6
Aşınma	% 2.5
Yüzey İşlemlerindeki Hatalar	% 2.4
Yorulma	% 2.3
Aşırı Yüksek Sertlik	% 2.2
Taşlama Hataları	% 2.2
Aşırı Düşük Sertlik	% 1.6
Hatalı Malzeme Seçimi	% 1.3
Kaynak Hataları	% 1.3
Diğer (İncelemeye alınmayan, hasarsız vs.)	% 18.9

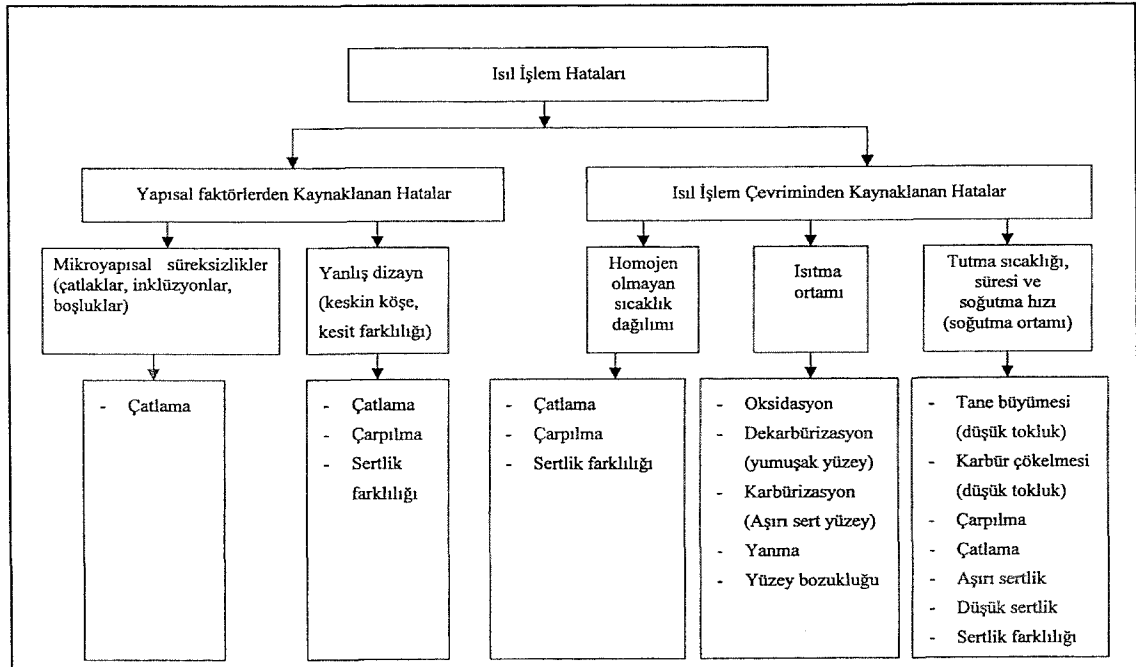
Ayrıca, belirtmelidir ki, bu bölümün hemen tümünde özel olarak iki kaynağa sıkça başvurulmuştur. Bunlardan ilki: ASM tarafından yayınlanan S. Kalpakjian derlemesinin tümü (Kalpakjian, 1982) ile bu kitaptaki Sullivan'ın soğuk iş takımlarındaki ısıl işlem ve tasarım nedenli hasarlar konulu çalışmasıdır (Sullivan, 1982). İkinci olarak ise; yine aynı kurum tarafından basılan bir başka derleme olan ASM Specialty Handbook: Tool Materials'ın Microstructural Analysis and Failure Analysis of Tool Materials Bölümü'dür (Davis, 1998).

Ayrıca, hasar analizine tabi tutulan kalıpların imal edildikleri çeliklerin kimyasal bileşimleri bu çalışmanın 2. Bölüm'ünde yer alan Çizelge 2.4'de toplanmaya çalışılmıştır. Bu çeliklere ait diğer özellikler ise ekler bölümünde üretici firmaların katalog bilgileri olarak derlenmiştir.

Çizelge 5.2 Hasarlı Kalıplarda Assab Korkmaz Tarafından Saptanan Hasar Nedenleri

Hasar Nedeni	Dağılımı
Hatalı Isıl İşlem	% 20
Hatalı Tasarım	% 16
Taşlama	% 8
Korozyon	% 12
Erozyon	% 12
Malzeme Hatası	% 8
Hatalı sertlik	% 12
Yetersiz Yüzey Kalitesi, İşleme Hatası	% 8
Diğer (İncelemeye Alınmayan, Hasarsız vs.)	% 4

Çizelge 5.3 Isıl İşlem Hatalarının Sınıflanması (Kayalı, 2002)





## 5.1 Olay I: Hatalı Isıl İşlem Sonucu Kırılma

### 5.1.1 Olayın Geçmişi

İskenderun'daki bir tesisde dikişli boru üretiminde kullanılan soğuk şekil verme makarasında (Çap 360x140 mm) ani bir kırılma ortaya çıkmıştır. Olağan koşullar altında makaranın aşınma ve yorulma/atrisyon sonucu oluşan yüzey çatlaklarının büyümesi sonucu, yüzeyden malzeme dökülmesi/chipping ile kırılma olmaksızın ömrünü tamamlaması gereken bu makaranın kırılma sebebi araştırılmıştır. İlgili makaramın genel görüntüsü ve kırılma biçimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Olay I: Kırılan Şekil Verme Makarası

### 5.1.2 Gözle Muayene

Kırılmaya yol açan çatlağın belirgin bir işleme izini takip etmediği; kama kanalından başlamadığı ve en önemlisi de yüzeydeki yorulmalı aşınmanın yol açtığı bir çatlak başlangıcına sahip olmadığı tespit edilmiştir.

### 5.1.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu makaranın sertliği 60 HRC olarak ölçülmüştür.

### 5.1.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu makaranın kimyasal analizi aşağıdaki gibi bulunmuş olup

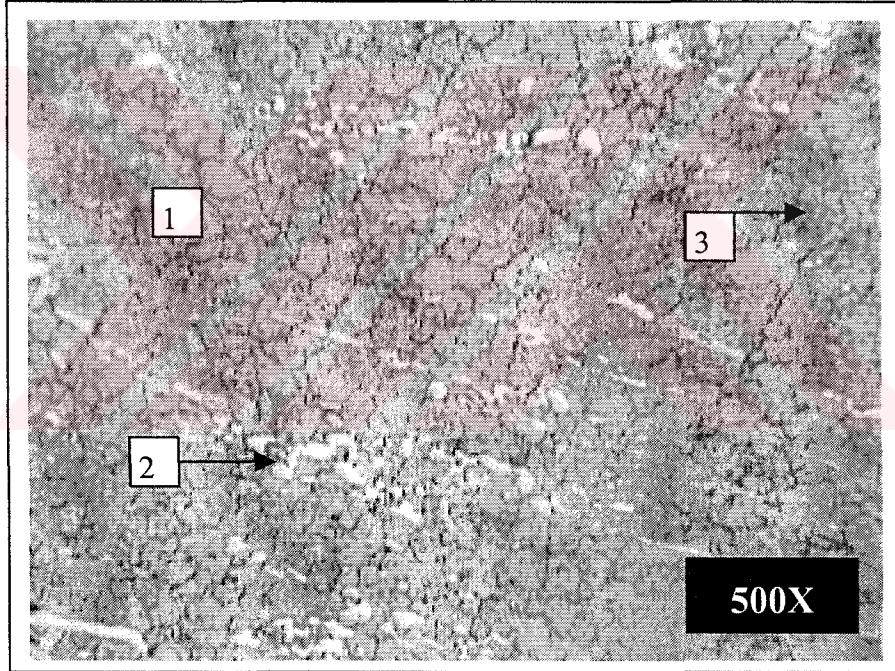
bileşimin Malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.4 Olay I: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.52	0.30	0.35	0.016	0.001	11.70	0.15	0.84

### 5.1.5 Mikro Yapı İncelenmesi

Gönderilen parçadan kırılan bölge dikkate alınarak malzemeden hadde yönünde numune alınmıştır. Alınan numune parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3).



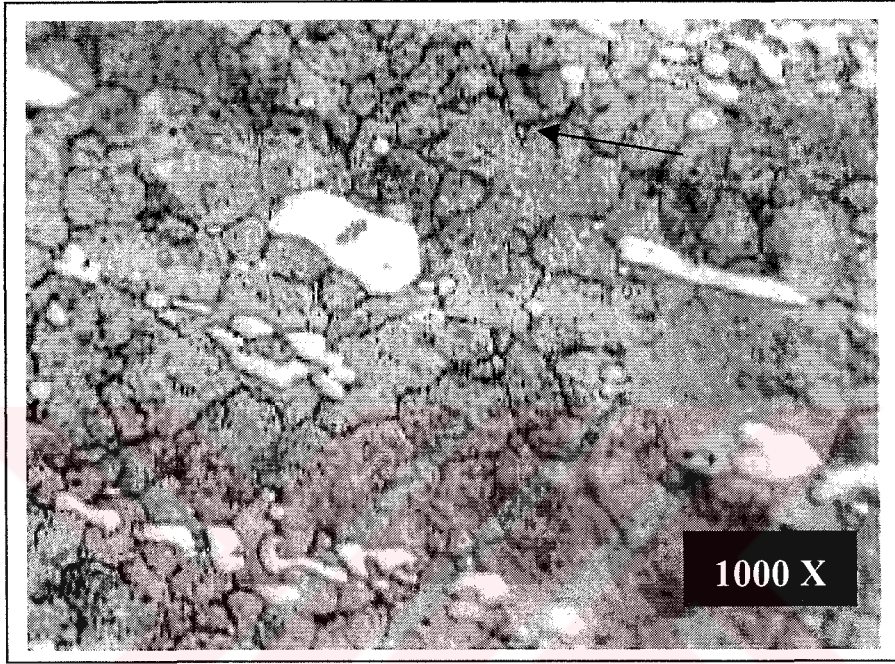
Şekil 5.2. Olay I: Mikroyapı Fotoğrafi 500X

Numune ledaburitik bir çelik olan 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un hadde yönünde alınmıştır. 1 ile işaretli matriks menevişlenmiş martensitik yapıdır. Benzer biçimde 2 ile işaretli karbür ağının dövme esnasında parçalanmış hali olup her iki yapı da 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un karakteristik yapısını teşkil etmektedir ve takım çeliği üreticilerinin karbür dağılımına ilişkin verili standartlarına uygun olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 2.12).

Ancak mikroyapıda dikkati çeken ve tartışılması gereken bir husus bulunmaktadır. 3 ile işaretli tane sınırları 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un sertleştirilmiş ve menevişlenmiş yapısı



için çok fazla net görülmektedir. Tane büyüklüğünde bir anormallik olmamasına rağmen tane sınırlarının aşırı belirgin olmasının ilk akla gelen nedeni tane sınırlarında karbür çökeltisi (ön-ötektoid çökelti), olabilir. Bu yüzden tane sınırlarının daha yüksek büyütmede incelenmesine ihtiyaç bulunmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Olay I: Mikroyapı Fotoğrafi 1000X

Yukarıdaki ışık mikroskopundan elde edilmiş fotoğrafta tane sınırlarında (okla işaretlenmiş) tane sınırı çökeltileri tespit edilmiştir. Bu ön-ötektoid çökeltilerin tokluğu normal koşullarda dahi düşük olan bu tür ledaburitik takım çeliklerinde tehlikeli düzeyde tokluğu düşürücü etki yaptığı bu çalışmada Bölüm 3.4'de tartışılmış olup Bennani (1992) bu tür ön-ötektoid çökeltilerin, takım çeliğinin çentikli darbe enerjisinde % 25'e varan kayıplara yol açtığını rapor etmiştir.

Bu tür çökeltilerin nedeninin östenitleme sıcaklığından çeliğin düşük soğutma hızları ile soğutulması olduğu ifade edilmektedir (Pöckl, 1998). Bu makaranın ısıl işlem sırasında neden yavaş soğuduğu açıklanmaya muhtaçtır.

Boru üretiminde kullanılan makaralar ısıl işleme büyük partiler halinde genel olarak gönderilmektedir. Olayımıza konu olan makaranın yaklaşık 110 kg ve boru üretiminde kullanılan bu tür makaraların genellikle oldukça ağır ve her bir makaranın ortalama 50-150 kg olduğu düşünülecek olursa, bu makaraların tuz banyosunda ısıl işlem görmesi durumunda

sertleştirme ortamı olan 500 °C'lik sıcak banyo sıcaklığının sertleştirme sırasında denetim altında tutulması oldukça zordur. Sıcak banyonun sıcaklığı banyoya soğutma kapasitesinin üzerinde malzeme şarj edilmesi durumunda hızla yükselebilmekte ve 580-600 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Bu da banyonun soğutma hızını düşürmektedir. Büyük bir olasılıkla bu makarada da banyonun soğutma hızı aşırı şarj nedeniyle düşmüş ve makara yavaş soğutulduğundan dolayı ön ötektoid çökeltiler tane sınırlarına çökelmiştir.

### 5.1.6 Sonuç

Malzeme 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygun ve uygulama için önerilen sertlik seviyesindedir. Mikroyapı menevişlenmiş martensit olup ısıl işlemde hedeflenene uygundur ancak tane sınırlarında ön ötektoid karbür çökmesi tespit edilmiştir. Kırılmayla ilintili her hangi bir dizayn yada işleme hatasına rastlanılmamıştır. Bu çökeltilerin malzeme tokluğunu düşürmesine paralel olarak soğuk şekil verme sırasında oluşan darbeler karşısında makaranın çatlayarak kırılmaya yol açtığını söylemek için yeterli veri mevcuttur.

Ön ötektoid çökeltiler ısıl işlem sırasında yavaş soğutma hızının bir ürünü olup çatlamaya neden olan hatanın bir ısıl işlem hatası olduğunu iddia etmek mümkündür.

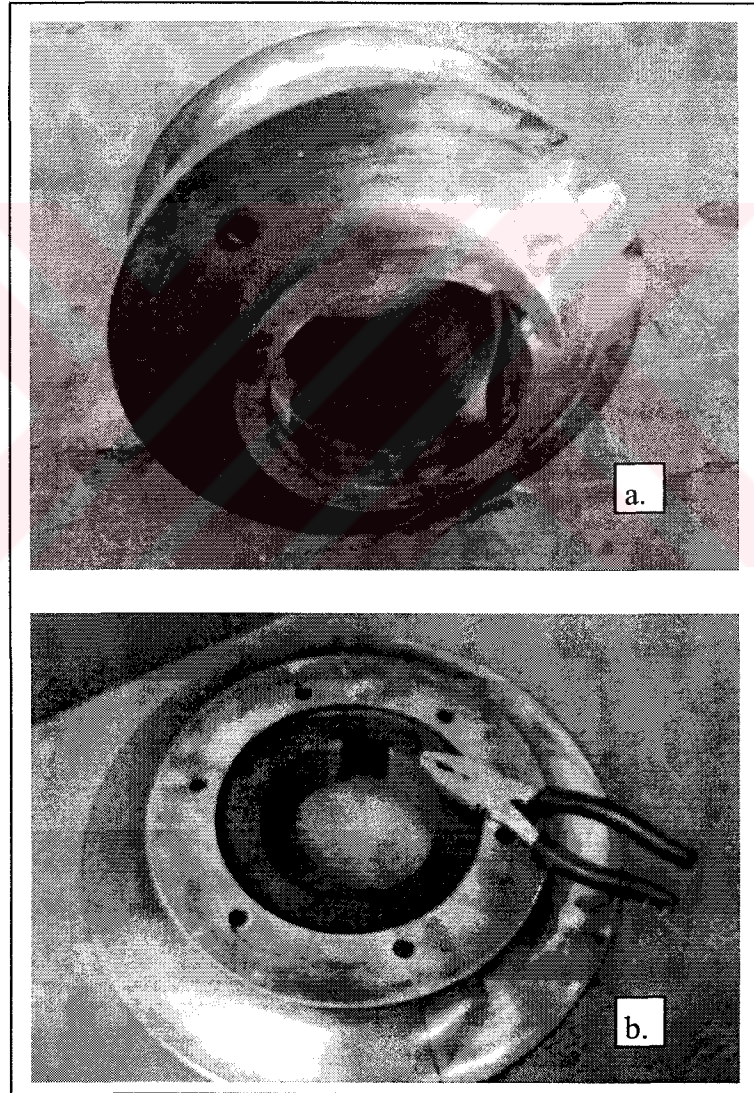
### 5.1.7 Öneriler

Bu tür ağır parçaların ısıl işleminde, östenitleme sıcaklığının 1020 °C'nin üzerine çıkarılmaması ve sertleştirme banyo sıcaklığının da 550 °C'nin üzerine sıçramasının engellenmesi gereklidir.

## 5.2 Olay II: Hatalı Tasarım ve Hatalı Isıl İşlem Sonucu Kırılma

### 5.2.1 Olayın Geçmişi

Olay I'deki uygulamaya özdeş dikişli boru üretiminde kullanılan soğuk şekil verme makaralarında (Çap 320 ilâ 550 mm) ani bir kırılma ortaya çıkmıştır. Olağan koşullar altında makaranın aşınma ve yorulma/atrisyon sonucu oluşan yüzey çatlaklarının büyümesi sonucu yüzeyden malzeme dökülmesi/chipping ile kırılma olmaksızın ömrünü tamamlaması gereken bu makaraların da kırılma sebebi araştırılmıştır. İlgili makaraların genel görüntüsü ve kırılma biçimi Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4a ve b Olay II: Kırılan Şekil Verme Makaraları

İlgili rölelere tuz banyosunda uygulanmış bulunan ısıl işlemin detayı aşağıdaki gibidir:



Östenitleme: 1080 °C

Kademeli Soğutma 1. Adım: 550 °C; Kademeli Soğutma 2. Adım: 180-220 °C

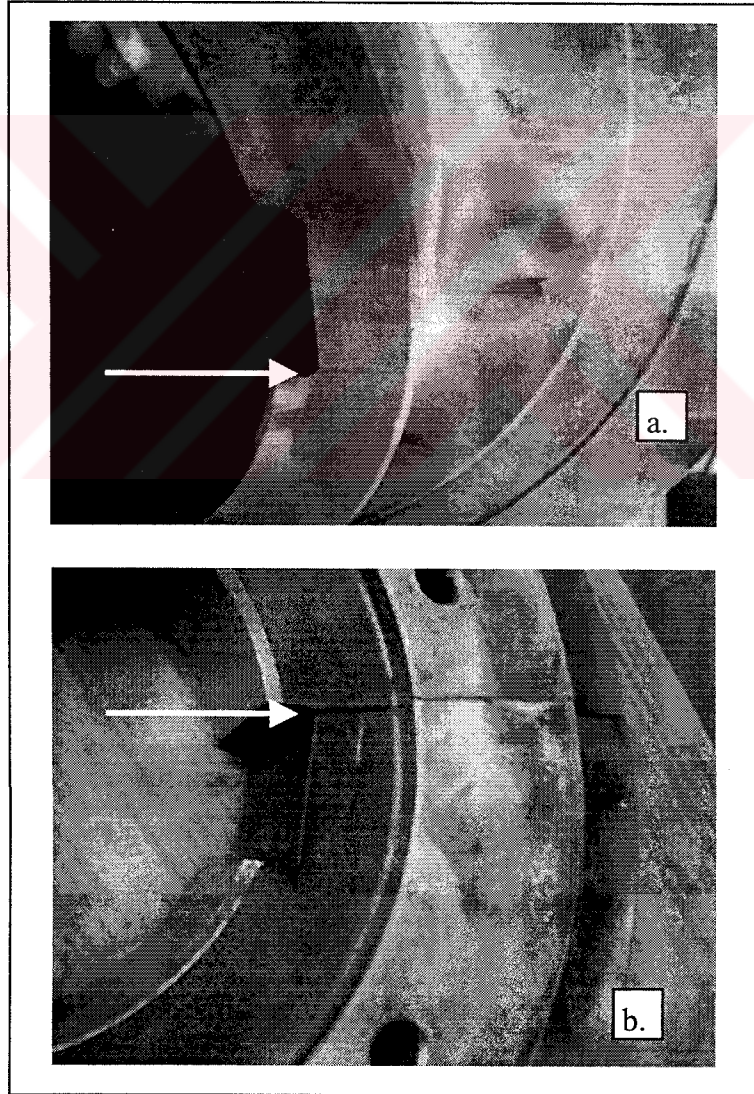
Havada Oda sıcaklığına Soğutma

Derin Soğutma: -170 °C

1. Meneviş: 550 °C, 2. Meneviş : 620 °C, 3. Meneviş: 550 °C

### 5.2.2 Gözle Muayene

Kırılmaya yol açan çatlakların belirgin bir işleme izini takip etmediği; ve en önemlisi de yüzeydeki yorulmalı aşınmanın yol açtığı bir çatlak başlangıcına sahip olmadığı tespit edilmiştir. Ancak; Şekil 5.5'den de görüldüğü biçimde çatlak açık bir biçimde kama kanallarından başlamıştır. Bu durum Olay II'yi Olay I'den ayıran temel farklılıktır.



Şekil 5.5a ve b Olay II: Kırılan Şekil Verme Makaralarında Kama Kanalı Detayları



### 5.2.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu makaranın sertliği 60-61 HRC olarak ölçülmüştür.

### 5.2.4 Kimyasal Analiz

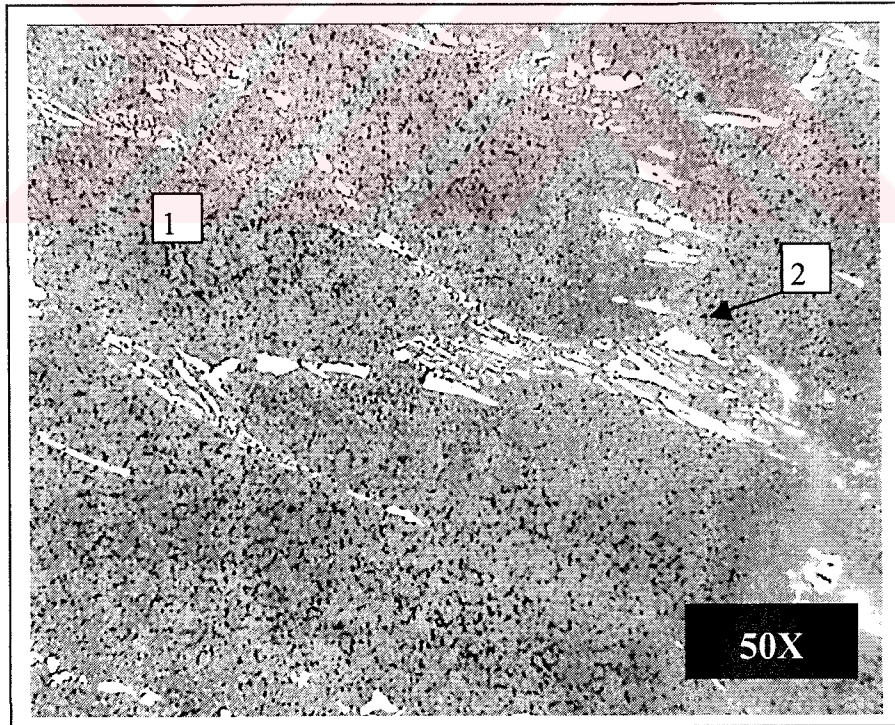
Yapılan spektral analiz sonucu makaranın kimyasal analizi aşağıdaki gibi bulunmuş olup bileşimin 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 Olay II: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.53	0.30	0.35	0.016	0.001	11.65	0.15	0.84

### 5.2.5 Mikro Yapı İncelenmesi

Gönderilen parçadan kırılan bölge dikkate alınarak numune alınmıştır. Alınan numune parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta ve SEM'de incelenmiştir: Şekil 5.6-5.9

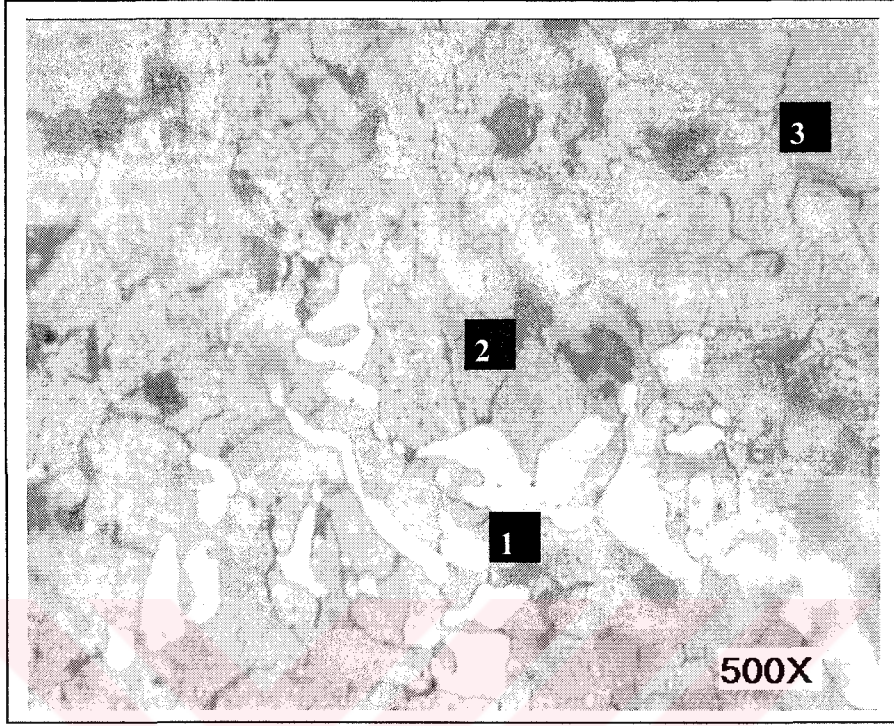


Şekil 5.6 Olay II: Işık Mikroskobunda Mikroyapı Fotoğrafi 50X

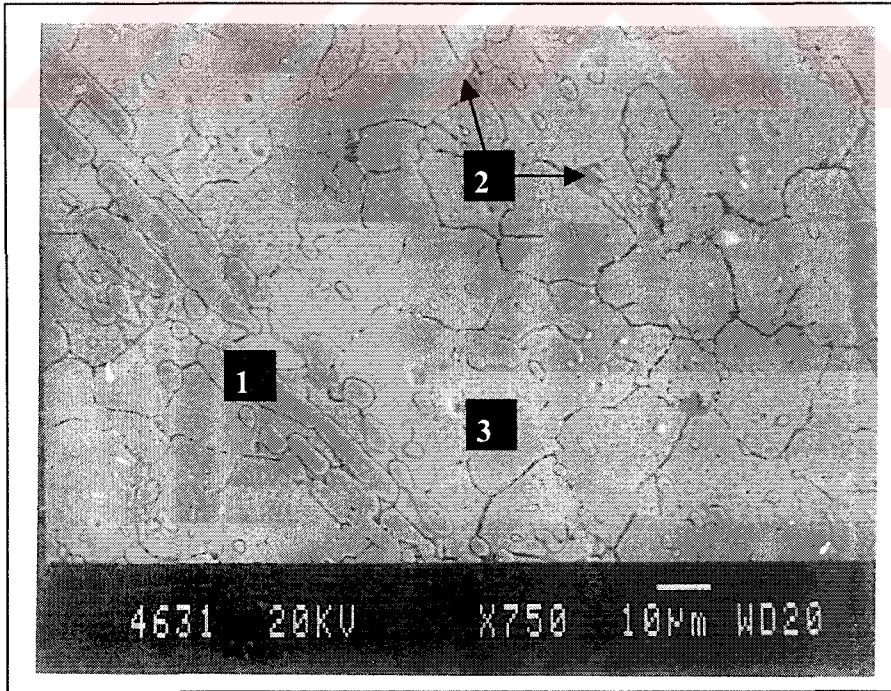
Numune ledaburitik bir çelik olan 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un hadde yönünde alınmıştır. Şekil 5.6'da 1 ile işaretli matriks menevişlenmiş martensitik yapıdır. Benzer biçimde 2 ile işaretli karbür ağının dövme esnasında parçalanmış hali olup her iki yapı da 1.2379



(X155CrVMo12 1)'un karakteristik yapısını teşkil etmektedir ve takım çeliği üreticilerinin karbür dağılımına ilişkin verili standartlarına uygun olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 2.12).



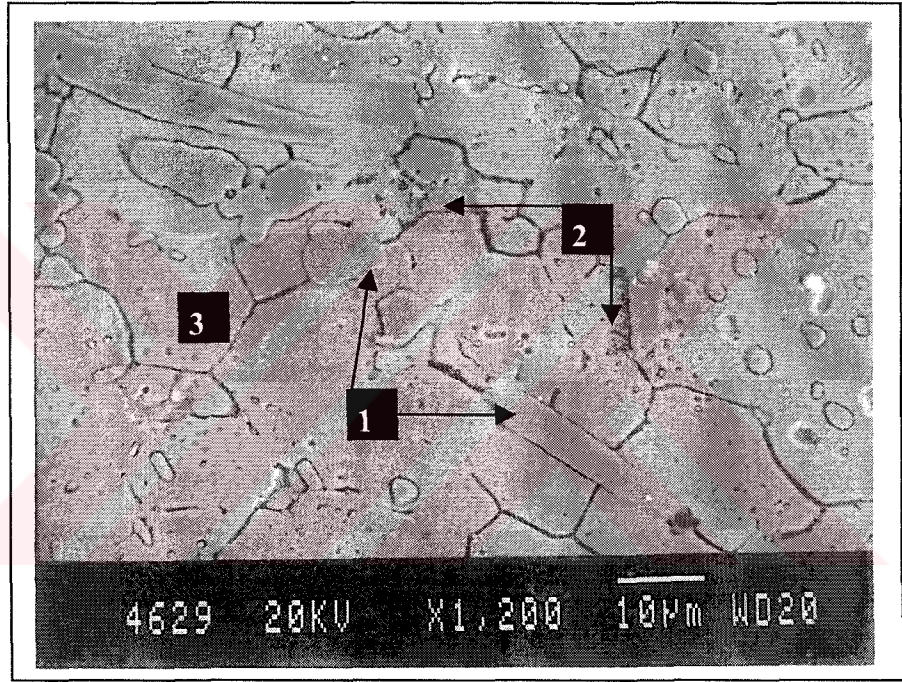
Şekil 5.7 Olay II: Işık Mikroskobunda Mikroyapı Görüntüsü 500X



Şekil 5.8 Olay II: SEM'de Mikroyapı Görüntüsü 750X

Ancak mikroyapıda yine Olay I'de rastlanan türde dikkati çeken ve tartışılması gereken tane

sınırlarının aşırı belirgin olması söz konusudur (Şekil 5.7). Tane sınırları ışık mikroskobu ile incelendiğinde 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un sertleştirilmiş ve menevişlenmiş yapısı için beklenenin ötesinde net görülmektedir. Ayrıca; Olay I'den daha açık bir biçimde tane sınırlarında koyu renkli bir faz görülmektedir. Bu yüzden Olay I'de saptanan karbür çökmesinin (ön-ötektoid çökelti), bu örnekte de geçerli olup olmadığına ve bu karbürlerin niteliğine ilişkin olarak elektron mikroskopi çalışmalarına ihtiyaç duyulmuştur. SEM ve EDX analizi ile hem tane sınırlarının daha yüksek büyütmede incelenmesi hem de karbürlerin içerdiği elementlerin tespiti mümkün olacaktır.



Şekil 5.9 Olay II: SEM'de Mikroyapı Görüntüsü 1200X

Yukarıdaki Şekil 5.8 ve 5.9'da SEM ile elde edilmiş fotoğraflarda oklarla işaretlenmiş olan üç farklı faz açık bir biçimde görülmektedir. Bunlar:

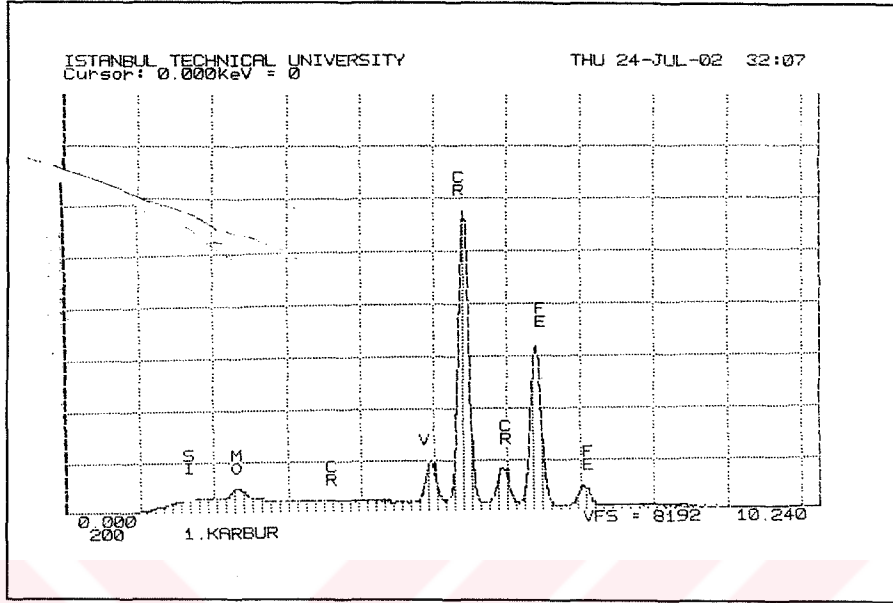
Faz 1: Birincil Karbürler

Faz 2: Tane Sınırı Çökeltileri

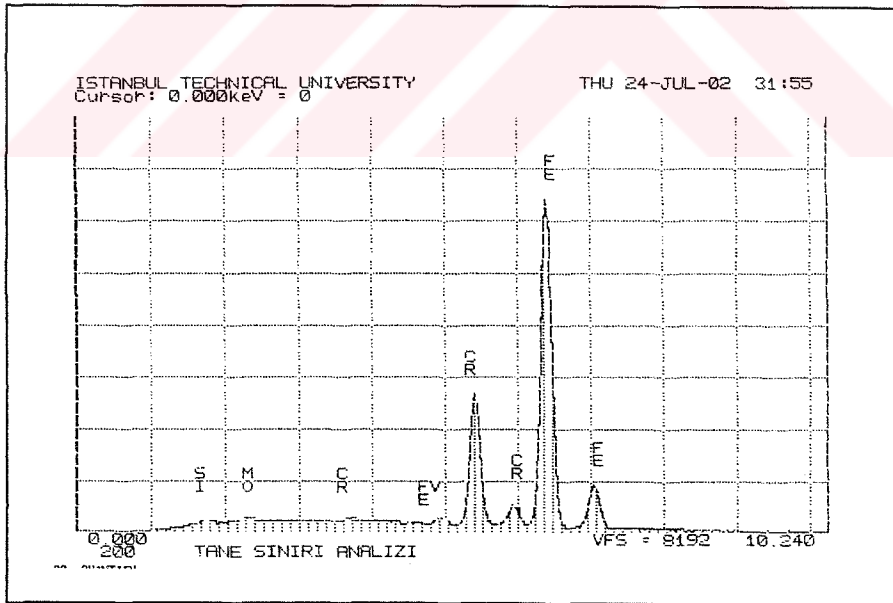
Faz 3: Matriks (Anayapı)

Bu fazlardan 1.2379 (X155CrVMo12 1) mikroyapısına yabancı olan Faz 2'nin gerçekten ön-ötektoid karbür çökeltisi olup olmadığını anlamak için her bir fazın EDX analizleri yapılmıştır (Şekil 5.10 ilâ 5.12).



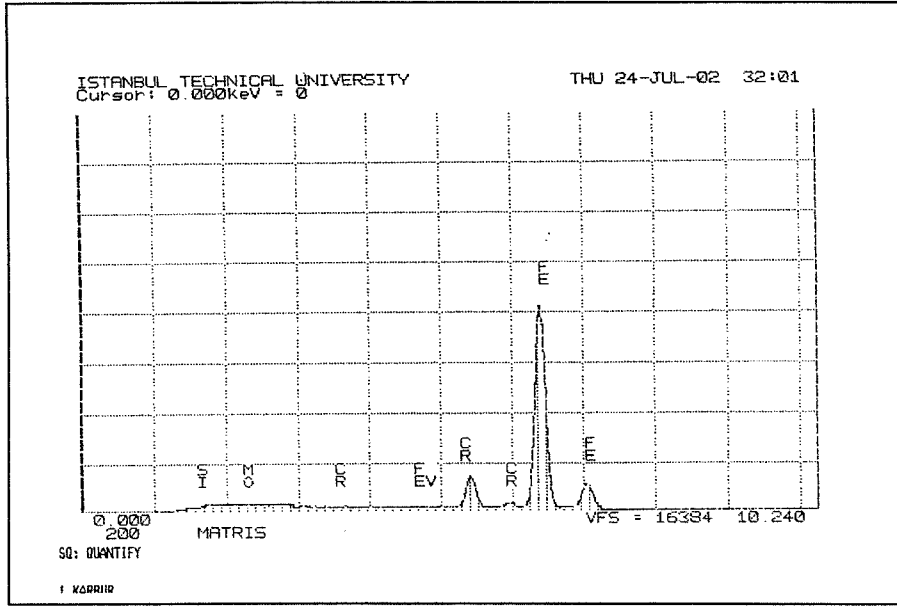


Şekil 5.10 Olay II: Birincil Karbürlerin EDX Analizi



Şekil 5.11 Olay II: Tane Sınırı Fazlarının EDX Analizi

EDX analizlerinden görülmektedir ki, Matriks, beklendiği gibi Cr içeren Fe; 1. Faz olarak tanımladığımız Birincil Karbürler ise Cr'ca zengin (CrVFe)C kompleks karbürüdür. Ancak, beklenmedik fazı oluşturan ve tane sınırlarının da belirgin hale gelmesine yol açan çökeltilimiz de Fe'ce zengin FeCrC kompleks karbürüdür.



Şekil 5.12 Olay II: Matriksin EDX Analizi

### 5.2.6 Sonuç

Malzeme 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygun ve uygulama için önerilen sertlik seviyesindedir. Matriks menevişlenmiş martensit olup ısıl işlemden hedefleneneye uygundur ancak tane sınırlarında ön-ötektoid karbür çökmesi tespit edilmiştir. Bu çalışmada Bölüm 3.4'de tartışıldığı ve Pöckl (1998) ile Bennani (1992) tarafından da vurgulandığı üzere, bu tip çökelmeler kalıp tokluğunu kayda değer bir biçimde düşürmektedir. Bu çökelmenin bu denli yaygın olmasının nedeni ancak, yüksek östenitleme sıcaklığı (1080 °C) sayesinde birincil karbürlerin aşırı biçimde çözülüp çözeltiye alınması ve takip eden yavaş soğutma nedeniyle çökmesidir. Öte yandan kırılmanın kama kanallarından başlıyor olması da kırılmayı koylaştırarak bir başka faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çökeltiler bir yandan malzemenin tokluğunu düşürürken öte yandan da kama kanalındaki keskinlik bu bölgede gerilme yoğunlaşmasına neden olmakta ve darbeli çalışan soğuk şekil verme sırasındaki gerilmeler karşısında makaralarda kırılmaya yol açtığı görülmektedir.

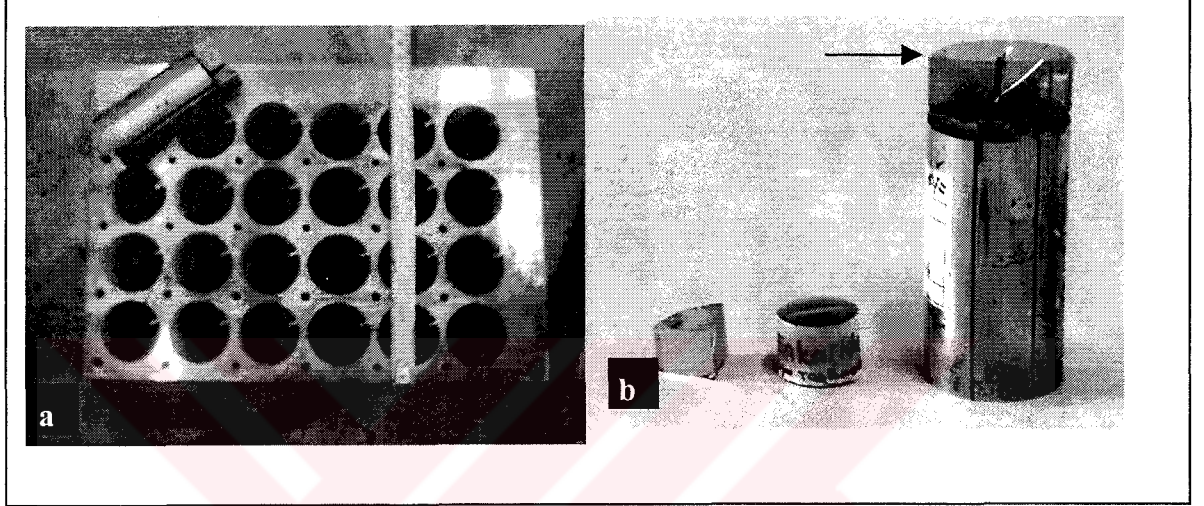
### 5.2.7 Öneriler

Bu tür ağır parçaların ısıl işleminde, östenitleme sıcaklığının 1020 °C'nin üzerine çıkarılmaması ve sertleştirme banyo sıcaklığının da 550 °C'nin üzerine sıçramasının engellenmesi gereklidir. Kama kanalı gibi özel olarak yük gelen bölgelerde keskin köşe yaratmaktan uzak durmak gereklidir.

### 5.3 Olay III: Taşlama Sırasında Oluşan İç Gerilme Nedeniyle Çatlama

#### 5.3.1 Olayın Geçmişi

Enka Klasör tarafından plastik plakaların yüksek devirle kesilmesinde kullanılan 24 gözlü kesme kalıbındaki (Şekil 5.13a) bazı zımbaların (Şekil 5.13b) üretime girmeden önce çatlak oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 5.13 Olay III: Kesme Kalıbı (a) ve Zımba (b)

Kalıp imalatçısı tarafından 1.2379 PM (X155CrVMo12 1) olduğu belirtilen edilen kalıp çeliği blok halinde sertleştirildikten sonra, tel erozyon ile bu bloktan zımbalar çıkarılmıştır. Zımbalar ve kalıp tel erozyon sonrası taşlama işlemine tabi tutulmuştur. Zımbaların Şekil 6.13b'de okla işaretli kesici ağızları, özel olarak içbükey bir şekil alana kadar ayrıca taşlanmıştır. Kalıp ile zımbalar arasındaki tek fark bu içbükey taşlamadır.

#### 5.3.2 Gözle Muayene

Kalıp üzerinde yapılan penetrasyon testinde herhangi bir çatlığa rastlanamamıştır. Bu büyüklükte (yükseklik 120 mm) 1.2379 (X155CrVMo12 1) bir bloğun ısıtma işlemi ve tel erozyonu her zaman riskli olup, çatlama karşı önlem olarak yüksek sıcaklık menevişinin önerildiği bilinmektedir. Oysa çatlaklar zımbalarda ortaya çıkmıştır. Bu durum da, çatlakların son içbükey taşlama işleminden kaynaklanabileceği yönünde bir fikir vermektedir. Zımbalarda oluşan çatlaklar incelendiğinde, bu çatlakların Sullivan (1982) tarafından da tanımlanan tipik taşlama çatlaklarında olduğu görülmüştür. Sullivan'a göre, taşlama çatlakları, taşlama yönüne dik doğrultuda ortaya çıkan yüzey çatlakları olduklarından diğer çatlaklardan görsel olarak kolayca ayırd edilebilirler.



### 5.3.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu zımbanın sertliği 61-62 HRC olarak ölçülmüş olup bu uygulama için öngörülen sertliktir.

### 5.3.4 Kimyasal Analiz

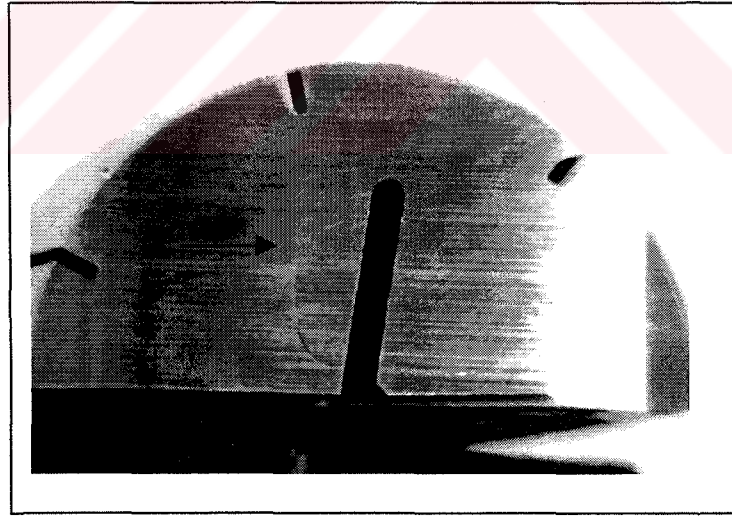
Yapılan spektral analiz sonucu makaranın kimyasal analizi aşağıdaki gibi bulunmuş olup bileşimin 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.6 Olay III: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.60	0.23	0.26	0.021	0.015	11.30	0.74	0.95

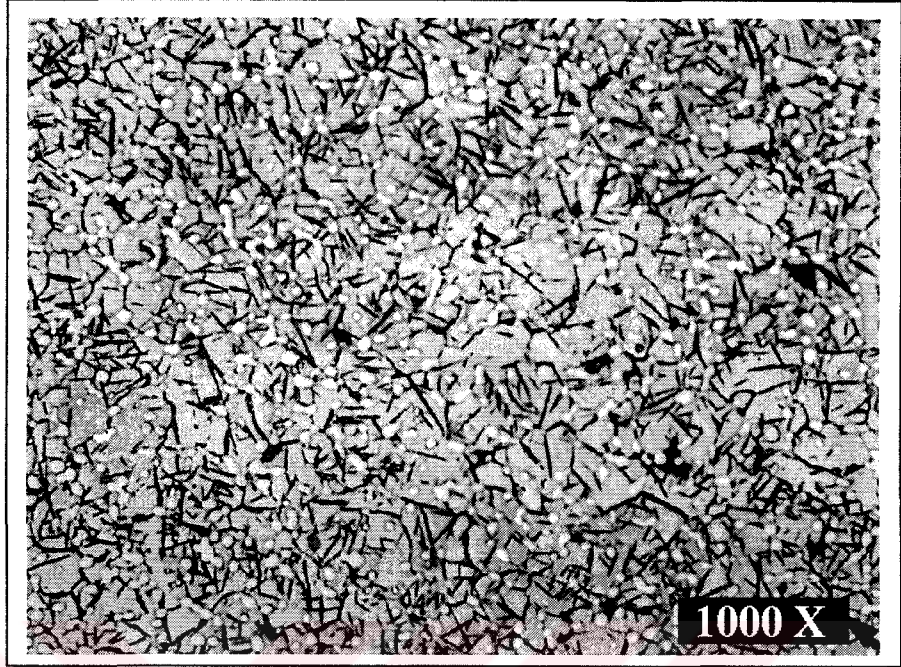
### 5.3.5 Mikro Yapı İncelenmesi

Gönderilen parçadan kırılan bölge dikkate alınarak malzemedeki numune alınmıştır. Alınan numune parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.

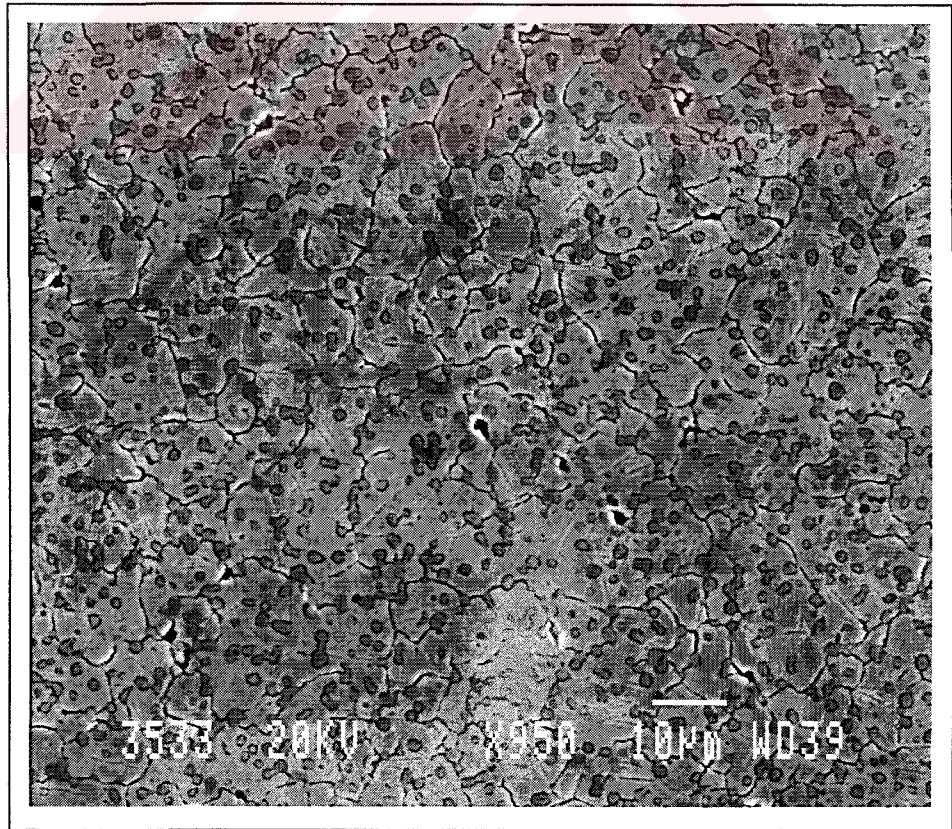


Şekil 5.14 Zımba Ağzındaki Çatlak, (Ok Taşlama Yönünü Göstermektedir)

Matriks görüldüğü gibi menevişlenmiş martensitik yapıdır. Malzeme toz metalurjik olduğu için herhangi bir hadde yönüne yada karbür bantlaşmasına rastlanamamıştır. Geleneksel yöntem ile üretilmiş dövme malzemeler ile kıyaslandığında mikroyapının oldukça ince ve homojen dağılmış karbürlerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.15 Olay III: Zimba Merkezinin Işık Mikroskobu ile Mikroyapı Fotoğrafı 1000X

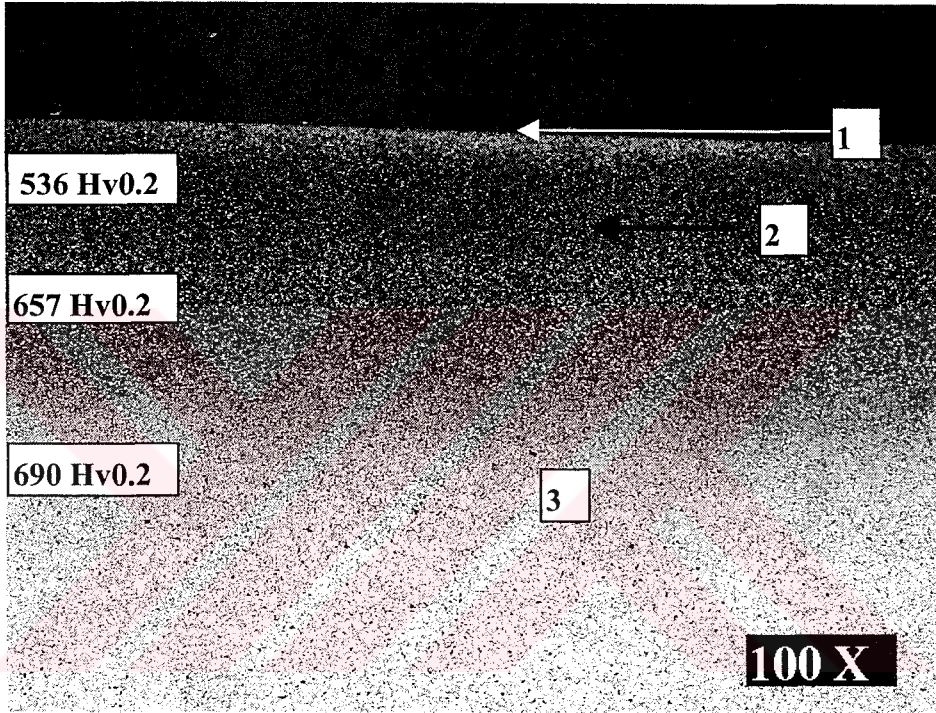


Şekil 5.16 Olay III: Zimba Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, SEM, 950X



Mikroyapıda, Olay I ve Olay II'ye konu olan ön ötektoid karbür çökmesinin bu yapıda da mevcut ancak öncekiler ile karşılaştırıldığında son derece az miktarda olduğu Şekil 5.15 ve 16'dan görülmektedir.

Hasarlı zımbaların taşlama yüzeyinden içeriye doğru alınan kesiti Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Bu kesitin mikroyapısı belirgin bir biçimde zımba merkezindeki mikroyapıdan farklılık arz etmektedir. Ayrıca yüzeyden içeri doğru yapıdaki farklılaşma açık bir biçimde görülebilmektedir.



Şekil 5.17 Olay III: Zımba Yüzeyinin Işık Mikroskopunda Mikroyapı Fotoğrafı, 100X

Şekil 5.17'deki yapıyı analiz edebilmek için mikro sertlik taraması yapılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıdadır:

Çizelge 5.7 Olay III: Numunede Mikro-Sertlik Taraması

Yüzeyden Uzaklık mm	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.5	1.0
Sertlik HV <sub>0.2kg</sub>	536	561	590	628	657	671	665	672	690

Sertlik taraması göstermektedir ki, ilgili fotoğrafta (Şekil 6.17) 2 ile işaretli bölgede yani yüzeyde zımbanın sertliği oldukça düşüktür. Sertlik yaklaşık 300-400 mikrometrede yeniden normal yapının sertliğini bulmaktadır. Ölçülemediği olmakla birlikte, mikroyapı fotoğrafı göstermektedir ki zımbanın yüzeyindeki birkaç mikronluk mesafede ilgili fotoğrafta 1 ile

işaretlemiş beyaz tabaka olarak da anılan aşırı sertleşmiş bir tabaka da mevcuttur. Bu duruma literatürde back tempering yada yanma denmektedir ve taşlama hatalarının aslınu oluşturmaktadır (Sullivan, 1982). Taşlama esnasında kesme ve sürtünme nedeniyle açığa çıkan ısı kalıp yüzeyinden soğutma ile yeterince hızlı uzaklaştırılmaz ise, yüzeyde 1-2 mikrometere kalınlığında bir beyaz tabaka, yani sertleşmiş tabaka ve onun hemen altında da birkaç yüz mikrometreye ulaşabilen menevişlenmiş yani yumuşamış tabaka ortaya çıkmaktadır; bu durumda yüzeyde taşlama yönüne dik doğrultuda çatlakların oluşmasına sebebiyet vermektedir (Tabe, 1998), (Chandrasekaran vd., 1999), (Jung vd., 2002). Bu örnekte de, benzer bir durum saptanmış olup zımbalara nihai ağız şeklinin 3 mm profil taşlama ile verilmiş olmasının bu duruma sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır. Zımbanın ağızında sertleştirme sonrası, merkezde 3 mm derinliğe sahip olan içbükey yüzeyin taşlama ile her hangi bir yanma hasarına sebep olmaksızın açılabilmesi için bu tür yüksek karbür içeren malzemelerde en fazla 0.01 mm paso ile taşlanması gerekirdi. Bu da en az 300 pasoda profil taşlamanın yapılabilmesi, sonuçlandırılabilmesi anlamına gelmektedir. Ancak bu da çok uzun bir işleme süresi ve çok yüksek bir maliyet demektir. Kalıp imalatçısı bu maliyete katlanmayarak yüksek pasolarla zımbanın ağızını profil taşlamış ve yüzeyde yanmaya yol açarak çatlakların oluşmasına sebep olmuştur.

### 5.3.6 Sonuç

Malzeme 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygun ve uygulamaya için önerilen sertlik seviyesindedir. Mikroyapı menevişlenmiş martensit olup ısıl işlemde hedeflenen uygundur ve tane sınırlarında malzeme özelliklerini etkileyecek denli bir ön ötektoid karbür çökmesi tespit edilememiştir. Çatlaklar taşlama yönüne dik doğrultuda olup yapılan mikroyapı ve mikrosertlik taramaları göstermiştir ki, taşlama sırasında zımbaların profil açılan yüzeyinde yanma meydana gelmiş ve bu yüzeylerde çok sert ve çok ince bir tabakanın altında çeliğin sertliği düşmektedir. Bu da çatlama taşlama esnasında oluşan çok yüksek iç gerilmelerin neden olduğunu göstermektedir.

### 5.3.7 Öneriler

1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi yüksek oranda karbür içeren çeliklerin taşlamalarına özel bir dikkat gösterilmelidir. Özellikle toz metalurjik olan 1.2379 (X155CrVMo12 1) çeliklerin karbür dağılımı homojen ve ince olduğu için taşlaması daha da zordur. Bu koşullarda mutlaka doğru taş seçilmeli ve çok düşük paso ile taşlama yapılırken soğutma sıvısı bolca kullanılarak yüzeyin yanmasına mahal verilmemelidir.

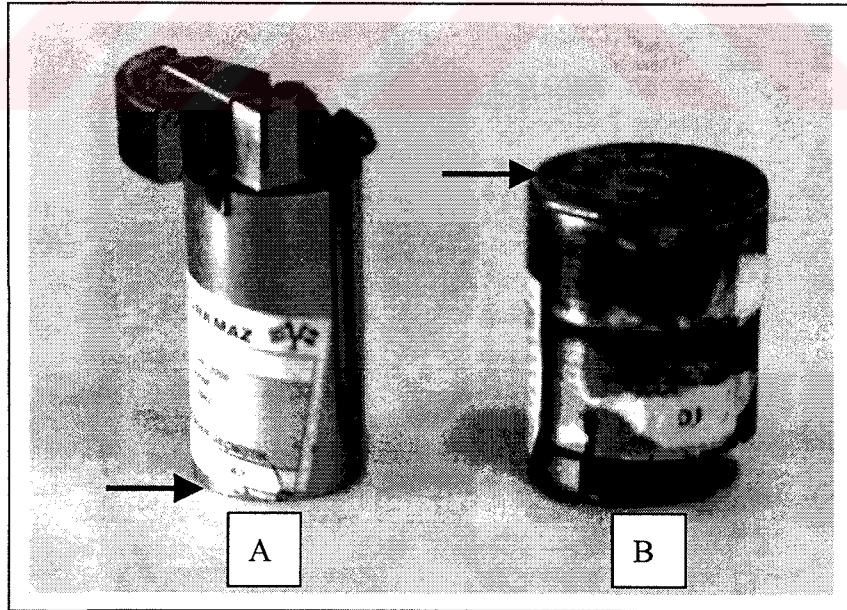
#### 5.4 Olay IV: Hatalı Tasarıma Bağlı Tuz Korozyonu Nedeniyle Çatlama

##### 5.4.1 Olayın Geçmişi

Knorr-Orsan tarafından 3 mm'lik saçların patlatılmasında kullanılan ve Şekil 5.18'de çalışma biçimi gösterilen kalıpta bulunan okla işaretli matrislerde sıkça ani kırılma problemi ile karşılaşılmaktadır. Kırılan matrislerden incelenen ikisinin görüntüsü Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.18 Olay IV: Kesme Kalıbı, Ok Hasarlı Zımbayı Göstermektedir



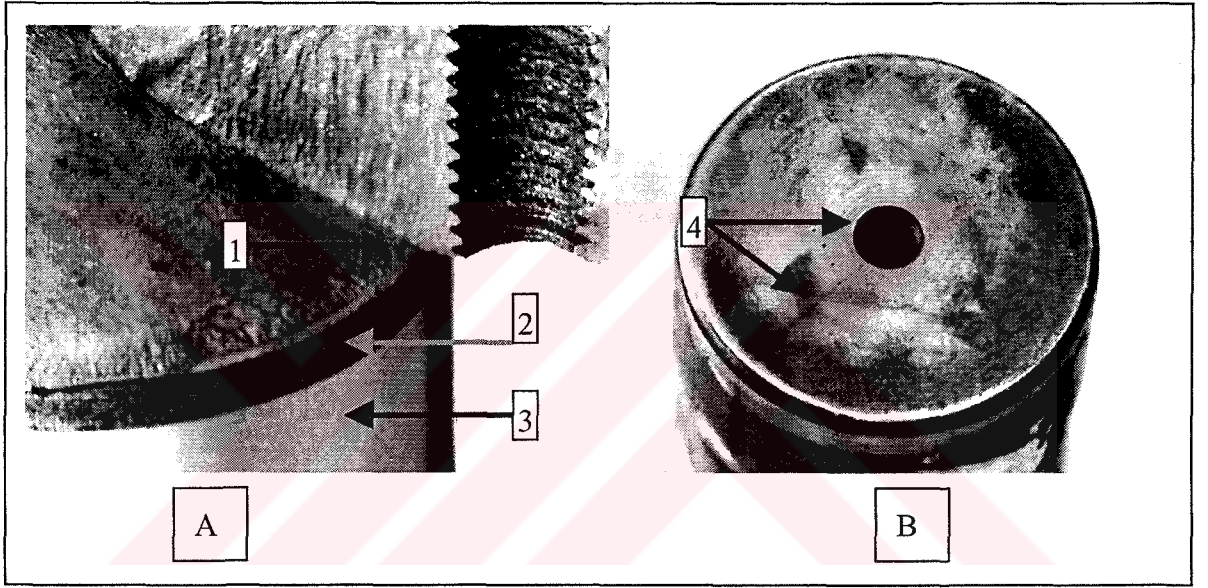
Şekil 5.19 Olay IV: Kırılmış Matrisler, Oklar Kesme Yüzeylerini Göstermektedir

Geleneksel 1.2379 (X155CrVMo12 1) olduğu imalatçısı tarafından belirtilen kalıp çeliği tuz banyosunda sertleştirildikten sonra, ısıl işlemden meydana gelen çarpılmaya bağlı olarak ya sadece temizlenerek ya da silindirik yüzeyleri 0.2-0.3 mm taşlanarak kullanıma alınmaktadır.



### 5.4.2 Gözle Muayene

Matrislerde yapılan çatlak testi ve gözle muayene sonucunda çatlakların matrislerin eksenine boyunca devam ettiği ve başlangıç noktalarının Matris A için 1 ile işaretlendiği üzere ani kesit değişimlerinin olduğu bölgeler yada Matris B için 4 ile işaretlendiği üzere delikler olduğu görülmüştür (Şekil 5.20). Başka ilgi çekici bir nokta da; ısıtılma işlemi sonrası yapılan işlemede sadece, matrisin içinde hareket ettiği zarf ile temasta olan yüzeylerin işlenmiş olmasıdır (ilgili fotoğrafta 3 ile gösterilen parlak yüzey). Kesit değişiminin ortaya çıktığı radyüslü bölge (ilgili fotoğrafta 2 ile gösterilen mat yüzey), ısıtılma işlemi sonrası işlenmemiştir.



Şekil 5.20 Olay IV: Matrislerde Çatlaklar

### 5.4.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu matrislerin sertliği: Matris A: 60 HRC ve Matris B: 54 HRC olarak ölçülmüştür. Anlaşılmaktadır ki, kullanıcı, 60 HRC'lik matrislerde çatlama sorunu yaşadığında sertliği 54 HRC'ye kadar düşürmüş ancak çatlamları engelleyememiş yada erteleyememiştir. Bu durum da göstermektedir ki, kırılmaların malzemenin tokluğu ile bağlantısı oldukça alt seviyededir. Burada, öncelikle incelenmesi gereken

### 5.4.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu A ve B matrislerinin kimyasal analizi Çizelge 5.8'de gösterildiği gibi bulunmuş olup, bu bileşimin 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a uygun olduğu belirlenmiştir.



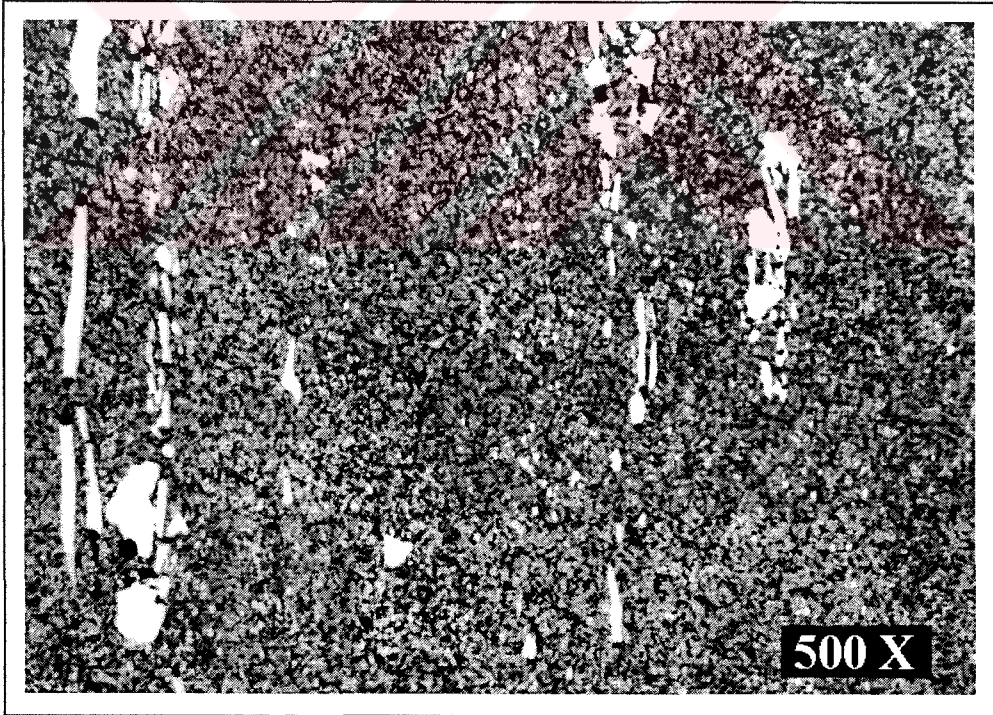
Çizelge 5.8 Olay IV: Numunenin Kimyasal Bileşimi

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
A	1.57	0.40	0.27	0.020	0.0024	11.5	0.72	0.90
B	1.57	0.29	0.38	0.018	0.0023	12.0	0.73	1.00

#### 5.4.5 Mikro Yapı İncelenmesi

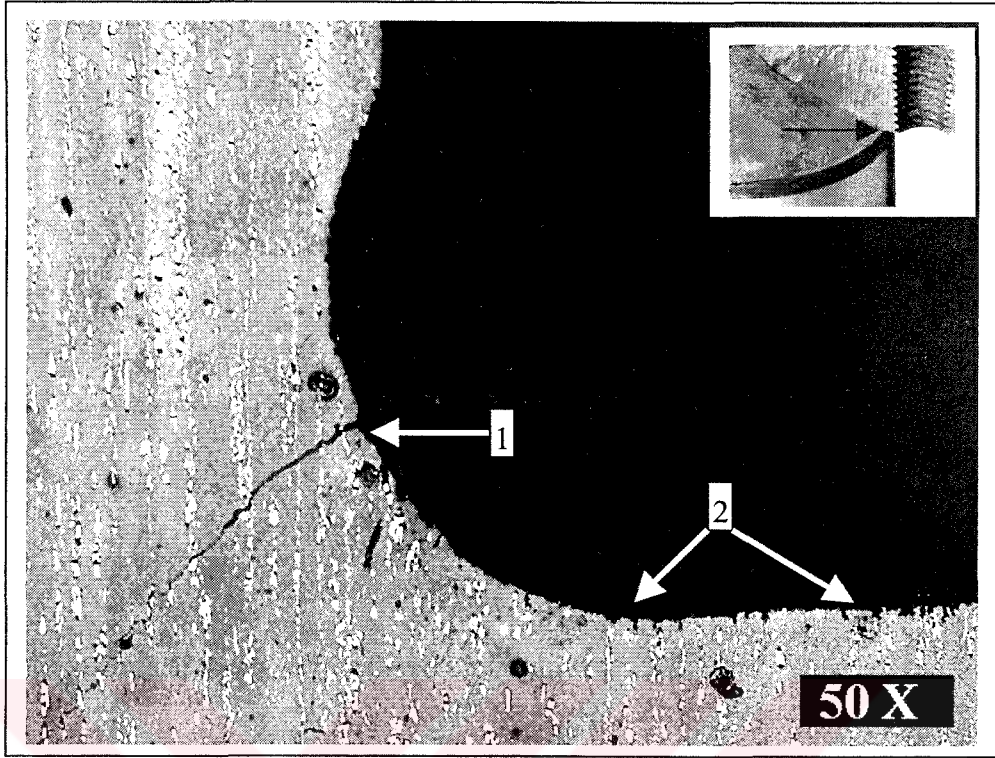
İlgili malzemelerden kırılan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir; Şekil 5.21’de numune merkezinden, Şekil 5.22 ve 5.23’de ise yüzeyinden alınan yapılar verilmiştir.

Şekil 5.21’den de görüldüğü gibi matrisin merkezinden hadde yönünde alınan numunenin yapısı menevişlenmiş martensittir. Karbür dağılımı bu çalışmada, bu tür çelikler için referans yapıları gösteren Şekil 2.12 ile karşılaştırıldığında, geleneksel metalurjik 1.2379 (X155CrVMo12 1) için kabul edilebilir sınırlar içindedir.

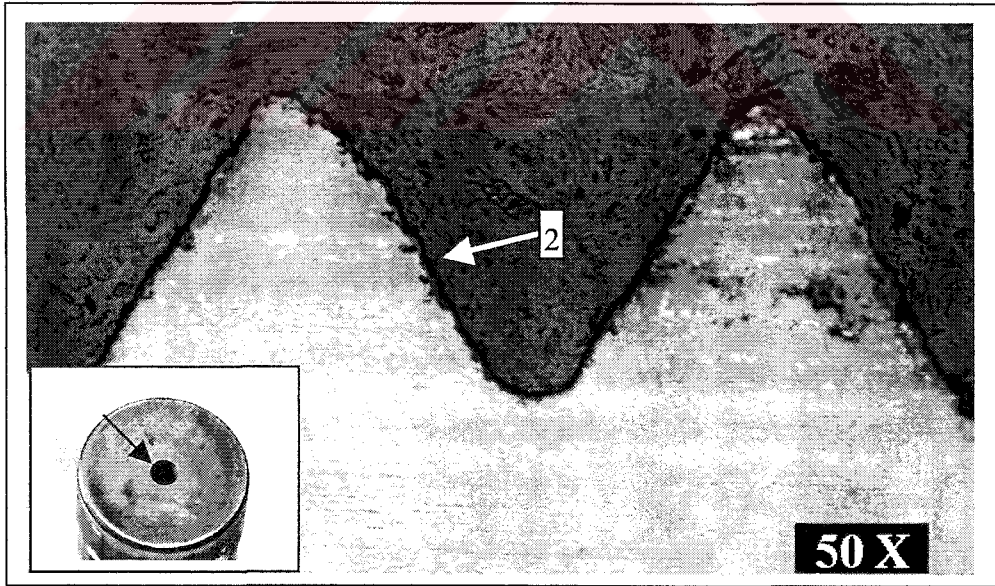


Şekil 5.21 Olay VI: Matris Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 500X

Mikroyapıda, Olay I ve Olay II’ye konu olan ön ötektoid karbür çökmesinin bu yapıda beklendiği gibi hiç olmadığı görülmektedir. Bu çaptaki malzemelerde bu fazın çökmesine yol açacak denli düşük soğuma hızları havada soğutmada bile genellikle mümkün değildir.



Şekil 5.22 Olay IV: Matris A'da Çatlak Başlangıcı Işık Mikroskobu, 50X



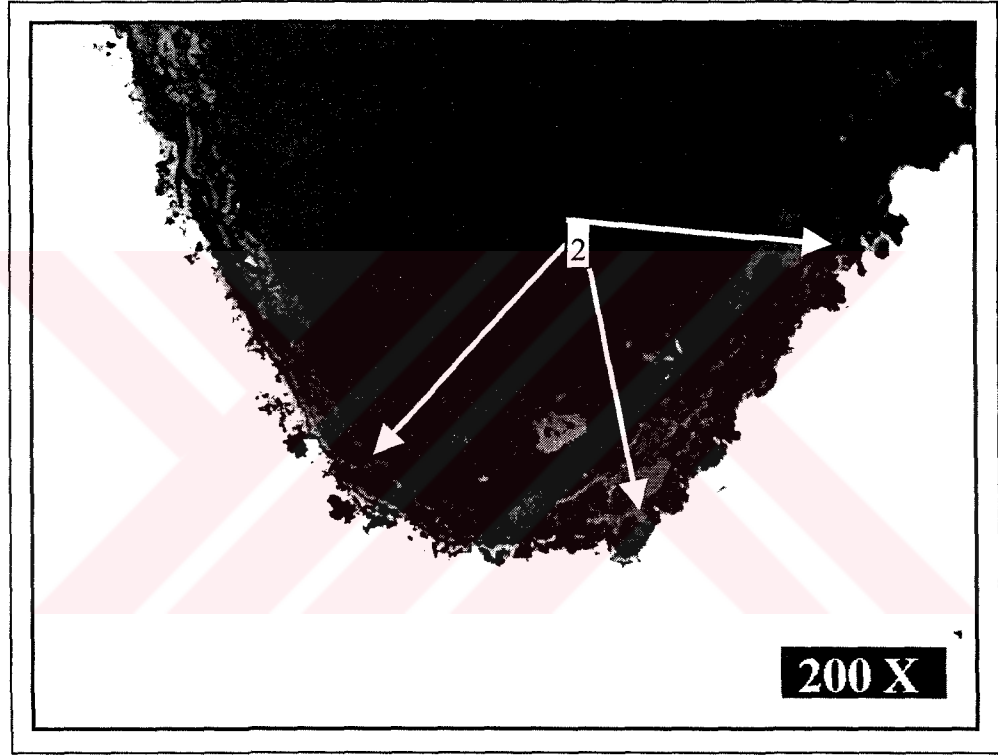
Şekil 5.23 Olay IV: Matris B'de Delik içindeki Dişlerin Görüntüsü Işık Mikroskobu, 50X

Şekil 5.22'de Matris A'da küçük fotoğrafta okla işaretlenmiş kritik bölgeden alınan yüzey mikrografi görülmektedir. 1 nolu okla işaretlenmiş çatlak beklendiği üzere radyüsün tam ortasından başlamış ve  $45^\circ$ 'lik açı ile ilerlemiştir. Radyüsün işlenmesi sırasında görüldüğü gibi içeri doğru girilmiştir; bu da bu bölgedeki gerilme yığılmasını arttıran bir işleme



hatasıdır. Ayrıca 2 nolu okla işaretlendiği üzere matrisin yüzeyinde pürüzlülükler tespit edilmiştir. Bu pürüzlülüklerin korozyona delalet ettiği düşünülebilir. Şekil 5.23’de ise Matris B’de çatlak başlangıcı teşkil eden deliğin boyuna kesiti görülmektedir. Diş çekilmiş olan bu delik içinde de benzer biçimde korozyon benzeri yüzey süreksizliklerine rastlanmıştır. Bu süreksizliklerin tespiti için aynı bölgede yüksek büyütme yapılmıştır.

Şekil 5.24’den 2 nolu oklarla işaretlendiği üzere, açıkça görülmektedir ki, diş diplerinde belirgin bir korozyon mevcuttur. Her iki matrisde de aynı etkiye rastlanmaktadır ve sebebi de muhtemelen tuz banyosunda yapılan ısıtma işlemi sonrası tuzun yüzeyden uzaklaştırılmamasıdır.



Şekil 5.24 Olay IV: Matris B’de Diş Dibinde Korozyon, Işık Mikroskobu, 200X

#### 5.4.6 Sonuç

Malzeme 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygun ve kırılma çabasına yol açabilecek bir sertlik seviyesi mevcut değildir. Mikroyapı menevişlenmiş martensit olup ısıtma işlemi hedeflenenine uygundur.

Çatlaklar radyüsler ve kör deliklerden başlamış olup, çatlak başlangıç bölgelerinde yoğun korozyona rastlanmıştır. Isıtma işlemi sonrası işlenmiş yüzeylerde benzer bir korozyon söz konusu olmadığından hasara yol açanın tuz banyosundaki ısıtma işlemi kalıntılarının bu bölgelerden temizlenememesine bağlı korozyon olduğu iddia edilebilir.

#### 5.4.7 Öneriler

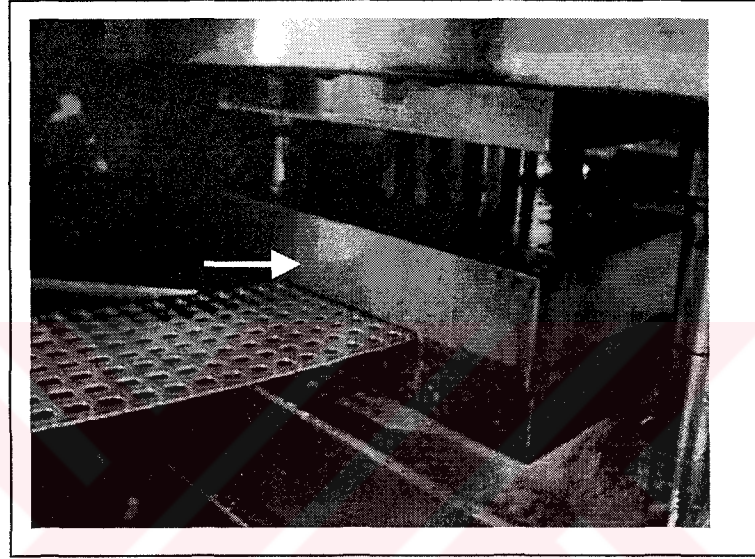
1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi yüksek oranda karbür içeren çeliklerden imal edilmiş takımların toklukları darbeli çalışma koşullarında yüzey özelliklerine son derece bağlıdır. Tuz banyosunda ısıtılma tabii tutulan delikler ve köşeler içermeleri nedeniyle tuz birikmesine elverişli dizayna sahip bu tür takımların, tuz banyosunda ısıtılma sonrası çok iyi temizlenmeleri korozyon hasarlarının önüne geçebilir. Ayrıca tuz banyosunda yapılan parçaların tasarımları mümkün ise bu tür tuz birikimine elvermeyecek biçimde yapılmalıdır. Bunun yanında vakumda ısıtılma ile bu tür hasarlardan tamamen sakınmak da mümkündür.



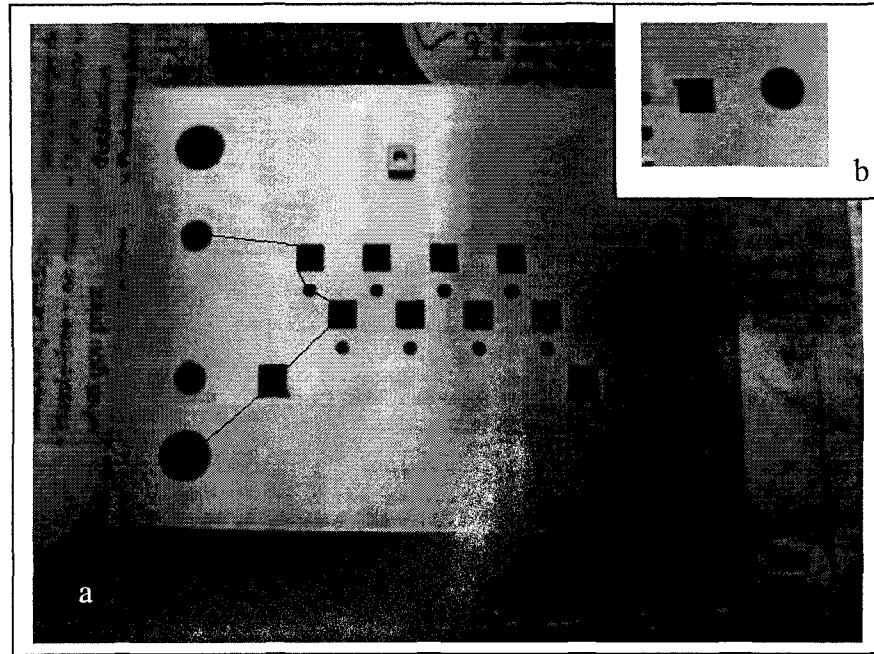
## 5.5 Olay V: Tel Erozyonda Korozyon Nedeniyle Çatlama

### 5.5.1 Olayın Geçmişi

Çıkar Somun tarafından 2 mm'lik saç levhadan somun imalatında kullanılan ve Şekil 5.25'de çalışma biçimi gösterilen kalıpta yer alan okla işaretli dişi kalıpta kısa sürede, Şekil 5.26'da çatlakların üzerinden geçilerek gösterildiği gibi çatlama problemi ile karşılaşmıştır.



Şekil 5.25 Olay V: Somun Üretiminde Kullanılan Kesme Kalıbı



Şekil 5.26 Olay V: Çatlayan Kesme Kalıbı, (Çatlak Çizilerek Belirginleştirilmiştir) a: Ön Yüz; b: Arka Yüz'den Detay

Şekil 5.26'da ilgili dişi kalıpta mevcut çatlak penetrasyon testi ile bile çok zor ayırt edilebilmekte olup bu fotoğrafta özel olarak belirginleştirilerek gösterilmiştir. Görülmektedir ki, çatlak kalıp üzerindeki keskin köşeleri izleyerek ilerlemiştir.

Toz metalurjik bir soğuk iş takım çeliği olan Vanadis 10 olduğu belirtilen kalıp çeliği tuz banyosunda sertleştirildikten sonra, taşlanmış ve tel erozyon ile kesilerek kalıp haline getirilmiştir.

### 5.5.2 Gözle Muayene

Kalıp yüzeyinde herhangi bir taşlama hatasına delalet eden bir ize rastlanmamıştır. Kesme deliklerinde sarma vb bir hata mevcut değildir. Çatlama sonrası delik ölçülerinde büyüme tespit edilmiştir.

### 5.5.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 60 HRC olarak ölçülmüştür

### 5.5.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.9'da gösterildiği gibi bulunmuş olup, bu bileşimin Vanadis 10 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.9 Olay V: Numunenin Kimyasal Bileşimi

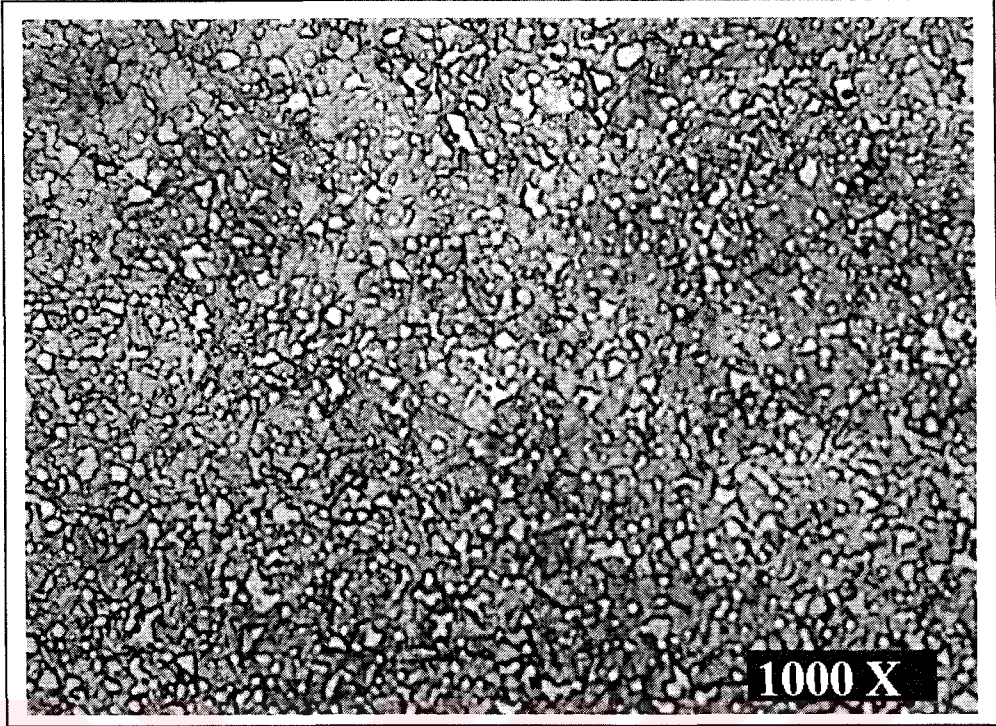
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V	%W	%Cu
2.98	0.59	0.51	0.030	0.009	8.10	1.47	10.05	0.06	0.06

### 5.5.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden çatlaman bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.

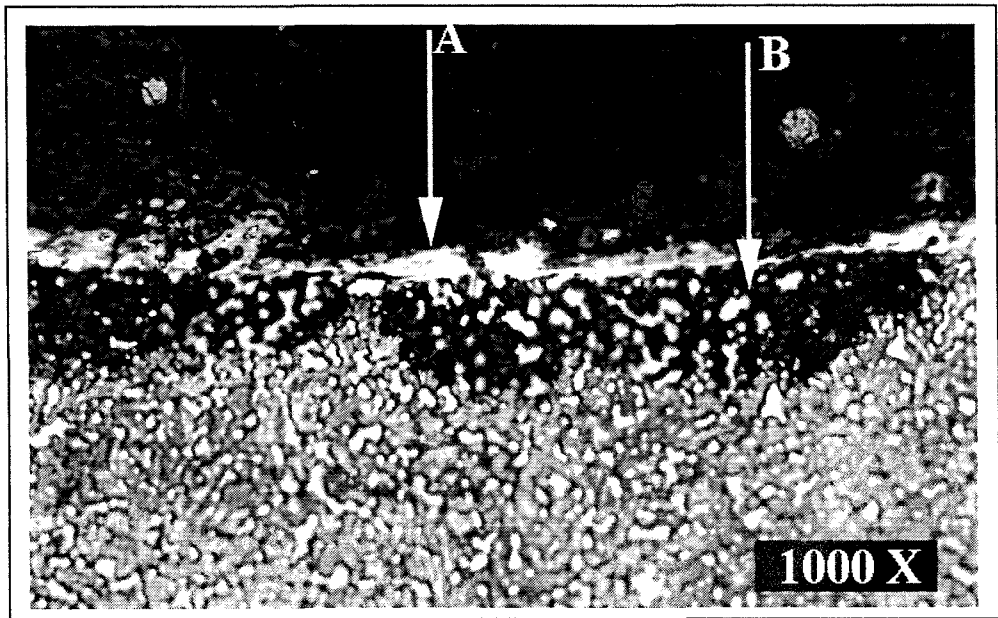
Şekil 5.27'den de görülebileceği üzere matrisin merkezinden alınan numunenin yapısı menevişlenmiş martensittir. Kalıbın çalışma eksenine dik yönde alınan bu numunede herhangi bir yönlenme ve bantlaşma yoktur. Karbür dağılımı son derece homojen olup toz metalurjik çeliklerin karakteristik özelliği gibidir.





Şekil 5.27 Olay V: Kalıp Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafi, Işık Mikroskobu 1000X

Şekil 5.28’de ise kalıbın tel erozyon ile kesilmiş yüzeyinden alınan görüntü verilmektedir. Kalıp yüzeyinde dikkate değer oranda bir erozyon hasarı saptanmıştır. Bu hasar ilgili fotoğrafta A ile işaretli, literatürde Beyaz Tabaka olarak anılan yeniden sertleşmiş tabaka (Jung vd., 2002) ile de sınırlı değildir.



Şekil 5.28 Olay V: Kalıp Yüzeyinde Erozyon Hasarı, Işık Mikroskobu, 1000X

Beyaz tabakanın altında sertleşmiş bir tabaka onun da altında ise yeniden menevişlenmiş yumuşak bir tabaka bulunmaktadır (Jung vd., 2002); ancak ilgili şekilde B ile işaret edilen korozyona uğrayan bölgenin varlığı, bu tabakaların tespitini güçleştirecek ölçüde büyüktür. Normal koşullarda tel erozyon hasarları arasında anılmayan bu tür korozyon hasarları, tel erozyonun içinde yapıldığı dielektrik sıvının kirlenmesi neticesinde ortamdaki yüksek sıcaklık nedeniyle hızla oluşabilen hasarlardır.

Çatlaklar tel erozyon ile kesimi yapılan bölgelerden ilerlemiştir. Bu bölgelerin metalografik incelemesinde görülmüştür ki, tel erozyon ile kesimi yapılan ve aynı zamanda bu kalıpta olarak çalışan ve yüke maruz kalan yüzeyler korozyona uğramıştır. Korozyon, yüzeyden içeriye doğru armut biçimli oyukçuklanmalar halinde sirayet etmiş bulunup kalıbın tokluğunu çok büyük oranda kaybetmesine sebebiyet verdiği için kalıp kısa süreli çalışma sonrası çatlama başlamıştır. Uddeholm Japonya'dan Hirosuke Tabe, erozyon nedeniyle oluşan korozyon hasarlarını da incelediği çalışmasında (Tabe, 1998), erozyon esnasında oluşan korozyonun, ısı şoka bağlı olarak ortaya çıkan iç gerilmelerin yol açtığı bir gerilmeli korozyon olduğunu açıklamaktadır. Tabe'ye göre, aynı mekanizma taşlama esnasında da ortaya çıkmakta ve aynı etkiyi yapabilmektedir.

Bu çalışmada, Şekil 2.2'de Sandberg'den aktarılan (1997) verilere göre, kaba erozyon yüzeyleri ile korozyona uğramış yüzeyler, bu tür takım çeliklerinin yorulma ömürlerinden % 90'a varan büyük kayıplara yol açmaktadır.

### 5.5.6 Sonuç

Malzeme Vanadis 10 olup karbür dağılımı standartlara uygun ve kırılma çabasına yol açabilecek aşırı bir sertlik seviyesi mevcut değildir. Mikroyapı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmakta olup ısı işleminde hedefleneneye uygundur.

Çatlaklar, korozyona uğramış tel erozyon yüzeyinden başlamış olup, kırılmaya bu kötü yüzey özelliklerinin keskin köşe etkisiyle birleştiği noktalarda ortaya çıkan gerilme yığılmaları yol açmıştır. Kalıp tasarımına dair bu keskinliğin veri (değiştirilemez) olduğu göz önüne alınacak olursa, kırılmanın nedeni tel erozyonun sebep olduğu korozyondur, denilebilir.

### 5.5.7 Öneriler

Vanadis 10 gibi çok yüksek oranda karbür içeren çeliklerin talaşlı imalatındaki zorlukları aşmak için sıkça başvurulan bir işleme yöntemi olan tel erozyonda dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de kesim işleminin yapıldığı sıvının pH değeri ve temizliğidir. Son derece

agrasif ve atak potansiyeli taşıyan bu sıvıların sürekli temizlenmesi ve gerektiğinde yenilenmesi kesilen parçalar için hayatidir.

Ayrıca, her koşulda, tel erozyon sıvısından çıkan parçalar, mutlaka yıkanarak, agresif olan bu sıvının süreç içinde parçaya penetre olarak hasar vermesinin de önüne geçilebilir. Tel erozyon kesimi sonrası sarımsı-kiremit rengi alan parçaların korozyona uğradığından muhakkak şüphelenmek gerekmektedir.





## 5.6 Olay VI: Tel Erozyon Sırasında Ortaya Çıkan Taşlama Çatlakları

### 5.6.1 Olayın Geçmişi

Cem Kalıp tarafından, bir kesme kalıbında zımba olarak kullanılmak üzere, tel erozyon ile sertleştirilmiş çelik kütüğün kesim işlemi sırasında, kütüğün çatlak olduğu fark edilmiştir. İmalatçı tarafından, Calmax soğuk iş takım çeliği olduğu belirtilen sertleştirilmiş bu bloğun 4 ile işaretlenmiş bölgesinden inceleme için bir numune kırılarak alındıktan sonraki hali Şekil 5.29'da görülmektedir. Çelik kütük, frezelendikten sonra ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ve sertleştirilmiştir. Sertleştirilen bu kütük, ilgili şekilde 2 ile işaretli ok yönünde taşlandıktan sonra tel erozyon ile kesilmeye başlanmış; ancak bloktan tek bir zımba çıkarıldıktan sonra ilgili şekilde 1 ile işaretlenen ok yönündeki çatlaklar fark edilmiştir.



Şekil 5.29 Olay VI: Çatlayan Kalıp Bloğu

### 5.6.2 Gözle Muayene

Kalıp yüzeyinde gözlenen çatlaklar genelde birbirine paralel, çatlaşmış toprak görünümünde ve taşlama yönüne diktir. Kalıp taşlama yüzeyinde taş izleri (tırlama hatası biçiminde) belirgin bir biçimde fark edilebilmektedir. Bu durum, daha önce bu çalışmada Örnek Olay III'de tartışıldığı ve Sullivan (1982) tarafından tanımlandığı üzere, öncelikle bir taşlama hatasına açıkça karşılık gelmektedir. Çatlakların tel erozyon ile kesim sırasında fark edilmiş olması bir tel erozyon hasarını da öncelikle tartışılması gereken bir başlık haline getirmektedir.

### 5.6.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 58 HRC olarak ölçülmüştür

### 5.6.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.10'da gösterildiği gibi bulunmuş olup, bu bileşimin Calmax standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.10 Olay VI: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
0.62	0.36	0.78	0.01	0.01	4.65	0.49	0.27

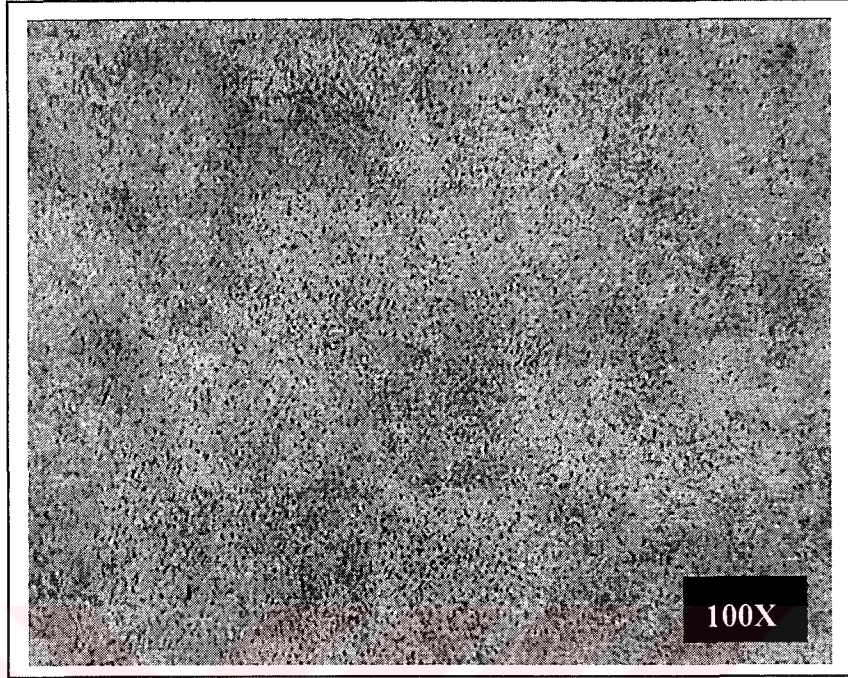
### 5.6.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden çatlayan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.

Şekil 5.30'dan de görüldüğü gibi matrisin merkezinden alınan numunenin yapısı menevişlenmiş martensittir. Kalıbın çalışma eksenine dik yönde alınan bu numunede her hangi bir yönelme ve bantlaşma yoktur. Bu malzemede son derece az bulunan karbürlerin dağılımı da son derece homojendir.

Çatlamanın tel erozyon sırasında fark edilmesi nedeniyle kalıbın tel erozyon ile oluşturulan yüzeyinden alınan numune incelenmiş ancak dikkate değer oranda bir tel erozyon hasarı saptanamamıştır.





Şekil 5.30 Olay VI: Kalıp Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 100X

Çatlakların taşlama yönüne dik olması ve taşlama yüzeyinde turlama tabir edilen taşlama izlerinin görülmesi, taşlama yüzeyinin dikine kesitinin incelenmesini teşvik etmiştir.

Şekil 5.31’de kalıbın taşlanmış yüzeyinden içeri doğru mikro sertlik taramasının sonuçları verilmiştir. Görülmektedir ki, sertleştirilmiş çelik parçanın taşlanmış yüzeyi oldukça yumuşaktır. Bu da açıkça taşlama sırasında yüzeyde back tempering olarak da anılan yanmanın oluştuğunu ifade etmektedir (Chandrasekaran vd., 1999).

#### 5.6.6 Sonuç

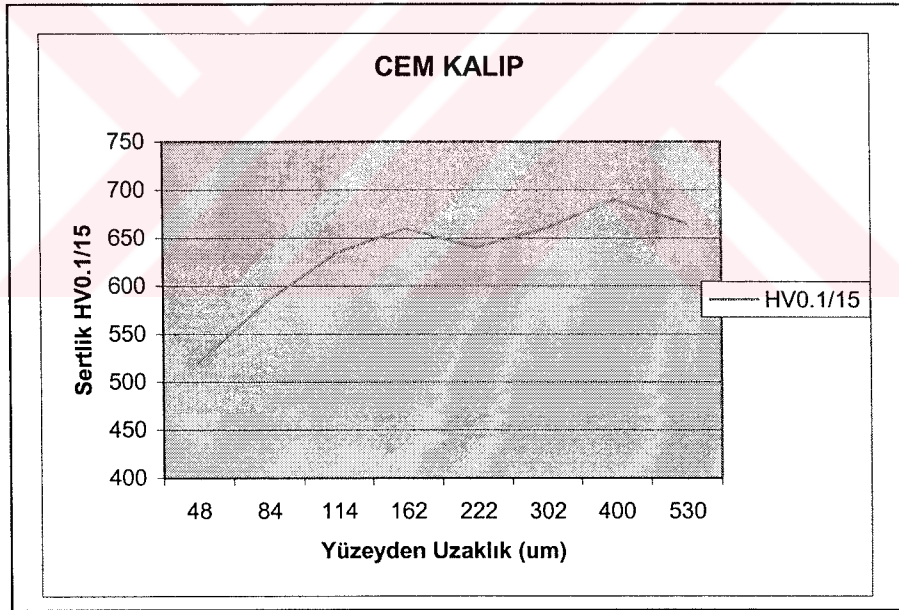
Malzeme Calmax olup mikroyapısı menevişlenmiş martensittir ve ısıl işlemden hedeflenene uygundur.

Çatlakların taşlama yönüne dik ve yüzey çatlakları olması ile birlikte sertlik taramasının sonuçları, hasarın esas sebebinin taşlama hatası olduğunu göstermektedir (Chandrasekaran vd., 1999), (Jung vd., 2002). Çatlaklar taşlama sırasında oluşmuş ancak fark edilebilir büyüklüğe gelmelerinde tel erozyonun parçaya uyguladığı ısıl şok sonucu oluşan iç gerilmeler etkili olmuştur (Capello ve Vedani, 1999).

Tabii, yaptığı çalışmalarda bu gerek taşlama gerekse de tel erozyon sırasında kalıba yüklenen

iç gerilmelerin, hem gerilmeli korozyona hem de gerilme çatlaklarına yol açabildiğini açıkladığı çalışmalarında (Tabe, 1998), ısıtılma sırasında menevişin 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda (yüksek sıcak menevişi) yapılmasının, artık östenit dönüşümünü sağladığı için iç gerilmeleri düşürücü çok önemli bir etki yaptığını ifade etmekte ve özellikle soğuk iş takım çeliklerinin ısıtılma esnasında yüksek sıcaklık menevişinin tercih edilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

Bu örnekte ise, kullanılan soğuk iş takım çeliği olan Calmax'ın yüksek sıcaklık menevişi ile ulaşabileceği en yüksek sertliğin 54 HRC olabileceği unutulmamalıdır (Bkz. Ekler, Calmax Meneviş Eğrisi). Bunun anlamı, erozyon ile işlenecek kalıplarda 58-60 HRC gibi yüksek sertlikler talep edildiği koşullarda seçilecek kalıp çeliklerinin ikincil sertleşme özelliğine, yani yüksek sıcaklık menevişinde sertliğini koruyan bir özelliğe sahip olması gerektiğidir. 1.2379, Slepner, K340 ve tüm toz metal takım çelikleri bu özelliğe sahip çeliklerdir.



Şekil 5.31 Olay V: Kalıbın Taşlanmış Yüzeyinde Mikro Sertlik Taraması

Ayrıca tel erozyon sonrasında kesilen çelik parçanın renginin kızıl kahverengi olması tel erozyon sıvısının korozif olduğunu anlatmaktadır. Tel erozyon sonrasında, parça temizlenmemiş ve yüzeyinde kalan tel erozyon sıvısı tarafından korozyona uğratılmıştır. Böylece, taşlama sırasında oluşan çatlaklar tel erozyon nedeniyle bir yandan korozyona uğrar ve görülebilir büyüklüğe gelirken bir yandan da tel erozyonun yarattığı iç gerilmeler nedeniyle parçada taşlama esnasında oluşmuş olan çatlaklar ilerlemiştir.

### 5.6.7 Öneriler

Calmax gibi çok yüksek oranda karbür içermese de alaşımli takım çeliklerinin taşlaması imalat çeliklerinin taşlaması gibi sıradan bir konu değildir. Bu çelikler az da olsa karbür içermekte ve martensitik bir matrikse sahip olmaktadır. Bu yüzden her tür takım çeliğinin işlenmesi sırasında düşük pasolar kullanılması ve bolca soğutma sıvısı kullanılmasının yanı sıra doğru taş seçiminin de önemi büyüktür.

Öte yandan sonuçlarda belirtildiği üzere; tel erozyon ile işlenecek kalıplarda kullanılmak üzere seçilecek olan takım çeliklerinin ikincil sertleşme özelliğine sahip olan çelikler arasından seçilmesi gerekmektedir. Bu sayede uygulanabilecek yüksek sıcaklık menevişi ile, hem ısıl işlem den devreden hem de erozyon esnasında oluşan iç gerilmeler minimumda olacaktır.

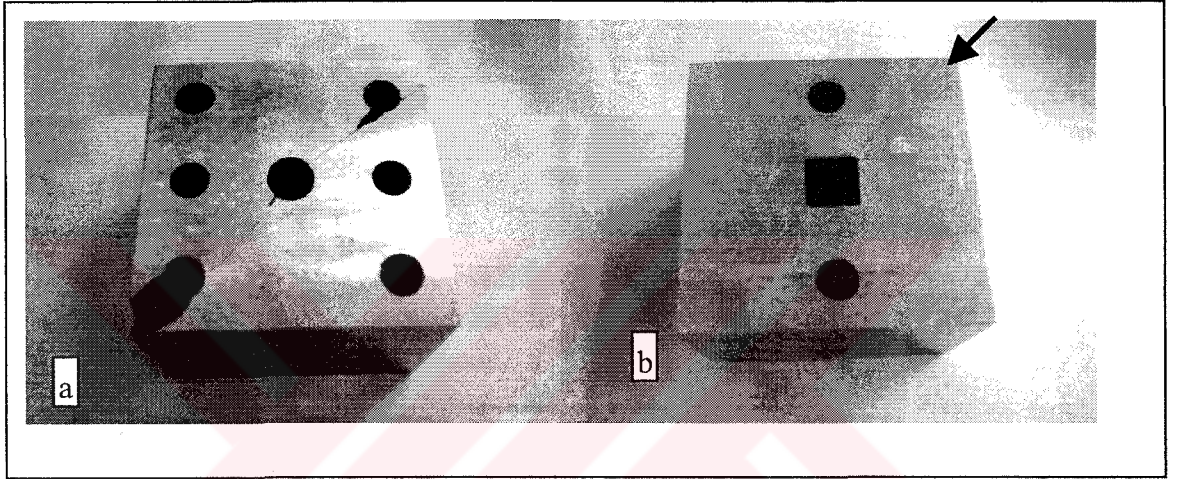




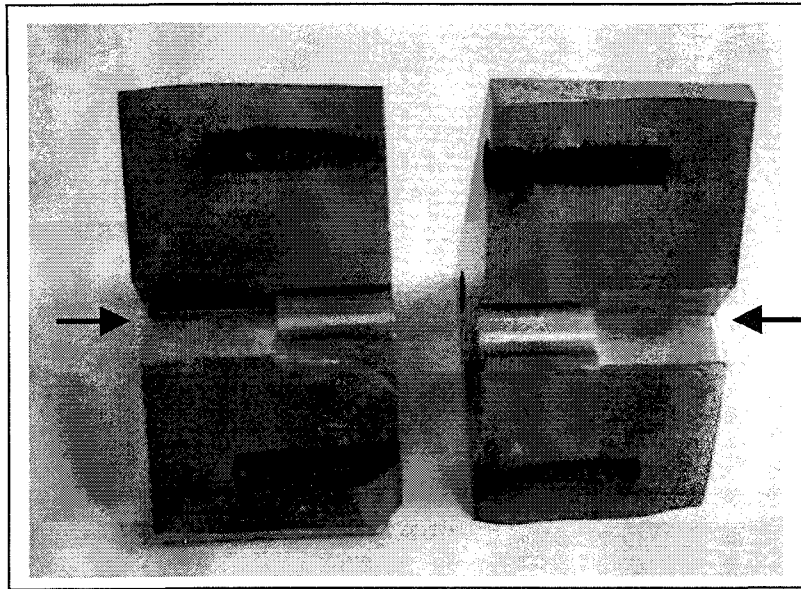
## 5.7 Olay VII: Hatalı Tasarım Nedeniyle Ani Kırılma

### 5.7.1 Olayın Geçmişi

Elopar tarafından kesme kalıbı olarak imal edilirken kalıpta (dişi kalıp, matris) kısa süreli çalışma sonrası ani kırılma problemi ile karşılaşmıştır. Kalıp çeliği Vanadis 4 toz metalurjik soğuk iş takım çeliği olduğu bildirilen kalıp, tuz banyosunda sertleştirildikten sonra taşlanmış ve ardından tel erozyon ile kesilerek imal edilmiştir. Şekil 5.32 ve 5.33'de ilgili kalıbın kırılmış durumu gösterilmektedir.



Şekil 5.32 Olay VII: Çatlayan Kesme Kalıbı, a: Arka Yüzü, b: Ön Yüzü



Şekil 5.33 Olay VII: Kırılma Yüzeyi

### 5.7.2 Gözle Muayene

Kalıbın ön yüzeyinde (Şekil 5.32b) görülen çatlak, Şekil 5.33'deki gibi kalıbı keskin iç kenarları boyunca iki parçaya ayırmaktadır. Bu fotoğrafta siyah ok ile işaretlenen yüzler kalıbın ön yüzü yani çalışan, kesme yapan yüzleridir. Kalıbın arka yüzünden başlayan içine dış çekilmiş bağlantı deliklerinin rengi kızıl kahverengi olup korozyona uğradığı anlaşılmaktadır. Bu bağlantı delikleri ısıtıl işlem öncesinde açıldıktan sonra dış çekilerek işlenmiştir.

Öte yandan, kalıbın tasarımı, dikkat edilecek olursa şu hususu da içermektedir: Kalıbın ön yüzündeki kesici form, kare biçiminde olup keskin köşeler ile korozyona uğrayan bu kör delikler aynı köşegen üzerindedir.

### 5.7.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 58-59 HRC olarak ölçülmüştür

### 5.7.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.11'de gösterildiği gibi bulunmuş olup, bu bileşimin Vanadis 4 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.11 Olay VII: Numunenin Kimyasal Bileşimi

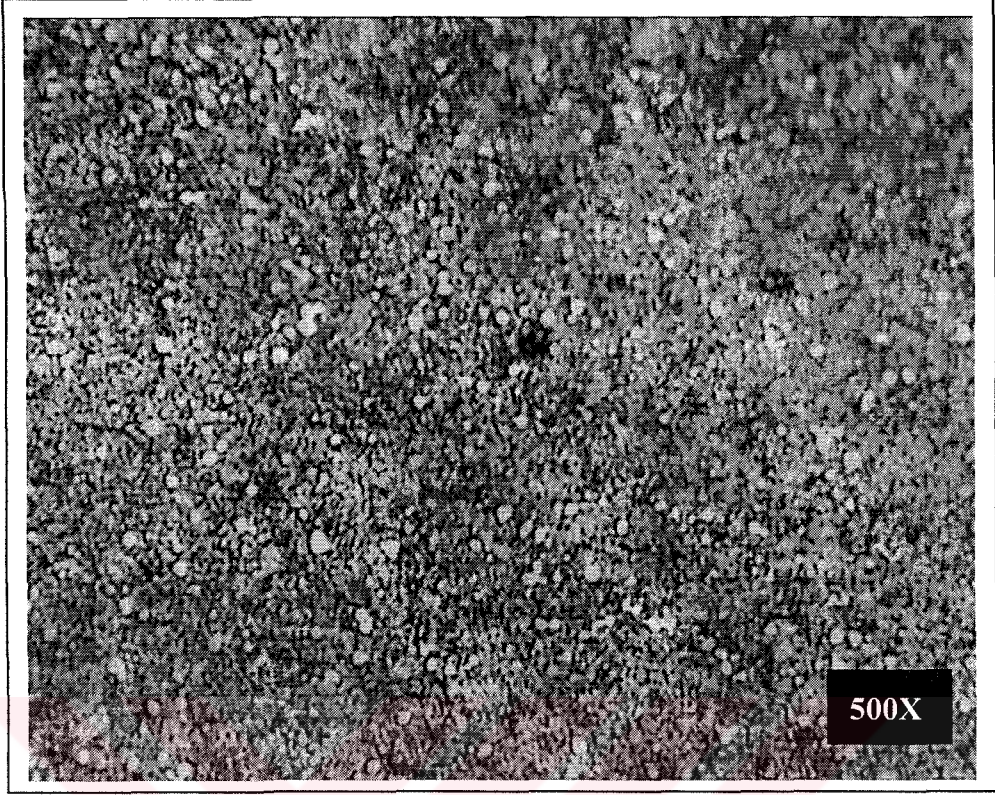
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.52	0.95	0.43	0.001	0.001	9.05	1.59	4.10

### 5.7.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden çatlayan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.

Şekil 5.34'den de görüldüğü gibi matrisin merkezinden alınan numunenin yapısı menevişlenmiş martensittir. Kalıbın çalışma eksenine dik yönde alınan bu numunede herhangi bir yönlenme ve bantlaşma yoktur. Karbür dağılımı son derece homojen olup toz metalurjik çeliklerin karakteristik özelliği gibidir.





Şekil 5.34 Olay VII: Kalıp Merkezinin Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 500X

### 5.7.6 Sonuç

Malzeme Vanadis 4 olup karbür dağılımı standartlara uygun ve kırılmalığa yol açabilecek aşırı bir sertlik seviyesi mevcut değildir. Mikroyapı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmakta olup ısıtıl işlemde hedeflenene uygundur.

Bu çalışmada Olay V’de tespit edildiği gibi, Vanadis tipi yüksek miktarda alaşım karbürü ihtiva eden takım çeliklerinden imal edilmiş ve dış açılmış kör delikli parçaların tuz banyolarında ısıtıl işlemi, korozyon tehlikesi nedeniyle son derece kritik olabilmektedir. Kör deliklerde kalan tuz kalıp üretime girene kadar geçen ve genellikle aylarla ölçülebilecek zaman zarfında kalıp çeliğini bu noktalardan korozyona uğratabilmektedir.

Olay VII’de de dış açılmış kör deliklerde tespit edilen korozyonun nedeni de, çok büyük bir olasılıkla tuz banyosu ısıtıl işleminden arta kalan tuzlardır. Ancak nedeni ne olursa olsun, çalışma esnasında, keskin köşe etkisi (Jung vd., 2002) nedeniyle gerilme yoğunlaşmasının gerçekleştiği dış diplerinde oluşan korozyonun, olayda incelenen kalıbı darbelere karşı hassas hale getirdiği açıktır.

Jung ve arkadaşlarının kalıplardaki hasarların sebepleri üzerine yaptıkları incelemede (2002)

üzerinde önemle durdukları üzere, kalıp hasarlarında keskin köşe etkisi önemli bir yer işgal etmektedir. Bu kalıpta da (imalat açısından zorunlu bir tasarım olan) keskin açılı kesici köşeler ile dış açılan kör deliklerin aynı köşegende olması ciddi bir keskin köşe etkisi yaratmaktadır. Korozyonun da tetiklemesi ile ama asıl olarak bu tasarım hatasının kırılmaya yol açtığı iddia edilebilir. Ayrıca kalıp büyüklüğü yeterli değildir; bu dış açılan delikler kalıp dış yüzeyine çok yakındır.

### 5.7.7 Öneriler

Tuz banyosunda sertleştirilen Vanadis 4 gibi çok yüksek oranda karbür içeren çeliklerin kör delikler içermesi durumunda korozyona uğrayabileceği göz önünde bulundurulmalı ve mümkün ise kör deliklerden kaçınılmalı yada vakum sertleştirme tercih edilmelidir.

Öte yandan olay VII açık bir tasarım hatasını da içermektedir. Aşağıda, Şekil 5.35’de ilgili durum için tasarım önerileri yer almaktadır:

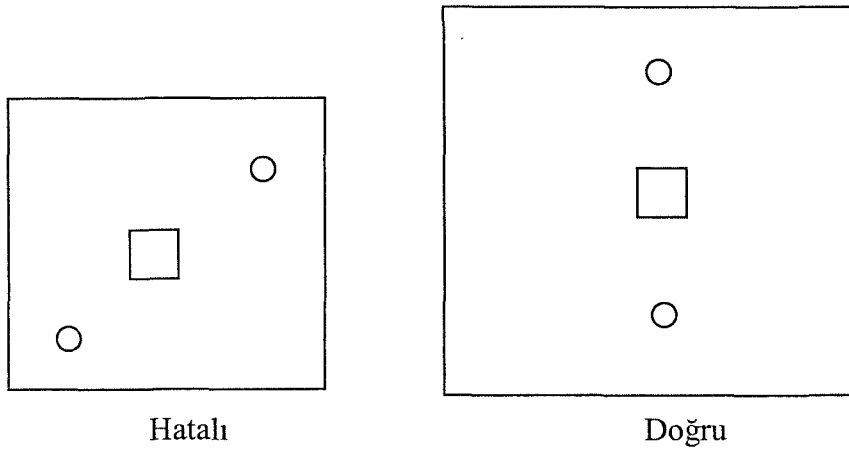
Kalıp boyutları büyütülmelidir

Vida açılan delikler kalıbın dış yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır

Vida delikleri 45° döndürülerek keskin köşeler ile aynı köşegenden çıkarılmalıdır.

Vida ağzı açılmayan ve boydan boya bağlantı delikleri tehlikesiz delikler olup bu delikler ancak bu köşegen üzerinde yer alabilir.

Yüksek karbürü ve özellikle de toz metalurjik takım çelikleri korozyona karşı duyarlı oldukları göz önünde tutularak vakum altında ısıtılmalı ve ısıtılmalıdır.



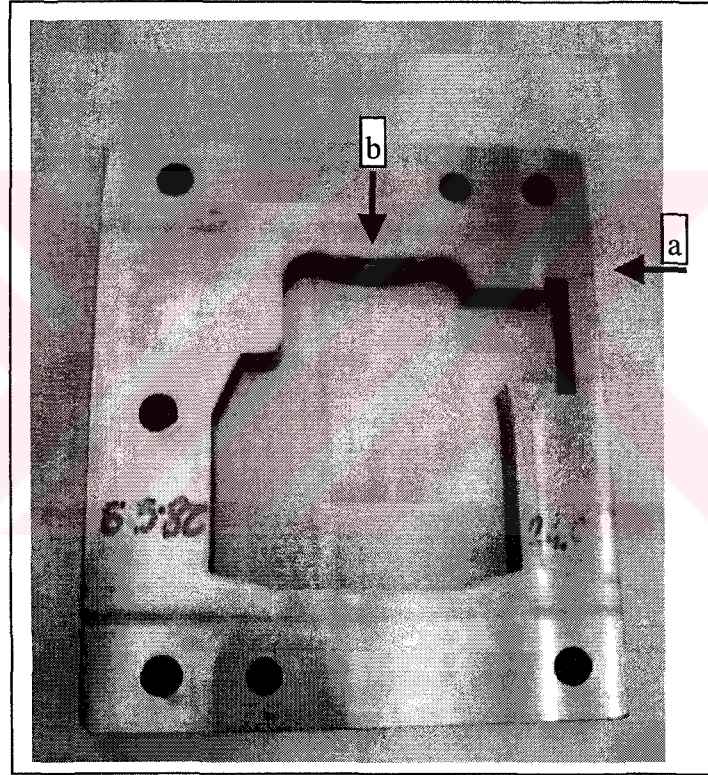
Şekil 5.35 Olay VII: Kalıp Tasarımı için Öneriler



## 5.8 Olay VIII: Tasarım Hatası ve Hatalı Hadde Yönü Seçimi Nedeniyle Çatlama

### 5.8.1 Olayın Geçmişi

Dönmez Oto (İzmir) tarafından 4 mm sac kesmede kullanılmak üzere, kesme kalıbı olarak imal edilirken kalıpta (dişi kalıp, matris) kısa süreli çalışma sonrası ani kırılma ve atma (ağız dökülmesi) problemleri ile karşılaşmıştır. Kalıp çeliği malzeme no 1.2080 (X210Cr12) geleneksel soğuk iş takım çeliği olarak imalatçısı tarafından belirtilen kalıp, tuz banyosunda sertleştirildikten sonra taşlanmış ve ardından tel erozyon ile kesilerek imal edilmiştir. Şekil 5.36'da ilgili kalıbın hasarlı durumu gösterilmektedir.



Şekil 5.36 Olay VIII: Çatlayan Kesme Kalıbı

### 5.8.2 Gözle Muayene

Şekil 5.36'dan görülebileceği gibi ilgili kesme kalıbının tasarımında ciddi kesit farklılıkları bulunmaktadır. Şekilde a ile işaretli okla gösterilen kesitin en zayıf olduğu bölgeden kırılma meydana gelmiştir. Öte yandan şekilde b ile işaretli okla gösterilen yörede ise kaba bir atma ortaya çıkmıştır.

### 5.8.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 60 HRC olarak ölçülmüştür

### 5.8.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 6.12'de gösterildiği gibi bulunmuş olup, bu bileşimin 1.2080 (X210Cr12) standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.12 Olay VIII: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	Ni
1.82	0.29	0.53	0.03	0.001	11.24	0.14	0.37

### 5.8.5 Mikro Yapı İncelenmesi

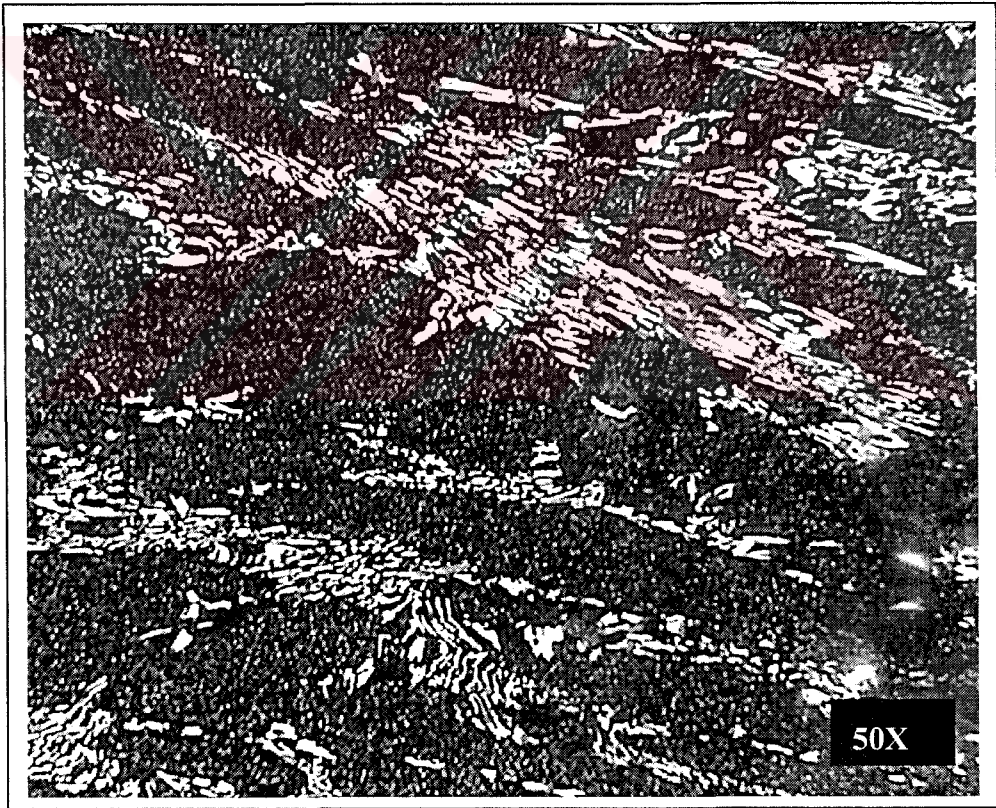
İlgili malzemelerden çatlayan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıda Şekil 5.37 v3 5.38'de gösterilen mikroyapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.



Şekil 5.37 Olay VIII: Hadde Yönünde Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 50X



Hasarlı malzemenin çatlak bölgesinden, metalografik inceleme için iki numune çıkarılmış ve mikro yapıları incelenmiştir. Hadde yönüne paralel doğrultuda alınan kesit optik mikroskop ile incelenmiş olup, elde edilen mikro yapı Şekil 5.37’de gösterildiği gibi menevişlenmiş martensit ve birincil karbürlerden oluşmaktadır. Karbür dağılımı son derece ince bir lamadan kesilmiş olması gereken bu kalınlıktaki bir malzeme için oldukça kötüdür. Bunun anlamı malzeme yeterince iyi dövülemediğinden karbür ağı da yeterince parçalanamamıştır yada bu küçük boyutlardaki (kalınlık 25 mm) kalıp için son derece kalın bir kütükten kesilerek kalıpta kullanılan çelik elde edilmiştir. Bu tür ağır karbür segregasyonu içeren yapıların tokluğu düşük olup atma veya ağız dökülmesi sorunu yaşayan uygulamalarda tercih edilmemelidir. Malzemenin, diğer soğuk iş takım çelikleri ile özelliklerinin görel olarak kıyaslandığı Şekil 2.17’den de görülebileceği üzere tokluğu görece düşük, iri karbürler içeren 1.2080 (X210Cr12) soğuk iş takım çeliği olması bu durumu daha da kritiklemektedir.

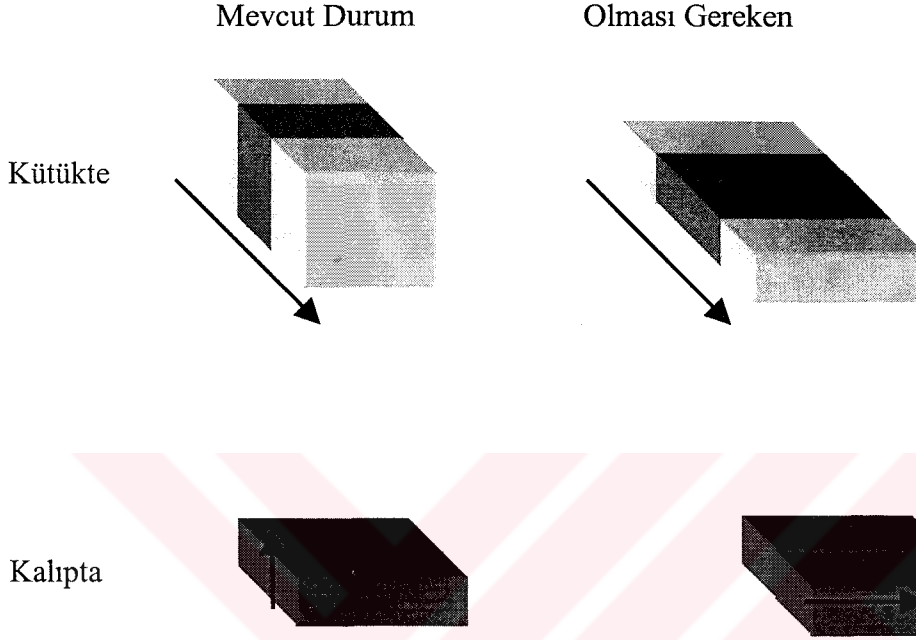


Şekil 5.38 Olay VII: Hadde Yönünde Mikroyapı Fotoğrafi, Işık Mikroskobu 50X

Ayrıca ikinci numunenin alındığı yön ile yapının hadde yönü karşılaştırıldığında ortaya çıkan durum ilgi çekici olmuştur. Şekil 5.38’den anlaşılmaktadır ki kalıbın işlendiği kalıp çeliği bloğunun hadde yönü ile kalıbın yatay durumu birbirine diktir. Bunun anlamı kalıp aşağıdaki şekildeki gibi kütükten çıkarılmış olmalıdır:



Şekil 5.39'da siyah bölgeler kütük üzerindeki kalıp malzemesinin kesiliş biçimini yani doğrultusunu göstermektedir. Ok yönü ise hadde yönünü göstermektedir. Sol tarafta mevcut durum resmedilmiş sağ tarafta ise olması gereken durum resmedilmiştir.



Şekil 5.39 Olay VII: Kalıp Çeliğinin Çelik Kütükten Çıkarılış Biçimi, Ok: Hadde Yönü

### 5.8.6 Sonuç

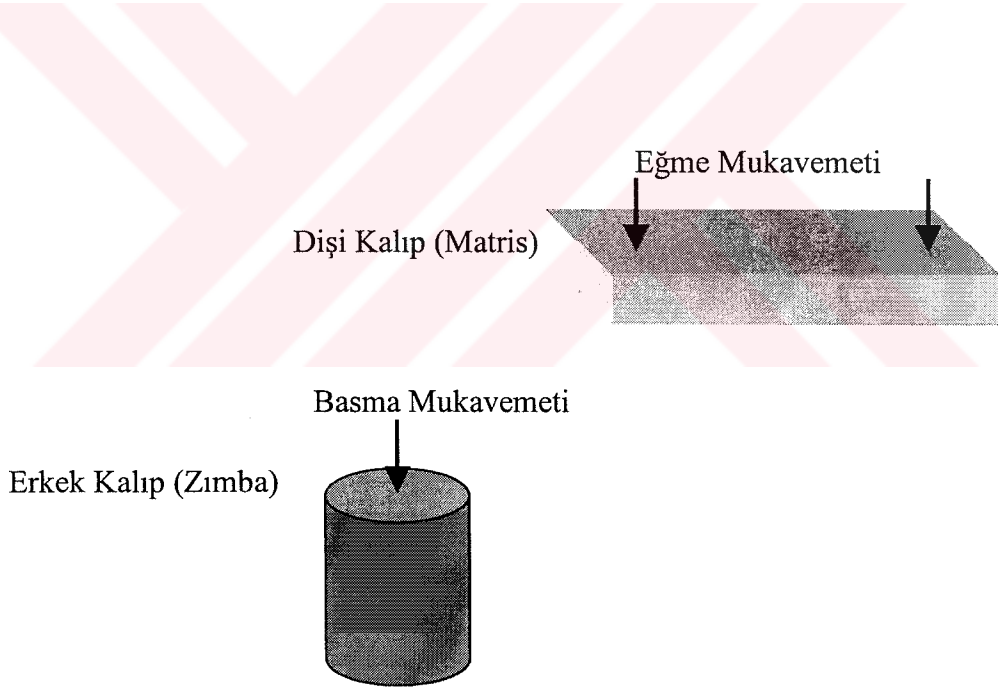
Malzeme 1.2080 (X210 Cr12) olup, kalıpta kullanılan çelikte karbür dağılımı, bu kalınlıktaki bir kütük için, bu çalışmada Şekil 2.12'de verilen standartlara uygun görülmemektedir. Malzemede kabul edilemeyecek ölçüde ve kırılabilirliğe yol açabilecek aşırı bir karbür segregasyonu bulunmaktadır. Mikroyapı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmakta olup ısıtılarda hedefleneneye uygundur.

Bu olayda hasara sebebiyet veren birkaç nedenden birden bahsedilmesi gerekmektedir: Öncelikle 1.2080 (X210 Cr12), abrasif aşınma dayanımını yükselten iri karbürler içeren bir soğuk iş takım çeliği olup, normal koşullarda dahi diğer soğuk iş takım çelikleri ile kıyaslandığında tokluğu düşüktür (Görelî karşılaştırma için Bkz. Şekil 2.17) ve 3 mm'den daha kalın saçların kesiminde önerilmez (Hatman, 2000). İkinci olarak, kalıp çeliği büyük bir kütükten ve boyuna değil, düşey olarak kesilerek çıkarılmış olduğu için hem ağır bir karbür segregasyonuna hem de bu yönde son derece düşük bir tokluğa sahiptir. Bu nedenlerin bileşkesi kalıpta kırılmaya ve atmaya sebebiyet vermiştir.

### 5.8.7 Öneriler

3 mm'nin üzerindeki kesme işlerinde en azından 1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi daha tok çelikler tercih edilmelidir (Bkz. Şekil 2.17). Kalıp çeliği dövme yada haddeleme oranlarını en yüksekte tutabilmek için olabildiğince ince lamalardan çıkarılmalıdır. Bu çalışmada Şekil 2.11'de daha önce belirtildiği üzere, 1.2080'in kırılma tokluğu hadde yönünde (L-T), hadde yönüne dik doğrultuyla (T-L) kıyaslanacak olursa daha fazladır. Bu fark, Şekil 2.13'de belirtilmiş olduğu üzere, ancak toz metalurjik çeliklerde %10-20 seviyesine düşmektedir.

Genel olarak, dişi kalıplar eğmeye ve erkek zimbalar da basmaya çalışıldığından, maksimum mukavemet ve tokluk için, kalıp malzemeleri aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ana kütüklerden kesilmelidir. Kısaca; Şekil 5.40'da gösterilmeye çalışıldığı gibi; dişiler daima hadde yönüne dik çalışmalı (eğme yönüne dik) ve erkekler de hadde yönünde çalışmalıdır (basma yönüne paralel).

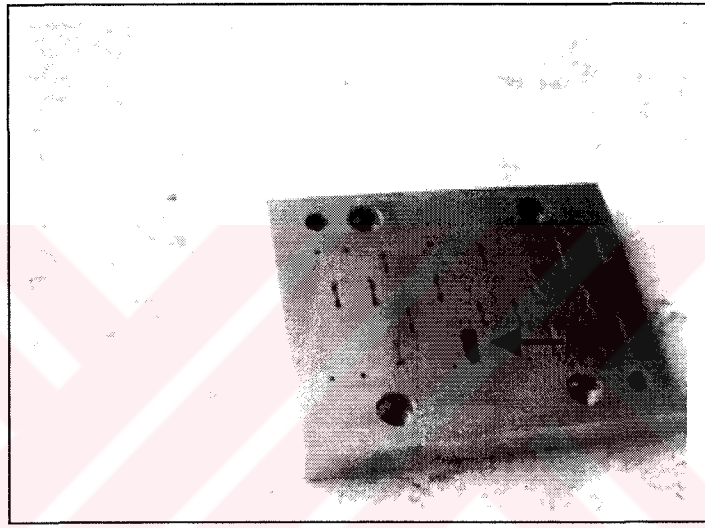


Şekil 5.40 Kalıplarda Çalışma Yönlerine Göre Tercih Edilmesi Gereken Hadde Yönü

## 5.9 Olay IX: Tel Erozyon Hatası Nedeniyle Ölçü Büyümesi

### 5.9.1 Olayın Geçmişi

Aksan Kalıp tarafından paslanmaz sac kesmede kullanılmak üzere, kesme kalıbı olarak imal edilirken kalıpta (dişi kalıp, matris) kısa süreli çalışma sonrası ölçülerde büyüme problemi ile karşılaşmıştır. Kalıp çeliği Vanadis 4 toz metalurjik soğuk iş takım çeliği olarak imalatçısı tarafından belirtilen kalıp, tuz banyosunda sertleştirildikten sonra taşlanmış ve ardından tel erozyon ile kesilerek imal edilmiştir. Şekil 5.41’de ilgili kalıp görülmektedir.



Şekil 5.41 Olay IX: Ölçü Değişimi Görünen Kesme Kalıbı

### 5.9.2 Gözle Muayene

Şekil 5.41’de ok ile işaretli geçme lokmalarda kalıp kullanıcısı tarafından, ölçü büyümesi olduğu belirtilmiştir. Bu ölçü büyümesi, kalıp üzerinde saptanabilmiş olmayıp, sadece, bu kalıpta kesilen ürünlerde ortaya çıkan çapaklanma sayesinde saptanabilmiştir. Kalıpta bunun dışında herhangi başka bir hasar tespit edilememiştir.

### 5.9.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 62 HRC olarak ölçülmüştür

### 5.9.4 Kimyasal Analiz

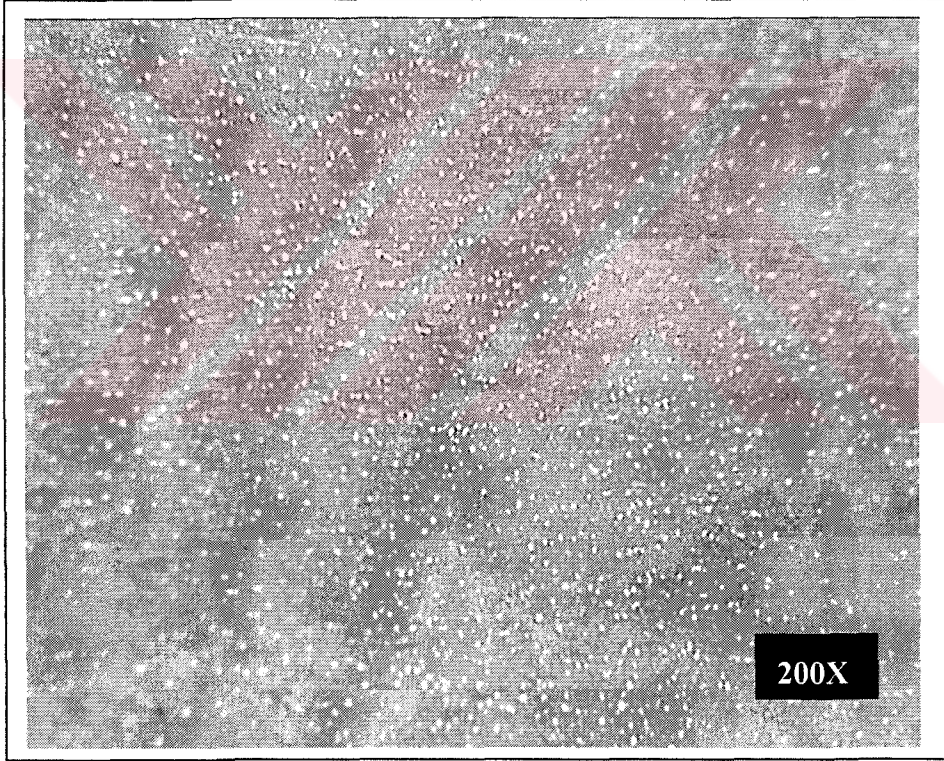
Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.13’de gösterildiği gibi bulunmuş olup, bu bileşimin Vanadis 4 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.13 Olay IX: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.44	0.94	0.43	0.001	0.001	9.08	1.53	4.00

### 5.9.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden ölçü değişimine uğrayan lokmadan ilgili bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir. Şekil 5.42'den de görüldüğü gibi matrisin merkezinden alınan numunenin yapısı menevişlenmiş martensittir. Kalıbın çalışma eksenine dik yönde alınan bu numunede her hangi bir yönlenme ve bantlaşma yoktur. Karbür dağılımı son derece homojen olup toz metalurjik çeliklerin karakteristik özelliği gibidir.

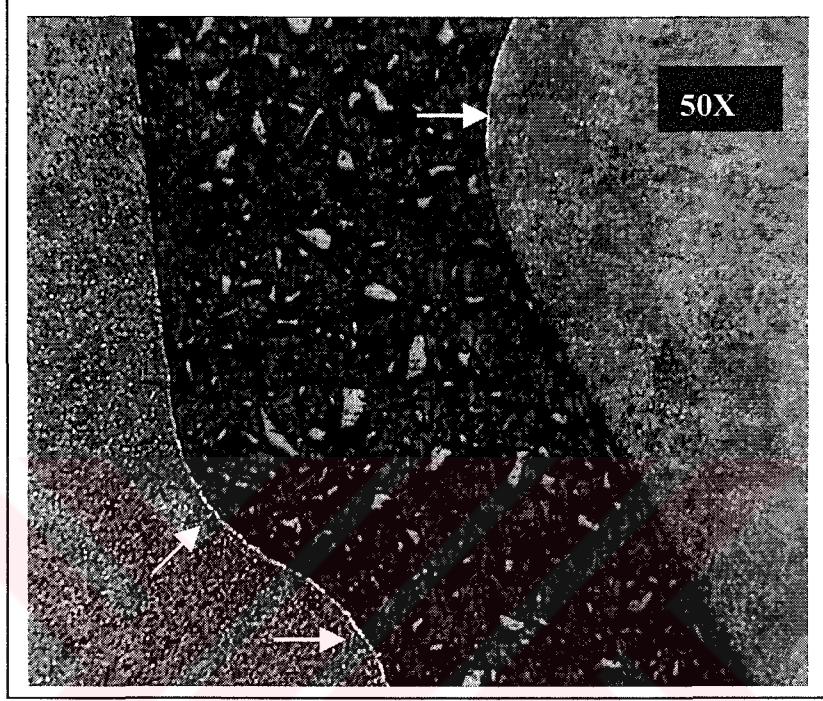


Şekil 5.42 Olay IX: Numune Merkezinden Mikroyapı Fotoğrafı, Işık Mikroskobu 200X

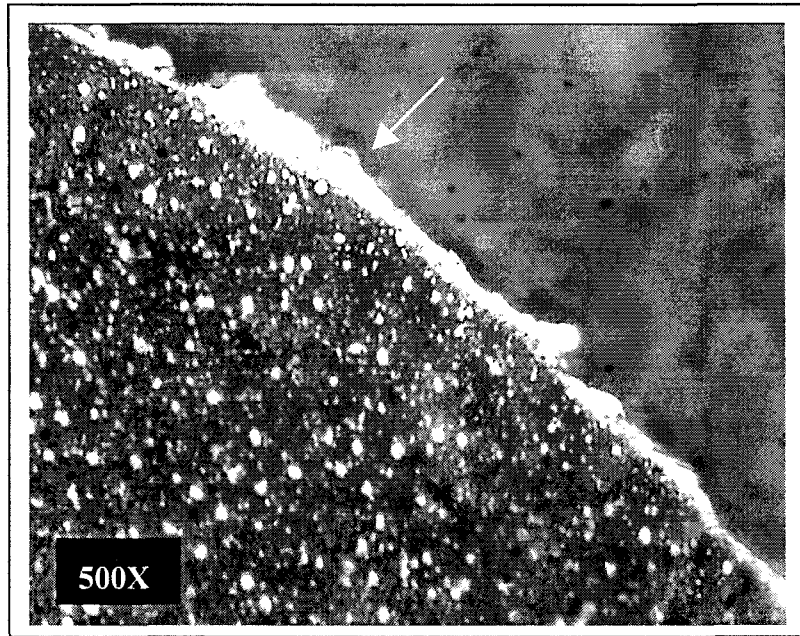
Öte yandan, kalıbın ölçü değişimine uğrayan bölgesinin aynı zamanda tel erozyon ile kesilen yüzeyi olduğu dikkate alınarak, bu bölge de metalografik olarak incelenmiştir. Şekil 5.43'de kalıpta geçme olarak yer alan ve en dar yeri yaklaşık 2 mm gelen geçme lokma parçanın mikroyapı fotoğrafı verilmiştir. Bu fotoğraftan da görülebileceği üzere, kalıp yüzeyinde, belirgin bir beyaz tabaka mevcuttur. Beyaz oklar ile işaretlenmiş bulunan bu faz, aslen bir tel erozyon hasarı olup, görüldüğü üzere -kesim hızının arttığı- kesilen figürün tepe ve çukur



bölgelerinde kalınlaşmaktadır. Şekil 5.44'de ise bu bölgeden bir detay verilmiştir. Görülmektedir ki, son derece gevrek bir faz olan beyaz tabaka oldukça kalın ve düzensizlikler içermektedir (Jung vd., 2002).

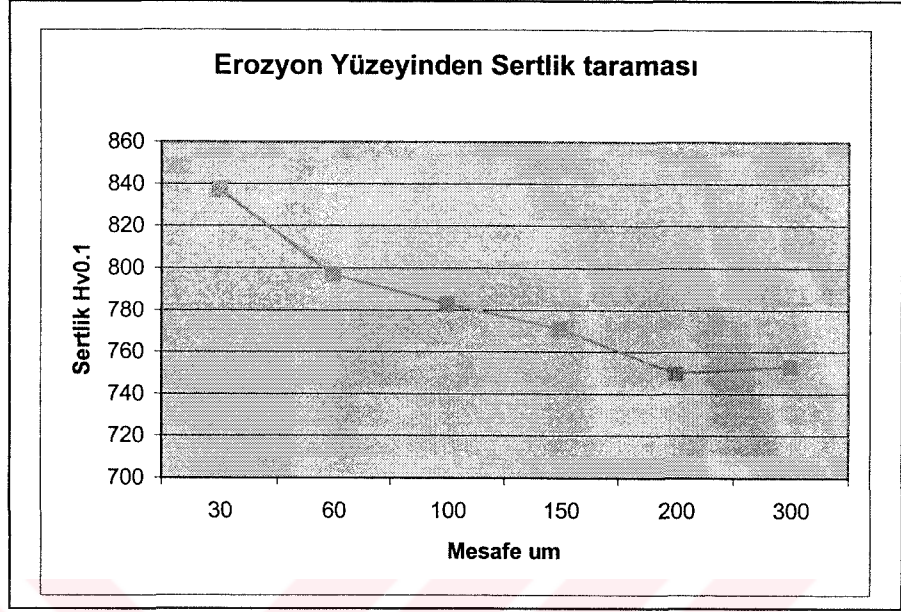


Şekil 5.43 Olay IV: Tel Erozyon Kesim Yüzeyi, Işık Mikroskobu 50X



Şekil 5.44 Olay IV: Tel Erozyon Kesim Yüzeyi, Işık Mikroskobu 500X

Bu yüzden, beyaz tabakanın ve onun hemen altında yer alan tabakaların yüzeydeki sertliğe olan etkisi 0.1 kg Vickers ile sertlik taraması yapılarak ölçülmüştür.



Şekil 5.45 Olay IX: Tel Erozyon Kesim Yüzeyinde Mikro Sertlik Taraması Hv<sub>0.1</sub>

Mikrovickers taramasından da görülmektedir ki, 100-150 mikrometre derinliğe kadar etkisi süren bir tel erozyon hatası kalıp yüzeyinde bulunmaktadır. Bu hatanın yüzeydeki 20-30 µm'lik kısmı beyaz tabaka kalanı ise yeniden sertleşmiş tabaka olarak saptanmıştır (Jung vd., 2002). Jung'a göre, tel erozyon ile yapılan kesimlerde, üç farklı tabaka ortaya çıkmaktadır: Bunlardan ilki, hemen yüzeydeki camsı fazı oluşturan ve içinde çatlaklar da barındıran beyaz tabakadır. Şekil 5.44'de bu tabaka son derece açık bir biçimde görülebilmektedir. Bu tabakanın hemen altında ise, yeniden sertleşmiş tabaka olarak anılan ve sertliği kesilen parçanın sertliğinin üzerinde olan bir tabakadır. Şekil 5.45'de 30-150 mikrometre aralığında tespit edilen bölge bu tabakaya karşılık gelmektedir. Bu tabaka ile normal yapı arasında ise yumuşamış bir bölge bulunmakta olup, örneğimizde bu bölge de yaklaşık 200 mikrometre derinlikte kısmen tespit edilmiştir.

### 5.9.6 Sonuç

Malzeme Vanadis 4 olup karbür dağılımı standartlara uygun ve kırılma çabıcağı yol açabilecek bir segregasyon bulunmamaktadır. Mikroyapı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmakta olup ısıtılma işlemde hedeflenene uygundur. Özetle, kalıpta malzeme yada ısıtılma işleminden kaynaklanan bir hata tespit edilememiştir.

Kalıbın çalışan yüzeylerinde tel erozyondan kaynaklanan ve sertliği HRC cinsinden ele

alındığında 65'e varan bir sertleşmeye yol açan beyaz tabaka ve tespit edilmiştir. Yaklaşık 30 mikron derinliğe kadar etkili olduğu tespit edilen bu beyaz tabaka kalıp yüzeyinde son derece gevrek bir katman olarak bulunmaktadır. Bu tabakanın aşırı sertliği nedeniyle çok küçük atmalara yol açması beklenmelidir. Bu denli küçük atmaların bir aşınma yada deformasyon biçiminde algılanması ve hızlı bir ölçü değişimi biçiminde görülmesi mümkündür.

### 5.9.7 Öneriler

Şekil 5.43'de en dar yeri yaklaşık 2 mm gelen bu gibi küçük kalıplarda tel erozyon işçiliği oldukça zor bir uygulama ve kritik bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok sayıda kesim yaparak asıl figürü kesmek boyutların küçüklüğü nedeniyle mümkün olmamakta bu da yüzey kalitesini düşürmekte ve hiçbir biçimde yüzeyde parlatma yapılmasına izin vermemektedir. Ancak tel erozyon sonrası yapılacak gerilim giderme işlemi mevcut hasarın etkilerini azaltması açısından oldukça verimli bir uygulamadır (Jung vd., 2002).

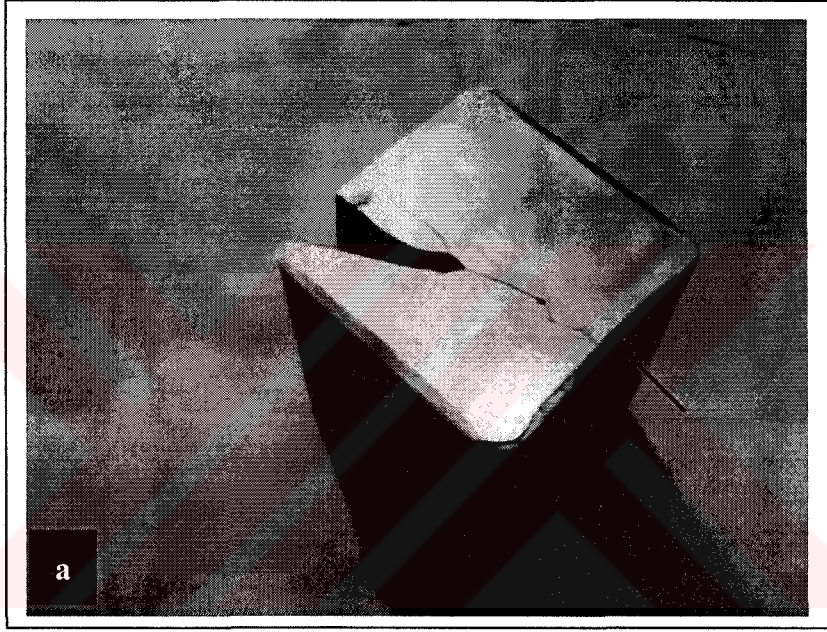




## 5.10 Olay X: Yetersiz Sertlik Nedeniyle Deformasyon Sonucu Kırılma

### 5.10.1 Olayın Geçmişi

Metalsan (Ankara) tarafından 10x10 mm bakır çubukları ezmede kullanılan, soğuk dövme kalıbı (ezme çekiçi) kullanım sırasında önce çatlamış, ardından da kırılmıştır. İmalatçısı tarafından, 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinden yapıldığı belirtilen ezme kalıbı, Şekil 5.46a'da gösterilmiş olup sertleştirilmiş bir çelik bloktan taşlanarak imal edilmiştir.



Şekil 5.46a Olay X: Kırılan Ezme Kalıbı

### 5.10.2 Gözle Muayene

Şekil 5.46a'da ok ile gösterilen doğrultu bakır çubukların bu blok üzerinde ezildiği doğrultudur. Yapılan gözle muayene sonucunda ok ile belirtilen doğrultuda deformasyon (çökme) fark edilmiş olup, Şekil 5.46 b ve c'den bu deformasyon, stereo mikroskop ile tespit edilmiştir. Bu fotoğraflarda siyah oklar çalışma yönünü gösterirken, beyaz oklar da deformasyonu anlatan akma çizgilerine işaret etmektedir.

### 5.10.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 56-57 HRC olarak ölçülmüştür

### 5.10.4 Kimyasal Analiz

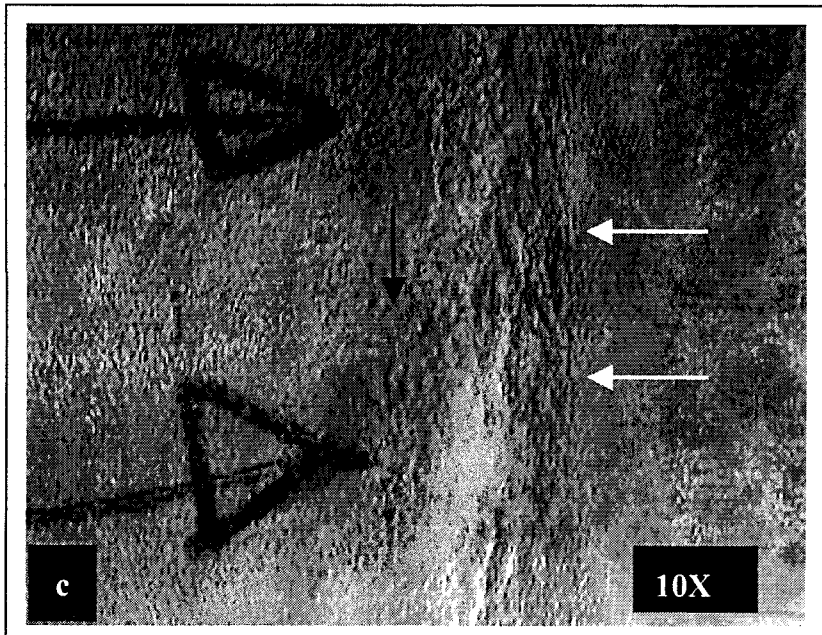
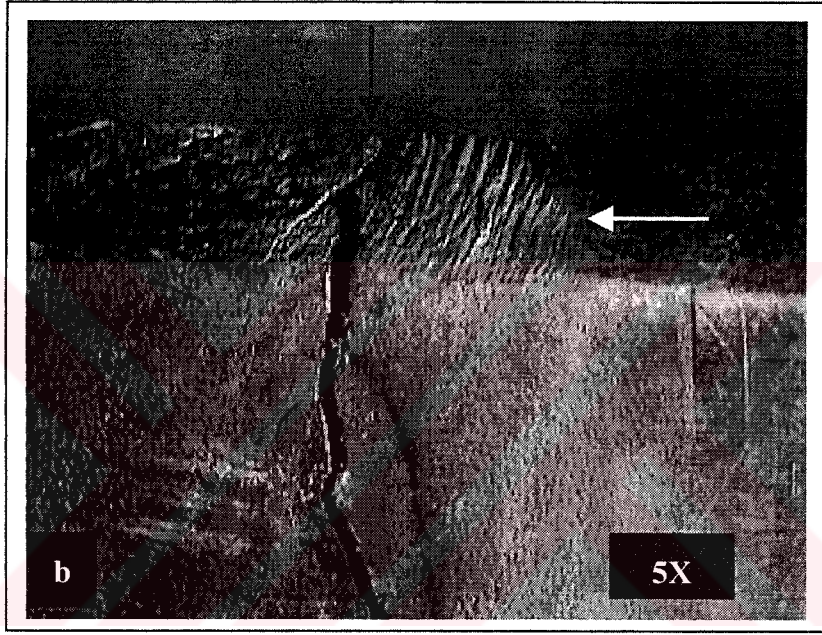
Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.14'de



gösterildiği gibi saptanmıştır. Bu bileşimin 1.2379 (X155CrVMo12 1) standardına uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.14 Olay X: Numunenin Kimyasal Bileşimi

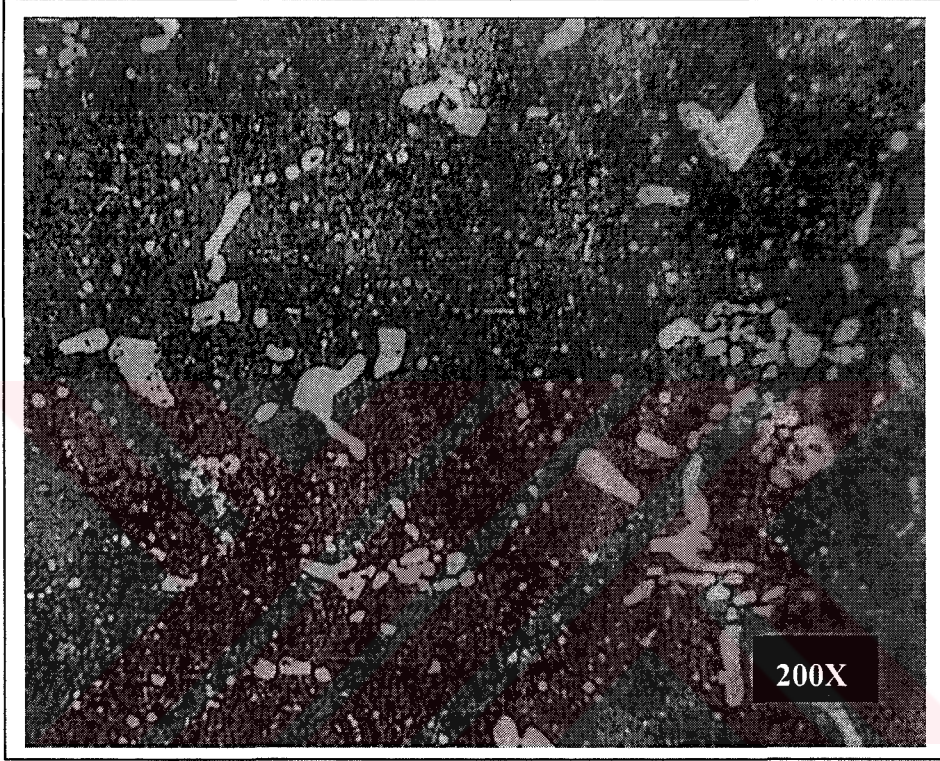
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.60	0.28	0.36	0.017	0.0014	11.70	0.35	0.92



Şekil 5.46b ve c Olay X: Kalıp Yüzeyinde Çatlaklar ve Deformasyon, Stereo Mikroskop

### 5.10.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden deformasyona uğrayan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve Şekil 5.47'de gösterilen mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.



Şekil 5.47 Olay X: Numune Merkezinden Mikroyapı Fotoğrafi, Işık Mikroskobu 200X

Şekil 5.47'den de görüldüğü gibi numunenin yapısı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmuştur; her hangi bir yönlenme ve bantlaşma saptanamamıştır. Karbür dağılımı homojen olup bu çalışmada Şekil 2.12'de belirtilen karbür dağılımına ilişkin referans yapılarla uygundur. Çalışma eksenine dik yönde alınan bu mikroyapıdan da görülebileceği üzere, malzemenin hadde yönü çalışma yönüne diktir. Bu çalışma içinde Örnek Olay VIII'de ve bağlı olarak Şekil 5.40'da erkek kalıplarda takım çeliğinin hadde yönü seçimi tartışılmış olup, zımbanın çalışma yönü ile çeliğin hadde yönünün birbirine paralel olması gerektiği ifade edilmiştir. Bu bağlamda, Olay X'da da çalışma yönüne bağlı olarak hadde yönünün hatalı olarak seçildiği saptanmıştır.

### 5.10.6 Sonuç

Malzeme 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygun ve kırılma

yol açabilecek bir segregasyon bulunmamaktadır. Mikroyapı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmaktadır.

Kalıbın 56-57 HRc olarak tespit edilmiş olan sertliği bu uygulama için düşük sayılabilecek bir seviyededir. Ayrıca, takım çeliğinin hadde yönü çalışma yönüne diktir. Basmaya çalışan bu soğuk dövme-ezme kalıbında çalışma yönü ile hadde yönünün birbirine paralel olması maksimum basma mukavemeti için tercih edilmelidir. Ancak görülmektedir ki mevcut durum bunu sağlamamaktadır. Kısaca, kalıp çeliğinin mukavemeti, çalışma koşullarına uygun olmayan hadde yönü sonucu düşük bir seviyededir. Buna ek olarak sertliğin de düşük seçilmesi sonucu mukavemet önemli ölçüde kaybedilmiştir. Bu koşullarda kalıpta deformasyon, çökme oluşmuştur. Deformasyona uğramış kalıbın çalıştırılmaya devam etmesi sonucunda çatlaklar oluşmuş ve mütakiben de kalıp kırılmıştır.

#### **5.10.7 Öneriler**

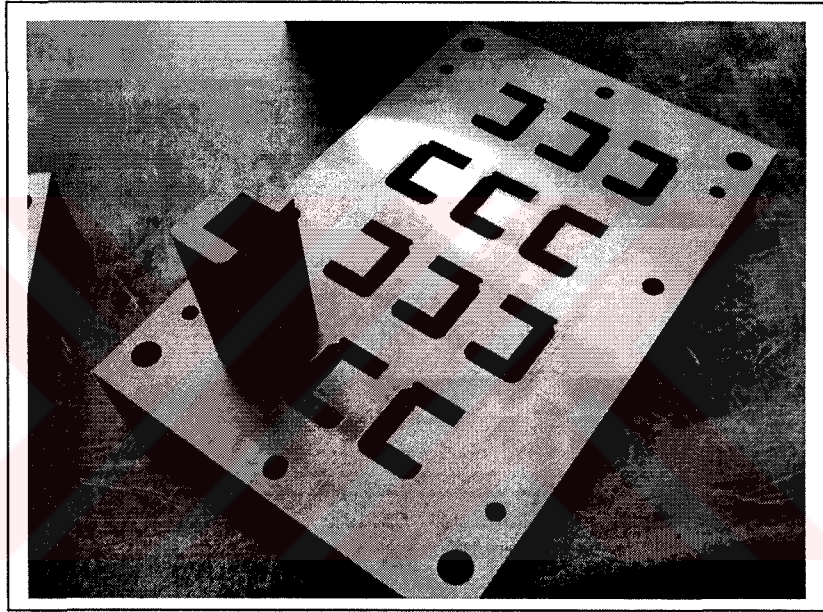
Bu tür basmaya çalışan kalıplarda akma yada basma mukavemeti deformasyonun önlenmesi açısından kritiktir. Mukavemeti olabildiğince yüksek bir çeliğin seçilmesi ve ardından da yüksek sertlik ile bu mukavemet kapasitesinin kullanılması sağlanmalıdır. Ayrıca basma yada çekme dayanımının hadde yönü ile hadde yönüne dik yönde olmasının %20'lere varan artışlar sağladığı unutulmamalıdır.



## 5.11 Olay XI: Tuz Banyosu Korozyonu Nedeniyle Çatlama

### 5.11.1 Olayın Geçmişi

Saşa Ampul tarafından 0.50 mm silisli sac kesmede kullanılan, oniki gözlü kesme kalıbında matris (dişi kalıp) kısa bir kullanım sonrasında çatlamıştır. Vanadis 10'dan imal edildiği belirtilen zımba ve 35 mm kalınlığındaki 1.2379 (X155CrVMo12 1) lamadan imal edildiği belirtilen matris Şekil 5.48a'da görülmektedir. Kalıp frezelandikten sonra diş çekilmiş bağlantı delikleri açılarak tuz banyosunda sertleştirilmiş ve tel erozyon ile kesildikten sonra taşlanarak imal edilmiştir



Şekil 5.48a Olay XI: Hasarlı Kesme Kalıbı

### 5.11.2 Gözle Muayene

Kalıbın kalınlığı 28 mm olup 35 mm kalınlığındaki lamadan işlenmiş olduğu tespit edilmiştir. Kalıpta ürüne bağlı olarak zorunlu keskin köşeler olmakla birlikte, herhangi bir tasarım hatası tespit edilememiştir. Bu tür geniş yüzeyli kalıpların satıh taşlaması, (bu çalışmada, Olay III ve VI'da tartışılan taşlama çatlakları nedeniyle) riskli olduğu için, öncelikle kalıbın yüzeyinde yanma, taş izi gibi her hangi bir taşlama hatasının varlığına işaret eden bulgular aranmış ancak bulunamamıştır.

Şekil 5.48b'de detayı verilen çatlakların, kalıp üzerinde keskinlikleri izlediği görülmektedir.

### 5.11.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 61-62 HRC olarak saptanmıştır.



#### 5.11.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.15’de gösterildiği gibi bulunmuştur. Bu bileşimin, ekler bölümünde ve Çizelge 2.4’de verilen 1.2379 (X155CrVMo12 1) standardına uygun olduğu saptanmıştır. (Mo oranı alt limitin altında olduğu saptanmış olmakla birlikte Cr ve V oranlarının üst limite yakın olması nedeniyle kimyasal bileşimde bu tür bir hasara sebebiyet verebilecek bir sorun olmadığını gösterdiği için, bu düşüklüğün daha detaylı bir incelemesine ihtiyaç duyulmamıştır.)

Çizelge 5.15 Olay XI: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.50	0.29	0.37	0.0188	0.0015	11.60	0.37	0.88

#### 5.11.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden çatlayan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit edilmiştir.

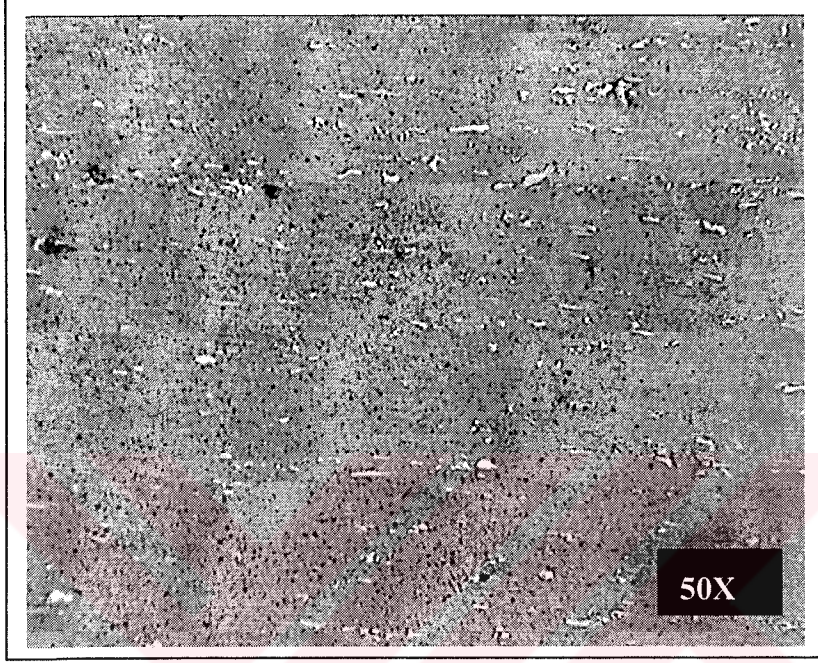


Şekil 5.48b Olay XI: Kırılan Kesme Kalıbı Detayı

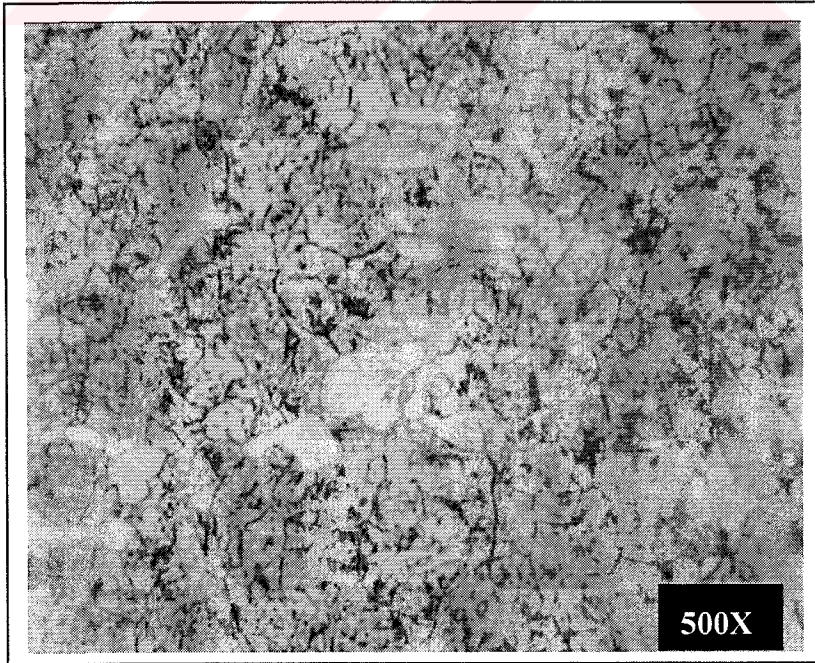
Numunenin boyuna kesiti olan Şekil 5.49’dan da görüldüğü gibi karbür dağılımı homojen



olup, bu çalışmada Şekil 2.12’de belirtilen karbür dağılımına ilişkin referans yapıları uygundur. Ayrıca, numunenin enine kesiti olan Şekil 5.50’den de görülebileceği üzere numunenin mikroyapısı, karbürlerin dışında menevişlenmiş martensitten oluşmaktadır. Tane sınırları 500X’de belirgin olmakla birlikte aşırı bir tane sınırı çökmesi söz konusu değildir.



Şekil 5.49 Olay XI: Numune Merkezinden Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 50X

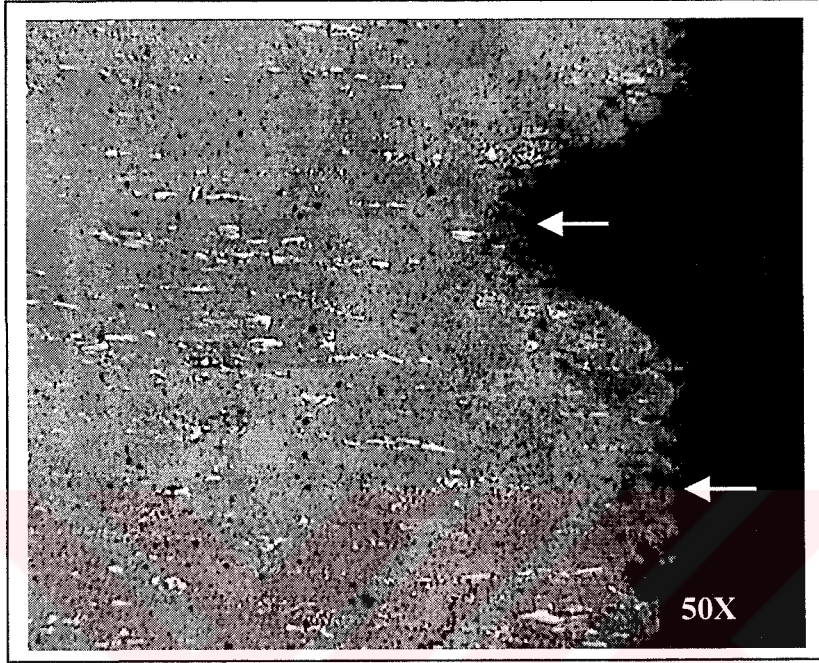


Şekil 5.50 Olay XI: Numune Merkezinden Enine Kesit, Işık Mikroskobu 500X

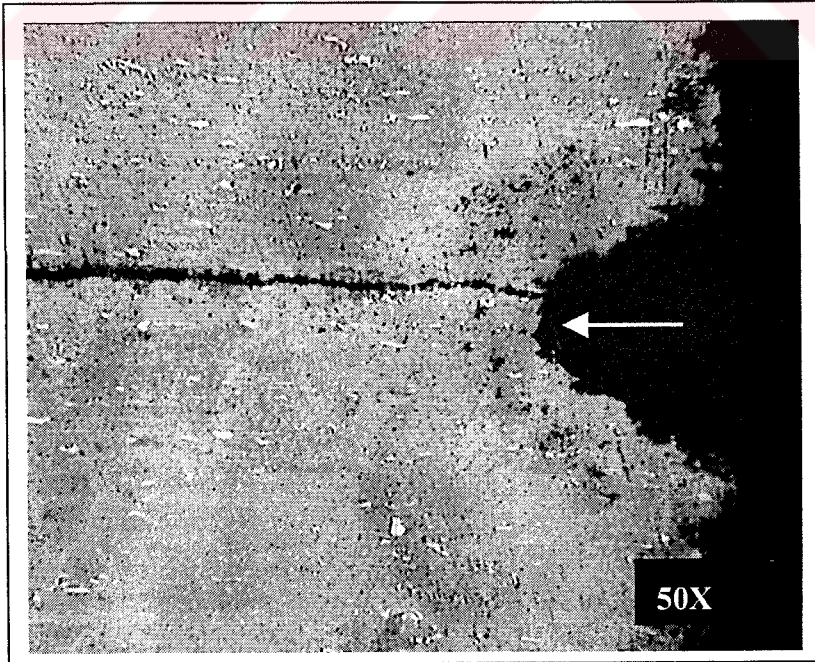
Yüzey incelemesi sırasında tel erozyon yüzeylerinde belirgin bir tel erozyon hasarına



rastlanamamış, ancak ısıl işlem öncesi dış açılan deliklerde korozyon tespit edilmiştir. Şekil 5.51). Şekil 5.52’de ise görülmektedir ki, çatlak başlangıcı, dış dibindeki korozyon kökenli oyukçuklanmalardır.



Şekil 5.51 Olay XI: Numune Yüzeyinde Korozyon, Işık Mikroskobu 50X



Şekil 5.52 Olay XI: Numune Merkezinden Enine Kesit, Işık Mikroskobu 50X

İlgili şekillerdeki beyaz oklar dış diplerindeki korozyon hasarlarını işaret etmektedir.

### 5.11.6 Sonuç

Malzeme 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygun ve kırılma çabı yol açabilecek bir segregasyon bulunmamaktadır. Mikroyapı menevişlenmiş martensit ve karbürlerden oluşmaktadır. Kalıbın sertliği bu uygulama için yüksek sayılabilecek bir seviyede değildir. Erozyon ile işleme yüzeylerinde bir erozyon hasarına yada korozyona rastlanılmamıştır.

Kalıpta hasara sebep olan çatlakların dış diplerindeki korozyona uğramış bölgeden başladığı tespit edilmiştir. Kalıpta çatlama yol açan dış dibindeki korozyonun yarattığı keskin köşe etkisidir.

Korozyonun kaynağı, Olay V'de tartışıldığı gibi, tuz banyosunda yapılan ısıtma işlem sonrasında ısıtma işlem tuzunun -özellikle de dış çekilmiş- delikler içinde kalmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Ek olarak, tuz banyosu ile ısıtma işlem sonrası tel erozyon ile kesim sırasında erozyon sıvısının tuz kalıntıları ile girebileceği reaksiyonların yada Olay VI'da tartışıldığı üzere doğrudan tel erozyon sıvısının da bu tür korozyona sebebiyet verme olasılığı mevcuttur.

### 5.11.7 Öneriler

Tuz banyosunda sertleştirilmesi öngörülen kalıplarda kör delikler yerine boydan boya delikler açılması tercih edilmelidir. Ancak görüldüğü üzere dış çekilmiş boydan boya deliklerde dahi aynı risk bulunmaktadır. Bu yüzden tuz banyosundaki sertleştirme ardından çok iyi bir temizlik yapılmalı, tercihen delikler kumlanmalıdır.

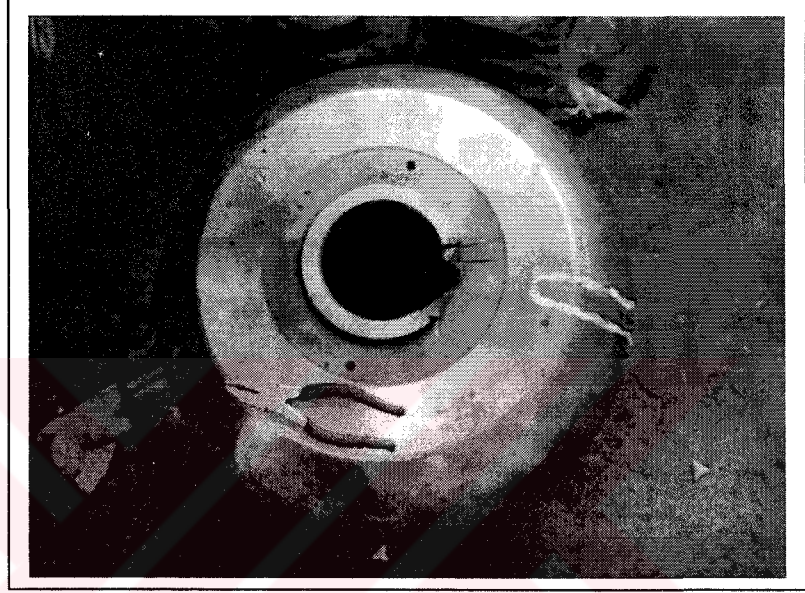
Ayrıca bu tür yüksek alaşımlı malzemelerin korozyona karşı duyarlı oldukları düşünülerek vakum ortamında gaz ile sertleştirme tercih edilebilir.



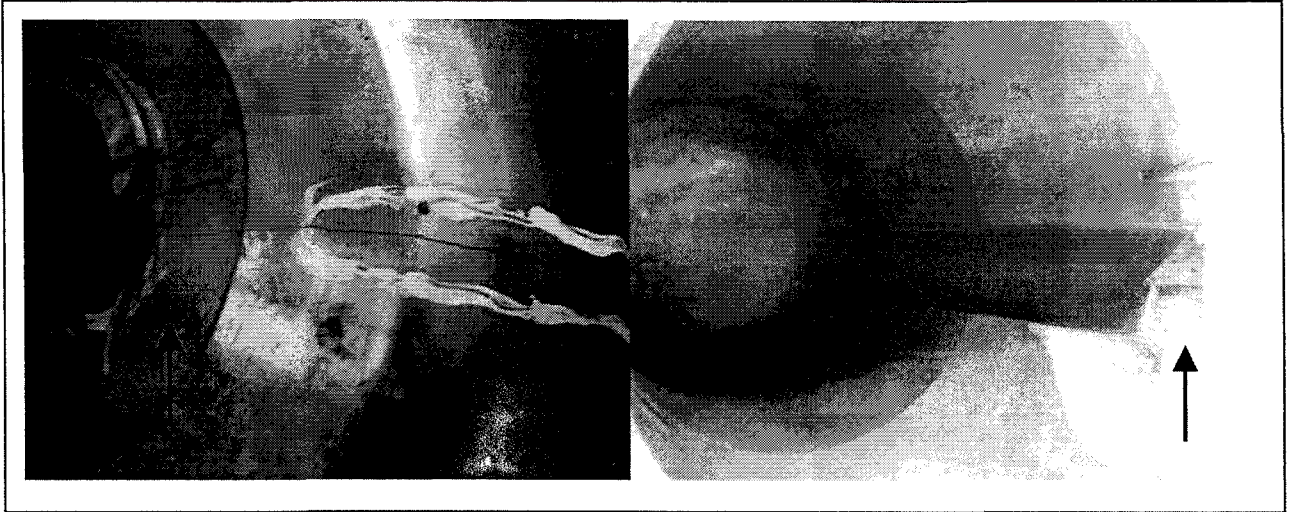
## 5.12 Olay XII: Ağır Karbür Segregasyonu Nedeniyle Çatlama

### 5.12.1 Olayın Geçmişi

Bir dikişli boru imalatçısı olan Çınar Boru tarafından hadde rölesi olarak kullanılmak üzere 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinden imal edildiği belirtilen ve Şekil 5.53 ile 5.54'de gösterilen takım ısıtılma sırasında çatlamıştır.



Şekil 5.53 Olay XII: Çatlayan Hadde Rölesi



Şekil 5.54 Olay XII: Çatlak Detayı

### 5.12.2 Gözle Muayene

Şekil 5.54'de detayı verilen çatlak, görülmektedir ki kama kanalı boyunca ilerlemiştir.

### 5.12.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 60-61 HRC olarak saptanmıştır.

### 5.12.4 Kimyasal Analiz

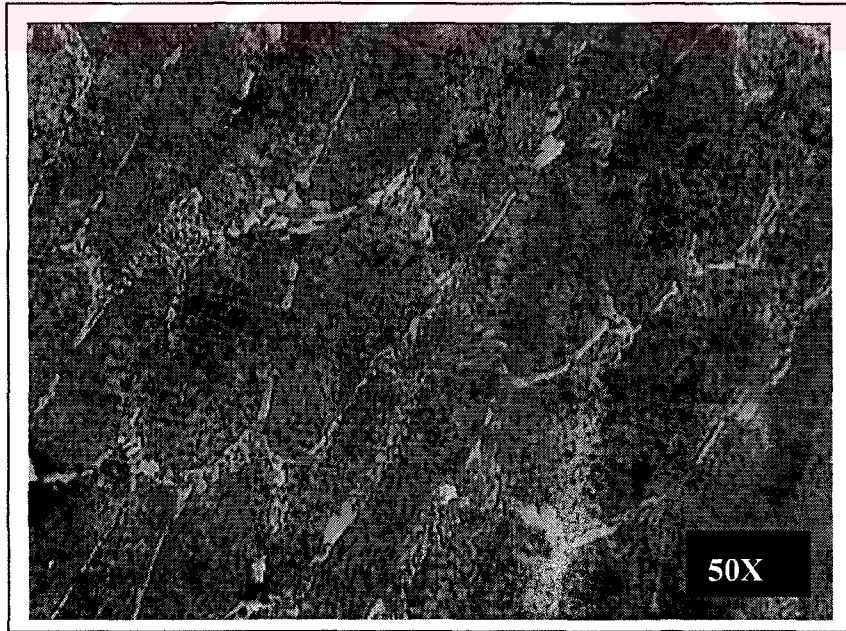
Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 5.16'da gösterildiği gibi saptanmış olup 1.2379 (X155CrVMo12 1) standardına uygundur.

Çizelge 5.16 Olay XII: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.50	0.21	0.41	0.0164	0.0045	11.35	0.65	0.96

### 5.12.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden çatlakan bölge dikkate alınarak alınan numunede optik mikroskopta yapılan incelemede Şekil 5.55a'da görülebileceği üzere aşırı bir karbür segregasyonu tespit edilmiştir. Şekil 5.55b'de ise çatlağın bu karbür ağı üzerinden ilerlediği görülmektedir.

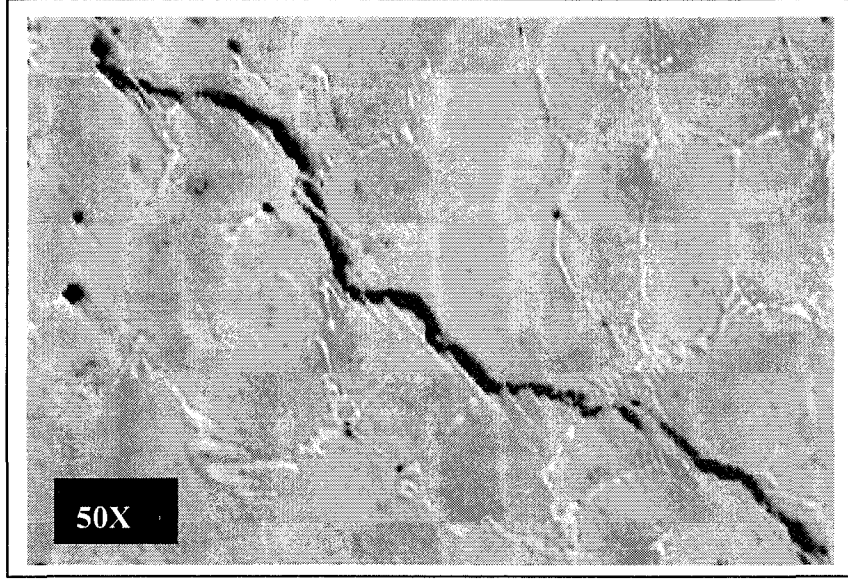


Şekil 5.55a Olay XII: Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 50X

Malzemede bu çaplarda yapılabilecek dövme oranının yakalanamadığı hatta ilgili malzemenin hiç dövülmediği, bu çalışmada Şekil 2.12'de belirtilen karbür dağılımına ilişkin referans



yapılar dikkate alındığında döküm yapısını koruduğu, anlaşılmaktadır.



Şekil 5.55b Olay XII: Enine Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 50X

### 5.12.6 Sonuç

Malzeme kimyasal bileşim açısından 1.2379 (X155CrVMo12 1) olmakla birlikte karbür dağılımı standartlara uygun değildir (Bkz. Şekil 2.12). İlgili malzeme ya yetersiz dövülmüş yada döküldüğü gibidir. Ledaburitik bir çelik olan 1.2379 (X155CrVMo12 1)'un içerdiği karbürler döküm sonrasında ağ formundadır. Bu karbür ağı parçalanmadığı ve dağılmadığı durumda bu malzemelerin toklukları bu çalışmada Bölüm 2'de tartışıldığı üzere son derece düşüktür.

Örneğin Broeckman (1999), 1.2080 (X210Cr12) soğuk iş takım çeliğinin döküldüğü gibi hali ile dövülmüş hali arasından kırılma tokluğu açısından % 40'a varan bir fark olduğunu rapor etmektedir. Benzer bir karşılaştırmayı 1.2379 hakkında yapmış olan Sandberg (1977) ise, bu farkın % 70'lere vardığını ifade etmektedir.

İlgili malzemedeki hasar, bu düşük tokluğa sahip gevrek döküm yapısının keskin köşe etkisi nedeniyle gerilme yoğunlaşmasının olduğu kama kanalında, ısıl işlem sırasında ortaya çıkan gerilmeler nedeniyle çatlamasından kaynaklanmaktadır.

### 5.12.7 Öneriler

Takım çelikleri diğer çeliklerle kıyaslandıklarında yüksek karbür yapıcı alaşım elementleri içermeleri nedeniyle gevrek malzemelerdir. Bu gevreklik onların hem ısıl işlem sırasında hem de kullanımları sırasında çatlamalarına kolayca yol açabilmektedir. Bunu engellemek için

Özellikle ledaburitik yani karbürlerin bir ağ teşkil ettiği çeliklerin muhakkak belli bir sıcak plastik deformasyon ve tavlama işleminden sonra kullanılmalarını gerekli kılmaktadır. Kısacası, kimyasal bileşimi tutsa dahi 1.2379 (X155CrVMo12 1) gibi soğuk iş takım çeliklerinin döküm yapısı ile kalıplarda kullanılması hem ısıl işlem çatlaklarına hem de kullanım sırasında çatlaklara yol açabileceği için tercih edilmemelidir.

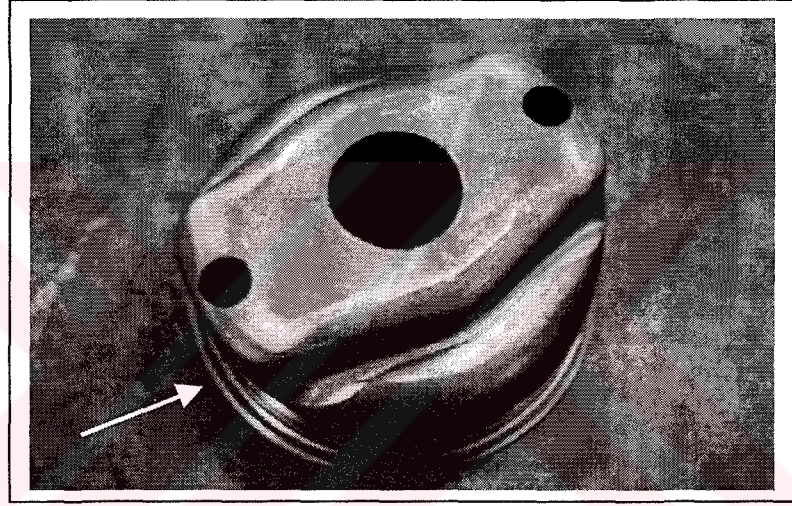




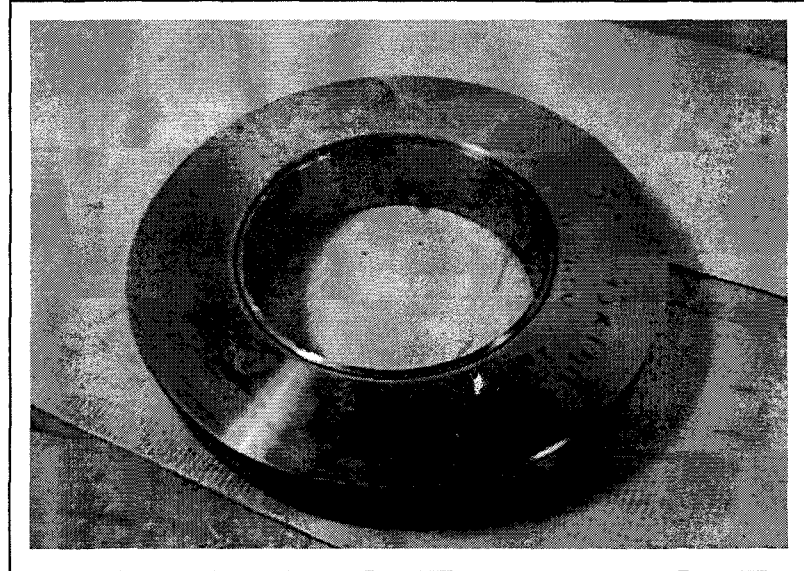
### 5.13 Olay XIII: İşleme Hatası Sonucu Ağız Dökülmesi

#### 5.13.1 Olayın Geçmişi

Orsan tarafından 3 mm soğuk çekilmiş çelik sac malzemeden Şekil 5.56'de fotoğrafı verilen verilen parçanın (kompresör kabini) imalatı sırasında okla gösterilmiş olan kenarın, ütülenmesinde (kıvrılmasında) kullanılan kalıplarda birkaç yüz adet üretimden sonra ağız dökülmesi hasarı ortaya çıkmıştır. Üreticinin bildirdiğine göre, başlangıçta 58 HRc olan kalıbın sertliği 52 HRc'ye kadar düşürüldüğünde de, aynı atma sorunu Şekil 5.56'da gösterilen kalıpta da devam etmiştir.

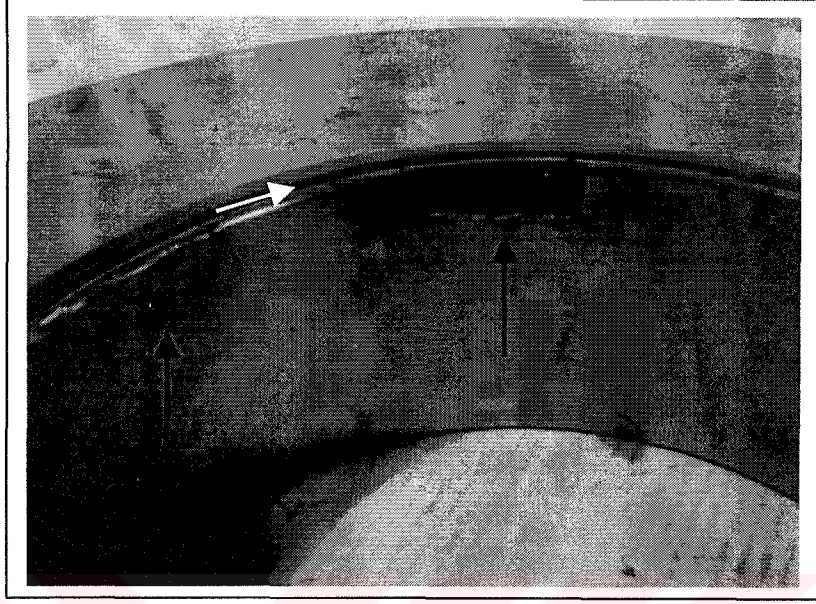


Şekil 5.56 Olay XIII: Ütülemenin yapıldığı Bölge ve Ürün



Şekil 5.57 Olay XIII: Atma Oluşan Kesme Kalıbı

1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinden imal edildiği belirtilen takım işlendikten sonra ısıtılma işlemi yapılmakta ve ısıtılma işlemi ardından da taşlanarak üretime alınmaktadır.



Şekil 5.58 Olay XII: Atma Detayı

### 5.13.2 Gözle Muayene

Şekil 5.58’de detayı verilen ve siyah oklar ile işaret edilen atmaların, beyaz okla gösterildiği gibi kesme ağzındaki yiv içinde bulunan işleme izlerinden (kalem ucu izleri) başladığı tespit edilmiştir.

### 5.13.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıbın sertliği 52-53 HRC olarak saptanmıştır.

### 5.13.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu kalıp malzemesinin kimyasal analizi Çizelge 6.17’de gösterildiği gibi bulunmuş olup 1.2379 (X155CrVMo12 1) standardına uygundur.

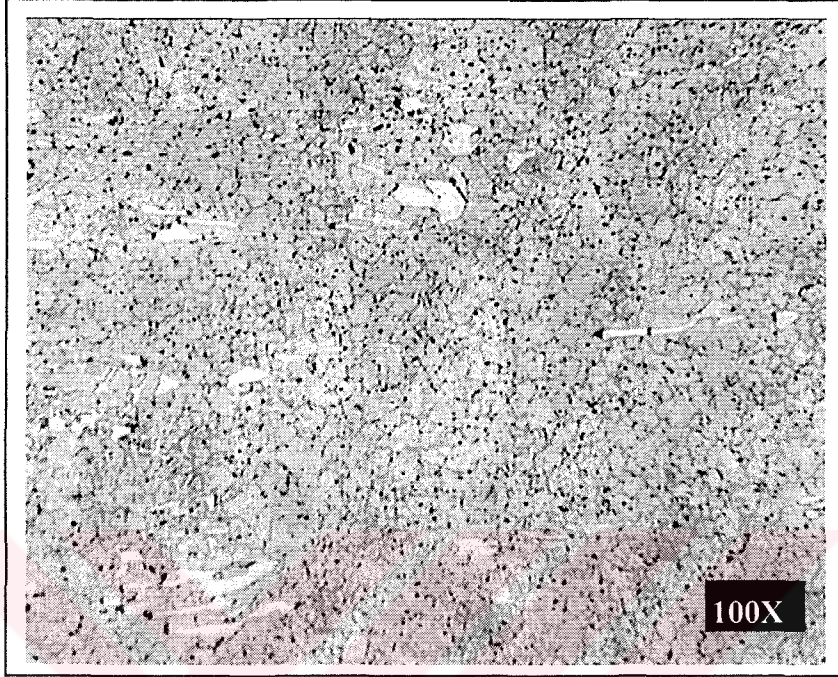
Çizelge 5.17 Olay XIII: Numunenin Kimyasal Bileşimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
1.42	0.33	0.45	0.002	0.001	11.20	0.78	0.91



### 5.13.5 Mikro Yapı İncelenmesi

İlgili malzemelerden atma olan bölge dikkate alınarak numuneler alınmıştır. Alınan numuneler parlatılıp, dağlanmış ve aşağıdaki mikro yapılar optik mikroskopta tespit



edilmiştir.

Şekil 5.59 Olay XII: Boyuna Kesit, Işık Mikroskobu 100X

Şekil 5.59'dan da görülebileceği üzere malzemenin mikro yapısı menevişlenmiş martensit olup, karbür dağılımı Şekil 2.12'de verilen referans yapılarına uygundur.

### 5.13.6 Sonuç

Malzeme kimyasal bileşim açısından 1.2379 (X155CrVMo12 1) olup karbür dağılımı standartlara uygundur. Ağız dökülmesini engellemek için kullanıcı sertliği 53 HRC'ye kadar düşürmüştü ancak sorun devam etmiştir. Bu bağlamda sorunun sertlikle ilgili olmadığı anlaşılmakla birlikte; bu uygulamada bir tokluk gereksinimi olduğu aşikardır.

Ancak bu tokluk ihtiyacının esas olarak, kalıbın çalışan bölgesi olan yiv içindeki işleme izlerinden yani düşük yüzey kalitesinden, kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Darbeli olarak yorulmaya çalışan bir uygulama olarak bu örnekte, tasarım gereği v-çentikli bir kalıp imal edilmiş ve bu çentiğin içinde de işleme izleri bırakılmıştır. Sandberg'e göre (1997), bu yüzey kalitesinde, malzemenin yorulma ömründen % 50'ye varan bir kayıp söz konusudur. Bu anlamda, hasarın temel sebebi bu yüzeydeki işleme hatası yani düşük yüzey kalitesidir.

Ancak öte yandan; kalıbın imal edildiği 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinin, ağız dökülmesine karşı direncinin, -örneğin Calmax ve Vanadis serisi toz metaller gibi diğer soğuk iş takım çelikleri ile kıyaslandığında- görece düşük olduğu, daha önce Şekil 2.17'de belirtilmişti. Bu malzemenin çentiksiz darbe toklukları, hatırlanacağı üzere Şekil 3.9'da üretim yöntemine bağlı olarak kıyaslanmış ve geleneksel 1.2379'un hadde yönündeki darbe direncinin  $15 \text{ J/cm}^2$  olduğu belirtilmişti. Bu örnekte kullanılan 1.2379, UTAB ürünü olan Sverker 21 olup, bu çeliğin çentikli darbe tokluğu, Şekil 2.13'de belirtildiği üzere, yaklaşık  $19 \text{ J/cm}^2$ 'dir. Buradan hareketle, bu tokluk değerinin mevcut koşullarda yeterli olmadığı sonucuna varılabilir.

### 5.13.7 Öneriler

Yiv içindeki işleme izleri parlatma ile ortadan kaldırılarak takım üretime alınmalıdır. Bu izlerin oluşumunu tamamen ortadan kaldırabilmenin bir diğer garantili yöntemi de yivin sertleştirme sonrası açılmasıdır.

Öte yandan, bu uygulamada 1.2379 (X155CrVMo12 1) yerine Calmax gibi tokluğu daha yüksek bir soğuk iş takım çeliği seçilmesinde yarar bulunmaktadır. Calmax'ın 55 HRC'deki darbe enerjisinin yaklaşık  $30 \text{ J/cm}^2$  olduğu düşünülecek olursa (Bkz. Ekler UTAB Calmax) bu sertlik seviyesinde hem ağız dökülmesi sorunu çözülebilecek hem de artan üretim adetlerinde ortaya çıkması muhtemel sıvanmalı aşınma sorunu da ertelenebilecektir.



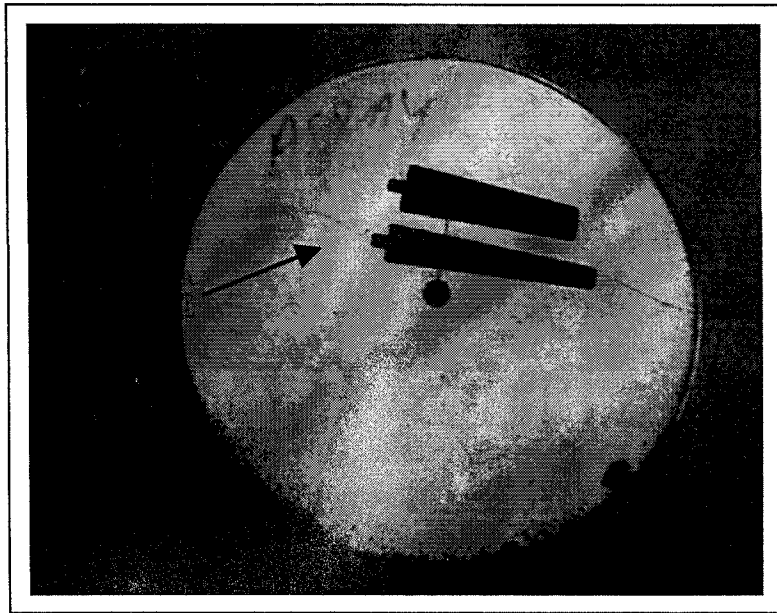
## 5.14 Olay XIV: Hatalı Isıl İşlem Nedeniyle Tel Erozyon Esnasında Çatlama

### 5.14.1 Olayın Geçmişi

Şekil 5.60, 5.61 ve 5.62'de tornalandıktan, delikleri açıldıktan ve taşlandıktan sonra 60-61 HRC'ye sertleştirilmiş ve sırasıyla 1.2436 (X210CrW12), 1.2379 (X155CrVMo12 1) ve 1.2080 (X210Cr12) takım çeliklerinden imal edilmiş sertleştirilmiş kütüklerde tel erozyon ile kesim sırasında ortaya çıkan çatlaklar gösterilmektedir. Olay XIVa ve b'de fotoğraflar, bu zımbalar kesildikten sonra arta kalan blokta ortaya çıkan çatlakları; Olay XIVc'de ise kesilip çıkarılmış zımbada ortaya çıkan çatlakları göstermektedir.



Şekil 5.60 Olay XIVa: 1.2436 Sertleştirilmiş Blokta Çatlama



Şekil 5.61 Olay XIVb: 1.2379 (X155CrVMo12 1) Sertleştirilmiş Blokta Çatlak

Tüm bloklar talep edilene uygun olarak tuz banyosunda 60-61 HRC sertliğe sertleştirilmiş olup meneviş sıcaklıkları 180-220 °C arasındadır. Isıl işlem sonrası ve tel erozyon öncesi bloklar sadece alt ve üst yüzeylerden taşlanmıştır.

#### 5.14.2 Gözle Muayene

Şekil 5.60-62'de siyah oklar ile işaret edilen çatlaklar, tel erozyon kesim yüzeylerinden başlamıştır. Yani, çatlaklar ısıl işlem öncesi delinen tel erozyon başlangıç deliklerinden başlamamıştır bu da ısıl işleme ilişkin bir sorun olmadığına işaret etmektedir. Ayrıca, sertleştirilmiş durumda yapılan taşlamadan kaynaklanan herhangi bir hata belirtisi de taşlama yüzeylerinde görülememiştir.

#### 5.14.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu tüm blokların sertliği 60-61 HRC olarak saptanmıştır.

#### 5.14.4 Kimyasal Analiz

Yapılan spektral analiz sonucu blok malzemelerinin kimyasal analizi Çizelge 5.18'de gösterildiği gibi olup a, b ve c sırasıyla 1.2436 (X210CrW12), 1.2379 (X155CrVMo12 1) ve 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çeliklerinin, Çizelge 2.4'de belirtilen kimyasal bileşim değerlerine uygun olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.18 Olay XIV: Numunelerin Kimyasal Bileşimi

Olay	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%V	%W
a	2.09	0.31	0.39	0.02	0.001	11.20			0.78
b	1.59	0.29	0.39	0.02	0.001	11.50	0.72	0.90	
c	1.92	0.23	0.35	0.02	0.008	11.20			

#### 5.14.5 Mikro Yapı İncelenmesi

Çatlaklar tel erozyon sırasında ortaya çıktığı için mikroyapı incelemesine gerek duyulmamıştır.

#### 5.14.6 Sonuç

Malzemeler kimyasal bileşim açısından ilgili standartlara uygundur. Blok sertlikleri bu malzemeler için üreticileri tarafından önerilen sınırlar dahilinde olup, her hangi bir aşırılık

bulunmamaktadır (Hatman, 2000).

Çatlakların ısıtıl işlem öncesi delinen deliklerden başlamamış olması ve zaten ısıtıl işleme parçaların blok biçiminde girilmiş olmaları ısıtıl işleminde bu tür çatlaklara yol açabilecek dengesiz (hızlı) soğuma gibi bir hatanın da yapılmadığını anlatmaktadır.

Her üç blokta da, talep edilen 60-61 HRC sertlik, farklı zamanlarda ve farklı tuz banyolarında 180-220 °C'de gerçekleştirilen menevişler ile sağlanmıştır. Olay a ve c için talep edilen bu sertlikleri 1.2436 (X210CrW12) ve 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çeliklerinde sadece bu sıcaklık aralığında yapılacak menevişler ile sağlamak mümkündür. Yani daha yüksek bir meneviş sıcaklığı ile ancak daha düşük sertlikler 1.2436 (X210CrW12) ve 1.2080 (X210 Cr12) için elde edilebilir. Öte yandan, Olay b'ye konu olan 1.2379 (X155CrVMo12 1) için 60-61 HRC sertliğinin sağlanabileceği iki farklı meneviş sıcaklığı mevcuttur. İkincil sertlik özelliğine sahip olan tüm takım çelikleri gibi 1.2379 (X155CrVMo12 1)'da da yüksek sıcaklık menevişi ile (550 °C) bu sertlik seviyesine ulaşmak mümkündür.

Tel erozyon ile kesme esnasında Jung ve arkadaşlarının (2002), belirttiğine göre, iç gerilmeler oluşmaktadır. Özellikle soğuk iş takım çelikleri gibi toklukları görece düşük sertleştirilmiş malzemelerde, sertleştirme ısıtıl işleminden kalan iç gerilmeler ile tel erozyondan kaynaklanan gerilmeler birleştiğinde Sullivan (1982) tarafından örneklendiği üzere tel erozyon esnasında yada sonrasında çatlaklar oluşabilmektedir. Bu sorunun ortaya çıkmasını engellemek için ise ancak ısıtıl işlem gerilmelerini en aza indiren ve artık östeniti stabilize eden yüksek sıcaklık menevişidir.

Sertleştirilmiş takım çeliği bloklarının tel erozyon ile kesimi sırasında doğan gerilmeler, düşük sıcaklıkta menevişlenmiş bloklarda çatlak oluşumu için yüksek risk barındırmaktadır; çünkü, düşük sıcaklık menevişi ile, yapıda yüksek oranda artık östenit kalmaktadır. Tel erozyon esnasında ise artık östenitin yüzeysel olarak da olsa martensite dönüştüğü saptanmıştır. Bu dönüşüm sonucunda da yüzeysel olarak iç gerilmesi yüksek bir yapı (menevişlenmemiş martensit) ortaya çıkmaktadır. Isıtıl işlem gerilmelerini kısmen de olsa barındıran ve tel erozyon ile kesim sırasında yüzeysel de olsa dönüşüme elverişli artık östenit içeren takım çeliklerinde bu tür büyük çatlakların tel erozyon ile kesim sırasında yada sonrasında ortaya çıkması bu gerilmeler yüzden mümkündür (Jung vd., 2002).

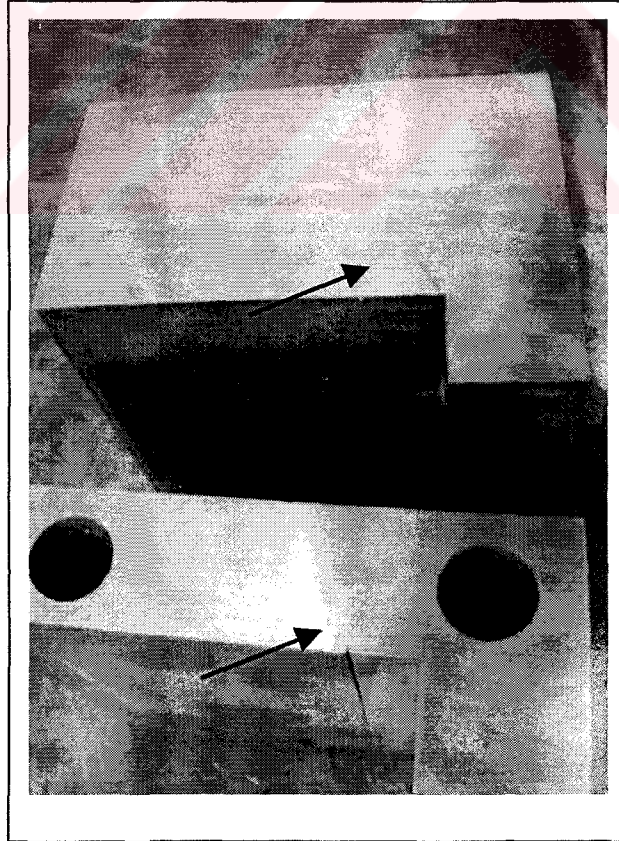
Bu çatlakların da blokların düşük sıcaklıkta menevişlenmiş olmaları nedeniyle sahip oldukları iç gerilmelere tel erozyonun sebep olduğu gerilmelerin eklenmesi sonucu ortaya çıktığı söylenebilir



### 5.14.7 Öneriler

Bu tür tel erozyon hasarlarına muhatap olmamak için, tel erozyon için kullanılacak kalın kütüklerin mutlaka yüksek sıcaklık menevişi ile sertleştirilmiş olmaları gereklidir. Ancak belli sayıda soğuk iş takım çeliği çelik (1.2379, Sleipner, K340, toz metal soğuk iş takım çelikleri ve aslen yüksek hız çelikleri olan soğuk iş takım çelikleri) yüksek sıcaklık menevişi sırasında ikincil sertleşme özelliğine haizdir. Bu özelliğe sahip olmayan (1.2080, 1.2842, 1.2550, 1.2436 vb.) çeliklerin tel erozyon çatlaklarına önlem olarak yüksek sıcaklık menevişi ile sertleştirilmeleri durumunda sertliklerinin en fazla 50-52 HRC gelebileceği unutulmamalı ve bu durum göz önüne alınarak, malzeme seçimi yapılmalıdır.

Öte yandan, ısıtım işlemci için bu tür hasarları önlemek mümkün olmakla birlikte, sadece talep edilen sertliği sağlamakla sorumlu olan bir ısıtım işlemci için kalıpların tel erozyon ile kesilip kesilmeyeceği çoğu durumda önemli olmadığından, yüksek sıcaklık menevişine uygun çelikler bile çoğu durumda düşük sıcaklıklarda menevişlenmekte ve bu tür hasarlara davetiye çıkarılmaktadır.



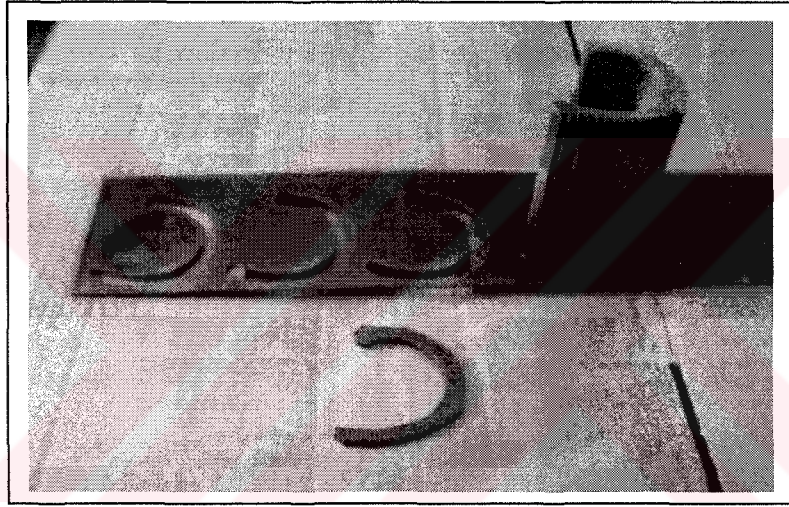
Şekil 5.62 Olay XIVc: 1.2080 (X210 Cr12) Sertleştirilmiş Bloкта Çatlama



## 5.15 Olay XV: Yüksek Sertlik Nedeniyle Ağız Dökülmesi

### 5.15.1 Olayın Geçmişi

Net Çelik tarafından 6 mm kalınlığındaki soğuk çekilmiş sacdan kelepçe üretimi için kullanılan kalıbın Şekil 5.63’de gösterilen zımbasında ilk birkaç baskıdan sonra ağız dökülmesi ortaya çıkmıştır. Zimba Şekil 5.64’de gösterilen ve Vanadis 4 toz metalurjik soğuk iş takım çeliği olduğu kalıp imalatçısı tarafından belirtilen sertleştirilmiş kütükten, alt ve üst yüzeyler taşlandıktan sonra tel erozyon ile kesilerek imal edilmiştir. Zimbaya, tel erozyonun yüzeyde oluşturduğu hasarları gidermek üzere, tel erozyon ile kesim sonrasında gerilim giderme menevişi de yapılmıştır.



Şekil 5.63 Olay XV: Atma Oluşan Zimba ve Ürün



Şekil 5.64 Olay XV: Zımbanın Kesildiği Sertleştirilmiş Kütük

### 5.15.2 Gözle Muayene

Şekil 5.65’de detayı verilen ve siyah oklar ile işaret edilen atmalar, görüldüğü gibi zımbanın son derece zayıf olduğu, ince kesitlerde gerçekleşmiştir. Atmanın bindirme vb. bir kullanım hatasından kanaklandığına dair bir fikir verebilecek ezilme gibi başka bir hasar tespit edilememiştir.



Şekil 5.65 Olay XV: Atma Detayı

### 5.15.3 Sertlik Ölçümü

Yapılan sertlik ölçümü sonucu zımbanın sertliği 61-62 HRC olarak saptanmıştır.

### 5.15.4 Sonuç

Kimyasal analiz ve mikro yapı incelemesine ihtiyaç duyulmaksızın denilebilir ki, atmalara, yüksek sertlik seviyesi sebep olmuştur.

Vanadis 4 çeliğinin üreticisi olan UTAB’a göre, 6 mm sac kesmede bu çeliğin çalışabileceği en yüksek sertliğin 54-56 HRC olabileceği bildirilmektedir (Hatman, 2000). Bu tür son derece ince kesitlere sahip ve 6 mm sac kesen bir zimbada, 61-62 HRC sertlik seviyesi ile Vanadis 4 gibi çentikli darbe enerjisi yaklaşık  $80 \text{ J/cm}^2$  olan son derece tok bir takım çeliğinin bile çalışması mümkün değildir. (Vanadis 4’ün diğer soğuk iş takım çeliklerinin özellikleri ile kıyaslaması için lütfen Şekil 2.17’ye bakınız).

### 5.15.5 Öneriler

Vanadis 4 genel olarak 6 mm’ye kadar kesimler için uygun bir çelik olmakla birlikte bu uygulamada ancak daha düşük bir sertlik seviyesi ile kullanımı mümkündür. Bu tür ince

kesitler de söz konusu ise sertlik seviyesi bu çelikte 54 HRC'ye kadar düşürülmelidir.

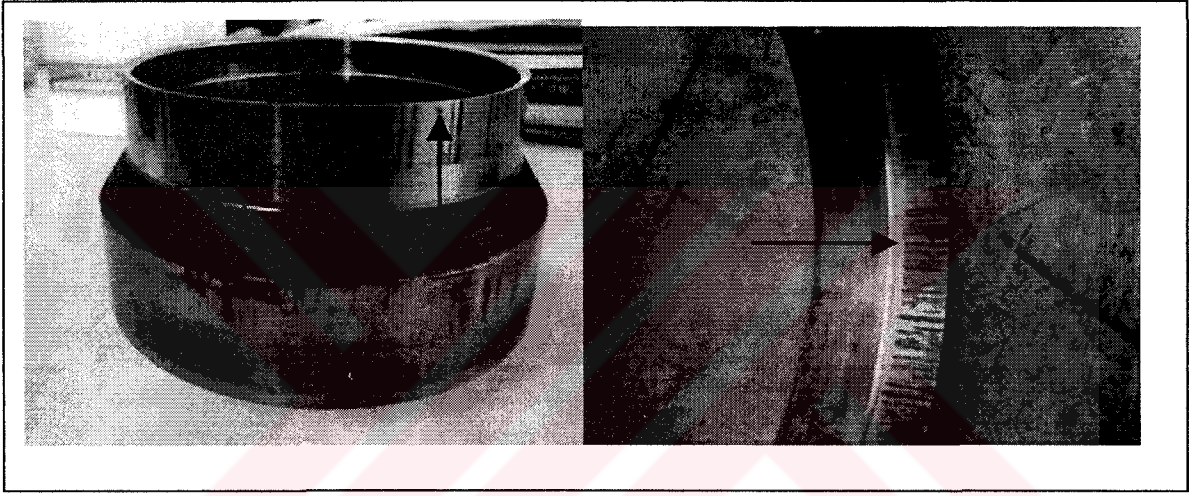
Öte yandan, bu uygulamada Şekil 2.17'ye göre ağız dökülmesine karşı direnci Vanadis 4'den görece daha yüksek olan Calmax gibi tokluğu daha yüksek bir çeliğin seçilmesi daha uygun olacaktır. Başka bir ifadeyle, kalıp çeliğinin ve sertlik seviyesinin belirlenmesinde takımın formu mutlaka dikkate alınmalı ve zayıf bölgeler mevcut ise sertlik seviyesi düşük tutularak olabildiğince tok çelikler kullanılmalıdır.



## 5.16 Olay XVI: Düşük Sertlik ve Yüksek Yüzey Pürüzlülüğü Nedeniyle Sıvanma

### 5.16.1 Olayın Geçmişi

Hilal Ambalaj (Bursa) tarafından 0.30 mm kalay kaplı sacdan kapak üretimi için kullanılan kalıplarda 1 milyon baskıdan sonra sarma meydana gelmiş ve kalıplar kullanılamaz hale gelmiştir. 180 d/d ile son derece hızlı preste çalışan kalıplarda beklenen ömür mevcut durumun en az 10 katıdır. Kalıp imalatçısı tarafından, 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinden imal edildiği belirtilen kalıplarda ortaya çıkan sarma yüzeyleri Şekil 5.66'da gösterilmiştir.



Şekil 5.66 Olay XVI: Kalıplarda Sarma Görülen Yüzeyler

### 5.16.2 Gözle Muayene

Şekil 5.67'de detayı verilen ve siyah oklar ile işaret edilen sarmalar, görüldüğü gibi kalıbın çalışan yüzeylerinde ortaya çıkmıştır. Kalıplarda bindirme vb. başka bir hasar yoktur.

### 5.16.3 Sertlik Ölçümü

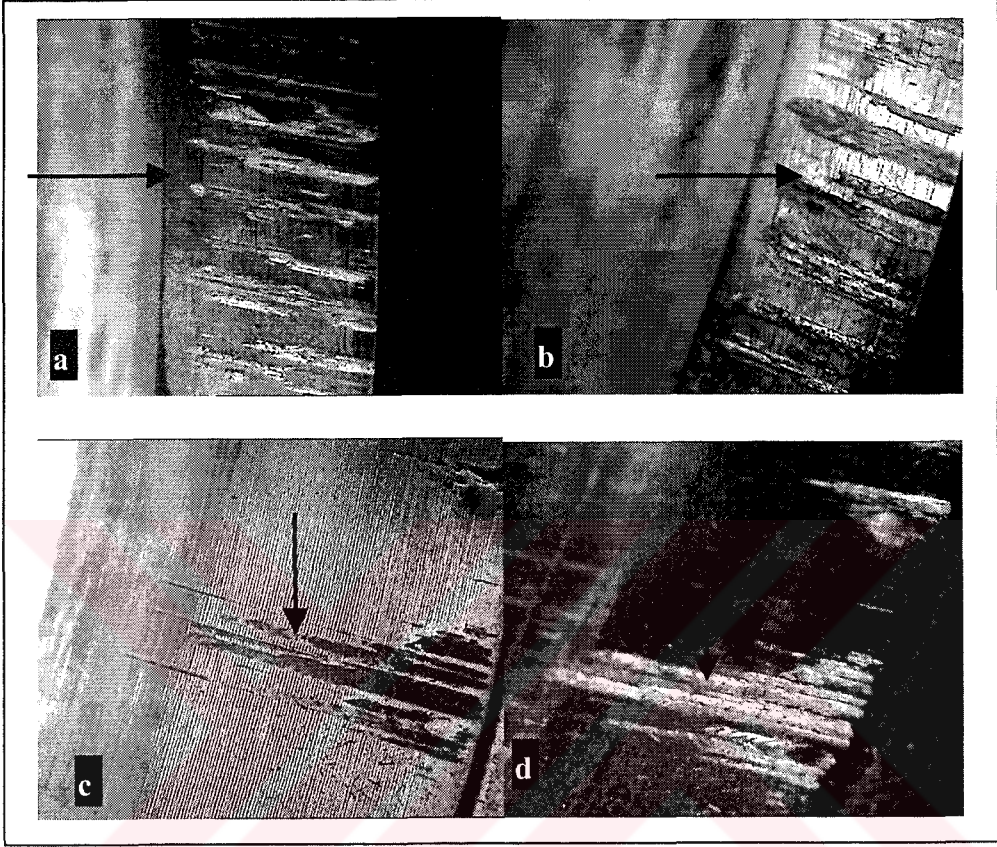
Yapılan sertlik ölçümü sonucu kalıpların sertliği 58-59 HRC olarak saptanmıştır. Çalışmamış yüzeylerde yapılan mikrovickers ölçümleri ile elde edilen sertlik değerleri 700-740 HV<sub>0,1/15</sub> olup yüzeyde herhangi bir sertlik kaybının olmadığını göstermiştir.

### 5.16.4 Yüzey İncelemesi

Sarmanın ortaya çıktığı yüzeyler stereo mikroskopta incelenmiş olup elde edilen görüntüler Şekil 5.67'de verilmiştir. Kalıp yüzeyinde sarma olarak saptanan hasar bu fotoğraflardan da görülmektedir ki kalay kaplı sacın kalıp çeliği üzerine yapışmasından kaynaklanmaktadır.



Bunun yanında, çalışan yüzeyde saptanan başka bir olgu da bu yüzeylerdeki torna kalemi izleri yani yüzey pürüzlülüğü olmuştur.



Şekil 5.67 Olay XVI: Kalıplarda Sarma Görülen Yüzeyler

Şekil 5.67c’de açıklıkla görülebilen bu pürüzlülüğün, bu çalışmada Bölüm 2.1.3’de tartışıldığı üzere sıvanmaya ciddi bir katkısı olduğu saptanmaktadır. Heikkila ve Slycke (2002) yaptıkları çalışmalarda sarmayı azaltmak için yüzey pürüzlülüğünü düşürmenin yanı sıra kalıp sertliğini de arttırmanın gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

#### 5.16.5 Sonuç

Kalıplarda sıvanma tespit edilmiş olup; sıvanmanın kökeninde takım ile iş parçası ara yüzeyindeki etkileşim belirleyicidir. Bu yüzden kimyasal bileşim ve mikroyapı analizlerine ihtiyaç duyulmadan ara yüzeye odaklanılmıştır.

Yüzeyden yapılan HRC ve  $HV_{0.1}$  sertlik ölçümlerinin birbirlerini tutması; kalıbın, ısıl işlem, taşlama, işleme vb gibi nedenlerle yüzeyinde sertlik kaybına yol açan dekarbürizasyon, yanma gibi bir sorunun bulunmadığını göstermiştir. Kalıp sertliği 58-59 HRC olup sıvanmaya çalışan bu kalıp için yetersizdir (Hatman, 2000). Öte yandan, kalıbın yüzeyindeki torna

kalemi izleri sıvanmayı ek olarak şiddetlendiren bir unsur olarak değerlendirilmelidir.

#### **5.16.6 Öneriler**

Yumuşak yada kalay kaplamalı gibi yumuşak kaplamalara sahip sacların sıvanmasında kullanılan kalıplarda sertlik seviyesinin olabildiğince yüksek tutulması bu uygulamalarda sıkça karşılaşılan sarma problemini geciktirecektir. Sertlik seviyesinin üst sınırını kalıbın karmaşıklığı ve cidarlarının inceliği belirler. Bu örnekte olduğu gibi belli bir et payına sahip kalıplarda sertliğin 62 HRC'ye kadar çekilmesinin yolları aranmalıdır. Bunun için toz metalurjik soğuk iş takım çeliklerinin kullanılması önerilir. Ayrıca sürtünme katsayısını düşüren ve yüzey sertliğini yükselten Ark-PVD ve benzeri diğer yüzey kaplama yöntemleri ile de sıvanmanın engellenmesi denenmelidir. Ancak hepsinden önce yüzey pürüzlülüğünün azaltılması ve parlak yüzeyler ile çalışılması gereklidir.



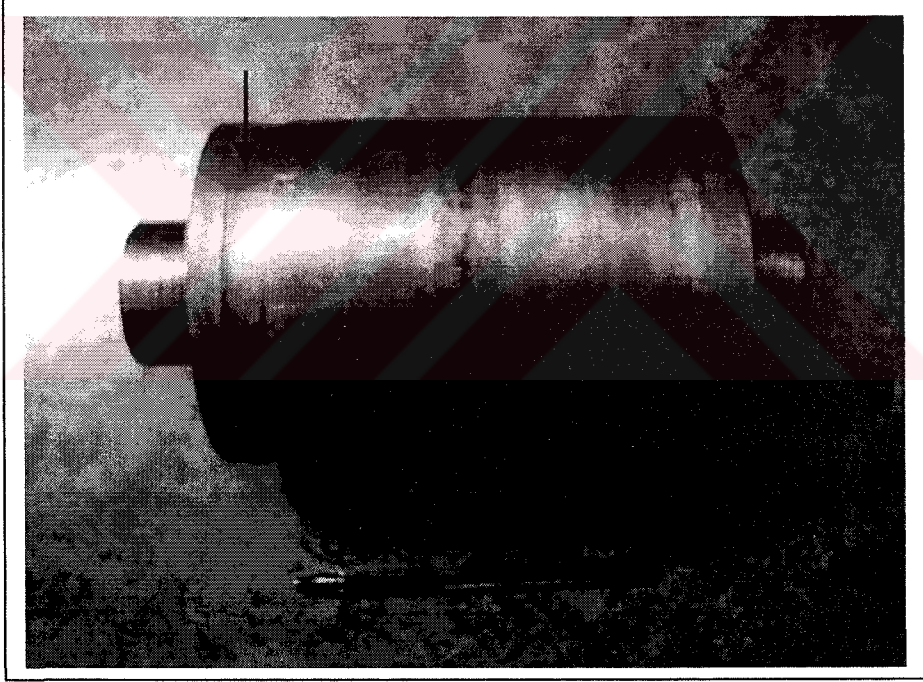
## 6. PERFORMANS ARTTIRICI DENEMELER

Bu bölümde endüstriyel ölçekte yapılan denemelere yer verilmektedir. Çeşitli soğuk iş uygulamalarından örnekler ele alınarak, bu örnekler üzerinde çeşitli performans arttırıcı uygulamalar denenmiş ve bu uygulamaların etkileri saptanmaya çalışılmıştır.

### 6.1 Deneme I: Islah Çeliği Yerine Takım Çeliği Kullanımının Etkisi

#### 6.1.1 Uygulama

Ferforje yarı mamul üretimi yapan İstanbul merkezli Kula Metal firmasının 56 HRC'ye sertleştirilmiş AISI 4140 ıslah çeliğinden imal edilmiş bulunan hadde topu Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Takım 12x12 mm soğuk çekilmiş kare çelik malzemeyi ezmeye çalışmaktadır.



Şekil 6.1 Deneye Konu Olan Uygulama

#### 6.1.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Önlemler

Hadde topunda Şekil 6.1'de siyah ok ile işaretlendiği üzere, hadde topunun çalışan bölgelerinde çökme (deformasyon) oluşmuş ve takım kullanılamaz hale gelmiştir. Yer yer mevcut çökmenin 2 mm'ye kadar ulaştığı görülmektedir. Deformasyonun kaynağı mevcut çeliğin basma mukavemetinin bu uygulama için yetersizliği olup, performansı arttırmak için basma mukavemeti daha yüksek bir çelik tercih edilmiştir.

### 6.1.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de özetlemiştir

Çizelge 6.1 Deneme I’de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Soğuk Haddeleme	
ÜRÜN	Ferforje Yarı Mamul	
İŞ PARÇASI	St 42, 12x12 mm Kare Çubuk	
Hadde Malzemesi	4140	1.2379 (X155CrVMo12 1)*
Sertlik	55 HRC	60 HRC
Hadde Ömrü	12 ton	30 Ton (Devam Ediyor)
HASAR MEKANİZMASI	Plastik deformasyon	Belirgin bir hasar yok,

### 6.1.4 Değerlendirme

Çizelge 6.1’den de görülebileceği üzere bir soğuk iş takım çeliği olan 1.2379 (X155CrVMo12 1) ile gerçekleştirilen 30 ton üretim sonrasında hadde topunda çökme tamamen önlenmiş ve belirgin bir hasar tespit edilmemiştir. Top çalışmaya devam etmektedir.

Kimyasal bileşimi Çizelge 2.4’de ve diğer özellikleri de eklerde belirtilen bir soğuk iş takım çeliği olan 1.2379’un (X155CrVMo12 1) basma mukavemeti, (60 HRC için) 2150 Mpa iken, yüzeyi 55 HRC olarak ölçülen 4140’ın mukavemeti MatWeb’e göre en fazla 1515 Mpa olabilir ki bu da 25 mm çapındaki bir çelik için söz konusudur. AISI 4140’ın düşük sertleşebilirliği nedeniyle çap 100 mm’ye ulaştığında mukavemet de, 1000 Mpa’nın altına düşmektedir (MatWeb, 2003). 1.2379’da ise bu çaplarda sertleşebilirlik sorunu ortaya çıkmadığından mukavemet kaybı da olmamakta bu yüzden de bu örnekte olduğu gibi plastik deformasyon (çökme) görülmemektedir.

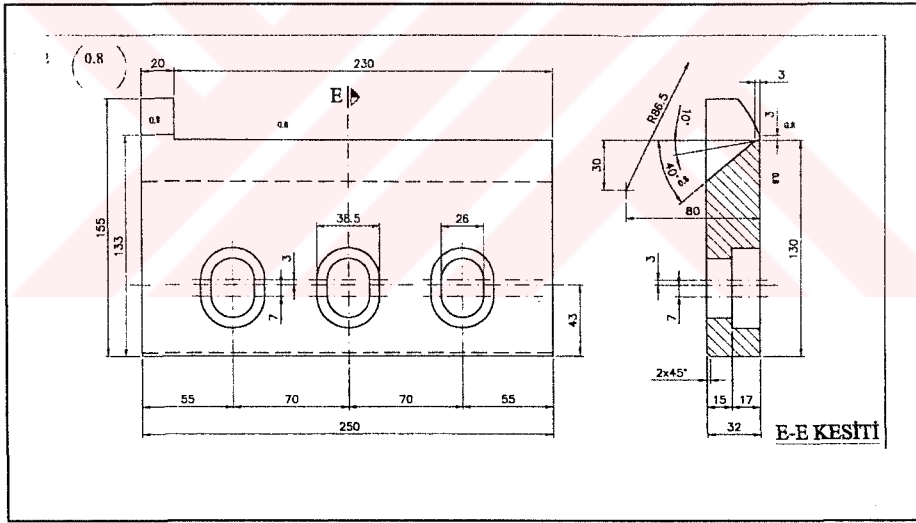
\* Bu uygulamada kullanılan malzeme UTAB ürünü bir 1.2379 olan Sverker 21’dir.



## 6.2 Deneme II: Kalın Kesmede Soğuk İş Takım Yerine Sıcak İş Takım Çeliği Kullanımı

### 6.2.1 Uygulama

Habaş Demir Çelik AŞ'nin İzmir Aliğa'daki işletmesinde, haddeleme sonrası soğutmanın yapıldığı Tempcore prosesinden sonra yer alan 18 numaralı istasyonda, genellikle 12 ilâ 18 mm kalınlıklardaki inşaat demiri ve çelik filmaşınların boy kesimlerinin yapıldığı uçar makaslarda kullanılan takım Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Uçar makaslara kesilmek üzere gelen çelik filmaşınların, tempcore prosesi nedeniyle 200 °C'nin altına soğumuş olduğu ve bu yüzden de uygulamanın esas olarak bir soğuk iş uygulaması olduğu yerinde yapılan inceleme ile saptanmıştır. Malzeme no 1.2601 (X165CrMoV12) soğuk iş takım çeliğinden Belçika'da Asko tarafından imal edilmiş bulunan bu uçar makaslarda, kırılma ve aşınma sorunları yaşandığı Habaş tarafından belirtilmesi üzerine bu uygulamada, kalıp performansının artırılmasına yönelik olarak bir çalışma yapılmıştır.



Şekil 6.2 Deneye Konu Olan Uçar Makasın Teknik Resmi

### 6.2.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Uçar makaslarda aşınma tespit edilmekle birlikte, makaslarda ömrü asıl olarak belirleyen hasar mekanizması ani kırılmadır. Kırılmalar nedeniyle bıçak değiştirilebilmesi için tüm hadde hattının durdurulması gerekmekte bu da çok büyük kapasite kayıplarına yol açmaktadır.

Kesilen çubuk kalınlığının genellikle 12-18 mm olduğu ancak üretim programına bağlı olarak 25 mm çapa kadar aynı bıçakların kesim yaptığı göz önüne alınarak, bu uygulamada yüksek

bir tokluğa ihtiyaç bulunduğu saptanmıştır. Bu yüzden kırılmaları engellemek için V-çentikli darbe tokluğu yaklaşık  $30 \text{ J/cm}^2$  olan 1.2601 (X165CrMoV12) yerine,  $60 \text{ J/cm}^2$  olan UTAB patentli yeni nesil bir sıcak iş takım çeliği olan Dievar denemesi yapılmıştır. (1.2601 ve Dievar'ın özellikleri ile ilgili geniş bilgi için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

### 6.2.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2'de özetlemiştir

Çizelge 6.2 Deneme II'de Elde Edilen Sonuçlar \*

UYGULAMA	Kesme, Uçar Makas	
ÜRÜN	12-18 mm Çelik Çubuk	
İŞ PARÇASI	ST420	
KALIP Malzemesi	1.2601 (X165CrMoV12)	Dievar
Kalıp Sertliği	51-55 HRC	52-54 HRC
Yüzey İşlemi/Yüzey Kalitesi	Taşlama	Taşlama
Kalıp Ömrü: **	150 adete karşılık	20 adet
HASAR MEKANİZMASI	KIRILMA	AŞINMA

### 6.2.4 Değerlendirme

Çizelge 6.2'den de görüleceği üzere Dievar kullanımı ile takım ömrü ortalama 7 kat artmıştır. Bunun nedeni Dievar'ın yüksek tokluğu sayesinde kırılma sorunun ortadan kalkmasıdır. Bu sayede ani kırılma sorunu ortadan kalkınca vardiya içinde bıçakların değiştirilmesi sorunu da ortadan kalkmış ve duruşlar engellenmiştir.

Ortalama üretim hızı 4 ton/dakika olan haddehanedeki bu duruşların engellenmesi büyük bir kapasite kazancına yol açmıştır. Her bir vardiyadaki üretim 730 ilâ 2157 ton arasında olup, tek bir Dievar bıçak ile alınan en kötü sonuç: 2157 ton, en iyi sonuç ise: 23 000 tondur. Bunun

\* Sonuçların takibindeki katkılarından dolayı Şükrü Avcı'ya teşekkür ederim.

\*\* Dievar'dan 20 adet bıçak yapılmış ve bu bıçaklardan da toplam 159.624 ton üretim yapılmıştır. Aynı miktardaki üretimin 1.2601 ile ancak 150 adet bıçak ile gerçekleştirilebilmesi söz konusudur.

nedeni 20 bıçaklık denemenin başlarında, her bir vardiya boyunca bıçakların kırılmadığı görülünce, bir sonraki vardiyada kırılma riski taşıdığı düşünülerek, vardiya içi duruşa sebep olunmaması için vardiya aralarında bıçaklar değiştirilmiştir. Ancak daha sonra, bıçakların kırılmadığı, aşınma ortaya çıkana kadar değiştirilmesine gerek olmadığı anlaşıldığında vardiya aralarında bıçakların değiştirilmesinden de vaz geçilmiştir.



### 6.3 Deneme III: Sıvanmaya Karşı Ark-PVD CrN Kaplamanın Etkisi

#### 6.3.1 Uygulama

Arçelik Kompresör işletmesinde, 3 mm kalınlığındaki Ereğli 6224 sıcak çekme saclardan toplam 5 operasyonda, 630 tonluk preste Şekil 6.3’de gösterilen kompresör dış gövde üretimi yapılmaktadır. Parçanın üretiminde önemli adımlardan biri derin çekmedir. Şekil 6.4’de bu uygulama gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Deneye Konu Olan Ürün



Şekil 6.4 Deneye Konu Olan Derin Çekme Uygulaması



### 6.3.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Derin çekmeye çalışan bu kalıplarda ortaya çıkan belirleyici hasar mekanizması Şekil 6.3'de beyaz oklar ile işaretlendiği üzere sıvanmadır. Sıvanmayı engellemek yada geciktirmek için ara yüzey özelliklerini değiştirmek gerektiği bu çalışmada Bölüm 2.1.3'de daha önce tartışılmış idi. Bu uygulamada da yüzeyde sarmayı engellemek için kalıbın sertliğini arttırmak üretilen parçaya bağımlı olan kalıbın tasarımı nedeniyle mümkün olmamıştır. Alternatif olarak Ark PVD yüzey kaplama teknikleri ile sürtünme katsayısının düşürülmesi ve yüzey sertliğinin artırılması denenmiştir.

### 6.3.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.3'de özetlemiştir

Çizelge 6.3 Deneme III'de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	DERİN ÇEKME	
ÜRÜN	Kompresör Gövdesi	
İŞ PARÇASI	6224 Sıcak Çekme, 3 mm	
KALIP Malzemesi	1.2379 (X155CrVMo12 1)	
Kalıp Sertliği	60 HRC	
Yüzey İşlemi	Parlatma	Parlatma+ CrN (Arc-PVD)
Kalıp Ömrü	40.000-50.000 adet	800.000 adet
HASAR MEKANİZMASI	SIVANMA	AŞINMA

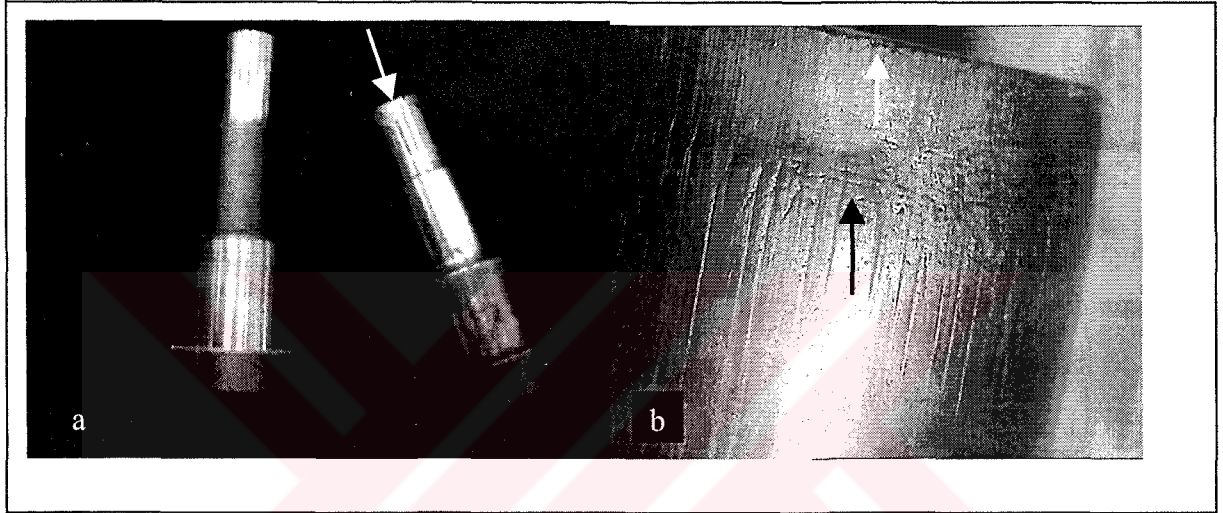
### 6.3.4 Değerlendirme

Çizelge 6.3'den de görüleceği üzere CrN kaplama ile takım ömrü 16-20 kat arasında artış göstermiştir. Bunun nedeni Escher'in (2002) çalışmalarında da belirttiği üzere, 1.2379'un parlatılmış durumda 0,7 olan sürtünme katsayısının Ark PVD CrN kaplama ile 0,5'e kadar düşürülebilmesi sayesinde arayüzeydeki sürtünmenin ve bu nedenle de açığa çıkan ısının azaltılabilesidir. Görülmektedir ki, CrN kaplama ile sıvanma önemli ölçüde engellenmiş ve kalıp ömrünü belirleyen hasar mekanizmasının aşınma olması sağlanmıştır.

## 6.4 Deneme IV: Kalın Sac Delme Zımbalarında Farklı Takım Çeliklerinin Etkisi

### 6.4.1 Uygulama

Jantaş Jant işletmesinde, kamyon ve otobüs jant imalatı için bijon deliklerinin delinmesinde kullanılan zımbalar Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Her bir jant için bu zımbalarla sekiz delik açılması gerektiğinden, zımba ömürleri ve performansları üretim üzerinde belirleyici bir operasyonu teşkil etmektedir.



Şekil 6.5 Deneye Konu Olan Bijon Delik Zımbaları (a) ve Zımbada Hasar (b)

### 6.4.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Çalışmada, 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çeliğinden imal edildiğinde zaman zaman görülen ani kırılmaların engellenmesi öncelikle hedeflenmiştir; öte yandan 1.2080 (X210 Cr12) kullanıldığında kullanıcı tarafından, ani kırılmaların yanında yoğun ağız dökülmesi problemi de ortaya çıktığı belirlenmiştir\*. Şekil 6.5b'de, siyah ok ile adhesif aşınma ve beyaz ok ile de ağızda ortaya çıkan atma (ağız dökülmesi) işaretlenmiştir.

Bu yüzden öncelikle tokluğu daha yüksek çeliklerle çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir. 1.2080 (X210 Cr12) yerine sırasıyla 1.2379 (X155CrVMo12 1), Vanadis 4 ve Calmax denenmiştir. Bu sıralama aynı zamanda da tokluk sıralaması olup bu soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.4'de ve özelliklerinin görece kıyaslanması ise Şekil 2.17'de daha önce belirtilmiştir. (Bu malzemelerin diğer özelliklerinin detaylı bilgileri için

\* Jantaş Kalıphane Müdürü Salih Cankara ile özel görüşmede alınan bilgi

lütfen ekler bölümüne bakınız.)

Bu çelikler içerisinde, Şekil 2.17'de yapılan görelî karşılaştırmadan görülebileceği ve ekler bölümünde üreticilerinin vermiş olduğu bilgiler doğrultusunda, tok malzemedeki gevrek malzemeye doğru bir sıralama yapılacak olursa: Calmax, Vanadis 4, Sv21, 1.2080 sıralamasının ortaya çıktığı görülmektedir.

Kırılma ve atmalar engellendikten sonra Ark-PVD TiN kaplamanın aşınmaya olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

### 6.4.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4'de özetlemiştir.

Çizelge 6.4 Deneme IV'de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Delme				
ÜRÜN	Çelik Jant				
İŞ PARÇASI	10-14 mm Sac				
Malzemesi	1.2080 (X210 Cr12)	1.2379 (X155CrVMo12 1)	Vanadis 4	Calmax	
Sertliği	52-54 HRC	52-54 HRC	52-54 HRC	52-54 HRC	
Yüzey İşlemi					TiN
Bileme Ömrü	Belirsiz	≈1000	≈1000	≈3500	≈3500
Hasar Mekanizması *	Ani Kırılma ve Ağız Dökülmesi	Ağız Dökülmesi ve Aşınma	Ağız Dökülmesi ve Aşınma	Aşınma	Aşınma

### 6.4.4 Değerlendirme

Çizelge 6.4'den de görüleceği 1.2080 (X210 Cr12) yerine 1.2379 (X155CrVMo12 1) kullanımı kırılmayı engellemiş ancak ağız dökülmesi hasarını ortadan kaldıramadığı için

\* Jantaş Kalıphane Müdürü Salih Cankara ile özel görüşmede alınan bilgi

sağlıklı bir sonuç da verememiştir. Bunun üzerine tokluğu daha da yüksek ve aynı zamanda aşınma dayanımı yüksek bir çelik olan toz metalurjik Vanadis 4 denemesi gerçekleştirilmiş; ancak Vanadis 4'ün performansı bu uygulamada 1.2379 (X155CrVMo12 1)'dan daha fazla olmamıştır. Atma sorunu çözülememiştir. Anlaşılmaktadır ki, Vanadis 4'ün tokluğu daha yüksek olmakla birlikte ağız dökülmesini de önleyecek eşiğin altındadır. Frederikson ve arkadaşlarının (1999), yaptığı ve Calmax'ı tokluk ve yorulma dayanımını açısından Vanadis 4 ve 1.2379 ile karşılaştırdıkları çalışmalarda da, erozyon ile bitirilmiş numunelerde Vanadis 4'ün yorulma dayanımı ve tokluğu daha yüksek olarak belirlenmiş olsa da, sert işlenmiş numunelerde Calmax'ın tokluğu ve yorulma dayanımı hem Vanadis 4'den hem de 1.2379'dan daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Bunun üzerine Calmax gibi tokluğu oldukça yüksek bir çelik denenmiş ve ağız dökülmesini engellemekte başarılı olunmuştur. Şekil 5.6b'de beyaz okla işaretlenen bölgede Calmax zımbanın ömrünü sınırlayan aşınma görülmektedir. Ancak, hasar mekanizması olarak adhesif aşınma tarafından sınırlanan 3500 adetlik zımba ömrü, beklenen sıçramayı yapamamıştır. Buna rağmen; kırılmalar ortadan kalktığı ve kullanıcı yaklaşık olarak ne zaman zımbasını değiştirmesi gerektiğini önceden bilebildiği ve en az 3.5 kat bir ömür artışı sağlandığı için deneme yine de başarılı sayılabilir.

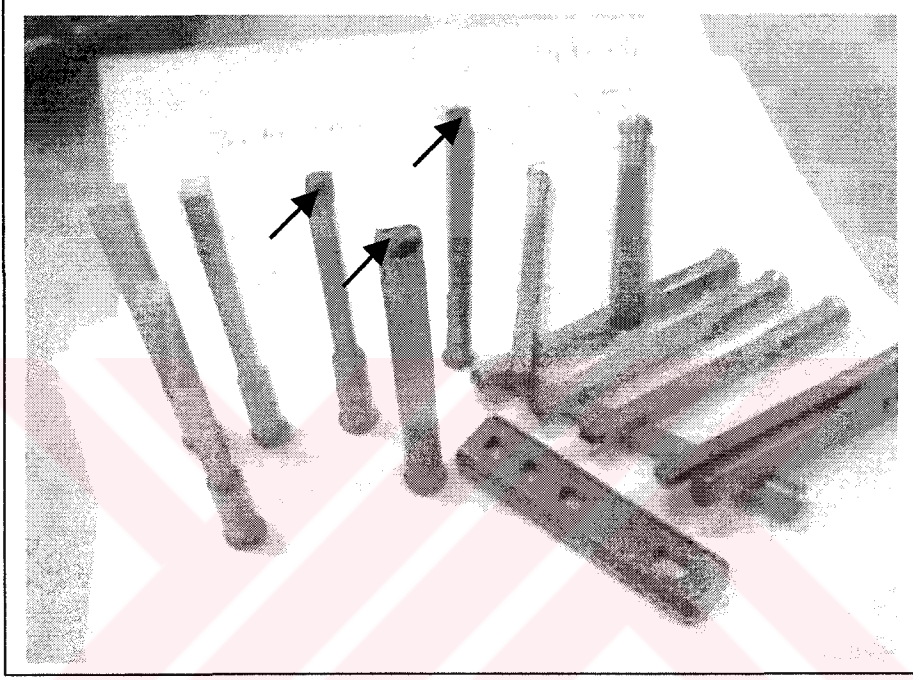
Aşınmayı azaltarak zımba ömrünü arttırmayı amaçlayan Ark-PVD TiN kaplama denemesi ise başarısız olmuştur. Bu denli kalın kesmelerde, bu denli büyük yükler altında adhesif aşınmaya çalışan bu uygulamada görülmektedir ki kaplama performans geliştirici olamamıştır.



## 6.5 Deneme V: Sac Delme Zımbalarında Parlatma ve Kaplamanın Etkisi

### 6.5.1 Uygulama

Tanatar Kalıp (Eskişehir) işletmesinde, buzdolabı kapı menteşelerinin imalatı için bağlantı deliklerinin delinmesinde kullanılan zımbalar ve ilgili ürün Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Sac malzemesi 4 mm sıcak haddelenmiş sactır.



Şekil 6.6 Deneye Konu Olan Ürün ve Zımbalar

### 6.5.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Bu denemede, kimyasal bileşimi Çizelge 2.4'de ve diğer çeliklerle özelliklerinin görelî kıyaslanması ise Şekil 2.17'de daha önce belirtilmiş olan Vanadis 4 toz metalurjik soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş zımbaların performansları arttırılmaya çalışılmıştır. (Bu malzemelerin diğer özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

Şekil 6.6'da gösterilen zımbalarda, siyah oklar ile işaret edilen ani kırılmaların engellenmesi öncelikle hedeflenmiştir. Çünkü ani kırılmalar, kullanıcı açısından üretimin durmasına yol açmaktadır. Bu tür kalın delme uygulamalarında zımba sacı kestikten ve düşürdükten sonra geri çıkarken kesilen sac tarafından sıkılmakta ve sürtünme nedeniyle zımbalar çok yüksek çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Eğer zımbanın yüzeyinde çentik etkisi yapacak kusurlar var ise, zımba bu noktalardan kırılmaktadır.

Bu yüzden öncelikle yüzey kalitesini iyileştirerek sürtünmeyi azaltmak için sürtünme

katsayısı düşük bir Ark-PVD kaplama olan TiN kaplama zımbalara kaplatılmıştır.

Kaplama işleminin ardından elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, ani kırılmaların sıklığında bir değişim olmamış ancak kırılmayan zımbaların ömürleri yaklaşık 5 kat yükselmiştir.

Zımbalar talaşlı olarak işlendikten sonra silindirik taşlanmaktadır. Bu da zımbaların çalışma yönüne dik işleme izlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Zımba işlem sırasında, sacı delindikten sonra yukarı doğru geri çıkarken büzülen sac tarafından sıkılmakta ve eğer zımba yüzeyi bu örnekte de olduğu gibi eğer taşlama izleri ile yüksek bir pürüzlülüğe sahip ise zımba çok yüksek çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu da bu taşlama izlerinin çentik etkisi yaratarak kırılmalara yol açmasına sebep olmaktadır. Sandberg (1997), bu tür malzemelerde taşlanmış yüzeylerinin parlatılmış yüzeyler ile karşılaştırıldığında, parlatılmış yüzeyli malzemelerin yorulma dayanımının en az % 10 daha fazla olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle ikinci bir deneme olarak TiN kaplama öncesi zımbalar parlatılmıştır.

### 6.5.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5’de özetlemiştir.

Çizelge 6.5 Deneme V’de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Delme		
ÜRÜN	Buzdolabı Menteşesi		
İŞ PARÇASI	4 mm Sac		
Malzemesi	Vanadis 4		
Sertliği	58 HRC		
Yüzey İşlemi	Yok	TiN	Parlatma+TiN
Ömür Artışı	Kırılma Olmadığında	5 Kat (Kırılma Olmadığında)	5 Kat
Hasar	Ani Kırılma ve Aşınma	Ani Kırılma ve Aşınma	Aşınma

#### 6.5.4 Değerlendirme

Zımbaların ağızlarındaki aşınmaya bağlı olarak ürünlerdeki ölçü değişimi 0.1 mm'ye ulaştığında zımbalar değiştirilmesi gerekmektedir.\* Çizelge 6.5'den de görüleceği gibi, TiN kaplama yapılmış zımbalar ile üretilmiş üründe 0.1 mm'lik ölçü değişimi, kaplamasız zımbalarla kıyaslandığında 5 kat daha fazla baskı sonrası gerçekleşmiştir. TiN kaplama ile zımbalarda bu ömür artışı sağlanmış olmakla birlikte, Şekil 6.6'da işaretlenen ani kırılmaları engellemekte kaplamanın bir katkısı olmadığı görülmüş ve zımbalarda ani kırılmalar devam etmiştir. Başka bir ifade ile, kaplama sayesinde zımbaların aşınma dayanımında kayda değer bir iyileşme olmuştur. Ancak öte yandan, kaplama ile yüzey pürüzlülüğünde elde edilen gelişme, zımbalara yüklenen çekme gerilmelerini, zımbaların kaldırabileceği bir seviyeye kadar düşürememiş ve zımbalar taşlamada elde edilen yüzeydeki izlerin oluşturduğu gerilme yoğunlaşmaları nedeniyle kırılmaya devam etmiştir.

Taşlama sonrası parlatma yapıldığında ise, çentik etkisini bertaraf edici yeterli yüzey kalitesi yakalanmış ve ani kırılmalar engellenmiştir.

Parlatma ile zımbalardaki yüzey kalitesi artırılmış ve en önemlisi bir zımbadan diğerine yüzey kalitesindeki farklılıklar en aza indirgenmiştir; bu sayede zımbalardaki sürtünme azaltılmış ve ani kırılmaların önüne geçilmesiyle de, son derece önemli değer bir performans artışı sağlanmıştır. En önemlisi uygulayıcı aşınma nedeniyle zımbasını ne zaman değiştirmesi gerektiğini önceden bilebilir bir hale gelmiştir.

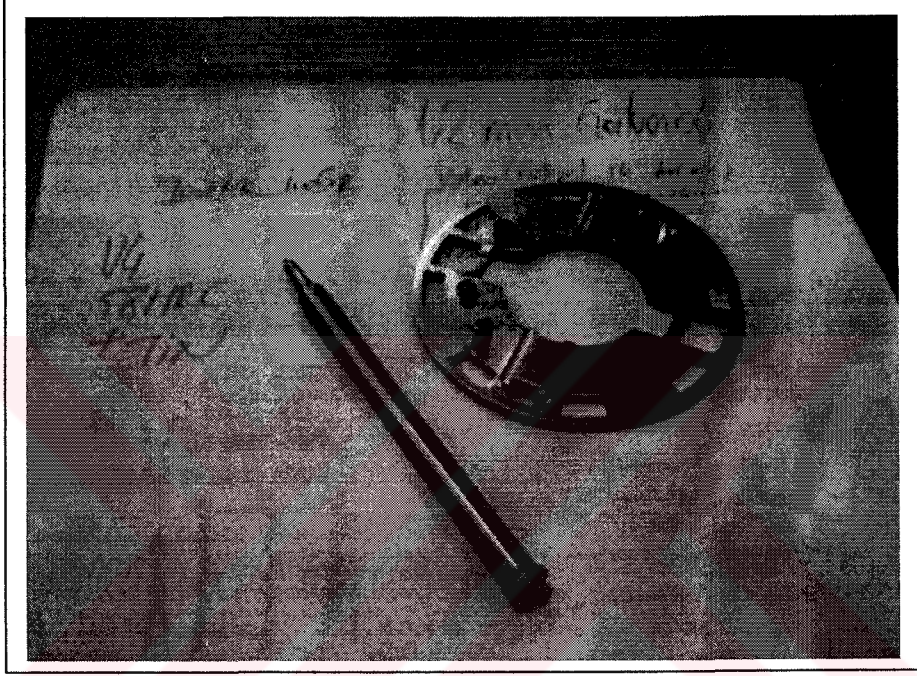
---

\* Aşınma kriteri, Tanatar Kalıp kalıphane yöneticisi Serkan Kaynarsoy ile özel görüşmede belirtilmiş olduğu üzere ürün ölçülerindeki 0.1 mm'lik değişimdir.

## 6.6 Deneme VI: Form Verme Zımbalarında TiN Kaplamanın Etkisi

### 6.6.1 Uygulama

Tanatar Kalıp işletmesinde, bir otomotiv firması için üretilen bağlantı parçalarında patlatmalı deliklerinin açılmasında kullanılan zımba ve ilgili ürün Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Sac malzemesi 1.2 mm galvanizli sactır.



Şekil 6.7 Deneye Konu Olan Zımba ve Ürün

### 6.6.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Bu denemede, kimyasal bileşimi Çizelge 2.4’de ve diğer çeliklerle özelliklerinin görelî kıyaslanması ise Şekil 2.17’de daha önce belirtilmiş olan Vanadis 4 toz metalurjik soğuk iş takım çeliğinden imal edilmiş zımbalarda görüldüğü saptanan sarma yani sıvanma hasarının\* engellenmesi hedeflenmiştir. (Bu malzemenin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

Sıvanma yada sarma bu çalışmada Bölüm 2.1.3’de tartışıldığı üzere esas olarak kesme uygulamalarında sık karşılaşılan bir hasar mekanizması değildir. Ancak bu uygulamada, kesilen sac yumuşak ve sarmaya uygun bir kaplamaya sahip olduğu için, sıvanma

\* Tanatar Kalıp Kalıphane Yöneticisi Serkan Kaynarsoy tarafından özel görüşmede belirtilmiştir.



probleminin ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Sıvanmayı engellemek için sertliğin 62 HRC'ye kadar çekilmesi ise zımbanın ağzındaki 1 mm çapındaki ince kesit nedeniyle (kırılma ve atmalara yol açmamak için) tercih edilememiştir. Zımbaların uygulamadaki sertlik seviyesi 58 HRC'dir. Sarmayı engellemek üzere zımba sertliğinin artırılması bu nedenle mümkün olamamıştır. Bu yüzden öncelikle sürtünme katsayısı düşük ve yüksek sertlik sağlayacak bir Ark-PVD kaplama olan TiN'ün bu zımbalara kaplatılarak denenmesine karar verilmiştir. Kaplama öncesi zımba yüzeyleri parlatılmıştır.

TiN kaplamanın sertliği CrN'e göre bir miktar daha fazla olsa da sürtünme katsayısı CrN'den daha kötüdür. Bu yüzden de normal koşullarda, sıvanmayı engellemek yada geciktirmek için CrN kaplama yapılması önerilmektedir (Escher, 2002). Ancak, bu uygulamada CrN yerine özel olarak çok amaçlı bir kaplama çeşidi olan TiN denemesi yapılmıştır. Bunun nedenleri ise TiN'ün Türkiye koşullarında CrN'e göre daha yaygın bir kaplama yöntemi olarak mevcut pazarda daha düşük maliyeti olması ve de teslim süresinin kısalığıdır.

### 6.6.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.6'da özetlemiştir.

Çizelge 6.6 Deneme VI'da Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Delme	
ÜRÜN	Otomotiv Parçası	
İŞ PARÇASI	1.2 mm Galvanizli Sac	
Malzemesi	Vanadis 4	
Sertliği	58 HRC	
Yüzey İşlemi	Parlatma	Parlatma+TiN
Ömür Artışı		10 Kat
Hasar*	Sarma/Sıvanma	Aşınma

\* Tanatar Kalıp Kalıphane Yöneticisi Serkan Kaynarsoy tarafından özel görüşmede belirtilmiştir. Aşınma kriteri, ürün ölçülerindeki 0.05 mm değişimdir.

#### 6.6.4 Değerlendirme

Çizelge 6.6'dan da görüleceği gibi Ark PVD TiN kaplama ile, kaplamasız zımbalara karşı 10 katlık ömür artışı sağlanmıştır. Başka bir ifade ile, üründeki ölçü değişimi yani zımbadaki aşınma 10 defa geciktirilmiştir.

Bunun temel nedeni yumuşak ve takım üzerine yapışmaya elverişli bir faz olan galvanizin yol açtığı sarmanın TiN kaplama ile engellenmesi ve zımbanın sarma olmaksızın aşınarak kullanım dışı kalmasının sağlanabilmiş olmasıdır.

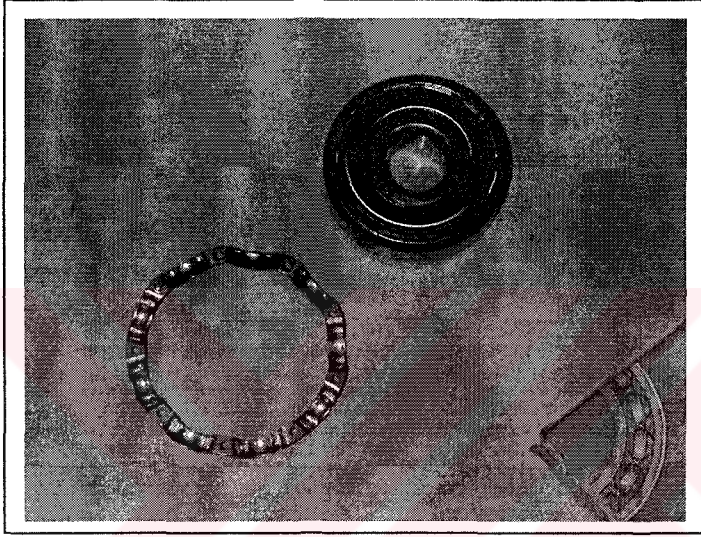
Escher'in (2002) belirttiği üzere düşük yüzey pürüzlülüğü nedeniyle CrN kaplama sıvanma karşısında TiN'e göre daha başarılı bir kaplamadır. Ancak görülmüştür ki, çok amaçlı bir kaplama olan TiN de sıvanma sorunu karşısında oldukça başarılı sonuçlar yaratmaktadır.



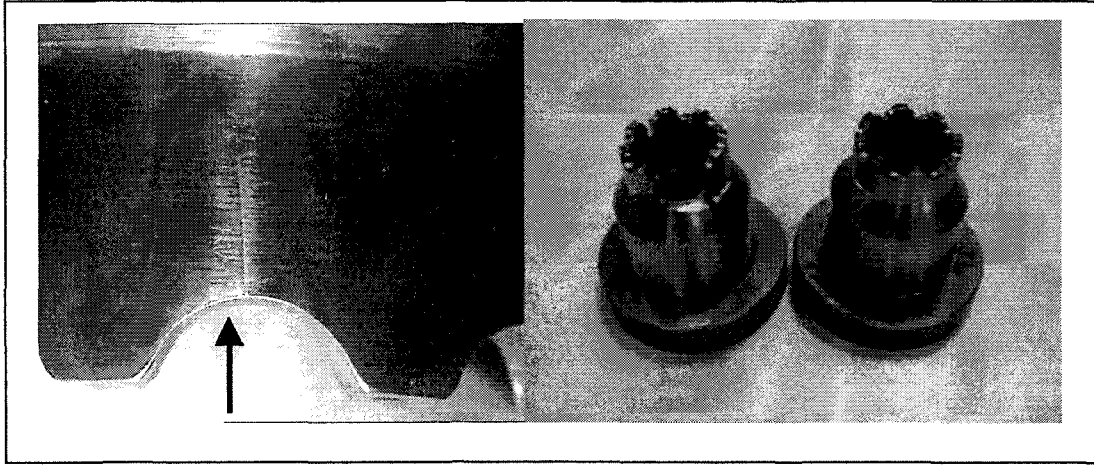
## 6.7 Deneme VII: Form Vermede Toz Metalurjik Çelik Denemesi

### 6.7.1 Uygulama

ORS işletmesinde üretilen her bir rulmanda iki adet bulunan ve kafes olarak adlandırılan rulman içinde bilyaların oturduğu parçalara şekil verilmesinde kullanılan form matrislerinde ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.8a'da çalışmaya konu olan rulman ve kafeslerden birer örnek gösterilmiştir.



Şekil 6.8a Deneye Konu Olan Zımba ve Ürün



Şekil 6.8b Deneye Konu Olan Hasar ve Zimbalar

### 6.7.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Mevcut kalıplarda kullanımda bulunan 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çelikleri üzerinde yapılan incelemede matris ömrünü adhesif aşınmanın yanı sıra Şekil 6.8b'de gösterildiği gibi

çalışan yüzeyden başlayan çatlamaların belirlediği saptanmıştır; bu çatlaklar yüzeydeki yorulmaya bağlı olarak oluşan bir tür ağız dökülmesi/atmadır. Bu yüzden, geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmiş 1.3343 yüksek hız çeliği ve Vanadis 4 toz metalurjik çelik gibi, 1.2080'e (X210 Cr12) göre daha tok malzemelere doğru bir geçiş yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bu sayede aşınmanın da engellenmesi hedeflenmiştir. Vanadis 4'ün kimyasal bileşimi Çizelge 2.4'de ve diğer çeliklerle özelliklerinin görelî kıyaslanması ise Şekil 2.17'de daha önce belirtilmiştir. (Bu malzemenin ve denemeye konu olan diğer malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

### 6.7.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.7'de özetlemiştir.

Çizelge 6.7 Deneme VII'de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Form Verme		
ÜRÜN	Rulman		
İŞ PARÇASI	0.80 mm Sac		
Malzemesi	1.2080 (X210 Cr12)	1.3343 (S 6-5-2)	Vanadis 4
Sertliği	58-60 HRC	58-60 HRC	58-60 HRC
Yüzey İşlemi	Yok	Yok	Yok
Taşlama Ömrü	75.000	100.000	1.200.000
Hasar	Adhesif Aşınma ve Ağız Dökülmesi	Adhesif Aşınma ve Ağız Dökülmesi	Aşınma

### 6.7.4 Değerlendirme

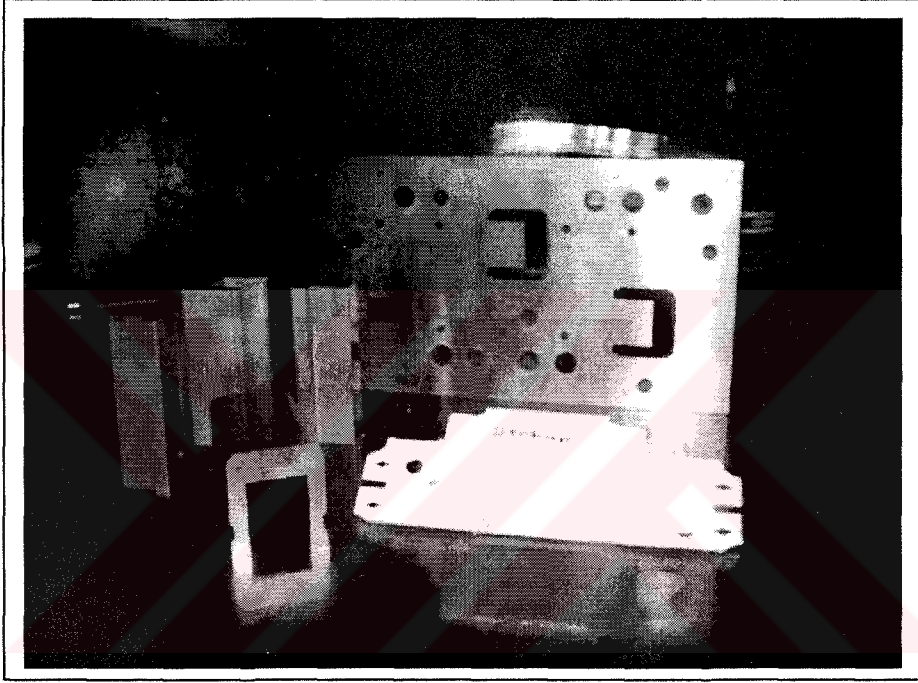
Çizelge 6.7'den de görüleceği gibi 1.3343 yüksek hız çeliği kullanımı ile yorulma esaslı çatlaklar engellenememiştir. Ancak küçük de olsa adhesif aşınmanın geciktirilebileği söylenebilir. Bu iki malzeme karşısında Vanadis 4 ile ise oldukça yüksek bir ömür artışı kazanılmıştır. Bu ömür artışının müsebbibi Vanadis 4'ün yüksek tokluğu sayesinde adhesif aşınma direncindeki ve yorulma direncindeki yüksekliktir. Öte yandan Vanadis 4 ile çatlakların da önüne geçmek mümkün olmuş böylelikle daha az taşlama ile aynı matriste çok daha fazla taşlama imkanı yaratılmıştır.



## 6.8 Deneme VIII: Laminasyon Kalıbında Toz Metalurjik Çelik Denemesi

### 6.8.1 Uygulama

Tekap Aydınlatma işletmesinde üretilen floresan balanslarında kullanılmak üzere 200 d/d'lık preslerde 0.80 mm silisli sac kesmede kullanılan laminasyon kalıplarında ömür arttırıcı bir dizi çalışma yapılmıştır. Şekil 6.9'da çalışmaya konu olan balanslar ile kalıp ve zimbalar görülmektedir.



Şekil 6.9 Deneye Konu Olan Kalıp, Zimba ve Ürün

### 6.8.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Mevcut kalıplarda kullanımda bulunan 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çelikleri üzerinde yapılan incelemede matris ömrünü abrasif aşınmanın belirlediği ayrıca ağız dökülmesinin de mevcut olduğu saptanmıştır. Aşınma miktarı, kalıp üzerinden değil de bu kalıptan üretilen parça üzerinde oluşan çapaktan ölçülme olduğundan kalıp üzerinden belgelenememiştir. Ürünlerde 0.1 mm çapak oluştuğunda kalıpların taşlandığı kullanıcı firma tarafından beyan edilmiştir. Atma meydana geldiğinde ürünün tek bir noktasında çok erken çapak ortaya çıkarken, aşınma ile üründe uzun vadede çapak oluşumu söz konusudur.

Aşınmayı geciktirmek için, geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmiş Sverker 3 ve toz metalurjisi ile üretilmiş Vanadis 10 gibi aşınma direnci daha yüksek malzemelere doğru bir dizi deneme yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Vanadis 10'un ve Sverker 3'ün kimyasal

bileşimi Çizelge 2.4’de ve diğer çeliklerle başta abrasif aşınma direnci olmak üzere özelliklerinin görelî kıyaslanması ise Şekil 2.16 ve 2.17’de daha önce belirtilmiştir. (Bu malzemenin ve denemeye konu olan diğer malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

### 6.8.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8’de özetlemiştir.

Çizelge 6.8 Deneme VIII’de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Laminasyon Kalıbında Kesme		
ÜRÜN	Balans		
İŞ PARÇASI	0.80 mm Silisli Sac, 60-68 HRB		
Matris	1.2080 (X210 Cr12)	1.2436 (Sverker 3)	1.2436 (Sverker 3)
Zımba	1.2080 (X210 Cr12)	1.2436 (Sverker 3)	Vanadis 10
Sertlik	60-62	60-62	60-62
Yüzey İşlemi	Yok	Yok	Yok
Toplam Ömür	2 Milyon	20 Milyon	50 Milyon
Taşlama Ömrü	0.2 Milyon	1 Milyon	2.5 Milyon
HASAR MEKANİZMASI	Abrasif Aşınma ve Atma	Abrasif Aşınma ve Atma	Abrasif Aşınma

### 6.8.4 Değerlendirme

Çizelge 6.8’den de görüleceği gibi Vanadis 10 toz metalurjik çelik kullanıldığında hem atmaların yani ağız dökülmesinin önüne geçilmiş hem de abrasif aşınma geciktirilebildiği için toplam ömürde 25 katlık bir artış sağlanmıştır.

Norström ve Johansson (1989) tarafından da ifade edildiği gibi, abrasif aşınma direncini arttırmak için takım çeliklerinin mikroyapısında iri ve sert karbürlerin yüksek oranda olması gereklidir. Ayrıca aşınma direncinin arttırılabilmesi için, matriksin de doymuş olması ve yüksek sertliğe ulaşabilmesinin de bir öncül olduğu unutulmamalıdır. Ancak bu tür bir

mikroyapının geleneksel metalurji ile ulaçabildiği güncel sınırlar 1.2436 ve benzeri malzemeler ile sınırlıdır. Daha yüksek uygun özellikli karbür içeren mikroyapıların elde edilebilmesi için bu örnekte de görülebildiği üzere TM çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Vanadis 10 ile elde edilen bu başarının temeli Vanadis 10'un bu alaşım bileşimi ile homojen bir mikroyapıya sahip olmasına paralel gelişen yüksek tokluğudur.

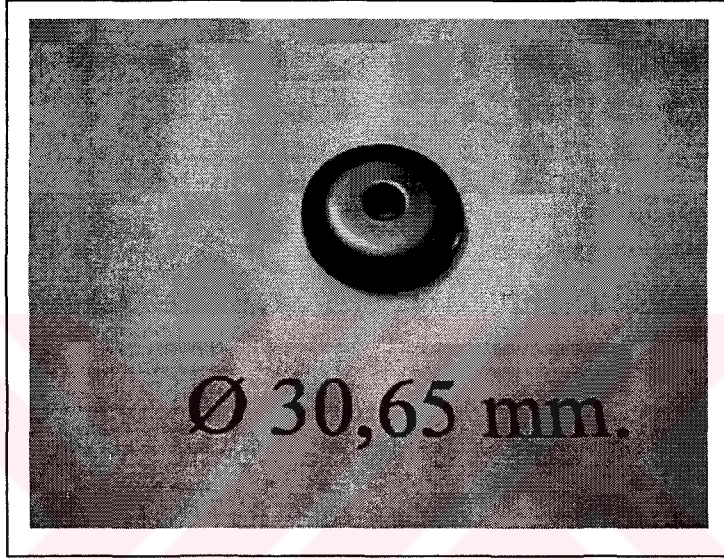
Bir sonraki aşamada hem matrisin hem de zımbanın Vanadis 10 olarak imal edilmesi düşünülmelidir.



## 6.9 Deneme IX: Sıvanma ve Kırılmaya Karşı Yeni Çelik Denemesi

### 6.9.1 Uygulama

Can Conta işletmesinde beyaz eşya sektörüne yönelik olarak, 3 mm kalınlığındaki St 37 sactan üretilen ve Şekil 6.10'da gösterilen form verilmiş pulların kesme ve form verme işlemlerinin birlikte yapıldığı kalıpta ömür arttırıcı bir dizi çalışma yapılmıştır.



Şekil 6.10 Deneye Konu Ürün

### 6.9.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Mevcut kalıp ve zımbalarda kullanımda bulunan 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çelikleri üzerinde yapılan incelemede dişi kalıplarda sıvanma tespit edilmiştir. Ayrıca sıvanmaya bağlı olarak kalıbın sıkışmasından dolayı zımbalarda da ani kırılmaların ortaya çıktığı saptanmıştır.\*

Öncelikle, zımbalardaki bu ani kırılmaları engellemeye yönelik olarak tokluğu yüksek bir soğuk iş takım çeliği olan Calmax'ın bu uygulamada denenmesine karar verilmiştir.

Sıvanmanın esas olarak saptandığı matrislerde (dişi kalıp) ise Vanadis 4 toz metalurjik çelik soğuk iş takım çeliği gibi hem sıvanma direnci yüksek hem de aşınma direnci yüksek bir malzemenin denenmesine karar verilmiştir.

Böylelikle hem sarmaların azaltılması ve geciktirilmesi hem de sarma yüzünden kalıbın

\* Can Conta Genel Müdürü Can Mutlu tarafından belirtilmiştir.



sıkışması sırasında oluşan ani yükler karşısında zımbalarda kırılmalarla daha az karşılaşması hedeflenmiştir.

Vanadis 4'ün ve Calmax'ın kimyasal bileşimi Çizelge 2.4'de ve diğer çeliklerle özelliklerinin görelî kıyaslanması ise Şekil 2.17'de daha önce belirtilmiştir. (Bu malzemenin ve denemeye konu olan diğer malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

### 6.9.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.9'da özetlemiştir.

Çizelge 6.9 Deneme IX'da Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Kesme ve Form Verme	
ÜRÜN	Pul	
İŞ PARÇASI	3 mm St 37 Çelik Saç	
Matris	1.2080 (X210 Cr12), 58-60 HRC	Vanadis 4, 61-62 HRc
Zimba	1.2080 (X210 Cr12), 56-58 HRC	Calmax, 58-60 HRC
Ömür	50.000	250.000
HASAR MEKANİZMASI	Sıvanma, Kırılma	Sıvanma, Kırılma

### 6.9.4 Değerlendirme

Çizelge 6.9'dan da görüleceği gibi ilgili kalıpta Calmax ve Vanadis 4 sıvanma sorunu oldukça geciktirilmiş ve bu gecikmeye bağlı olarak da zımbaların kırılmasında kayda değer bir erteme söz konusu olmuştur. Bunun sonucunda da 5 katlık bir ömür artışı elde edilmiştir.

Bu sonuçların temel nedeni, Frederikson ve arkadaşlarının (1999), Calmax'ı tokluk ve yorulma dayanımını açısından Vanadis 4 ve 1.2379 ile karşılaştırdıkları çalışmalarda da belirttikleri üzere, Calmax ve Vanadis 4'ün 1.2080 ve 1.2379 gibi geleneksel takım çeliklerine kıyasla sahip oldukları yüksek toklukları ve yüksek yorulma dayanımlarıdır.

Şekil 2.16 ve 2.17'deki görelî kıyaslamadan da görülmektedir ki, Calmax'ın tokluğu, diğer

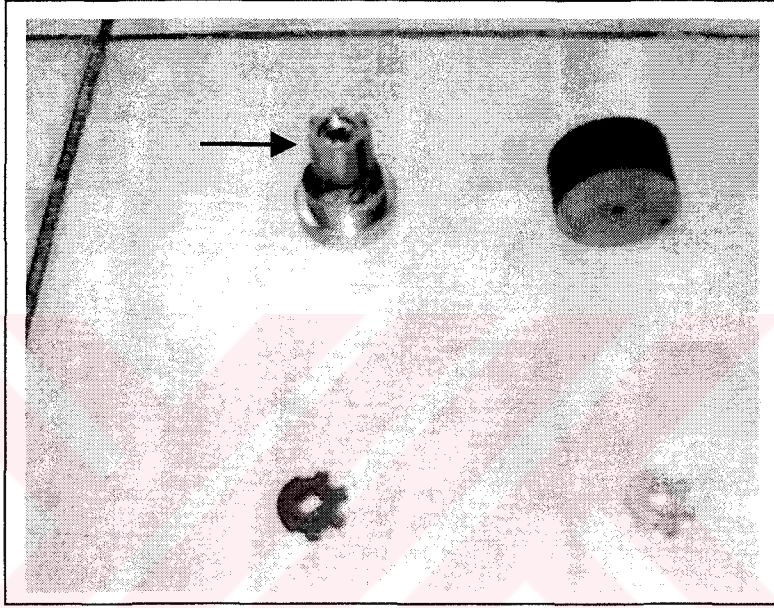
soğuk iş takım çelikleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Öte yandan bu uygulamadaki 58-60 HRC'lik sertlik seviyesinde Calmax'ın basmada mukavemeti (0.2 sınırı)  $1900 \text{ N/mm}^2$  olup, bu her iki özellik sayesinde Calmax 1.2080'e karşı oldukça yüksek bir performans artışı sağlamaktadır. Aynı şekillerden Vanadis 4'ün de adhesif aşınma/sıvanma direncinin de oldukça yüksek olduğu görülmektedir ki esas olarak kalıpta sıvanmanın ortadan kalkmasını sağlayan Vanadis 4'ün bu özelliğidir.

Högman (2002) tarafından yüksek mukavemetli sac malzemelerin benzer biçimde zımbalanması üzerine yapılan ömür testlerinde ise Calmax, Vanadis 6 ve Vanadis 4 ile birlikte UTAB ürünü bir 1.2379 soğuk iş takım çeliği olan Sverker 21'in performansları kıyaslanmıştır. Kesilen/delinen sacın mukavemeti arttıkça sıvanma sorunu yerini adhesif aşınmaya ve giderek de abrasif aşınmaya bıraktığı için, yüksek mukavemetli sacların zımbalanmasında Vanadis 4/Calmax çiftinin değil, düşük tokluklarına karşın yüksek aşınma dirençleri nedeniyle Vanadis 6/Sverker 21 çiftinin kullanılmasının daha yüksek performans sağlayacağı ifade edilmiştir.

## 6.10 Deneme X: Demir Tozu Preslemede Toz Metalurjik Çelik Denemeleri

### 6.10.1 Uygulama

Sintek işletmesinde toz metal ispanyolet dişlisi üretiminde kullanılan pres takımlarından baskı maçasında ömür arttırıcı bir dizi çalışma yapılmıştır. Şekil 6.11’de denemeye konu olan ürün ve maçalar gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Deneye Konu Maça ve Ürün

### 6.10.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Mevcut kalıp ve zımbalarda kullanımda bulunan 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çelikleri üzerinde yapılan incelemede Şekil 6.11’de siyah ok ile işaret edilen bölgelerde kırılma ve ağız dökülmelerinin mevcut olduğu saptanmıştır. Toz preslemede basmaya çalışan bu zımbanın yüksek tokluğa ve aynı zamanda da maruz kaldığı baskı gerilmeleri nedeniyle yüksek basma mukavemetine haiz çeliklerden imali durumunda ömür artışı sağlanacağı öngörülmüştür. Öte yandan toz presleme uygulaması yüksek aşınma direncinin ihtiyaç duyulduğu bir uygulamadır ve bu nedenle tek başına tokluk yeterli bir özellik değildir.

Bu saptamadan hareketle hem basma dayanımı yüksek hem de tokluğu yüksek toz metalurjik CPM 10 V ve Vanadis 4 soğuk iş takım çeliklerinin bu zımbalarda denenmesine karar verilmiştir.

Crucible Service Centers, (2003)’e göre, CPM10V’nin abrasif aşınma direnci çok yüksektir;

bu çelik aynı zamanda da toz metalurjik bir soğuk iş takım çeliği olduğu için tokluğu da 1.2080 ile kıyaslandığında yüksektir (Crucible Service Centers, 2003).

Crucible ürünü olan CPM serisi, UTAB ürünü olan Vanadis serisi ve Böhler ürünü olan K190 toz metalurjik soğuk iş takım çeliklerinin özellikleri Stasko ve Dixon (1999) tarafından detaylı bir biçimde incelenmiş ve kıyaslandığı çalışmalarında ifade edildiği üzere, Vanadis 4, aşınma direnci açısından CPM10V'ye göre zayıf olmasına rağmen tokluğu son derece yüksek bir toz metal takım çeliğidir. Bu iki farklı çeliğin denenmesindeki temel neden, CPM10V'nin aşınma, Vanadis 4'ün ise karakteristik olarak tokluk yönünden avantajlı çelikler olmasıdır. Bu uygulamada hangi özelliğin daha baskın olarak ihtiyaca yanıt vereceği belirlenmek istenmiştir. Vanadis 4'ün ve CPM10V'nin kimyasal bileşimi Çizelge 2.4'de ve Vanadis 4'ün diğer çeliklerle birlikte 1.2080'e karşı özelliklerinin görelî kıyaslanması ise Şekil 2.17'de daha önce belirtilmiştir. (Bu malzemenin ve denemeye konu olan diğer malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

### 6.10.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.10'da özetlemiştir.

Çizelge 6.10 Deneme X'da Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Toz Presleme		
ÜRÜN	Dişli		
İŞ PARÇASI	Demir Tozu		
Zimba Malzemesi	1.2080 (X210 Cr12)	CPM 10 V	Vanadis 4
Sertlik	58-60 HRC	60-62 HRC	60-62 HRC
Ömür	15-20 bin	120 bin	150 bin
HASAR MEKANİZMASI*	Kırılma/ Ağız Dökülmesi	Aşınma	Aşınma

\* Sintek Üretim Teknik Yöneticisi Salih Ertuğrul ile yapılan özel görüşmede belirtilmiştir



#### 6.10.4 Değerlendirme

Çizelge 6.10'dan da görülebileceği gibi ilgili zımbada tokluğu 1.2080 (X210 Cr12) ile karşılaştırıldığında son derece yüksek olan, toz metalurjik takım çeliği kullanılması ile birlikte Ağız Dökülmesi hasarı da ortadan kalkmış bulunmaktadır. Böylelikle zımbaların ömrünü belirleyen mekanizma aşınma halimi almış ve 10 kat gibi oldukça yüksek bir ömür artışı sağlanmıştır.

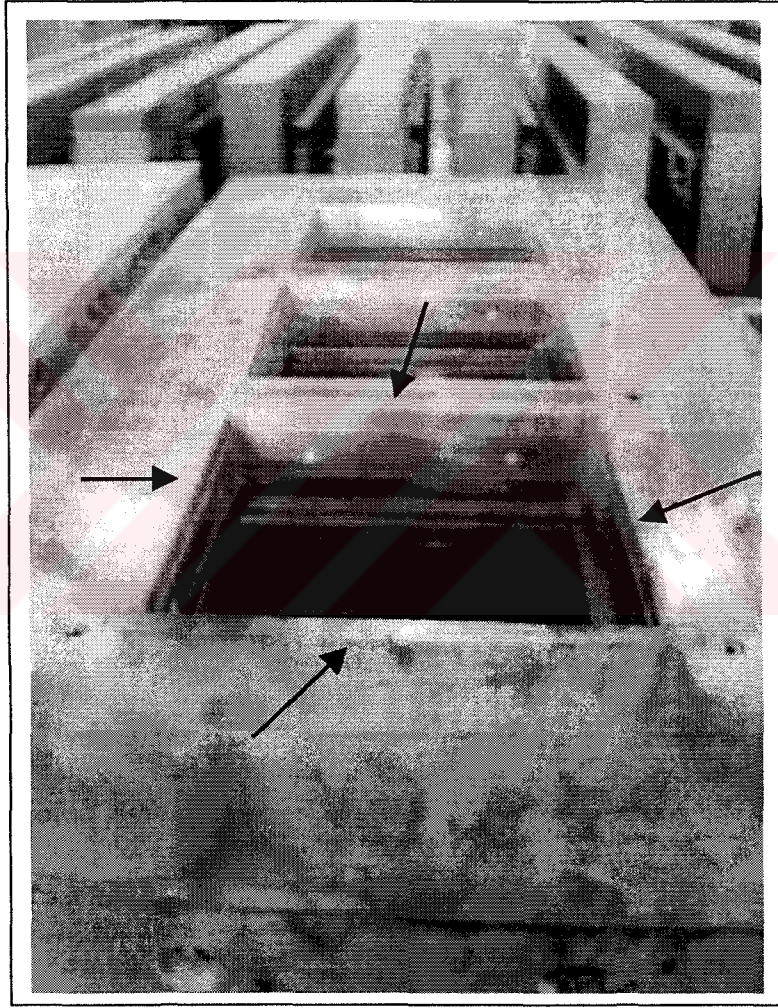
Aşınma, zımbalar üzerinden değil, ürünlerdeki çapaklar üzerinden belirlendiği ve ürünün ölçülerindeki 0.1 mm çapaklanma için zımbalar taşlandığı için belgelenememiştir.

Bu uygulamada CPM10V ve Vanadis 4 arasında belirgin bir performans farkı sonuçlardan da görülebileceği üzere saptanamamıştır. Ancak Vanadis 4'ün yüksek tokluğunun cüzi bir avantaj sağladığı saptanmıştır. Bunun nedeni ise, başta aşınma olarak saptanan hasarın aslında yorulmaya bağlı olarak mikro çatlak oluşumu sonucu, mikro ağız dökülmeleri olduğu ve Vanadis 4'ün yüksek tokluğuna bağlı yüksek yorulma dayanımı nedeniyle bu tür mikro ağız dökülmelerini daha fazla engellediği iddia edilebilir.

## 6.11 Deneme XI: Seramik Tozu Preslemede Toz Metalurjik Çelik Denemeleri

### 6.11.1 Uygulama

Toprak Seramik işletmesinde yer karosu üretiminde kullanılan pres takımlarından yan bıçaklarda ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.12’de denemeye konu olan üç gözlü kalıp gösterilmekte olup; her gözün dört bir yanında toplam dört adet bulunan ve denemeye konu olan yan bıçaklar siyah ok ile işaretlenmiştir.



Şekil 6.12 Deneye Konu Olan Yer Karosu Presleme Kalıbı ve Yan Bıçakları

### 6.11.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Mevcut kalıp ve zımbalarda kullanımda bulunan 1.2080 (X210 Cr12) soğuk iş takım çelikleri üzerinde yapılan incelemede bıçakların, seramik tozları karşısında abrasif aşınma ile ömürlerini tamamladıkları saptanmıştır.

Bu saptamadan hareketle, bu çalışmada Deneme VIII'de tartışıldığı üzere abrasif aşınma direnci 1.2080 (X210 Cr12)'den yüksek, yüksek oranda iri ve sert karbürler içeren bir kalıp çeliğinin bu uygulamada ömür üzerinde olumlu bir etki yapabileceği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle ancak toz metalurjisi ile üretilen ve çok yüksek oranda karbür içeren bu tür çelikler içinden Vanadis 10 soğuk iş takım çeliği seçilerek, denenmesine karar verilmiştir. Vanadis 10'un ve 1.2080'in kimyasal bileşimi Çizelge 2.4'de ve aşınma dirençleri ise görelî olarak Şekil 2.17'de kıyaslanmıştır. (Bu malzemenin ve denemeye konu olan diğer malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

### 6.11.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.11'de özetlemiştir.

Çizelge 6.11 Deneme XI'da Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Toz Presleme	
ÜRÜN	Yer karosu	
İŞ PARÇASI	Seramik Tozu	
Zimba Malzemesi	1.2080 (X210 Cr12)	Vanadis 10
Sertlik	60-61 HRC	62-64 HRC
Ömür	45 Gün	90 Gün
Hasar Mekanizması	Abrasif Aşınma	Abrasif Aşınma
Aşınma Miktarı*	600.000 baskıda 0.4 mm	600.000 baskıda 0.2 mm

### 6.11.4 Değerlendirme

Çizelge 6.11'den de görülebileceği gibi, Vanadis 10 ile aşınma yarı yarıya azaltılmış olup kalıp ömrü ikiye katlanmıştır. Kalıp aşınarak tükenene kadar durmaksızın sürekli çalışmasının talep edildiği ve kalıp değiştirme sürelerinin çok uzun olduğu seramik tozu karşısında çalışan bir uygulama için bu sonucunun dahi büyük bir başarı olduğu ifade edilebilir.

\* Aşınma Miktarları, Toprak Seramik Karo Fabrikası Mekanik Atelye Şefi Yaşar Altınkaya tarafından ölçülmüş olup, 09.05.2001 tarihli ve 390 sayılı faks ile bildirilmiştir.

Açıktır ki, 1.2080 (X210 Cr12)'e karşı 3-4 HRC daha yüksek bir sertlikte kullanılabilmiş olması Vanadis 10'dan imal edilmiş olan bu kalıbın performansı üzerinde etkili olmuştur. 1.2080 (X210 Cr12)'in daha yüksek sertliklerde kullanılması, kırılma yada ağız dökülmesi riski nedeniyle mümkün olmamasına karşın, toz metalurjik bir malzeme olan Vanadis 10'un yüksek tokluğa sahip olması, sertliğinin de yüksek tutulabilmesine olanak sağlamıştır. Ancak Vanadis 10'un asıl getirdiği asıl avantaj, Şekil 2.17'de görel olarak kıyaslandığı üzere yüksek abrasif aşınma direncidir.

Mevcut performansı daha da yükseltebilmek için Vanadis 10'un sertliğinin yükseltilmesi ve/yada sıfır altı işlemi ile yapısındaki dönüşmemiş östenitin dönüştürüldükten sonra menevişlenmesi denenebilir.

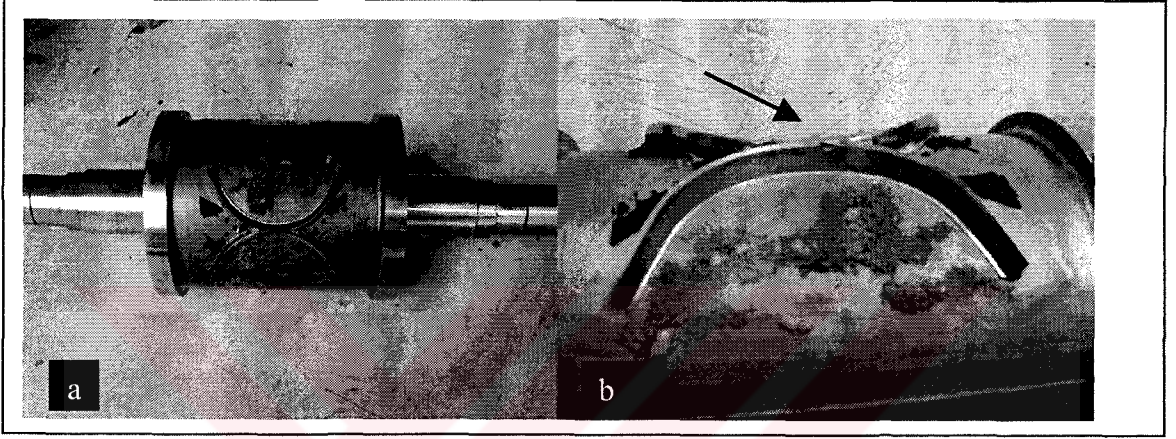




## 6.12 Deneme XII: Takviyeli Kağıt Kesmede Farklı Çelik Denemeleri

### 6.12.1 Uygulama

UTS işletmesinde, çocuk bezi üretiminde kullanılmak üzere imal edilen silindirik kesme bıçaklarında ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.13a'da elyaf katkılı plastik ve kağıttan oluşan tabaka halindeki malzemeden kesim yapan denemeye konu olan silindirik bıçak gösterilmektedir.



Şekil 6.13 Deneye Konu Olan Bıçak (a) ve Bıçak Ağzında Atma (b)

### 6.12.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

1.3343 yüksek hız çeliğinden imal edilmiş olan takımların, Şekil 6.13b'de siyah ok ile işaretlenen bölgede görüldüğü üzere kesici ağızlarında meydana gelen atmalar esas olarak takım ömrünü belirlemektedir. Ayrıca bıçağın kesici ağızlarında abrasif aşınmanın da olduğu saptanmıştır.

Bu durumdan hareketle hem abrasif aşınma direnci yüksek hem de atmalara karşı tokluğu yüksek bir dizi takım çeliğinin denenmesine karar verilmiştir. Bu her iki özelliği de bünyesinde barındıran çelik türü toz metalurjik çelikler olduğu için özel olarak bu tür çeliklerin denenmesi tercih edilmiştir.

Denenen çelikler içinde seçilen Böhler K190, malzeme no 1.2380 soğuk iş takım çeliğinin toz metalurjik olarak üretilmiş halidir. Vanadis 4 ve 10 ise UTAB tarafından üretilmiş özgün bileşimli toz metalurjik çeliklerdir. Bu çeliklerin ve 1.3343 yüksek hız çeliğinin kimyasal bileşimleri bu çalışmada Çizelge 2.4'de verilmiştir. Vanadis 4 ve 10 ile 1.3343'ün aşınma dirençleri ve diğer teknolojik özellikleri ise görece olarak Şekil 2.17'de kıyaslanmıştır. (Bu malzemenin ve denemeye konu olan diğer malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için

lütfe ekler bölümüne bakınız.)

Ayrıca, abrasif aşınma yanında adhesif aşınmanın da bıçakların aşınması üzerinde etkili olabileceği düşünülerek yüzey pürüzlülüğü son derece düşük bir kaplama olan Ark-PVD CrN kaplamanın etkisi de denenmiştir.

### 6.12.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.12’de özetlemiştir.

Çizelge 6.12 Deneme XII’de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Kağıt Kesme				
ÜRÜN	Çocuk Bezi				
İŞ PARÇASI	Fiber Takviyeli Kağıt				
Bıçak Malzemesi	Vandis 10	Vanadis 4	K190	1.3343	
Sertlik	62-64 HRc	61-62 HRc	62-64 HRc	62-64 HRc	
Yüzey İşlemi	Yok	Yok	Yok	Yok	CrN
Ömür	15 Milyon	10 Milyon	7.5 Milyon	1 Milyon	2.5 Milyon
Hasar Mekanizması	Abrasif Aşınma	Abrasif Aşınma	Abrasif Aşınma	Abrasif Aşınma, Atma	Abrasif Aşınma, Atma

### 6.12.4 Değerlendirme

Toz metalurjik malzemeler yüksek toklukları sayesinde atma sorununu çözmüş ve önemli performans artışları sağlamışlardır. Çizelge 6.12’de görülen sonuçlar aynı zamanda, bu uygulamada abrasif aşınmanın temel belirleyici hasar mekanizması olduğunu da teyit etmektedir. Yani denenen malzemeler içinde en yüksek abrasif aşınma direncine sahip olan soğuk iş takım çeliği olan Vanadis 10, en yüksek performansı da vermiştir. Öte yandan, 1.3343’e göre toz metal olmaları dolayısıyla toklukları yüksek olan diğer malzemelerde de atma görülmediği kullanıcı tarafından belirtilmiştir. Atmanın olmadığı bu durumlarda ömürlerde sıçramalar tespit edilmiştir.

Kaplamanın ise kaplamasız durumuma karşı kayda değer bir fayda sağladığını söylemek

mümkün olsa da 1.3343'ün görece düşük tokluğu nedeniyle atmaların ömrü belirlediği görülmektedir.

Bir sonraki aşamada Vanadis 10 üzerine kaplama yapılarak performans artışı sağlanmaya çalışılmalıdır.

Başka bir performans arttırıcı çalışma ise Şekil 2.16'da görel olarak kıyaslandığı üzere Vanadis 10'dan daha düşük bir tokluk seviyesine sahip olmakla birlikte aşınma direnci daha yüksek olan PB ile üretilmiş Weartec gibi iri ve sert karbürler içeren özel takım çeliklerinin denenmesi olabilir.



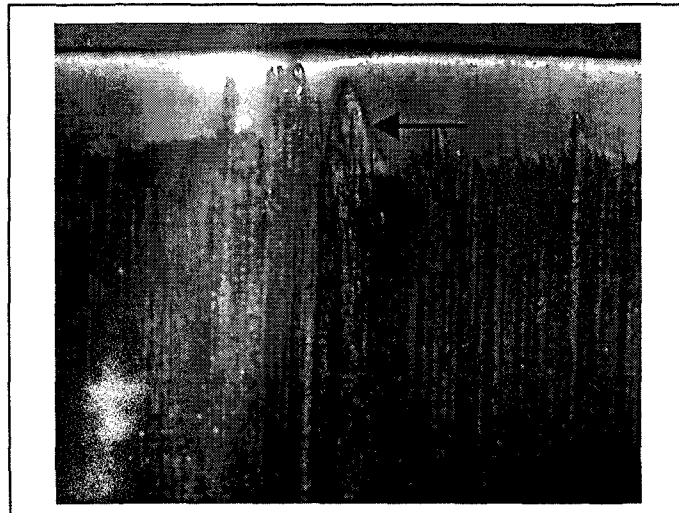
### 6.13 Deneme XIII: Soğuk Dövme Zımbasında Isıl İşlem Ortamının Etkisi

#### 6.13.1 Uygulama

Oymak Oto işletmesinde, soğuk dövme kalıbında zımba olarak kullanılmak üzere tuz banyosunda 61 HRC'ye sertleştirilmiş Vanadis 4 soğuk iş takım çeliğinden imal edilen şekilli silindirik takımlarda ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.14'de ilgili zımbalar gösterilmiştir.



Şekil 6.14 Deneye Konu Olan Zımbalar



Şekil 6.15 Zımbalarda Sıvanma



### 6.13.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Şekil 6.14 ve 15'de siyah oklar ile işaretlenen bölgeler, soğuk dövme sırasında malzeme akışının en yoğun olduğu ve bu yüzden de sıvanmanın yaşandığı bölgelerdir. Sıvanmanın etkisiyle bu bölgeler çatlak başlangıcı olarak davranmakta ve zımbaların kırılmasına yol açmaktadır. Üç boyutu da şekilli bir zımba olduğu için tel erozyonla kesilemeyen ancak ve ancak sertleştirme öncesi yumuşak tavlı durumda işlenebilen bu zımbaların tuz banyosu ile sertleştirilmesi sırasında ve sonrasında yüzey özelliklerinin bozulduğu, parçaların tuz banyosu için kabul edilebilir ölçüde okside olduğu görülmektedir.

Yüzeyden Hv0.1 ile yapılan mikro sertlik ölçümü de göstermiştir ki, zımba yüzeyinin taşlanmamış bölgelerindeki sertliği düşüktür ve 600 ilâ 650 Hv0.1 aralığında ölçülmüştür. Taşlanmış bölgelerde ise sertliğin 720-730 Hv0.1 olduğu tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık 100 Hv'lik bir sertlik kaybının yüzeyde bulunduğunu göstermektedir. Yapılan metalografik çalışmalarda ise bu sertlik kaybını teyit edici bir yüzey görüntüsüne rastlanılamamıştır.

Parçaların bir banyodan diğerine taşınması sırasında dekarbürize olması tuz banyolarındaki ısı işlemlerde her zaman mümkündür. Normal koşullarda tuz banyosu ısı işlemi sonrası kalıpların çalışan yüzeylerinin taşlanması yada parlatılması gereklidir. Ancak bu uygulamada zımba profiline uygun bir taşlama mümkün değildir. Bir ısı işlem hatası olarak tanımlanması da mümkün olmayıp, tuz banyosundaki ısı işlemin doğal bir sonucu sayılması gereken yüzey kalitesindeki bu bozukluğun, yani düşük yüzey sertliğinin, ara-yüzey özelliklerine dayanan sıvanmanın ortaya çıkmasına sebep olduğu düşünüldüğünden, talaşlı işleme sonrasında zımbaların bu kez de vakum sertleştirme ile sertleştirilmeleri ve ısı işlem sonrasında herhangi bir yüzey temizleme işlemine tabii tutulmadan kullanıma alınmalarına karar verilmiştir.

### 6.13.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.13’de özetlemiştir.

Çizelge 6.13 Deneme XIII’de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Soğuk Dövme	
ÜRÜN	Otomotiv Parçası	
İŞ PARÇASI	İmalat Çeliği	
Zimba Malzemesi	Vandis 4	
Isıl İşlemi	Tuz Banyosu	Vakum Fırını
Sertlik	60 HRC	60 HRC
Ömür	2.000	20.000
Hasar Mekanizması	Sıvanma ve Atma	Aşınma

### 6.13.4 Değerlendirme

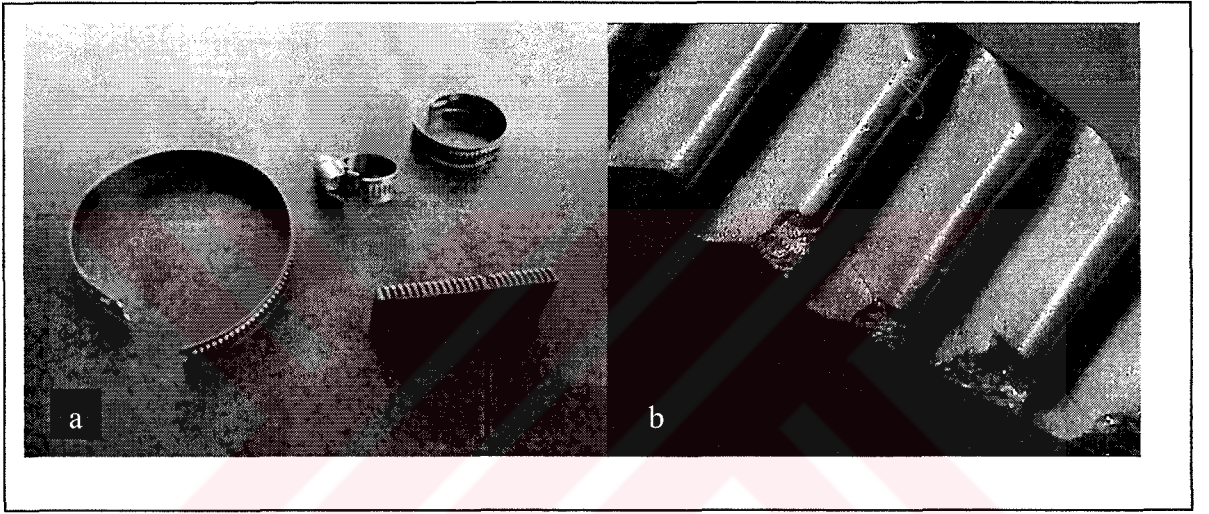
Çizelge 6.13’den de görülebileceği gibi, vakum fırınında yapılan ısıl işlem sonucunda sıvanma ertelenmiş ve zimba aşınma neticesinde ömrünü tamamlamıştır. Bu da yaklaşık 10 katlık bir ömür artışına karşılık gelmiştir.

Vanadis 4 gibi toz metalurjik çeliklerin korozyona ve dekarbürüzyona karşı duyarlı oldukları düşünülerek, bu malzemelerinin özellikle (bu örnekte olduğu gibi) sıvanmaya yada abrasif aşınmaya çalışan, başka bir ifade ile yüzey özelliklerinin belirleyici olduğunu uygulamalarda ısıl işlemlerinin vakum fırınlarında yapılması tercih edilmelidir. Bu çalışmada Şekil 2.2’de belirtildiği üzere, yüzey kalitesinin malzemenin yorulma dayanımında ne denli büyük kayıplara yol açabildiği düşünülerek (Sandberg, 1997), yüzey kalitesinin belirleyici olduğu durumlarda tuz banyosu ısıl işleminden kaçınılmalı yada tuz banyosundaki ısıl işlem sonrası, çalışan yüzeyler mutlaka işlenmelidir.

## 6.14 Deneme XIV: Ovalama Tarağında Ağız Dökülmesini Engellemek için TM Çelik Denemesi

### 6.14.1 Uygulama

Kale Makine işletmesinde, paslanmaz çelik kelepçe üretiminde kullanılmak üzere imal edilen ovalama taraklarında ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.16'da üretilen kelepçeler ve bu kelepçelerde diş açmak için kullanılan bir ovalama tarağı görülmektedir. Ovalama taraklarının dişleri kütük halde sertleştirilmiş olan 1.2379 (X155CrVMo12 1) soğuk iş takım çeliğinden tel erozyon ile kesilerek oluşturulmaktadır.



Şekil 6.16 Deneye Konu Olan Ürün, Takım (a )ve Hasar (b)

### 6.14.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Şekil 6.16a'da ovalama tarağının siyah ok ile işaretlenen bir dişinde görüldüğü gibi ağız dökülmesi oluşmuştur. Ovalama taraklarının ömrünü belirleyen esas hasar mekanizması dişlerde görülen bu ağız dökülmesidir. Ancak, Şekil 6.16b'den görülebileceği üzere diş dipleri incelendiğinde adhesif aşınmanın da mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Bu saptamadan hareketle öncelikle, yüzey özellikleri geliştirilebilmesi için yüzey pürüzlülüğü düşük bir kaplama olan Ark PVD yöntemi ile tarakların CrN kaplanmasına karar verilmiştir. Diğer yandan ise yüksek tokluğu sayesinde hem adhesif aşınma direnci yüksek hem de ağız dökülmesine karşı direnci yüksek bir çeliğin bu uygulamada ayrıca denenmesine karar verilmiştir. Denenen çelik Vanadis 4 olup, 1.2379 ile birlikte kimyasal bileşimi bu çalışmada Çizelge 2.4'de verilmiş olup, Vanadis 4 ile 1.2379'un ağız dökülmesine karşı dirençleri ve diğer teknolojik özellikleri ise görece olarak Şekil 2.17'de kıyaslanmıştır. (Bu malzemelerin

özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

Aynı zamanda, tel erozyon ile dişlerin kesimi sonrasında, bir gerilim giderme menevişi ile erozyon hasarının minimuma indirilmesi de hedeflenmiştir.

### 6.14.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.14’de özetlemiştir.

Çizelge 6.14 Deneme XIV’de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Ovalama			
ÜRÜN	Kelepçe Üretimi			
İŞ PARÇASI	316 Kalite Paslanmaz Çelik			
Malzeme	1.2379 (X155CrVMo12 1)		Vanadis 4	
Sertlik	52-54 HRC	52-54 HRC	60 HRC	60 HRC
Yüzey İşlemi	Yok	CrN	Gerilim Giderme	yok
Ömür	2.000	2.000	100.000	40.000-60.000
Hasar Mekanizması	Ağız Dökülmesi	Ağız Dökülmesi	Aşınma	Aşınma

### 6.14.4 Değerlendirme

Çizelge 6.14’den de görülebileceği gibi, ağız dökülmesinin temel belirleyici hasar mekanizması olduğu bu uygulamada, CrN kaplanması sorunu çözememiştir.

Buna karşın sertliği yükseltilerek kullanılan Vanadis 4, ağız dökülmesini engellemiş ve takımın ömründe 50 kata varan bir artış sağlanabilmiştir. Taraklarda müsaade edilebilen en yüksek aşınma parça ölçülerinde 0.05 mm’lik bir değişime karşılık gelmekte olup Vanadis 4’den imal edilmiş taraklarda, yaklaşık 100.000 adetlik üretimden sonra bu düzeyde bir aşınma tespit edilmiş ve takım ömrünü doldurmuştur.

Vanadis 4’ün esas olarak bu uygulamada başarılı olmasının nedeni, darbe enerjisi olarak 80 j/cm<sup>2</sup>’ye varan yüksek tokluğuna (Bkz. Şekil 2.13) bağlı olarak sahip olduğu yüksek yorulma



direncidir. Yüksek yorulma direnci sayesinde ağız dökülmesinin engellenebilmiş olduğu görülmektedir.

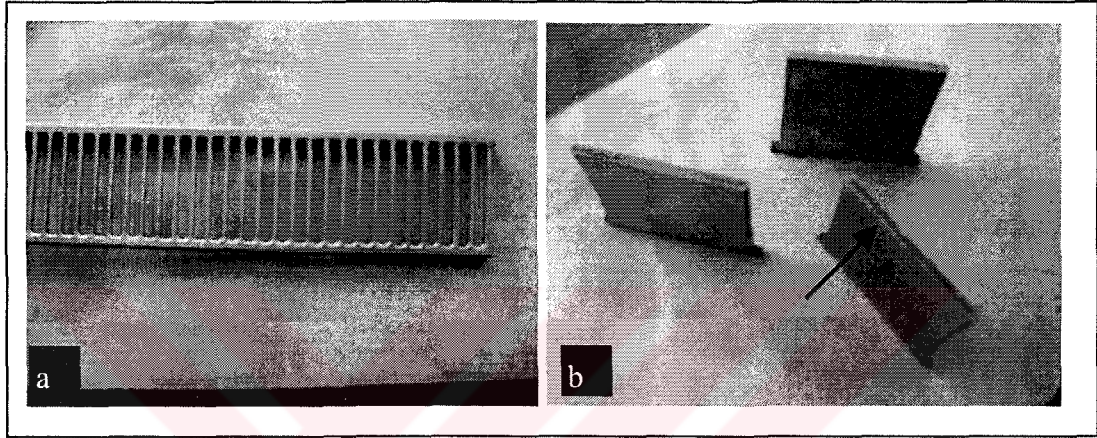
Ağız dökülmesi nedeniyle sertliği düşürülerek kullanılan 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a yapılan kaplamanın ise bir yararı olmamıştır Bu durum da göstermektedir ki, ileri ince film kaplama teknikleri alt yapı uygulama için yeterli değilse yararlı olamamaktadır.

Öte yandan, gerilim giderme yapılmadığında Vanadis 4'ün bu uygulamadaki ömrünün yaklaşık % 50 oranında azaldığı görülmektedir. Gerilim gidermenin temel işlevi tel erozyon esnasında yüzeyde oluşan iç gerilmeleri gidermesi ve aşırı sertleşmiş tabakayı menevişlemesidir. Buradan erozyon sonrası yapılan gerilim giderme işleminin, başta tokluk (ve tokluğa bağlı olarak yorulma) olmak üzere malzemenin yüzey özelliklerine geliştirici etkide bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu da daha önceki bölümlerde tartışıldığı üzere, yorulma dayanımının yüzey özellikleri üzerine ne denli belirleyici olabileceğini bir kez daha göstermiştir (Sandberg, 1997), (Tabe, 1998).

## 6.15 Deneme XV: Sıvanmayı Engellemek için TM Çelik Denemesi

### 6.15.1 Uygulama

Bursa Mastaş ve İkitelli Feral Kalıp işletmelerinde, panel radyatör kapağı üretiminde kullanılmak üzere imal edilen kesme ve kıvrıma zımbalarda ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.17’de üretilen radyatör kapağı ve malzeme no 1.2379 (X155CrVMo12 1) zımbalar görülmektedir.



Şekil 6.17 Deneye Konu Ürün (a) ve Zımbalar (b)

### 6.15.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Şekil 6.17’de siyah ok ile işaretlenen zımbalarda sıvanma oluşmaktadır\*. Kesme ve kıvrımayı aynı operasyonda gerçekleştiren bu zımbaların yüksek devirli çalışmaları nedeniyle, taşlama ve temizleme için presin durdurulması büyük üretim kayıplarına yol açtığından, mevcut aşınma ve sıvanmayı ertelemek için (çentiksiz numunede) darbe enerjisi olarak  $80 \text{ j/cm}^2$ ’ye varan (Hatman, 2000), yüksek tokluk özelliğine haiz Vanadis 4 toz metalurjik soğuk iş takım çeliğinin bu uygulamalarda denenmesine karar verilmiştir. 1.2379’un (çentiksiz numunede) darbe enerjisi ise ancak  $15 \text{ j/cm}^2$  dolayındadır (Schneider vd., 20002). Bu nedenle 1.2379’a karşı denemesi yapılmasına karar verilen çelik Vanadis 4 olup, 1.2379 ile birlikte kimyasal bileşimi bu çalışmada Çizelge 2.4’de verilmiştir. Vanadis 4 ile 1.2379’un ağız dökülmesine karşı dirençleri ve diğer teknolojik özellikleri ise görece olarak Şekil 2.17’de kıyaslanmıştır. (Bu malzemelerin özelliklerinin detaylı bilgileri için lütfen ekler bölümüne bakınız.)

\* Feral Kalıp, Teknik Müdürü Ali Yiğit ile yapılan özel görüşmede belirtildiği üzere.

### 6.15.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar izelge 6.15’de özetlemiştir.

### 6.15.4 Değerlendirme

Çizelge 6.15’den de görülebileceği gibi, Vanadis 4 kullanımı ile sıvanma engellenmiş, böylelikle de takımın aşınana kadar çalışabilir halde kalması sağlanmıştır. Üründe 0.2 mm apak oluşana kadar zımbaların taşlanması gerekmemektedir. Bu koşulu Vanadis 4 zımbaların sağladığı baskı adedi ile elde edilen ömür artışı 7 kattan fazladır.

Çizelge 6.15 Deneme XV’de Elde Edilen Sonuçlar

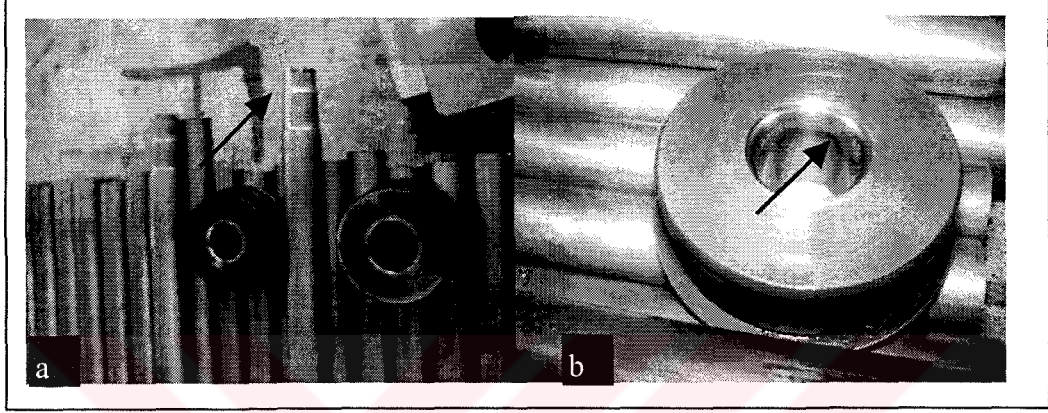
UYGULAMA	Kesme ve Kıvrırma	
ÜRÜN	Panel Radyatör Kapağı	
İş PARÇASI	6113 Ereğli Kalite 1.2 mm elik Sac	
Zimba Malzemesi	1.2379 (X155CrVMo12 1)	Vanadis 4
Sertlik	60-61 HRC	60-61 HRC
Ömür	200.000	1.500.000
Hasar Mekanizması	Sıvanma	Aşınma

Bu farkın oluşmasındaki temel neden ise, Vanadis 4’n yüksek tokluğu ve mukavemetine bağlı olarak ortaya çıkan sıvanma direncidir. Kalıp, herhangi bir sıvanma sorunu yaşanmaksızın aşınma ile ömürlerini tamamlamıştır.

## 6.16 Deneme XVI: Sıvanmayı Engellemek için Geleneksel Yüzey İşlemi: Nitrürleme

### 6.16.1 Uygulama

Kardeşler Otomotiv işletmelerinde, otomotiv sektöründe kullanılmak üzere boru ağızlarına form vermek için imal edilen şekillendirme takımı çalışmamıştır. Şekil 6.18b'de ilk birkaç baskıda kullanılamaz duruma gelen takım ve form verdiği boru ağızları (b) görülmektedir.



Şekil 6.18 Deneye Konu Ürün (a) ve Takım (b)

### 6.16.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Şekil 6.18b'de siyah ok ile işaretlendiği gibi takımın yüzeyinde sıvanma oluşmaktadır. Sıvanma takım hemen hemen hiç çalışmadan (3-4 adetlik üretimden sonra) ortaya çıkmaktadır. Uygulama, dönerek basınç altında form verme olduğu için ortaya çıkan sürtünme ve dolayısıyla da sıcaklık mikro kaynaklara yani sıvanmaya yol açmaktadır.

Bu nedenle, sıvanmayı engellemek takımın yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve sürtünmenin azaltılması hedeflenmiştir. Buna yönelik olarak, takım parlatılarak sıvanmanın etkileri ortadan kaldırıldıktan sonra geleneksel bir yüzey sertleştirme işlemi olan nitrürleme yapılmasına karar verilmiştir. Gaz nitrürleme ardından yeniden bir parlatma yapılarak yüzey kalitesi korunmuştur.

İkinci aşamada ise aynı şekilde nitrasyon ve parlatmanın ardından yüzeydeki sürtünmeyi daha da azaltmaya yönelik olarak Ark-PVD CrN kaplaması yapılmıştır.

### 6.16.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.16'da özetlemiştir.



#### 6.16.4 Değerlendirme

Çizelge 6.16'dan da görülebileceği gibi, nitrüleme ile kalıp yüzey sertliği arttırıldığında ve parlatma ile sürtünme katsayısı düşürüldüğünde sıvanma engellenmiştir. Böylelikle de hiç çalışmayan takımın aşınana kadar çalışabilir hale gelmesi sağlanmıştır.

Görülmektedir ki, nitrüleme gibi geleneksel yüzey işlemleri de oldukça yüksek performans artışları sağlayabilmektedir. Özellikle bu örnekte olduğu gibi yüksek basınç altında çalışan üniform takımlarda, özel malzeme yada kaplamalara geçilmeden önce geleneksel çelik ve ısıtma işlem yöntemleri ile de sonuç alınabilmektedir.

Öte yandan, nitrülenmiş ve parlatılmış takım üzerine yapılan CrN kaplama da ömrü 5 kat daha fazla arttırmış olup, bu çalışmada Bölüm 3.5'de daha önce tartışıldığı üzere kaplamanın etkisi de benzer biçimde yüzey sertliğini arttırması ve sürtünme katsayısını düşürmesi olarak ifade edilebilir. Heikkilä ve Slycke (2002), tarafından sıvanma üzerine yapılan çalışmalarda da gerek toz metalurjik malzemelerin gerekse de PVD ve CVD kaplamaların, bu hasarın geciktirilmesindeki olumlu katkıları, bu endüstriyel uygulama denemesi ile de teyit edilmiştir.

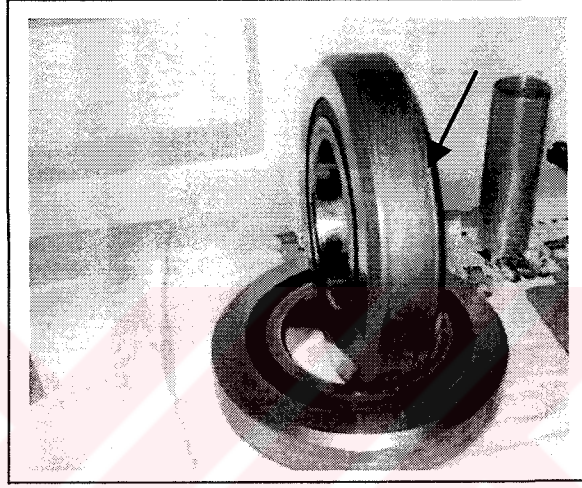
Çizelge 6.16 Deneme XVI'da Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Form Verme		
ÜRÜN	Boru		
İŞ PARÇASI	St 37 3 mm Çelik Boru		
Takım Malzemesi	1.2379 (X155CrVMo12 1)		
Sertlik	60-61 HRC	60-61 HRC	60-61 HRC
Yüzey İşlemi	Yok	Nitrüleme ve Parlatma	Nitrüleme ve Parlatma + CrN
Ömür	3-5 Adet	100.000	500.000
Hasar Mekanizması	Sıvanma	Aşınma	Aşınma

## 6.17 Deneme XVII: Aşınmayı Engellemek için Püskürtme Biriktirme ile Üretilmiş Takım Çeliği Kullanımı Denemesi

### 6.17.1 Uygulama

Yücel Boru işletmelerinde, çelik profil üretiminde kullanılan ve şiddetli abrasif aşınma ile yüzey yorulması görülen ve Şekil 6.19'da gösterilmiş olan türk kafalarında ömür arttırıcı bir çalışma yapılmıştır.



Şekil 6.19 Deneye Konu Olan Türk Kafaları

### 6.17.2 Belirleyici Hasar Mekanizması ve Geliştirilen Öneriler

Şekil 6.19'da siyah ok ile işaretlenen bölgelerde takımın yüzeyinde abrasif aşınma meydana gelmektedir. Ayrıca üretimin ilerleyen aşamalarında yüzey yorulmasına bağlı olarak yüzeyde dökülmeler de zaman zaman görüldüğü kullanıcı tarafından belirtilmektedir. Normal koşullarda 1.2379 (X155CrVMo12 1)'dan imal edilem Türk kafaları profil üretim hattında bu sorunların en yoğun yaşandığı istasyonu oluşturduğundan üretim hızını da belirlemektedir.

Bu nedenlerle bu denemede; yüzey yorulmasının artışına neden olmadan aşınma direncinin arttırılabilmesi için tokluğu benzer seviyede ancak aşınma direnci içerdiği yüksek karbür yapıcılar nedeniyle daha yüksek olan yeni nesil bir takım çeliğinin kullanılmasına karar verilmiştir. Denenen yeni çelik UTAB ürünü olan Weartec isimli PB ile üretilmiş bir soğuk iş takım çeliğidir ve referans malzeme olan 1.2379 ile kimyasal bileşimi bu çalışmada Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Sandberg ve Jönson (2002), yapmış oldukları çalışmalarda, WearTec'in gerek abrasif aşınma direncinin gerekse de tokluğunun 1.2379'a göre daha üstün olduğunu saptamışlardır. Bu

çalışmada, aynı sertlikteki bir delme uygulamasında Weartec'in, 1.2379'a oranla %75 daha az aındığı belirtilmektedir. Öte yandan, 60 HRc sertliğindeki her iki malzemenin çentiksiz darbe enerjileri 1.2379 için 13 J iken, Weartec için bu değer 18 J seviyesindedir.

### 6.17.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.17'de özetlemiştir.

### 6.17.4 Değerlendirme

Çizelge 6.17'den de görülebileceği gibi, bu çalışmada Bölüm 3.4'de tartışılan bir ısıl işlem olan sıfırlı işlemi yapılmamasına karşın WearTec'in 1.2379 (X155CrVMo12 1)'a karşı 3 kat daha yüksek taşlama ömrü sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 6.17 Deneme XVII'de Elde Edilen Sonuçlar

UYGULAMA	Form Verme	
ÜRÜN	Profil İmalatı	
İŞ PARÇASI	St 37 2 mm Çelik Boru	
Takım Malzemesi	1.2379 (X155CrVMo12 1)	WearTech
Sertlik	62-63 HRC	63-65 HRC
Özel İşlem	Sıfır Altı İşlemi	yok
Taşlama Ömrü	100.000 metre	300.000 metre
Hasar Mekanizması	Abrasif Aşınma	Abrasif Aşınma

Malzemenin yüksek aşınma direnci nedeniyle sağlanan bu ömür artışı aynı zamanda daha düşük aşınma anlamına da doğal olarak gelmektedir. Aşınma miktarının düşmesine şüphesiz sertliğin artırılması da katkıda bulunmuştur ancak, yeni malzemenin bu sertlikte kullanılabilmesini sağlayan yine onun yüksek tokluğudur. İleriki çalışmalarda yeni malzemeye de sıfır altı işlemi yapılarak yapıdaki muhtemel artık östenitin dönüşümü sağlanarak aşınma direncinin daha da artırılması denenmelidir. Profil üretiminde üretim miktarlarının yüksek olması nedeniyle bu yeni malzemenin oldukça yüksek bir performans gösterdiği düşünülebilir.

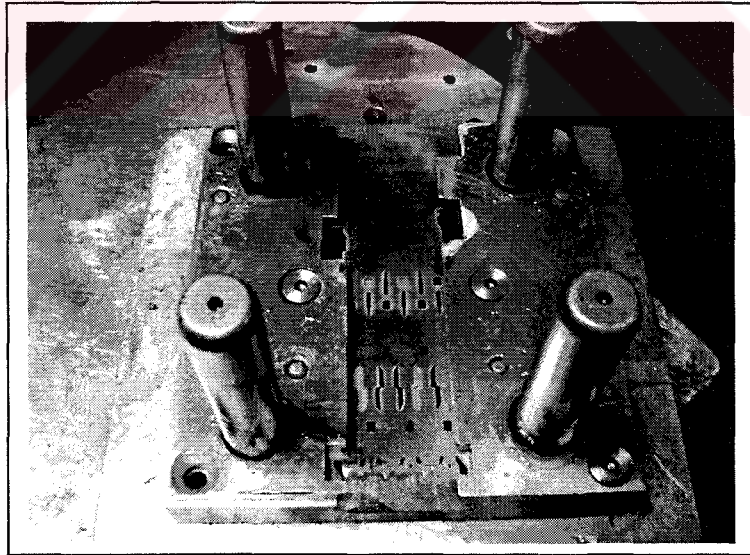
## 7. PERFORMANS HESAPLAMA DENEMELERİ

Bu bölümde, çalışmada 4. Bölüm içinde ortaya konan model ekseninde kimi kalıplarda farklı çelikler üzerinden bir karşılaştırmaya gidilerek performans hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ortaya konan bu modelin her türlü soğuk iş uygulamasına adapte edilebilir ve uygulanabilir olması nedeniyle, denemeler birkaç örneğin buraya taşınması ile sınırlı tutulmuştur.

### 7.1 Performans Denemesi I

TV'ler için soğutucu bağlantı ayakları üretiminde kullanılan ve Şekil 7.1'de gösterilen kesme kalıbında iki farklı takım çeliği denenmiştir. 1.2379 (X155CrVMo12 1) ve Vanadis 4 soğuk iş takım çelikleri kıyaslanarak performans analizi yapılmıştır.

Çizelge 7.1'de, denemede elde edilen sonuçlar üzerinden kalıpta performans analizi yapılarak performans artışı saptanmıştır. Çizelge 7.1'den de görülebileceği üzere, 1.2379 (X155CrVMo12 1) kullanıldığında parça başına kalıp maliyeti 4.789.- TL ve Vanadis 4 kullanıldığında ise sadece 713.- TL'dir. Bu da 4789/713 oranı ile yaklaşık kalıp performansının altı kat arttığı anlamına gelmektedir.



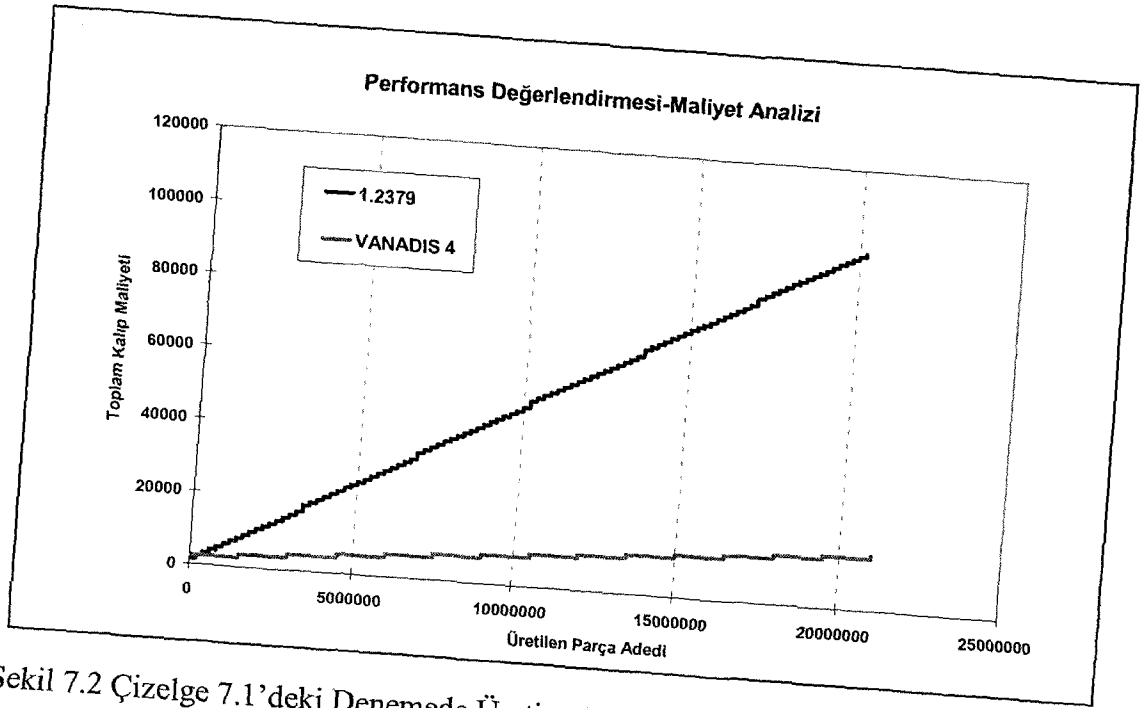
Şekil 7.1 Çizelge 7.1'de Performans Kıyaslaması Yapılan Kalıp



Çizelge 7.1 1 mm Saç Kesme Kalıbında Performans Analizi

<b>Uygulama:</b>	Kesme		
<b>Firma</b>	Onaysan AŞ		
<b>Takım Türü</b>	Kalıp		
<b>İş Parçası</b>	St 37		
<b>Malzeme Kalınlığı</b>	1 mm		
<b>Kalıp İmalatı</b>			
	<b>Para Birimi</b>	<b>Referans</b>	<b>Deneme</b>
<b>Takım Çeliği Bedeli</b>	Milyon TL	160	1120
<b>Çelik Kalitesi</b>		1.2379	VANADIS 4
<b>Fiyat Oranı: Deneme / Referans Çelik</b>			7
<b>Oran: Çelik Bedeli/Kalıp Bedeli</b>		0,10	0,44
<b>Kalıp Kullanımı</b>			
<b>Kalıp Bedeli</b>		1600	2560
<b>Kalıp Ömrü/Taşlama</b>		200000	1500000
<b>Her Kalıp için Taşlama Adedi</b>		16	32
<b>Taşlama Süresi, h</b>		3	3
<b>Taşlama Maliyeti/Saat</b>		50	
<b>Duruş Maliyeti/Saat</b>		250	
<b>Taşlama ve Duruş Maliyeti</b>		900	900
<b>Sipariş Adedi</b>			2000000
<b>Sipariş için Gerekli Kalıp Sayısı</b>		6	1
<b>Kalıp Değişirme Maliyeti M TL/h</b>			30
<b>Duruş ve Kalıp Değişirme maliyeti M TL/h</b>			280
<b>Kalıp Değişirme Süresi, h</b>			1
<b>Kalıp Değişirme Maliyeti</b>		1880	2840
<b>Toplam Duruş</b>		287	39
<b>Gerekli Taşlama Adedi</b>		94	13
<b>Toplam Kalıp Maliyeti/Sipariş</b>		95600	14260
<b>Bedel Farkı</b>	Milyon TL		-81340
<b>PERFORMANS</b>			
<b>Milyon TL /ürün</b>		0,004780	0,000713

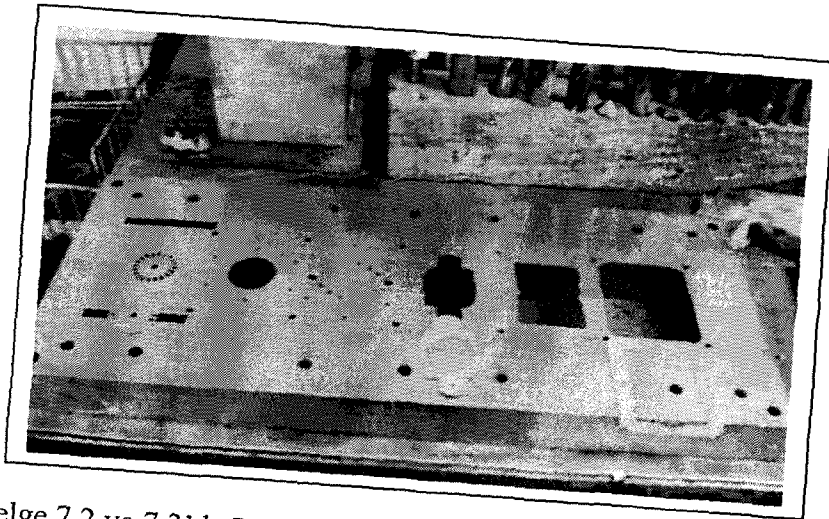
Şekil 7.2'de ise üretim adedine bağlı olarak her iki durumda ortaya çıkan toplam kalıp maliyetleri kıyaslanmıştır.



Şekil 7.2 Çizelge 7.1'deki Denemede Üretim Adedine Bağlı Olarak Toplam Kalıp Maliyetlerinin Kıyaslanması

## 7.2 Performans Denemesi II

Davlunbaz motorları için rotor sacı üretiminde kullanılan ve Şekil 7.3'de gösterilen laminasyon kalıbında iki farklı takım çeliği denenmiştir. 1.2080 (X210 Cr12) ve 1.2436 (Sverker 3) soğuk iş takım çelikleri kıyaslanarak performans analizi yapılmıştır. Çizelge 7.1'de, denemede elde edilen sonuçlar üzerinden kalıpta performans analizi yapılarak performans artışı saptanmıştır.



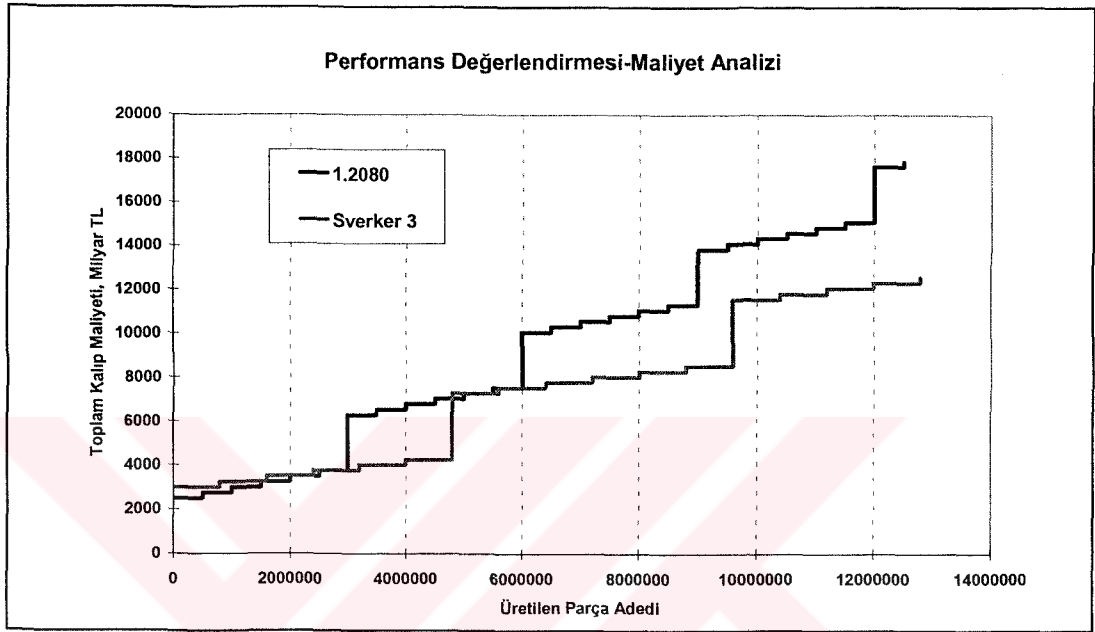
Şekil 7.3 Çizelge 7.2 ve 7.3'de Performans Kıyaslaması Yapılan Laminasyon Kalıbı

Çizelge 7.2 0.60 mm Laminasyon Kesme Kalıbında Performans Analizi

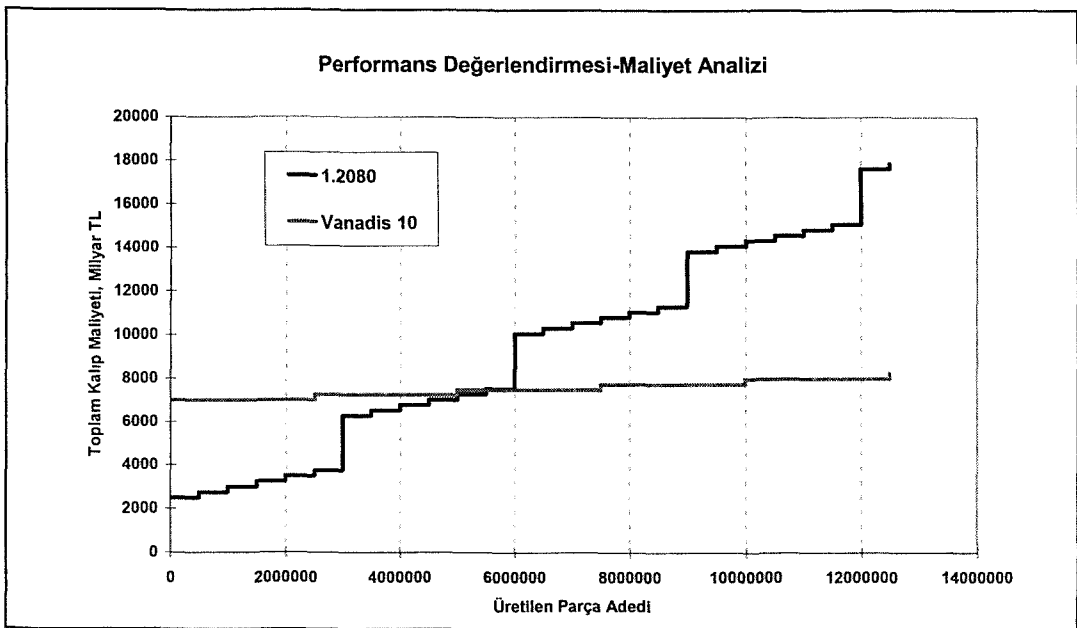
<b>Uygulama:</b>	Laminasyon		
<b>Firma</b>	Hipsan		
<b>Takım Türü</b>	Kalıp		
<b>İş Parçası</b>	Silisli Sac		
<b>Malzeme Kalınlığı</b>	0.60 mm		
<b>Kalıp İmalatı</b>			
	Para Birimi	Referans	Deneme
Takım Çeliği Bedeli	Milyon TL	500	1000
Çelik Kalitesi		1.2080	Sverker 3
Fiyat Oranı: Deneme / Referans Çelik			2
Oran: Çelik Bedeli/Kalıp Bedeli		0,20	0,33
<b>Kalıp Kullanımı</b>			
Kalıp Bedeli		2500	3000
Kalıp Ömrü/Taşlama		500000	800000
Her Kalıp için Taşlama Adedi		5	5
Taşlama Süresi, h		5	5
Taşlama Maliyeti/Saat		50	
Duruş Maliyeti/Saat		0	
Taşlama ve Duruş Maliyeti		250	250
Sipariş Adedi			12000000
Sipariş için Gerekli Kalıp Sayısı		4	3
Kalıp Değişirme Maliyeti M TL/h			30
Duruş ve Kalıp Değişirme maliyeti M TL/h			30
Kalıp Değişirme Süresi, h			1
Kalıp Değişirme Maliyeti		2530	3030
Toplam Duruş		103	60
Gerekli Taşlama Adedi		20	12
Toplam Kalıp Maliyeti/Sipariş		15090	12060
Bedel Farkı	Milyon TL		-3030
<b>PERFORMANS</b>			
Milyon TL /ürün		0,001258	0,001005

Görüldüğü üzere, preste her daim çalışacak bir başka kalıp olduğu yada taşlama esnasında presin bakımı yapılabileceği için duruş maliyeti sıfır kabul edildiğinde bile Sverker 3, 1.2080

(X210 Cr12) karşısında, özellikle 10 Milyon baskıdan sonra oldukça ekonomik bir duruma gelmektedir. Bu baskı adetleri ise laminasyon kalıpları için son derece düşük rakamlar olduklarından Vanadis 10 gibi toz metalurjik malzemelerin bu uygulamada kullanım olanağı oldukça büyüktür. Aynı uygulamada bu olanak denenerek yeni kalıp Vanadis 10'dan yapılmış olup kalıp performansı Örnek III'de değerlendirilmiştir.



Şekil 7.4 Çizelge 7.2'deki Denemede Üretim Adedine Bağlı Olarak Toplam Kalıp Maliyetlerinin Kıyaslanması



Şekil 7.5 Çizelge 7.3'deki Denemede Üretim Adedine Bağlı Olarak Toplam Kalıp Maliyetlerinin Kıyaslanması



### 7.3 Performans Denemesi III

Davlunbaz motorları için rotor sacı üretiminde kullanılan ve Şekil 7.3'de gösterilen laminasyon kalıbında Deneme II'den farklı olarak bu kez de 1.2080 (X210 Cr12) ile Vanadis 10 kıyaslanarak performans analizi yapılmıştır. Çizelge 7.3'de, bu denemede elde edilen sonuçlar üzerinden kalıpta performans analizi yapılarak performans artışı saptanmıştır

Görülmektedir ki, Vanadis 10 ile çok büyük bir performans artışı sağlanabilmiştir. Parça başına maliyet, 1.258 TL'den 667 TL'ye düşürülmüştür. Bu da 1258/667 oranı ile yaklaşık kalıp performansının ikiye katlandığı anlamına gelir.

Bu örnekte 1.2080 (X210 Cr12) yerine Vanadis 10 kullanmakla, Şekil 7.5'deki maliyet analizinden daha açık bir biçimde görülebileceği gibi, ilk başta gerçekleştirilen yatırım maliyeti iki kattan fazla olmakla birlikte 6 milyon baskıdan sonra toplam maliyet 1.2080 (X210 Cr12)'in altına düşmektedir. 10 Milyon baskıdan sonra ise Vanadis 10 kullanılarak yapılan üretimde, bu adede kadar toplam kalıp maliyeti yarı yarıya düşmüş olmaktadır.

Bu bölümde kullanılan ve bu çalışmada Bölüm 4'de tartışılmış bulunan UTAB'ın geliştirdiği performans belirleme yöntemini kullanarak bu örnekleri çoğaltmak ve her bir kalıba uygulamak mümkündür. Amacımız performansın hesaplanabilirliğini göstermek olduğu için, burada bu örneklerin çoğaltılmasına gereksinim duyulmamıştır.

Ancak unutulmamalıdır ki, sipariş adetleri düşük ise geleneksel takım çelikleri burdaki örneklerden yola çıkarsak birkaç bileme ile siparişi üretebiliyor ise, elbette ki, bu durumda geleneksel çeliklerin performansı daha yüksek olacaktır. Bu yüzden kalıp performansını sadece metalurjik özellikler yada işleme vb. değil iktisadi koşullar da etkiler.

## Çizelge 7.3 0.60 mm Laminasyon Kesme Kalıbında Performans Analizi

<b>Uygulama:</b>	Laminasyon		
<b>Firma</b>	Hipsan		
<b>Takım Türü</b>	Kalıp		
<b>İş Parçası</b>	Silisli Sac		
<b>Malzeme Kalınlığı</b>	0.60 mm		
<b>Kalıp İmalatı</b>			
	Para Birimi	Referans	Deneme
Takım Çeliği Bedeli	Milyon TL	500	5000
Çelik Kalitesi		1.2080	Vanadis 10
Fiyat Oranı: Deneme / Referans Çelik			10
Oran: Çelik Bedeli/Kalıp Bedeli		0,20	0,71
<b>Kalıp Kullanımı</b>			
Kalıp Bedeli		2500	7000
Kalıp Ömrü/Taşlama		500000	2500000
Her Kalıp için Taşlama Adedi		5	5
Taşlama Süresi, h		5	5
Taşlama Maliyeti/Saat		50	
Duruş Maliyeti/Saat		0	
Taşlama ve Duruş Maliyeti		250	250
Sipariş Adedi		12000000	
Sipariş için Gerekli Kalıp Sayısı		4	1
Kalıp Değişirme Maliyeti M TL/h		30	
Duruş ve Kalıp Değişirme maliyeti M TL/h		30	
Kalıp Değişirme Süresi, h		1	
Kalıp Değişirme Maliyeti		2530	7030
Toplam Duruş		103	20
Gerekli Taşlama Adedi		20	4
Toplam Kalıp Maliyeti/Sipariş		15090	8000
Bedel Farkı	Milyon TL		-7090
<b>PERFORMANS</b>			
Milyon TL /ürün		0,001258	0,000667

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Soğukta talaşsız şekillendirme kalıplarında bu çalışmada 5. Bölüm’de tartışılan ve saptanan sık rastlanan hasarların kayda değer bir kısmının aşağıda sıralanan olgulardan kaynaklandığı saptanmıştır:

Uygun olmayan kalıp malzemesi seçimi

Hatalı tasarım

Uygun olmayan sertlik seviyesi seçilmesi

Hatalı ısıl işlem

- Düşük soğutma hızları
- Tuz banyosu korozyonu

Hatalı kalıp imalatı

- Bilinçsiz taşlama
- Bilinçsiz erozyon kullanımı
- İşleme izlerinin temizlenmemesi
- Yüksek yüzey pürüzlülüğü

Kullanım Hataları

Yapılan hasar analizi çalışmalarında çoğu durumda yukarıda sıralanan olgulardan birden fazlasına aynı kalıpta rastlanmıştır. Elbette ki, bu hatalardan biri baskın faktör olarak kalıpta hasara yol açmaktadır; ama çoğu durumda da birden fazla hata aynı anda mevcuttur ve bu hatalar birbirlerini tetikleyerek de kalıplarda hasarların daha da erken ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Örneğin, kama kanallarındaki hatalı dizayn form verme makaralarında sıkça görülmekte ve kimi zaman da takımın çatlamasına yol açmaktadır. Öte yandan takımın tokluk kaybına neden olan -ısııl işlemde yetersiz soğutma hızı yada karbür ağı iyi dağıtılamamış takım çeliği kullanımı gibi- uygulamaların, keskin köşeli kama kanalları ile birleşmesi sonucunda da bu form verme makaralarında hasarın çok erken ortaya çıktığı görülmüştür.

Öte yandan giderek yaygın bir kullanım alanı bulan toz metalurjik çeliklerin, ısıl işlem, işleme, taşlama, parlatma gibi imalat kademelerindeki hatalara karşı daha hassas oldukları saptanmıştır. Bu tür çeliklerden performans sağlamanın önkoşulu kalıp imalat kalitesinin artırılmasıdır.

Yapılan çalışmalardan görülmektedir ki, gerek toz metalurjisi gerekse de püskürtme biriktirme gibi yöntemlerle üretilen yeni nesil yüksek tokluk ve yeterli aşınma dayanımına sahip soğuk iş takım çelikleri endüstriyel uygulamalarda kalıp ömürlerini arttırıcı özelliklere

sahiptir. Benzer biçimde Ark-PVD gibi ince film teknolojileri ve nitrürleme gibi geleneksel yüzey işlemleri de kalıp ömürlerinin arttırılmasında başarı ile uygulanabilmektedir.

Ancak, kalıplarda sıkça karşılaşılan hasarların kayda değer bir kısmının tasarım kaynaklı olması ve kalıp imalatı sırasındaki taşlama, erozyon ile işleme yada yüzey kalitesinin yetersizliği gibi faktörlere bağlı olması, bu tür yeni çelik ve yüzey teknolojilerinin kalıplara uygulanmasından evvel çözülmesi gereken sorunlar olduğunu da ortaya koymaktadır. Çünkü bu tür hatalar herhangi bir yeni teknoloji ile değil, mevcut teknolojilerin sağlıklı kullanımı ile ancak ortadan kaldırılabirler. Bu yeni uygulamaların da başarılı olabilmesi için kalıp tasarımı ve imaları ile ısıl işleminin tam ve doğru olarak yapılması gerektiği; bunların yerine getirilemediği durumlarda ise bu yeni uygulamaların hiçbir sonuç vermediği saptanmıştır. Örneğin, yüzeyi tel erozyon ile çok sert ve gevrek hale getirilen biri toz metalurjik diğeri geleneksel iki farklı çelikten imal edilmiş kalıpların ömür ve performansları birbirlerinden farklı olamaz. Ancak bu tür yeni nesil çeliklerin, sahip oldukları yüksek tokluk nedeniyle tasarım hatalarını yada parça dizaynı açısından zorunlu olan keskin köşeli dizaynları tolere edebildikleri görülmüştür.

Öte yandan hem yeni nesil çeliklerin hem de ince film kaplamaların çok farklı özelliklere sahip, çok farklı çeşitleri bulunmaktadır. Hem çelikler hem de kaplama teknolojileri hızla gelişmeye ve bir yandan da eskimeye yani devre dışı kalmaya devam etmektedir.

Bu yüzden, kalıp performanslarını arttırabilmek için öncelikle öngörülen uygulama karşılaşılan yada karşılaşılabilecek hasar mekanizması saptanmalıdır. Daha sonra bu hasarı engelleyecek takım çeliği ve yüzey işlemine karar verilmelidir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ikinci, üçüncü denemeler ile nihai sonuca ulaşılmalıdır. Çünkü çoğu durumda, kalıp tasarımındaki ve imalatındaki hatalar bu ilk denemelerde açığa çıkmakta ve yeni teknolojilerin etkilerinin ortaya çıkmasını engelleyebilmektedir.

Görülmüştür ki, kalıp performansı hesaplanabilir bir değer olup, mutlak olarak kalıp çeliği, ısıl işlemleri yada yüzey işlemine bağlı olmayıp, endüstriyel üretim içinde sipariş miktarları gibi iktisadi koşullar tarafından da belirlenen bir ölçüttür. Düşük imalat sayıları söz konusu olduğunda pek ala geleneksel çelik ve ısıl işlemler yüksek performanslar sağlayabilmektedir. Ancak üretim adetleri arttığında üretkenliği arttırmak ve verimliliği sağlayabilmek için yeni teknolojilerden yararlanılması durumunda kalıp performansları çok büyük tasarruflara yol açabilecek düzeyde arttırılabilmektedir.

Bu yüzden, kalıp performanslarının arttırılabilmesi, ancak sağlıklı imal edilmiş ve sağlıklı



alışan kalıplarda yeni teknolojilerin kullanımı ile sağlanabilmekte ve ekonomik bir üretim gerçekleştirilebilmektedir.



**KAYNAKLAR**

Abdel-Samad A., vd., (2002), "Thermal Sprayed Coatings for Thixoforming Tools", 144-147, International Thermal Spray Conference, E. Lugscheider (Derl.) Papers Presented to the Conference, 4-6 Marz 2002, Essen

Ahlatçı H., Türküz C., Çimenoğlu H., Ürgen M., Kayalı E. S., (1998), "Sertleştirme Isıl İşlemi Görmüş iki Farklı kalitedeki Yüksek Hız Çeliğinden Yapılan Kesici Takımların Performanslarının Karşılaştırılması", 1. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 7-9 Ekim 1998, İstanbul, 25-33

Altena H., (1992), "New Vacuum Furnace Technology with High-Pressure Hydrogen Quenching for Tools and Dies", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 235-245

Anderson, W. T., (1984), "Introduction to Die Tech '84", 1-5, Die Tech'84 Reports, ADCI and DCRF (Derl.) Papers Presented to the Seminar, 1984, Illinois

Atterbury T., (1992), "Vacuum Heat Treatment of Tools and Dies", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 513-527

Bakhshi S. R., Ashrafizadeh F. ve Salehi M., (2001), "Tribological Properties of Borosiliconized Carbon Steels", Proceedings of 2nd Congress of The International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering & 4th ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference in Europe, Vol III, 19-21 Oct. 1998, Florence-Italy, 385-394

Becker H. J., vd., (1987), "Modern Heat Treatment of Tools and Dies", 179-196, Tool Materials for Mold and Dies: Application and Performance, G. Krauss ve H. Nordberg (Derl.) Papers Presented to the conference, 30 Sept.-2 Oct. 1987, St. Charles/USA.

Ben-Salah N. ve Krauss G., (1999), "Nd-Yag Laser Surface Hardening of a PM M3 Steel", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 307-316

Bennani A., vd., (1992), "Tool Steels. Discussion About Heat Treatment, Aspects and Results with Different Processes: Vacuum Technology, Salt Bath, Fluidized Bed", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 443-451

Berns H., vd., (1992), "Fracture Toughness of Ledeburitic Chromium Steels", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 163-175

Böhler Steels, (2003), Erişim Tarihi: 10.06.2003 <http://www.bohlersteels.co.uk/K340.htm> ;  
<http://www.bohlersteels.co.uk/K190.htm>

Broeckmann C., (1999), "Microstructure and Mechanical Properties of Tool Steels", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 49-65

Bryson B., (1997), "Heat Treatment, Selection and Application of Tool Steels", Hanser Gardner Publications, Cincinnati, OH

Capello E., Vedani M., (1999), "Residual Stresses and Microstructure in W-EDM Tool Steels", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 559-566

- Chandrasekaran H., (1999), "HSS for Intermittent Machining and Potential for Development", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 67-82
- Chandrasekaran H., vd., (1999), "Temperature and Thermal Damage During Grinding of Some Tool Steels", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 539-549
- Crucible Service Centers, (2003), Erişilme Tarihi: 10.06.2003  
<http://www.crucibleservice.com/eselector/prodbyapp/tooldie/cpm10vt.html>
- Davis J. R., (Derl.), (1998), "ASM Specialty Handbook: Tool Materials", ASM International
- Ebner R., Leitner H., Jeglitsch F. ve Caliskanoglu D., (1999), "Methods of Property Oriented Tool Steel Design", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 3-24
- Edelstahlwerke, (1984), Bildreihe zur Beurteilung der Karbidverteilung Nr 9
- Everhart J. L., (1964), "Impact and Cold Extrusion of Metals", Chemical Publishing Company, NY
- Fauland H. P., Krenn F., Meyer W. ve Reisl E., (1999), "Development of Horizontal Continuous Casting for Tool Steels and High Speed Steels and its Application", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 237-247
- Frederiksson, G., vd., (1999), "Crack Growth in Cold Work Tool Steels-Influence of Surface Condition, Microstructure and Hardness", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 125-135
- Foller M., (1992), "Manufacture and Application of PVD-Hard Material Layers", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 577-585
- Fischmeister H., Riedl R. ve Karagöz Ş., (1989), "Solidification of High Speed Steels" Met. Trans. 20A: 2133-2148
- Grinder O., (1999), "PM HSS and Tool Steels – Present State of the Art and Development Trends", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 39-47
- Guoan L., vd., (1998), "The Characteristics and Applications of High Wear Resistance Cold Working Die Steel (GM) and its Application", Proceedings Of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds 14-16 April 1998, Shanghai, 120-150
- Guoxue C. vd., (1990), "A Study of Integrated CAD/CAM System for Dies and Moulds", Proceedings Of 1st International Conference on Die&Mould Technology'90, 18-21 May 1990, Shanghai, 311-317.
- Haberling E. ve Rasche K., (1992), "Plasma Nitriding of Tool Steels", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 369-391
- Hakansson G., (1997), "Surface Treatments of Forming Tools", 17-30, Surfaces of Forming Tools, J. Bergström ve T. Ericsson (Derl.) Papers Presented to the Symposium, 28-29 May 1997, Karlstad, Sweden.

- Hatman A., (2000), "Takım Çelikleri El Kitabı", Assab Korkmaz Çelik, İstanbul
- Heikkila I. ve Slycke L., (2002), "Influence of Nitrogen Alloying on Galling Properties of PM Tool Steels", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 217-226
- Hinman C. W., (1941), "Pressworking of Metals", McGraw-Hill Book Company, NY-London
- Högman B., (2002), "Blanking of UHS Steel Sheet", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 203-216
- Jevons J. D., (1967), "The Metallurgy of Deep Drawing and Pressing", 2nd Edition, London
- Jiali Z. ve Zhijian J., (1992), "A New Cold Work Die Steel SRIM ER5", Proceedings of the 2nd International Conference on Die&Mould Technology, 23-25 Sept. 1992, Singapore, 327-336
- Jiali Z., ve diğerleri, (1998), "A Study on Microstructure Precipitates and Wearability of ER5 Steel", Proceedings of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds 14-16 April 1998, Shanghai, 126-133
- Jervis J., Johansson B. ve Norstöm L-A., (1992), "Properties Profile of a New Presswork Tool Steel", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 57
- Johansson B., Jervis R., (2000), "Cold Work Tool Steel for the Automotive Industry" 149-157, Uluslararası Kalıp Çelikleri Semineri, E. Tekin (Derl.) Seminerde Sunulan Bildiriler, 18-20 Ekim 2000, İstanbul
- Jespersion H., (1999), "Toughness of Tool Steels", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 93-102
- Jung I., vd., (2002), "Tool Failures-Causes and Prevention", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 1125-1140
- Kalkanlı A., (2000), "Takım çelikleri Üretiminde Toz Metalurji Yöntemleri" 271-281, Uluslararası Kalıp Çelikleri Semineri, E. Tekin (Derl.) Seminerde Sunulan Bildiriler, 18-20 Ekim 2000, İstanbul
- Kaidov A. A., (1998), "Increasing of Wear Resistance of Cutting and Abrasive Tools by Plasma Treatment in Vacuum", Proceedings of 2nd Congress of The International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering & 4th ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference in Europe, Vol III, 19-21 Oct. 1998, Florence-Italy, 381-384
- Kallien L. ve Sturm J.C., (1992), "Simulation Aided Design of Die Casting Tools", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 261-273
- Kalpajian S., (Derl.), (1982), Tool and Die Failures Source Book, ASM, Ohio
- Karagöz Ş., (1988), "Kesici Takımlar Ders Notları"
- Karagöz Ş. ve Fischmeister H., (1991), "The Relative Contributions of Primary Carbides and Secondary Hardening to the Performance of High Speed Steels", Proceedings of 1st International Conference on High Speed Steels, 1991, Weiz, 41-51.
- Karagöz Ş. ve Andren H.-O., (1992), "Secondary Hardening of High Speed Steels" Z.



Matallkunde 83: 386-394

Karagöz Ş., (1992), “Yüksek Hız Çeliklerinin Isıl İşlemi ve Vakum Uygulaması”, 1. Endüstri Fırımları Konferansı Bildiriler Kitabı, 12-14 Ekim 1992, İstanbul, 249-259.

Kayalı E. S., (2002), “Isıl İşlem Yapılmış Malzemelerin Hasar Analizi”, 2. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler CD’si, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.

Keneş S. ve Hatman A., (1998), “Plazma İyon Nitrürleme ve Nitrokarbürleme”, 1. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 7-9 Ekim 1998, İstanbul, 165-176

Köning W., Köning M. ve Kirner P., (1992), “Advanced Technologies for Machining and Surface Treatment of Dies and Moulds”, Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 177-200

Kun C., vd., (1998), “Investigation on Cold Work Die Steels”, Proceedings of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds, 14-16 April 1998, Shanghai, 69-73

Lange K., (1985), “Cold Forging Today and Tomorrow”, Proceedings of 7th International Congress Cold-Forming, 24-26 April 1985, Birmingham, 3-14

Larsson M. ve Hedenqvist P., (2000), “Şekillendirme Takımlarının PVD Kaplanması” 334-347, Uluslararası Kalıp Çelikleri Semineri, E. Tekin (Derl.) Seminerde Sunulan Bildiriler, 18-20 Ekim 2000, İstanbul

Lavalle P., Mandelli R. ve Lanzoni E., (1992), “PVD Coatings on Forming Tools: Enhancement of Tool Life and Quality Improvement”, Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 561-565

Liebfahrt W., vd., (1999), “Development of a New Ledaburitic Cold Work Tool Steel with Excellent Wear Resistance and Toughness Properties”, Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 753-759

Li S., (1999), “Improve Tool Life of Cold Work Tools with the Use of Powder Metallurgy Tool Steels: Understand Factors Affecting Tool Life and Some Common Tooling Problems”, Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 723-732

Lim C., Lee K., Lim S., (1992), “Surface Coatings for Cutting Tools”, Proceedings of the 2nd International Conference on Die&Mould Technology, 23-25 Sept. 1992, Singapore, 413-422

Lundy D.W., (1987), “Manufacture of Stainless Steel Plastic Injection Molds”, 244-248, Tool Materials for Mold and Dies: Application and Performance, G. Krauss ve H. Nordberg (Derl.) Papers Presented to the conference, 30 Sept.-2 Oct. 1987, St. Charles/USA.

Maili I., ve diğerleri, (2002), “New PM HSS with Excellent Hot Hardness”, Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 317-324

MatWeb, (2003), The Online Materials Database, Erişim tarihi: 10.06.2003

<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=M4140Q>

<http://www.matweb.com/search/SpecificMaterialPrint.asp?bassnum=M414AY>

Matsuda Y., ve diğerleri, (1998), “Development of High Toughness and High Hardness Steel for Cold Work Die”, Proceedings Of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds 14-16 April 1998, Shanghai, 27-33

- Mattar T., (2002), "Effect of EAF and ESR Technologies on the Yield of Alloying Elements in Tool Steels", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 345-354
- Moster, P. ve Tidesten M., (1997), "Abrasive Wear of Mould and Dies", 129-139, Surfaces of Forming Tools, J. Bergström ve T. Ericsson (Derl.) Papers Presented to the Symposium, 28-29 May 1997, Karlstad, Sweden.
- Nakamura H., (1992), "Development of Integrated CAD/CAM System for Manufacturing Dies&Molds", Proceedings of the 2nd International Conference on Die&Mould Technology, 23-25 Sept. 1992, Singapore, 13-24
- Nilüfer, İ.B., Çelik Ö., Gülyüz H., Çimenoğlu H., Kayalı E. S., (2002), "Bir Kalıba Ait Hasar Analizi", 2. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler CD'si, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.
- Norström L-A. ve Johansson B., (1989), "Selection of Tool Steels for Cold Work Applications", Proceedings of the 2nd International Conference on Tooling, 6-8 Sept. 1989, Bochum, 195
- Nöbauer R., (2001), "Combining Heat Treatment and Coating Procedures as an Example of Plasma Assisted Processes", Proceedings of 2nd European Heat ant Surface Treatment, 12-14 June 2001, Rimini-Italy, 301-308
- Nykiel T. ve Hryniewicz T., (1998), "Effect of Austenitizing Parametres on the Change of Concentration of Alloying Components and Phase Structure of Type 2 % C and 12%Cr with Additives of W, Mo, V", Proceedings of 2nd Congress of The International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering & 4th ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference in Europe, Vol I, 19-21 Oct. 1998, Florence-Italy, 87-96
- Olofson L., (1997), "Surface Treatments of Forming Tools", 59-85, Surfaces of Forming Tools, J. Bergström ve T. Ericsson (Derl.) Papers Presented to the Symposium, 28-29 May 1997, Karlstad, Sweden.
- Oral B. ve Ece M., (2000), "Sıcak ve Soğuk İş Takım Çeliklerine Yapılan Sert Seramik Kaplamalar ve Bunların Sanayi Uygulamaları" 325-333, Uluslararası Kalıp Çelikleri Semineri, E. Tekin (Derl.) Seminerde Sunulan Bildiriler, 18-20 Ekim 2000, İstanbul
- Paquin J. R., (1962), "Die Desingn Fundamentals-Book One", The Industrial Press, NY
- Peiyong L., (1998), "Investigation of Surface Hardening of Dies by PCVD Method", Proceedings of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds, 14-16 April 1998, Shanghai, 221-225
- Pellizzari M., vd., (2001), "Deep Cryogenic Treatment of Tool Steels", Proceedings of 2nd European Heat ant Surface Treatment, 12-14 June 2001, Rimini-Italy, 307-324
- Pellizzari M. ve Molinari A., (2002), "New Generation of Tool Steels Made by Spray Forming", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 547-557
- Pickering F.B., (1978), "Physical Metallurgy and the Design of Steels", Applied Science Publisers, London
- Pickering F.B., (1987), "The Properties of Tool Steels for Mould and Die Applications", 3-32, Tool Materials for Mold and Dies: Application and Performance, G. Krauss ve H. Nordberg (Derl.) Papers Presented to the conference, 30 Sept.-2 Oct. 1987, St. Charles/USA.

Precision Tool Maker, (2001), Precision Tool Maker Sept, 2001:18-19

Pöckl G., vd., (1998), "Heat Treatment of High Chromium Cold Work Tool Steels and High Speed Steels", Proceedings of 2nd Congress of The International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering & 4th ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference in Europe, Vol I, 19-21 Oct. 1998, Florence-Italy, 63-76

Ridefors D. ([dan.ridefors@uddeholm.se](mailto:dan.ridefors@uddeholm.se)). (01 Nisan 2003) "% Cases." Aziz Hatman'a kişisel e-posta. [[aziz@assabkorkmaz.com](mailto:aziz@assabkorkmaz.com)]

Riedel J.Y., (1982), "Analysis of Tool and Die Failures", 11-17, Tool and Die Failures Source Book, S. Kalpakjian (Derl.), ASM, Ohio

Roberts A. G ve Cary R. A., (1980), "Tool Steels", Fourth Edition, ASM, 2, Pennsylvania/USA

Sandberg A., (2000), "Takım Çeliği Üretimi- Yüksek Nitelikli Takım Çelikleri için Uygulanan Süreçler" 1-21, Uluslararası Kalıp Çelikleri Semineri, E. Tekin (Derl.) Seminerde Sunulan Bildiriler, 18-20 Ekim 2000, İstanbul

Sandberg O. (1997), "Tool Steels for Moulds and Dies", 3-14, Surfaces of Forming Tools, J. Bergström ve T. Ericsson (Derl.) Papers Presented to the Symposium, 28-29 May 1997, Karlstad, Sweden.

Sandberg O. ve Jönson L., (2002), "New Generation of Tool Steels Made by Spray Forming", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 961-971

Sandberg O. ve Roberts W., (1987), "Relation Between Properties of Tool Steels and Mold/Die Performance", 263-286, Tool Materials for Mold and Dies: Application and Performance, G. Krauss ve H. Nordberg (Derl.) Papers Presented to the conference, 30 Sept.-2 Oct. 1987, St. Charles/USA.

Sarıtaş S., Doherty R. D. ve Lawley A., (2002) "Effect of Porosity on the Hardenability of P/M Steels", The International Journal of Powder Metallurgy 38-1: 31-39

Schruff I. ve Schüller V., (2002), "Advanced Tool Steels Produced via Spray Forming", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 973-990

Schneider R., vd., (2002), "The Performance of Spray-Formed Tool Steels in Comparison to Conventional Route Material", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 931-942

Schneider R., Koch F. ve Würzinger P., (1998), "Pressure-Electro-Slag-Remelting (PESR) for the Production of Nitrogen Alloyed Tool Steels", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 265-273

Schulz H., (1992), "New PVD-Coatings for Forming Tools", Proceedings of the International European Conference on Tooling Materials, 7-9 Sept. 1992, Interlaken, 567-575

Schulz A., vd., (2002), "Spray Forming of High Alloyed Tool Steels to Billets of Medium Size Dimensions", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 943-959

Singer I.L. ve Bolster R.N., (1979), "Surface Hardness and Abrasive Wear Resistance of

Nitrogen Implanted Steels”, 116-124, Ion Implantation Metallurgy, C. M. Preece ve J. K. Hirvonen (Derl.) Papers Presented to the Symposium, 30 Nov. 1979, Cambridge/USA.

Spiegelhauer C., (2002), “Industrial Production of Tool Steels Using the Spray Forming Technology”, Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 923-929

Spies H.-J., (1999), “Optimizing the Working Behaviour of Tools by Surface Engineering”, Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 25-38

Sproge L., (1997), “Surface Treatments of Forming Tools”, 31-46, Surfaces of Forming Tools, J. Bergström ve T. Ericsson (Derl.) Papers Presented to the Symposium, 28-29 May 1997, Karlstad, Sweden.

Stasko W., Dixon R. B., (1999), “Tough and/or Wear Resistant PM Cold Work Tool Steels Containing 3-18 % Vanadium”, Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 733-741

Sullivan J. W., (1982), “Preventing Failures in Cold Forming Tools-Heat Treatment and Design”, 18-28, Tool and Die Failures Source Book, S. Kalpakjian (Derl.), ASM, Ohio

Tabe H., (1987), “Thermal Shock Cracking of Tool Steels”, 315-339, Tool Materials for Mold and Dies: Application and Performance, G. Krauss ve H. Nordberg (Derl.) Papers Presented to the Conference, 30 Sept.-2 Oct. 1987, St. Charles/USA

Tabe H., (1998), “Cracks and Corrosion of Hardened Tool Steels Due to Thermal Shock During Machining and Using, and Heat Treatment to Cope with Them”, Proceedings of 5th Pacific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds, 14-16 April 1998, Shanghai, 157-164

Taylor M.A. ve Hulett D.M., (1986), “A Comparison Between Ion Nitriding and Ion Implantation”, 199-210, Ion Nitriding, T. Spalvins (Derl.) Papers Presented to the Conference, 1-17 Sept. 1986, Cleveland/USA.

Thelning K.-E., (1984), “Çelik ve Isıl İşlemi”, A. Tekin (Çev.), Hakan Ofset, İstanbul

Thyssen Asal Çelik AŞ, (1996), Takım Çelikleri, 2. Baskı, İstanbul

Tornberg C. ve Fölzer A., (2002), “New Optimised Manufacturing Route for PM Tool Steels and HSS”, Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 305-316

Türküz C., Ahlatçı H., Taptık Y., Kayalı E. S., (1998), “Kaplanmış Takımların Gerçek Servis Koşullarında Ekonomik Analizi”, 1. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 7-9 Ekim 1998, İstanbul, 147-153

UTAB (2000), “Steels for Cold Work Tooling”, Uddeholm Tooling AB Teknik Yayınlar

UTAB (2002a), “Intro Paper”, Conference on Automotiv, 31 Jan. 2002, Hagfors

UTAB (2002b), “Referans Yapılar”, Uddeholm Tooling AB

Viale D., vd., (2002), “Optimizing Microstructure for High Toughness Cold-Work Tool Steels”, Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 253-268



Waller J. A., (1978), "Press Tools and Presswork", Portcullis Press Ltd, Great Britain

Wilmes S. ve Zwick G., (2002), "Effect of Niobium and Vanadium as an Alloying Element in Tool Steels with High Cr Content", Proceedings of the 6th International Conference on Tooling, 11-13 Sept. 2002, Karlstad, 227-241

Xueyu R., Shaokoi Y. ve Xu W., (1990), "China's Die&Mould Industry is Forging Ahead Towards Modern Technology", Proceedings Of 1st International Conference on Die&Mould Technology'90, 18-21 May 1990, Shanghai, 1-6.

Yang L. J., (1992), "Laser Transformation Hardening of Assab DF2 Tool Steel", Proceedings of the 2nd International Conference on Die&Mould Technology, 23-25 Sept. 1992, Singapore, 423-432

Yanian Z., vd., (1998), "Study of Process of Ion Nitriding and PVD TçN Composite Plating", Proceedings Of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds 14-16 April 1998, Shanghai, 214-220

Ye J. W. J. ve Tidlund J., (1998), "Heat Treatment of Precision Stamping Dies", Proceedings of 5th Pasific Rim International Conference on Tool Steels for Dies and Moulds 14-16 April 1998, Shanghai, 245-250

Yokoi D., Tsujii N. ve Isomoto T., (1999), "Effect of Carbide Size on Mechanical Properties of Cold Work Tool Steels", Proceedings of the 5th International Conference on Tooling, 29 Sept.-1st Oct. 1999, Leoben, 103-113

Yücel M. Ö., Kurttepelı H. ve Demirkaya M. H., (1998), "Yeni Nesil Vakum Fırınlarında Takım Çeliği Isıl İşleminde Soğutma Parametrelerinin Karakterizasyonu", 1. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 7-9 Ekim 1998, İstanbul, 39-48

Zhigang. ve diğerleri, (1990), "Computer Aided Design of Progressive Die Construction", Proceedings Of 1st International Conference on Die&Mould Technology'90, 18-21 May 1990, Shanghai, 357-363.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 14.10.1967

Doğum yeri İstanbul

Lise 1980-1983 Eyüp Lisesi

Lisans 1983-1988 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Metalurji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1988-1991 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

Doktora 1991-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

**Çalıştığı kurumlar**

1983-1986

Satan Makine Sanayi Ltd Şti.

1989-1994

YTÜ Metalurji Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi

1994-1996

KoÜ Metalurji Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi

1996-1998

İstanbul Isıl İşlem İşletme Mühendisi

1998-devam ediyor

Assab Korkmaz Çelik AŞ, Uygulama Müdürü

**EKLER**

Metin içinde atıfta bulunulan ekler, bu sayfaya iliştirilmiş olarak bulunan Cd-Rom ve disket içinde yer almaktadır.

Cd-Rom içinde UTAB, Thyssen ve Böhler ile Crucible gibi takım çeliği üreticilerinin takım çelikleri hakkında vermiş oldukları katalog bilgileri toplanmıştır.

Disket içinde ise, Böhler tarafından hazırlanmış olan bir program bulunmaktadır.\* Bu programda, Böhler tarafından üretilen çeliklerin kimyasal bileşimleri ve diğer standartlardaki karşılıkları, uygulama alanları, çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri ile ısıl işlemleri bulunmaktadır.

---

\* Programı çalıştırmak için lütfen disketi, disket sürücünüze yerleştiriniz ve setup.exe dosyasını çalıştırınız. Program, kendini bilgisayarınızın sabit diski içine yapılandıracaktır.