

Doç. Dr. Hüseyin Sönmez

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128581

**HSS KESİCİ TAKIMDA**  
**SICAKLIK DAĞILIMI VE**  
**TAKIM GEOMETRİSİNİN ETKİSİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Makina Müh. Yüksel TOPGÜL

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erhan ALTAN (YTÜ)

Prof. Dr. Erhan ALTAN  
Doç. Dr. Mesut ÖZGÜRLER

İSTANBUL, 2001

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
RESİM LİSTESİ .....	xi
ÖNSÖZ .....	xii
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. YÜKSEK HIZ ÇELİĞİ TAKIMLAR (HSS,SS) .....	2
2.1 Malzemesi ve Özellikleri .....	2
2.2 HSS Takımlar .....	4
3. TALAŞ KALDIRMANIN TERMODİNAMİĞİ .....	8
3.1 Isı Kaynakları .....	8
3.1.1 Isı Kaynaklarının Sıcaklık Artışına Etkisinin Matematik Modellemesi .....	8
3.2 Talaş Yüzeyi Sıcaklığı .....	13
3.3 Ortalama Talaş – Takım Arayüz Sıcaklığı .....	16
3.4 Yüzey Sıcaklıklarının Boyutsal Analizi .....	19
3.5 Kayma Yüzeyi Sıcaklık Dağılımı .....	21
3.6 Talaş – Takım Arayüzeyinde Sıcaklık Dağılımı .....	23
3.7 Talaş – Takım ve Takım – İş Parçası Arayüzey Sıcaklıkları için İteratif olmayan Metod .....	28
3.8 Talaş Kaldırmada Oluşan Sıcaklığın Ölçülmesinde Kullanılan Deneysel Yöntemler .....	33
3.8.1 Kalorimetre Yöntemi .....	33
3.8.2 Sıcaklık Ölçümünde Isıl Çift (Termocouple) Yöntemi .....	34
3.8.2.1 Takım – İş Parçası Isıl Çifti ile Sıcaklık Ölçme Yöntemi .....	35
3.8.2.1.1 Takım – İş Parçası Isıl Çiftinin Kalibrasyonu .....	36
3.8.2.2 Gömülmüş Isıl Çift Yöntemi .....	37
3.8.2.2.1 İş Parçasına Gömülmüş Isıl Çift ile Sıcaklık Ölçme Yöntemi .....	37
3.8.2.2.2 Takıma Gömülmüş Isıl Çift ile Sıcaklık Ölçme Yöntemi .....	37

3.8.2.2.3	Talaş Kırıcı Altından Isıl Çift ile Sıcaklık Ölçme Yöntemi .....	39
3.8.2.3	Kompaund Takım ile Sıcaklık Ölçme Yöntemi .....	39
3.8.2.4	Kesilen Tek Tel – Takım Isıl Çifti ile Sıcaklık Ölçme Yöntemi .....	41
3.8.3	Radyasyon Esaslı Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri .....	41
3.8.3.1	Radyasyon Pirometresi ile Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri .....	41
3.8.3.2	Fotoğrafik Yöntemle Sıcaklık Ölçümü .....	42
3.8.3.3	Fotosel Kullanarak Sıcaklık Ölçüm Yöntemleri .....	43
3.8.4	Erime Sıcaklığı Bilinen Toz Halindeki Malzemelerin Kullanılmasıyla Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi .....	44
3.8.5	Dağlama Yöntemi ile Sıcaklığın Saptanması ve Dağılımının Belirlenmesi .....	45
3.9	Metallerin Talaşlı İşlenmesinde Talaş-Takım Temas Yüzeyinde Sıcaklık Dağılımı üzerine Young ev Chau'nun yaklaşımları .....	47
3.9.1	“Talaş Yüzeyi” Sıcaklık Modeli .....	47
3.9.2	Takım-Talaş Temas Yüzeyi Sıcaklıkları Modeli .....	53
3.10	Kesme Yüzeyi Dizaynının Kesici Takımdaki Sıcaklık Dağılımı Üzerindeki Etkileri üzerine Wright ve Cormick'in Deneysel ve Teorik Çalışmaları .....	64
3.10.1	Wright ve Cormick 'in Deneysel Çalışmaları .....	64
3.10.2	Deneysel Kesici Takım Sıcaklığı .....	65
3.10.3	Talaş-Takım Arayüz Sıcaklığı için Genel Denklem .....	69
3.10.4	Kesme Yüzü Isı Kaynağı .....	74
3.10.5	Teori-Deney Karşılaştırması .....	75
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA .....	79
4.1	Deney şartları ve Düzenegi .....	79
4.2	Deneyin Yapılışı .....	86
4.3	Elde Edilen Sonuçlar .....	87
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	92
KAYNAKLAR .....		98
EKLER .....		99
Ek1	HSS Takım-St37 İş Parçası Isıl Çifti için Kalibrasyon Tablo değerleri ve Grafikleri .....	99
Ek2	OMRON K3NX Process Meter'in Teknik Spesifikasyonları.....	100
Ek3	Deneysel çalışmada ölçüle DC Voltaj(milivolt) değerlerinin tablosu	104
Ek4	Deneysel çalışmaya ait Grafikler	110
ÖZGEÇMİŞ .....		146

## SİMGE LİSTESİ

$\alpha_n$	Kesme açısı
$\alpha^\circ$	Takım talaş yüzeyi açısı
$\alpha$	Termal difüzyon $k/\rho c$
$\beta$	Parametre $l_c/t_c$
$\theta$	Sıcaklık yükselmesi
$\theta_s$	Talaş yüzeyi sıcaklığı
$\phi$	Kayma açısı
$\rho$	Yoğunluk
$\theta_f$	Talaşta ortalama sıcaklık artışı
$\theta_s$	Talaş yüzeyi sıcaklığı
$c$	Spesifik ısı
$k$	İletkenlik
$l$	“Talaş yüzeyi” uzunluğu
$l_c$	Takım taşal temas uzunluğu
$n$	Geometrik sabit $((1-\cos\theta)/\cos\theta)$
$p$	Önerilen sıcaklık modeli sabiti
$q$	AB “ talaş yüzeyi” üzerinde ısı oranı
$R$	Termal sayı
$t$	Deforme olmamış talaş kalınlığı
$T_a$	Çevre sıcaklığı
$T_A$	“Talaş yüzeyi” ’nin A noktasında ölçülen sıcaklığı
$t_c$	Talaş kalınlığı
$V$	Kesme hızı
$V_c$	Talaş hızı
$x,y$	“Talaş yüzeyi” koordinatları
$\mu,\zeta$	Talaş koordinatları
$K$	Termal difüzyon
$E_c$	Özgül kesim enerjisi
$a_1,b_1$	Talaş boyutları
$\lambda$	Termal iletkenlik
$\rho c$	Volüm spesifik ısı
$s$	İlerleme
$\tau_s$	Dinamik kesim baskısı



## KISALTIMA LİSTESİ



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Bir yüksek hız çeliğinin temper davranışı ..... 3
Şekil 2.2	Yüksek hız çeliklerinin sertleştirilme ve temperlenmesinde sıcaklık - zaman diyagramı..... 3
Şekil 2.3	Kobalt içeren bir yüksek hız çeliği için çeşitli sıcaklıklardaki sertlik değerlerinin, herbir sıcaklıkta tutma süresine bağlı olarak değişimi..... 4
Şekil 3.1	Talaş kaldırma esnasında ısı oluşan bölgeler ..... 8
Şekil 3.2	Talaş şekillendirilmesinde çeşitli ısı kaynakları ..... 9
Şekil 3.3	Jaegar'ın hareketli ısı kaynağı şeması ..... 14
Şekil 3.4	Talaş yüzeyinde ısı kaynağı hareketi ..... 15
Şekil 3.5	Talaş -Takım arayüzeyinde sabit ısı kaynağı ..... 16
Şekil 3.6	m / l oranına göre $\bar{A}$ alan faktörü varyasyonu ..... 17
Şekil 3.7	Isı kaynakları ve koordinasyonu ..... 22
Şekil 3.8	Yüzey sıcaklığını hesaplama şeması ..... 23
Şekil 3.9	Etkileşim tekniği için talaş – takım arayüzünde bölümlenme ..... 24
Şekil 3.10	Talaş – Takım arayüzünde Sıcaklık dağılımı ..... 26
Şekil 3.11	Arayüzeylerin bölümlenmesi şeması ..... 28
Şekil 3.12	Serbest yüzeydeki ısı kaynağı ile sıcaklık dağılımı ..... 32
Şekil 3.13	Serbest yüzeydeki sıcaklık dağılımı ..... 32
Şekil 3.14	Matkapla delik delmede sıcaklık ölçümleri için schmidt tarafından oluşturulan kalorimetre esasına dayalı deney seti..... 33
Şekil 3.15	Talaş kaldırma esnasında ısı dağılımı ..... 34
Şekil 3.16	Isıl çift etkisinin temeli ..... 34
Şekil 3.17	Termoelektrik teknikle takım – talaş arayüzey sıcaklığı ölçümünün şematik görünüşü ..... 35
Şekil 3.18	Takım – iş parçası ile oluşturulan ısıl çift ..... 38
Şekil 3.19	Takım – iş parçası ısıl çifti kalibrasyonları için uygulanan iki farklı set ..... 36
Şekil 3.20	İş parçasına gömülmüş ısıl çift yöntemi ve sıcaklık gradyentleri ..... 37
Şekil 3.21	Takıma gömülmüş ısıl çift yöntemi ..... 38
Şekil 3.22	Tek kesen ağızlı kesme takımında oluşan sıcaklık alanları ..... 38
Şekil 3.23	Talaş kırıcı altından ısıl çift ile sıcaklık ölçme yönteminin şematik görünüşü ..... 39
Şekil 3.24	Sıcaklık dağılımının saptanması için kullanılan kompaund bir takımın şematik görünüşü ..... 40
Şekil 3.25	Kompaund takım uygulamasında sıcaklık dağılımı ..... 40
Şekil 3.26	Kesilen tektel – ısıl çifti yönteminin şematik görünüşü ..... 41
Şekil 3.27	Radyasyon pirometresi ile sıcaklık tespitinin şematik görünüşü ..... 42
Şekil 3.28	Fotoğrafik yöntemle sıcaklık tesbitinin esası ve kalibrasyon işleminin şematik görünüşü ..... 42
Şekil 3.29	Radyasyon algılayıcı bir kurşun sülfat PbS hücre kullanılarak sıcaklık

	ölçüm yönteminin şematik görünüşü .....	43
Şekil 3.30	Erime sıcaklığı bilinen toz halindeki malzemelerin kullanılması ile elde edilen sıcaklık dağılımları .....	44
Şekil 3.31	Dağlama yöntemi ile HSS bir takımında elde edilen eş sıcaklık hatlarının görünüşü.....	46
Şekil 3.32	İdealize edilmiş ortogonal talaş kaldırma işlemi modeli .....	48
Şekil 3.33	Kesme hızı varyasyonu ile "kayma yüzeyi " sıcaklığı .....	50
Şekil 3.34	(n=0) geometrik varsayımın "kayma yüzeyi " sıcaklığı üzerine etkisi .	50
Şekil 3.35	Talaş yüzeyi sıcaklık dağılımı karşılaştırması .....	52
Şekil 3.36	Talaş sıcaklığı dağılım modeli .....	53
Şekil 3.37	Talaş sıcaklık dağılımı .....	57
Şekil 3.38	Talaş arkası sıcaklıkları .....	58
Şekil 3.39	Talaş takım temas sathı sıcaklık dağılımı .....	62
Şekil 3.40	Talaş / takım temas yüzeyinde, dağılan ısı kaynağının hesaplanan sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi .....	63
Şekil 3.41	Normal 6° kesme açısı olan ve 0.5 mm'lik kontrollü temaslı takım için kesme gücü .....	66
Şekil 3.42	6°, M34 çelik aletin metalurjik şekilde parçalara bölünmesi .....	66
Şekil 3.43	Şekil 3.42'den sıcaklık eğrileri .....	67
Şekil 3.44	Kullanılan iki takım geometrisi için maximum kesme yüzeyi sıcaklığı .....	67
Şekil 3.45	Kontrollü temas yüzeyli kesici takımında mikrosertlik araştırması .....	68
	sonucu edinilen sıcaklık eğrileri , kesme hızı 12.5 m / dak	
Şekil 3.46	Isı transfer problemi için uygun denklem , sınır koşulları ve ısı kaynağı f(x) tiplerinin özeti .....	70
Şekil 3.47	Birim alan için ısı oluşum oranı .....	76
Şekil 3.48	Takım – talaş temas yüzeyi boyunca deneysel ve teorik sıcaklık karşılaştırılması .....	76
Şekil 4.1	Deneyde kullanılan HSS E Kesici takım geometrisi .....	79
Şekil 4.2	Takım-iş parçası ısıl çift yöntemi ile talaş kaldırma sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan deney seti .....	79
Şekil 4.3	HSS Takım – St37 iş parçası ısıl çiftine ait kalibrasyon şeması .....	87
Şekil 4.4	Talaş açısı= 6 , tc=0,50 mm şartlarında sabit ilerleme değerinde, V1=20 m/min, V2=25 m/min, V3=35 m/min kesme hızları için sıcaklık oluşumlarının karşılaştırılması a)s1=0,12 mm/dev b)s2=0,20 mm/dev c)s3=0,32 mm/dev .....	88
Şekil 4.5	Talaş açısı= 8 , tc=0,50 mm şartlarında sabit ilerleme değerinde, V1=20 m/min, V2=25 m/min, V3=35 m/min kesme hızları için sıcaklık oluşumlarının karşılaştırılması a)s1=0,12 mm/dev b)s2=0,20 mm/dev c)s3=0,32 mm/dev .....	89
Şekil 4.6	Talaş açısı= 10 , tc=0,50 mm şartlarında sabit ilerleme değerinde, V1=20 m/min, V2=25 m/min, V3=35 m/min kesme hızları için sıcaklık oluşumlarının karşılaştırılması a)s1=0,12 mm/dev b)s2=0,20 mm/dev c)s3=0,32 mm/dev .....	90

Şekil 5.1	Talaş açısı 6, 8 ve 10 derece için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, ilerleme "s:(mm/dev)" ve kesme hızlarındaki "V:(m/min)" değişimler de dikkate alınarak incelenilmesi	95
Şekil 5.2	İlerleme değeri s1,s2 ve s3 için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, talaş yüzeyi açıları ve kesme hızlarındaki "V:(m/min)" değişimler de dikkate alınarak incelenilmesi	96
Şekil 5.3	Kesme Hızları V1,V2 ve V3 için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, ilerleme "s:(mm/dev)" ve talaş yüzeyi açılarındaki değişimler de dikkate alınarak incelenilmesi	97



## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	DIN standartlarına göre hız çeliklerinin simgeleme tarzı . . . . . 5
Çizelge 2.2	Hız çeliklerinin kullanım alanları . . . . . 5
Çizelge 2.3	Vierege'ye göre değişik uygulama alanları için tercih edilen hız çelikleri . . . . . 6
Çizelge 2.4	Torna kalemlerinin kesme açıları . . . . . 7
Çizelge 2.5	Hız çeliği için tornalama işlemine ait kesme hızları . . . . . 7
Çizelge 3.1	Sıcaklık dağılımının tespitinde kullanılan farklı tozların kimyasal bileşimleri ve erime sıcaklıkları . . . . . 45
Çizelge 3.2	İki takım türü için kayma yüzeyi açısı ( $\phi$ ), yapışma ( $l_s$ ), sürtünme temas uzunluğu ( $l_f$ ) ve talaş uzunluğu ( $w$ ) varyasyonu . . . . . 67
Çizelge 4.1	Talaş açısı / ilerleme / kesme hızı değişimlerine göre elde edilen Sıcaklık – Zaman Eğrilerine ait matematik denklemler . . . . . 91
Çizelge 5.1	60 sn'lik talaş kaldırma süresi boyunca son 10 sn'ye ait sıcaklık ortalama değerlerinin talaş yüzeyi açısı, kesme hızı ve ilerleme değerleri değişimlerine göre incelenilmesi . . . . . 94

## RESİM LİSTESİ

		Sayfa
Resim 4.1	İş parçası ile torna tezgahının puntası arasında akım kaçağını önlemek amacıyla iş parçasına çakılan kestamid'in görüntüsü	81
Resim 4.2	İş parçasına bağlı bakır milin fener mili arkasında kestamid ile yataklanması	81
Resim 4.3	İş parçası ile beraber dönen bakır disk'in cıva içerisine dalmış görüntüsü	82
Resim 4.4	DC Voltajın izoleli bakır kablo ile Cıvalı sistem üzerinden OMRON K3NX Proses Meter' taşınması	82
Resim 4.5	OMRON K3SC-10 RS422/RS232 dönüştürücü	83
Resim 4.6	K3N OMRON SYS Config V2.0 yazılımı ana menü görünüşü	83
Resim 4.7	K3N OMRON SYS Config V2.0 yazılımı ana menünün bilgisayar ekranındaki görünüşü	84
Resim 4.8	K3N OMRON SYS Config V2.0 yazılımı Data Log Viewer menüsü	84
Resim 4.9	Deneylerde ölçülen Zaman-Milivolt datalarının Excell'de otomatik kayıt altına alındığı ortam	85
Resim 4.10	Deneylerde kullanılan Üniversal Torna Tezgahı	85

## ÖNSÖZ

HSS (High-Speed Tool Steel) kesici takımlar hafif metal, sert döküm, çelik, ahşap ve plastik malzemelerin talaşlı işlenmesinde çok kullanılırlar. Yüksek kalitede talaşlı imalatı minimum maliyetle yapabilmek için, iş parçasına uygun seçilmiş takım geometrisi ve talaş kaldırma parametreleri ile Talaş-Takım temas ara yüzeyinde oluşan sıcaklıkları minimize etmek gerekmektedir.

Bu çalışmada; HSS takım ile St 37 alaşımsız çeliğin ortogonal tornalanması işleminde iş parçası – takım ısı çifti tekniği kullanılarak, değişen takım geometrisi ve talaş kaldırma parametreleri sonucunda oluşan ortalama sıcaklıklar deneysel olarak tespit edildi ve birbirleriyle çeşitli yönlerden karşılaştırıldı. Konu ile ilgili daha önce yapılmış teorik ve deneysel çalışmalar ile talaş kaldırmada oluşan sıcaklığın ölçülmesinde kullanılan deneysel yöntemler incelendi.

Tezimin hazırlanmasında büyük emeği olan tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Erhan ALTAN'a yaptıkları yardımlardan, verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarında destek ve yardımlarını esirgemeyen Öğr.Gör.Murat KIYAK'a teşekkür ederim. Benden manevi desteğini ve hoşgörüsünü esirgemeyen eşime ayrıca teşekkür ederim.



## 1. GİRİŞ

Bir takım çeliği malzemesi olan yüksek hız çeliği HSS kesici takımlarının talaş kaldırma işlemlerinde oldukça yoğun bir kullanım alanı olduğundan kesici takım maliyetlerini düşürmek ve üretim kalitesini arttırmak büyük önem kazanmaktadır.

Talaş kaldırma işleminde birçok faktör, kesici takımın performansını etkiler. Bu faktörlerden biri olan takım geometrisindeki en küçük değişiklikler takım sıcaklık oluşumlarını değiştireceğinden performansı ciddi olarak etkileyebilir.

Bu özellikten dolayı bu çalışmada HSS kesici takımlarda sıcaklık dağılımları ve takım geometrisinin etkileri incelenecektir.

Takımda oluşan sıcaklık dağılımlarının tespiti için analitik ve deneysel yöntemler ele alınacaktır.

Takım – iş parçası ısıl çift yöntemi kullanılarak St 37 alaşımsız çeliğin HSS kesici takım ile ortogonal talaş kaldırılması esnasında, takım geometrisi değişimleri ile işlem sıcaklıklarının değişimleri incelenecektir.



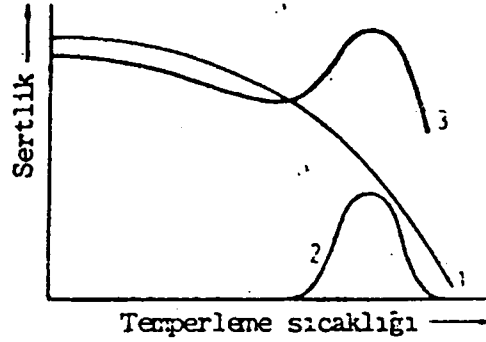
## 2. YÜKSEK HIZ ÇELİĞİ TAKIMLAR (HSS,SS)

### 2.1 Malzemesi ve özellikleri

Yüksek Hız çeliği bir takım çeliği malzemesidir. Takım çeliklerinden, metal ve metal olmayan malzemelerin değişik yöntemlerle (talaşlı, talaşsız) şekillendirilmesinde kullanılan tahımlar üretilir. Şekillendirme (işleme) sırasında sürtünme nedeniyle takım ısınır. Kesici takımlar; takımın yüzey sıcaklığı hangi nedenle olursa olsun 200 °C'geçmiyorsa soğuk iş takım çeliklerinden diğerleri ise sıcak iş veya yüksek hız çeliklerinden yapılırlar.

Yüksek Hız çelikleri takım ağızı kızaracak ölçüde yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldırabilen, yani bu koşullara rağmen yüksek sıcaklık sertliğini büyük oranda ve uzun süre koruyan malzemelerdir. Söz konusu özelliklerin çeliğe kazandırılabilmesi için belirli alaşım elementlerinin çeliğe katılması, özenli eritme (elektrik ocağı) karbürlerin homojen dağılımını sağlayacak şekilde sıcak haddeme ve kullanıcı tarafından malzemeye uygun bir ısıl işlem programının gerçekleştirilmesi zorunludur.

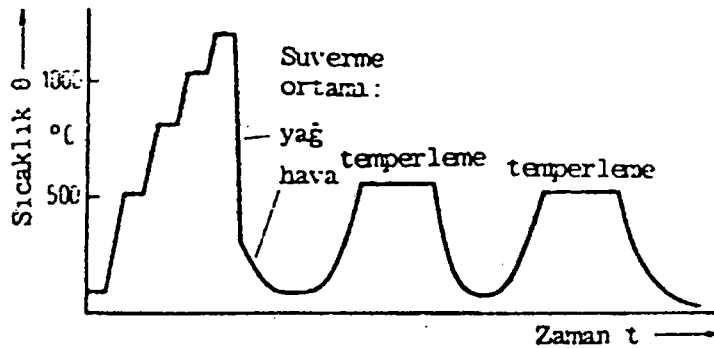
Yüksek Hız çeliklerinin kesme kabiliyetlerinin kızıl sıcaklıkta bile çok iyi olması, iç yapılarında öncelikle volfram, krom, molibden, vanadyum elementlerinin oluşturduğu özel karbürlerin büyük miktarda bulunmasından ileri gelir. Bu nedenle karbon oranı da en az %8 dolayında veya daha fazladır. Yumuşatılmış durumdaki kararlı karbürlerin suvermeden önce yeteri kadar çözünmesi gerektiğinden, ostenitleme sıcaklığı solidüs çizgisinin hemen altında ( 1200°C.... 1320°C ) seçilir. Öte yandan tane irileşmesine yol açmamak için sıcaklık ve tutma süresine kesin şekilde uyulmalıdır. Çarpılma ve çatlamayı önlemek üzere, bu malzemeler iki veya üç kademedeki ve çoğunlukla tuz banyosunda ısıtılırlar. Sertleştirmeden sonra çeliğin iç yapısı yaklaşık %70 martenzit, %10 karbür ve %20 artık ostenitten meydana gelir. 550°C dolayında yapılan temperleme ile önceden çözülmüş olan özel karbürlerin yeniden oluşturulup ince dağılmış bir biçimde çökertilmesi sertlikte büyük bir artış sağlar (ikincil sertleşme). Temperlenen martenzitin ferrit ve Fe<sub>3</sub>C benzeri karışık karbürlere ayrışması sertlik düşüşüne neden olurken, çökeltme ile elde edilen bu sertlik kazancı yüksek hız çeliklerine özgü temper davranışını ortaya çıkarır Şekil 2.1 .



Şekil 2.1 Bir yüksek hız çeliğinin temper davranışı (Güleç ve Aran, 1995)  
 1: Martenzitin Fe<sub>3</sub>C benzeri karışık karbürler ile ferrite ayrışması (sertlik kaybı)  
 2: Çökelme sertleşmesi. Östenitleme sırasında çözünen özel karbürlerin yeniden oluşarak çökmesi (sertlik kazancı)  
 3: 1 ve 2'nin toplam etkisi

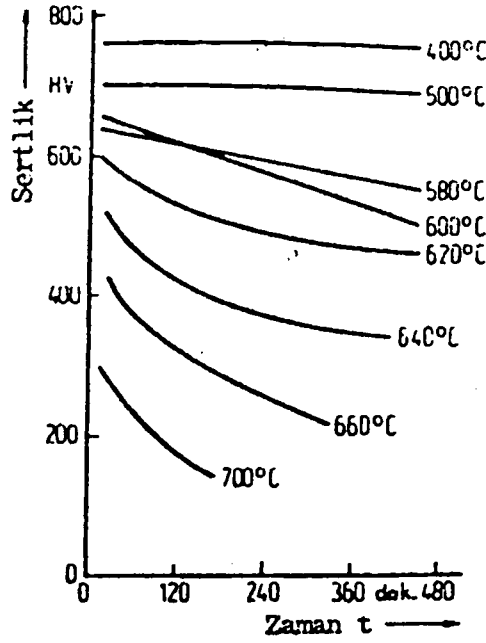
Temperlemede karbürler sadece martenzitten değil artık ostenitten de ayrışır. Böylece karbon ve alaşım elementi miktarı azalarak Ms sıcaklığı yükselen artık ostenitin, soğuma sırasında büyük ölçüde (temperlenmemiş) martenzite dönüşmesi yeniden temperlemeyi gerektirebilir.

Temperlemede, yayınmaya bağlı oldukları için olaylar çok yavaş gelişir. Dolayısıyla çoğu durumda ve öncelikle temperlenmemiş martenzit oranı yüksekse iki veya üç kez temperleme yapılır Şekil 2.2 .



Şekil 2.2 Yüksek hız çeliklerinin sertleştirilme ve temperlenmesinde sıcaklık-zaman diyagramı (Güleç ve Aran, 1995)

Yüksek hız çeliklerinde vurgulanması gereken diğer bir nokta, işletme sıcaklığı arttıkça, özellikle temperleme sıcaklığının üzerinde (550°C) sertliğin zamanla azalmasıdır Şekil 2.3 .



Şekil 2.3 Kobalt içeren bir yüksek hız çeliği için çeşitli sıcaklıklardaki sertlik değerlerinin, herbir sıcaklıkta tutma süresine bağlı olarak değişimi (BICKEL'e göre) (Güleç ve Aran, 1995)

Yüksek hız çelikleri yüksek alaşımlı çeliklerdir. Pratikte çok kullanılan bu çeliklerin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Karbon miktarı , %0,6.....1,6

Alaşım miktarları, %2...16Co, %4Cr, %0,7...10Mo, %1,4...5 V, %1,2...19W

Çalışma sıcaklığı , 600°C 'a kadar

Sertliği , 62....65 HRC

Kesme hızı , 30....40 m/dak

Karbürler (özellikle WC) sertliği, kobaltlı karışık kristaller ise yüksek sıcaklık sertliğini sağlar. Kobalt soğuma sırasında ana kütleden ayrılmaları ve alaşım elemanları kristallerinin bölge bölge toplanmasını önler. Kesici uçta 600°C'a kadar sıcaklık oluşabilir, kesme hızları da sıcaklığa uygun olarak yüksektir(alaşımsız takım çeliğinin üç misline kadar).

## 2.2 HSS takımlar

HSS (High-speed tool steel) veya SS çelikleri olarak bilinen bu çeliklerin DIN standartlarına göre simgeleme tarzı Çizelge 2.1'de ve kullanıma alanları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir, AISI ve SAE standartlarına göre hız çelikleri,sırasıyla T ve M ile simgelenen tungsten(wolfram) ve

molibden esasına dayanan iki gruba ayrılırlar. Bu iki grup arasındaki fark, M grubunun T grubuna göre daha ucuz olmasıdır.

Çizelge 2.1 DIN Standartlarına göre hız çeliklerinin simgeleme tarzı (Akkurt,1991)

DIN Standartlarına göre malzeme No-su	Simge	Simgenin açıklaması
3202	S 12-1-4-5	S – Hız çeliği Rakamlar yüzde olarak W,Mo,V,Co gibi alaşım miktarlarını Göstermektedir. Örneğin: S 12-1- 4-5  %5 Co %4 V %1 Mo %12 W
3207	S 10-4-3-10	
3243	S 6-5-2-5	
3255	S 18-1-2-5	
3257	S 18-1-2-15	
3265	S 18-1-2-10	
3302	S 12-1-4	
3316	S 9-1-2	
3318	S 12-1-2	
3343	S 6-5-2	
3346	S 2-9-1	
3357	S 18-0-2	

Çizelge 2.2 Hız çeliklerinin kullanım alanları (Akkurt,1991)

	Genel	İnce talaş	Kaba talaş	Ağır kesme
Tornalama ve planyalama	S 10-4-3-10	S 12-1-4	S 12-1-2-5 S 18-1-2-5	S 18-1-2-10 S 18-1-2-15
Spiral matkap ve klavuz	S 6-5-2			S 6-5-2-5
Raybalama	S 6-5-2 S 12-1-4			
Frezeleme	S 6-5-2 S 18-0-1	S 12-1-4	S 2-9-2-8 S 12-1-2-5 S 18-0-2-2	S 2-9-1 S 18-1-2-10
Testere	S 3-3-2		S 6-5-2	

Hız çeliklerinin kesme kabiliyetlerini arttırmak için siyanürleme, karbonitrüleme,buharlı ortamda ısıl işlem yapılması, krom ile elektro kaplama gibi yöntemler uygulanmaktadır.

Amerikan AISI ve SAE standartlarına göre Takım çeliklerinin sınıflandırılması ve simgeleme tarzı aşağıda gösterilmiştir.

- Suda sertleşen takım çelikleri (W)
- Darbeye dayanıklı takım çelikleri (S)
- Yağda sertleşen takım çelikleri (O)
- Havada sertleşen takım çelikleri (A)
- Yüksek karbonlu yüksek kromlu soğuk işlenmiş takım çelikleri (D)
- Sıcak işlenmiş takım çelikleri (H):

- Krömlü sıcak işlenmiş (H11'den H16'ya kadar)ü
- Tungstenli sıcak işlenmiş (H20'den H26'ya kadar)
- Molibdenli sıcak işlenmiş (H40'dan H'43'e kadar)
- Hız çelikleri:
  - Tungstenli hız çelikleri (T)
  - Molibdenli hız çelikleri(D)
- Az alaşımli özel amaçlı takım çelikleri (L)
- Karbonlu-tungstenli takım çelikleri (F)
- Az karbonlu kalıp çelikleri (P)

Yüksek sıcaklık yüksek kesme hızı nedeniyle zorlanma kesici malzemede büyük kobalt yüzdesi (örneğin S 18-1-2-15 veya S 18-1-2-10) veya molibden ilavesi (S 2-9-2-8 veya S 6-5-2-5) ister. Büyük kuvvetler için yüksek C oranlı ve vanadyumlu çelikler (S 12-1-4 veya S 6-5-3) uygundur. Az oranda iyi dağılmış karbürü çelikler özellikle sünektir (S 2-9-1 veya S 6-5-2). Diğer öneriler için Çizelge 2.3 'e bakılabilir.

Çizelge 2.3 Viererge'ye [ 21] göre değişik uygulama alanları için tercih edilen hız çelikleri ( Bruings ve Droger,1978 )

	İstenen Malzemeler					
	Hafif metal	Sert döküm	Çelik ve döküm hassas işl.	Çelik	Ahşap	Plöstik
Torna ve planya kalemleri ve lehimlenen plakettikler	EV 4	EV 4 Co EW9 Co 10	EV 4 Co EW9 Co 10	EW9 Co 10 E18 Co 10 E18 Co 5	E4	EV 4 EV 4 Co
Torna takımları	EV 4	EV 4 EV 4 Co EW9 Co 10	EV 4 EV 4 Co EW9 Co 10	EV 4 Co E 18 Co 5 E 18 Co 15	EV 4 Co D	EV 4 Co EV 4
Profil torna takımı	D	D Mo 5	EV 4	EV 4 EW9 Co 10	D	D
Kesici çarklar		EV 4	D	E 18 Co 5 E Mo 5 Co 5	EV 4	EV 4
Yüksek Mukavemetli malzemeler için helisel matkap ucu		Kuvvetli çekirdekli özel yapım		C 18, E 18 Co 5		
Helisel matkap ucu	D	B Mo 9, D		B Mo 9	D Mo 5 B 18 C 18	C 18, D D Mo 5
Kilavuz	ABC II	D Mo 5 C 18, D		D Mo 5 D Mo 5, D	ABC III B Mo 9	DMo 5 DMo 5
Freze takımı	EV 4, D	D Mo 5, EV 4	DMo 5, EV 4	E 18, Co 5 D Mo 5, EV 4	B Mo 9 EV 4	ABC II, D EV 4, DMo 5
Dişli çark freze takımı					D, DMo 5	
Lama ve diğ. set testere	D	DMo 5, D	DMo 5, D	D Mo 5, D	D Mo 5, D	DMo 5, D
Eğme yapma kalemi		D	DMo 5	EV 4 Co		
Rayba	D, EV 4	EV 4		EV 4, D		EV 0

Hız çelikleri ve yüksek talaş güçlü hız çelikleri şeklinde bir ayırım yerleşmemiştir. Son zamanlarda C oranının arttırılmasıyla bu çeliklerin özelliklerinin iyileştirilmesi için denemeler yapılmaktadır. Tanımlanmaları örneğin S6-5-2-H veya S 2-9-2-8-H şeklindedir.

Çeşitli parça malzemelerinin yüksek hız çeliği takım ile talaşlı işlenmesinde tavsiye edilen  $\alpha^\circ$  ve  $\gamma^\circ$  takım açıları Çizelge 2.4 'te, çeşitli ilerleme (s) ve standart ömür (dak.) değerlerine göre kesme hızı (m/dak) değerleri Çizelge 2.5 'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Torna kalemelerinin kesme açıları (Akkurt,1991)

Parça Malzemesi	Mukavemet veya sertlik (daN/mm <sup>2</sup> )	Hız çeliği	
		$\alpha^\circ$	$\gamma^\circ$
St 34...42 C 15...C 22	40...50	8	14
St 50...St 60 C 35...C 45	50...80	8	12
St 70...St 85 C 60	75...90	8	10
16 Mn Cr 5 30 Mn 5	85...100	8	10
42 Cr Mo 4 50 Cr Mo 4	100...140	8	6
GS 38...GS 42	30...45	8	10
GG 10...GG 15	140...180	8	0
GG 20...GG 25	200...220	8	0
M <sub>5</sub> 58...M <sub>6</sub> 63	80...120	8	0
Al-alışımı % 9-13 Si	60...100	12	16

Çizelge 2.5 Hız çeliği için tornalama işlemine ait kesme hızları V (m/dak) (Akkurt,1991)

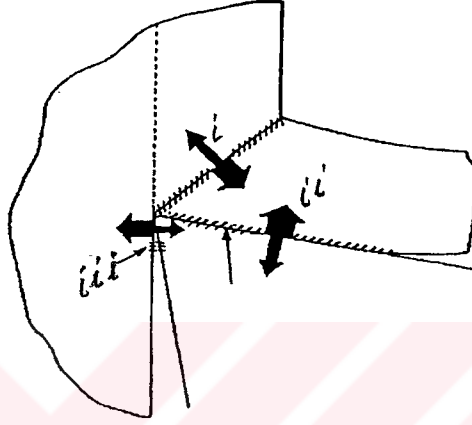
Parça malzemesi	Mukavemet veya sertlik daN/mm <sup>2</sup>	İlerleme s, mm													
		0.1		0.16		0.25		0.4		0.63		1.0		1.6	
		STANDART ÖMÜR, dak													
		60	240	60	240	60	240	60	240	60	240	60	240	60	240
St 34...42 C 15...C 22	40..50	50	30	45	28	40	25	35	23	30	20	25	16	-	-
St 50...St 60 C 35...C 45	5..80	45	30	40	26	35	22	30	20	25	16	20	13	15	10
St 70...St 85 C 60	75..90	30	20	26	18	24	16	22	15	18	12	12	8	-	-
16 Mn Cr 5 30 Mn 5	85..100	-	-	30	20	20	13	16	10	12	8	10	6	8	5
42 Cr Mo 4 50 Cr Mo 4	100..140	-	-	20	13	14	9	10	7	8	5	6	4	5	3
GS 38...GS 42	30..45	-	-	55	36	45	30	35	23	30	20	25	16	20	13
GG 10...GG 15	140..180	34	22	30	20	26	17	22	15	17	11	13	9	-	-
GG 20...GG 25	200..220	20	13	18	12	16	11	14	9	12	8	10	7	-	-
M <sub>5</sub> 58...M <sub>6</sub> 63	80..120	-	-	-	-	120	80	95	65	75	50	55	35	45	30
Al-alışımı % 9-13 Si	60..100	120	80	90	60	70	45	50	35	40	25	35	25	-	-

### 3. TALAŞ KALDIRMANIN TERMODİNAMİĞİ

#### 3.1 Isı Kaynakları

Termodinamikteki ilk kural; “İş, ısıya dönüştürüldüğünde, işin miktarı, üretilen ısının miktarına eşittir.” dir. Bu ısı mekanik enerjideki dönüşümün oluşmasıyla meydana getirilecektir. Metal kesme işlemindeki temel ısı oluşumları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

(i) kayma bölgesi, (1), temel plastik deformasyonun olduğu bölge,



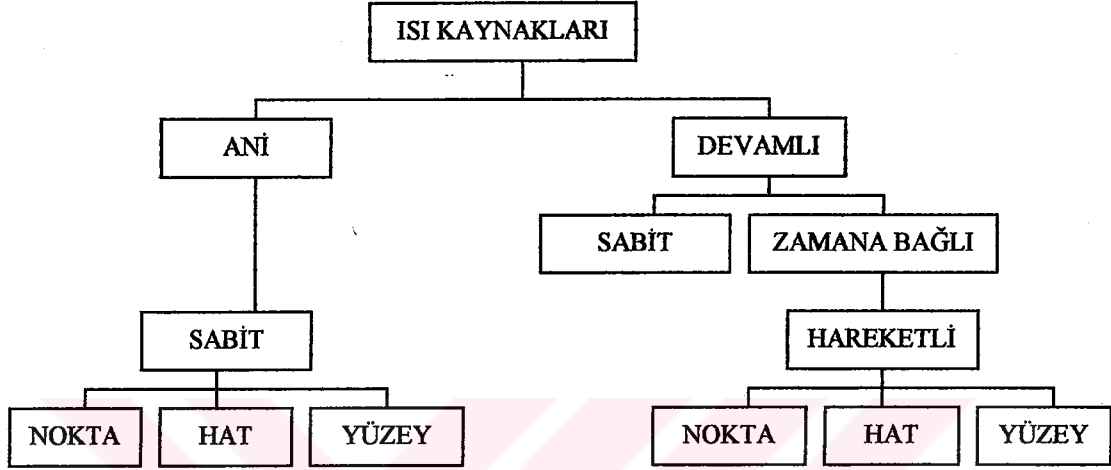
Şekil 3.1 Talaş kaldırma esnasında ısı oluşan bölgeler  
(Bhattacharyya,1969)

- (ii) Takım-talaş arayüz bölgesi, (2), ikinci deformasyon bölgesi takım-talaş arayüz bölgesinde oluşmakta ve bu oluşum takım-talaş arayüz sürtünmesinden kaynaklandığı gibi, kayma bölgesinden oluşarak gelen ısı da burada etkili olmaktadır.
- (iii) Takımın serbest yüzeyi ile işlenmiş iş parçası yüzeyi arasındaki bir hat sürtünmesinden (bu hat sürtünmesi çok keskin takımlar için geçerlidir) oluşan ısıdır. Bu ısı 1. ve 2. bölgelerde oluşan ısının yanında ihmal edilebilir.

#### 3.1.1 Isı kaynaklarının sıcaklık artışına etkisinin matematik modellemesi

Eğer talaş yüzeyinin birim alanına ani bir şekilde belirli bir miktar ısı verilirse, bu yüzey sıcaklığın “ani kaynağı” olur. Fakat sıcaklık ani değil de sürekli olarak gelişirse bu “devamlı kaynak” olarak bilinir. Sürekli kaynaktaki ısının bırakılma oranı sabit veya  $\phi(T)$  gibi bir zamanın bir fonksiyonu olarak açıklanabilir. Isının verilmesi uzun sürdüğünde, öyleki sıcaklık zamana göre belirli bir limite ulaştığında, bu kaynak ısının “dayanak kaynağı” olarak isimlendirilir.

Bunlardan başka ısının yerleşme kaynağına bağlı olarak, nokta, hat, talaş ya da silindirik kaynaklar olabilir. Çok sık karşılaşılan bir başka ısı kaynağı da; “ısının hareket eden kaynağı” denilen, sabitleştirilmiş aracın içinden ısının hareket ettiği kaynaktır. Talaş şekillendirilmesinin sık karşılaşılan çeşitli ısı kaynakları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Talaş şekillendirilmesinde çeşitli ısı kaynakları  
(Bhattacharyya, 1969)

Isı iletiminin Fourier eşitliği

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (3.1)$$

olarak verilmiştir. Bu eşitlik aşağıda belirtilen tipteki bir çözümle sağlanmıştır,

$$\theta = \frac{q}{8(\pi \alpha T)^{3/2}} \exp \left[ \frac{-\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2\}}{4\alpha T} \right] \quad (3.2)$$

burada,

$\theta$  = her yerleşimdeki sıcaklık  $x, y, z$ , °C.,

$q$  = Zamanın  $T = 0$  olduğu anda ve  $x', y', z'$  "den bırakılan ani nokta ısısının dayanıklılığı olduğu yerdedir.

[ $T = 0$  anında  $x', y', z'$  bırakılan toplam ısı miktarı =  $q$  pc ]



$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho c \theta \, dx \, dy \, dz =$$

$$= \frac{q \rho c}{8(\pi \alpha T)^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x-x')^2}{4\alpha T}} \, dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(y-y')^2}{4\alpha T}} \, dy \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(z-z')^2}{4\alpha T}} \, dz$$

$q \rho c$  = bırakılan toplam enerji

burada,

$$\alpha = \text{termal difüzyon} = \frac{\lambda}{\rho c}, \text{ cm}^2/\text{sn},$$

$\lambda$  = termal iletkenlik, (cal/cm/sn/°C.),

$\rho c$  = volume spesifik ısı, [cal/°C./cm<sup>3</sup>]

[Not: Isıdan, gövdeye transfer edilen miktar sadece termal öz iletkenliğe bağlıdır, çünkü bu kaynaktaki sıcaklık derecesindeki yükseliş “ $\rho c$ ” ye bağlı olarak termal difüzyon dönemi girişini meydana getirip çeşitlendirecektir.]

Genelde ani nokta kaynaklı çözüm temel olarak alınır.

Zamana göre verilen orandaki ısı ile devamlı nokta kaynaklı çözümün tamamlanması sağlanır.  $T \rightarrow \infty$  kabul edilerek destekli nokta kaynağı çözümü elde edilir. Uygun boşluk değişkenliği tanımlamalarına gelince, hat ya da talaş kaynağı çözümleri bulunmuştur. Zamana göre tamamlanarak bağlantının belirli bir hızla değişimi düşünülmüş ve hareket eden çözümü elde edilmiştir.

Böylece 3.2 bağıntısı her türlü ısı kaynağında sürdürülebilir. Devam eden nokta kaynak için, ısı her birim zamanına göre  $\phi(T) \cdot \rho c$  oranında bırakıldığında,  $T = 0$ 'dan  $T = T'$  ye kadar her yerleşimde  $x', y', z'$ , sıcaklık derecesi yükselişi  $T$  zamanındaki  $x, y, z$ 'deki

$$\theta = \frac{1}{8(\pi \alpha)^{3/2}} \int_0^T \phi(T') e^{-r^2/4\alpha(T-T')} \frac{dT'}{(T-T')^{3/2}} \quad (3.3)$$

burada,

$$r^2 = (x - x')^2, (y - y')^2, (z - z')^2$$

eğer ısı bırakılışındaki oran sabitse,

$$\theta = \frac{q}{4(\pi\alpha)^{3/2}} \int_{\frac{1}{\sqrt{T}}}^{\infty} e^{-r^2 T_1^2 / 4\alpha} dT_1$$

burada,  $T_1 = (T - T')^{-1/2}$

Bundan sonra,

$$\theta = \frac{q}{4\pi\alpha r} \operatorname{erfc} \frac{r}{\sqrt{4\alpha T}} \quad (3.4)$$

Sağlam durum dağıtımını için, ne zaman  $T \rightarrow \infty$ ,

$$\theta = \frac{q}{4\pi\alpha r} \quad (3.5)$$

Devamlı hareketli nokta ısı kaynağı için, sıcaklık  $q$  cal/sn olsun,  $x, y, z$  bir defaya mahsus  $dT$  ve sınırsız kesme hızı ( $V$ ) ile hareket edip kaynağı  $x$ -eksenine paralel olarak geçer,  $x, y, z$  doğrultularından birinin sıcaklık derecesi  $T'$ den hesaplanabilir.

$$d\theta = \frac{q dT'}{8\pi c [\pi\alpha(T - T')]^{3/2}} \exp \left[ -\frac{\{x - V(T - T')\}^2 + y^2 + z^2}{4\alpha(T - T')} \right] \quad (3.6)$$

Bundan sonra,  $T$  zamanındaki,  $0$  ve  $T$  periyotları arasındaki ısı bırakılışı sıcaklık derecesi,

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{q}{8\pi c [\pi\alpha]^{3/2}} \int_0^T \frac{e^{-\{x - V(T - T')\}^2 + y^2 + z^2 / [4\alpha(T - T')]}}{(T - T')^{3/2}} dT' \\ &= \frac{q}{2R\lambda\pi^{3/2}} e^{\frac{Vx}{2\alpha}} \int_{\frac{R}{2\sqrt{\alpha T}}}^{\infty} e^{-\xi^2 - (V^2 R^2 / 16\alpha^2 \xi^2)} d\xi \quad (3.7) \end{aligned}$$

burada,  $R = x^2 + y^2 + z^2$

Sağlam durum çözümü için  $T \rightarrow \infty$ ,

$$\theta = \frac{q}{4\pi\alpha R} e^{-V(R-x)/2\alpha} \quad (3.8)$$

Bir hat kaynağı için ünite uzunluğu ve ünite uzunluğu boyunca y eksenini vasıtasıyla  $q'$  oranında ısı yayıldığında ve yüzeydeki sıcaklık derecesi ( $Z = 0$ ) araştırıldığında, (3.8) y-ekseni boyunca  $-\infty$  ve  $\infty$  arasında tamamlandığında aşağıdaki çözümü sağlar:

$$\theta = \frac{q'}{2\pi\lambda} e^{\frac{Vx}{2\alpha}} K_0\left[\frac{Vx}{2\alpha}\right] \quad (3.9)$$

$K_0(x)$  ikinci çeşit normal sıfırın değişikliğe uğramış Bessel fonksiyonunun olduğu yerde.

Jeagar (3.3), Blok (3.4), Denklem 3.9'dan sonsuz bir talaş kaldırma kaynağının çözümünü çıkardılar.  $-1 < x < 1$ ,  $-\infty < y < \infty$  ve yüzeyde  $z = 0$ , sıcak akım  $q$  cal/cm<sup>2</sup>/sec olduğunda saran takım süratle ( $V$ ) x doğrultusunda hareket eder.

Eşitlik 3.9'u bütünlersek:

$$\theta = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_{-1}^1 e^{V(x-x')/2\alpha} K_0\left[\frac{V(x-x')}{2\alpha}\right] dx' \quad (3.10)$$

Boyutsuz parametreleri yerlerine konulduğunda,

$$L = \frac{Vl}{2\alpha}, \quad x = \frac{Vx}{2\alpha}$$

Eşitlik 3.10 aşağıdaki duruma getirilir.

$$\theta = \frac{q\alpha}{\pi\lambda V} \int_{x-L}^{x+L} e^u K_0(u) du \quad (3.11)$$

$K_0(u)$  = İkinci tür ve normal sıfırın değişikliğe uğramış Bessel fonksiyonu

Bu eşitlik, talaş kaldırmada oluşan sıcaklık çözümlerindeki muhtemel kullanımlardan biri olacaktır.

Eğer  $L$ ,  $0.2$ 'den çok daha geniş ve büyükse,  $x = l$ 'den meydana gelen maksimum sıcaklık derecesi  $\theta_m$  sağlanır.

$$\theta_m = \frac{q l}{\lambda \sqrt{\pi L}} \quad (3.12)$$

Yarı sınırsız katının sıcaklık derecesi bu çözümün iki katı olur ve bölge üzerindeki ortalama sıcaklık derecesi de;

$$\begin{aligned} \theta_{\text{avg}} &= 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{q l}{\lambda \sqrt{\pi L}} \\ &= 0.754 \frac{q l}{\lambda \sqrt{L}} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Bu eşitlik ayrıca talaş kaldırma sıcaklıkları için oluşacak sonraki gelişmelerde oldukça fazla kullanılacaktır.

### 3.2 Talaş Yüzeyi Sıcaklığı

Talaş yüzeyi boyunca tüketilen talaş kaldırma enerjisi miktarı için:

$$E_s = P_s \cdot V_s \quad (3.14)$$

Fakat enerji hesaplamalarından,

$$P_s V_s = P_z V_c - F \cdot V_f \quad (3.15)$$

$V_s$ ,  $V_c$  ve  $V_f$ , cm/saniye

Bu enerjinin  $A$  yüzdesinin ısıya çevrildiğini düşünerek, talaş kaldırma bölgesi ısısı her birim zamanda ve birim alanda aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$q_1 = \frac{A [P_z \cdot V_c - F \cdot V_f]}{\zeta a_1 b_1 \operatorname{cosec} \beta} \quad (3.16)$$

$a_1$ ,  $b_1$ 'in cm cinsinden olduğu ve

$\zeta$ = Kilogramdaki ısının mekanik eşitliği cm/cal.

$A = 0.98 - 1.00$  arasında

Bu ısının bir bölümü,  $c_1 q_1$  talaş ile birlikte hareket edecek ve kalan  $(1 - c_1) q_1$  tekrar iş parçasına geri akacak. Talaşa giden toplam talaş kaldırma enerjisi  $c_1 q_1$ :

$$Ac_1 \left[ \frac{P_z V_c - FV_f}{\zeta} \right] \text{ olacak}$$

bu ısıdan talaşın sıcaklık derecesini arttırmak için yararlanırken,

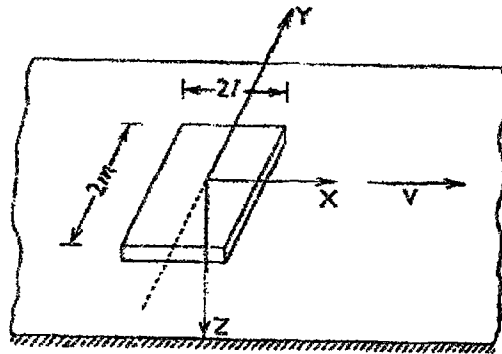
$$\frac{Ac_1}{\zeta} [P_z V_c - FV_f] = c_{p1} \cdot \rho_1 V_c a_1 b_1 [\bar{\theta}_s - \bar{\theta}_0] \quad (3.17)$$

$c_{p1} \rho_1$  = Talaş malzemesinin talaş kaldırma bölgesi sıcaklığının özgül yoğunluk ısısı  $\text{cal/cm}^3/^\circ\text{C}$

$$\bar{\theta}_s = \frac{Ac_1 [P_z V_c - FV_f]}{\zeta c_{p1} \cdot \rho_1 V_c a_1 b_1} + \bar{\theta}_0 \quad (3.18)$$

$\bar{\theta}_0$  = Çevre sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )

Jaegar'ın (3.13) bağıntısında meydana getirilen hareketli ısı kaynağı şemasından (Şekil 3.3) yola çıkarak, Loewen & Shaw Şekil 3.5 zannettiler ki talaş kaldırma bölgesindeki sıcaklık derecesi benzetilebilir. Bu benzetme mükemmel kayıcı iletken sayesinde kesici takımda akan ısı ile hareketli kaynağın şiddetinden dolayı  $(1 - c_1) q_1$ , hızla kayan  $V_s$  ile Şekil 3.4'te gösterildiği gibi olmuştur.

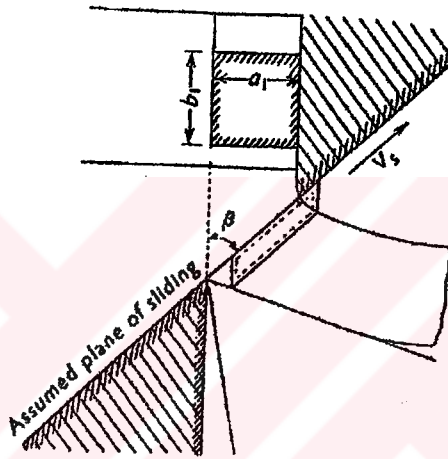


Şekil 3.3 Jaegar'ın hareketli ısı kaynağı şeması (Bhattacharyya, 1969)

$$\bar{\theta}_s = \frac{0.754 (1 - c_1) q_1 \left[ \frac{a_1}{2} \operatorname{cosec} \beta \right]}{\lambda_1 \sqrt{L_1}} \quad (3.19)$$

$$L_1 = \frac{V_s \left[ \frac{a_1}{2} \operatorname{cosec} \beta \right]}{2\alpha_1} = \frac{V_c \cdot \epsilon \cdot a_1}{4\alpha_1} \quad (3.20)$$

$a_1$ 'in  $\text{cm}^2/\text{saniye}$ 'deki öziletken yüzeyin termal yayılması olduğu yerde



Şekil 3.4 Talaş yüzeyinde ısı kaynağı hareketi (Bhattacharyya, 1969)

(3.18) eşitliğinin (3.19) ile eşitlenmesi durumunda

$$C_1 = \frac{1}{1 + 1328 \sqrt{\frac{\alpha_1 \cdot \epsilon_1}{V_c a_1}}} \quad (3.21)$$

3.18'de yerine koyarsak

$$\bar{\theta}_s = \frac{A [P_z V_c - F V_f]}{\left[ 1 + 1328 \sqrt{\frac{\alpha_1 \cdot \epsilon_1}{V_c a_1}} \right] (\zeta \rho_1 \cdot C_{p1} V_c a_1 b_1)} + \theta_0 \quad (3.22)$$

elde edilir.

### 3.3 Ortalama Talaş-Takım Arayüz Sıcaklığı

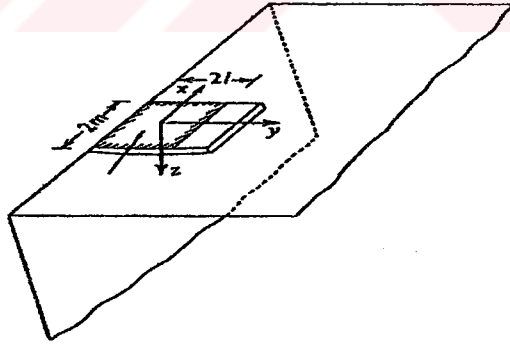
Sonsuz bir katının içindeki sıfır derece başlangıcı,  $x, y, z$  noktasındaki sıcaklık yükselmesi,  $T$  zamanında bir miktar ısıdan dolayı  $q$   $x', y', z'$  den ani biçimde bırakılmıştır. Denklem 3.2'de sıfır zamandan gösterilmiştir:

$$\Delta\theta_{x,y,z} = \frac{q\alpha}{8\lambda(\pi\alpha T)^{3/2}} \exp\left[\frac{\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2\}}{4\alpha T}\right]$$

Sınırlı bir bölge üzerinde sürdürülen devamlı ısı kaynağı ihtimaline karşı ve sabit durum şartı için, yani  $T \rightarrow \infty$  dan sıcaklıkların yükselmesi eşitliği, değişken olmayan sıcaklık kaynağı sayesinde. Bu sıcaklık kaynağı Şekil 3.5'te gösterildiği gibi

$-l < x' < l$  ve  $-m < y' < m$  üzerinde sürdürülmektedir.

$$\Delta\theta_{x,y,z} = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_{-l}^{+l} dx' \int_{-m}^{+m} \frac{dy'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2}} \quad (3.23)$$



Şekil 3.5 Talaş-Takım arayüzeyinde sabit ısı kaynağı (Chao ve Trigger).

Daha sonra,

$$\begin{aligned} [\Delta\theta]_{z=0} = & \frac{q}{2\pi\lambda} \left[ (x+l) \left\{ \sinh^{-1} \frac{y+m}{x+l} - \sinh^{-1} \frac{y-m}{x+l} \right\} \right. \\ & \left. + (x-l) \left\{ \sinh^{-1} \frac{y-m}{x-l} - \sinh^{-1} \frac{y+m}{x-l} \right\} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (y+m) \left\{ \sinh^{-1} \frac{x+l}{y+m} - \sinh^{-1} \frac{x-l}{y+m} \right\} \\
& + (y-m) \left\{ \sinh^{-1} \frac{x-l}{y-m} - \sinh^{-1} \frac{x+l}{y-m} \right\}
\end{aligned} \quad (3.24)$$

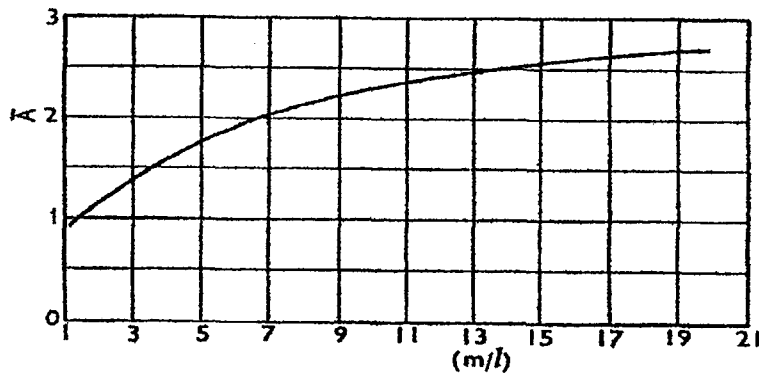
Ortalama sıcaklık yükselmesi,

$$\Delta \theta_i \Big|_{\text{arg}} = \frac{\int_{-l}^{+l} \int_{-m}^{+m} (\Delta \theta)_{x,y,z=0} dx dy}{4lm} \quad (3.25)$$

$$= \left( \frac{ql}{\lambda} \right) \bar{A} \quad (3.26)$$

$$\bar{A} = \frac{2}{\pi} \left\{ \sinh^{-1} \left( \frac{m}{l} \right) + \left( \frac{m}{l} \right) \sinh^{-1} \left( \frac{l}{m} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{m}{l} \right)^2 + \frac{1}{3} \left( \frac{l}{m} \right) - \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{l}{m} \right) + \left( \frac{m}{l} \right) \right] \sqrt{1 + \left( \frac{m}{l} \right)^2} \right\} \quad (3.27)$$

Şekil 3.6  $\bar{A}$  faktörünün oranı ( $m/l$ ) bakımından çeşitliliğini gösteriyor. Bu Lowen ve Shaw tarafından hazırlanmıştır.



Şekil 3.6  $m/l$  oranına göre  $\bar{A}$  alan faktörü varyasyonu (Bhattacharyya, 1969)

$-\infty$ 'dan  $+\infty$ 'a sürdürülen bir kesme kenarı için;

$$\frac{m}{l} = \frac{t}{2l} \quad (3.28)$$



$t$  = kesme derinliği, mm.

$l = c_n$  = doğal bağlantı uzunluğu, mm,

0° dan ∞° a sürdürülen kesme kenarı, tıpkı basmakalıp dönüşlerdeki sınırlanmış kesimler gibi:

$$\frac{m}{l} = \frac{t}{l} \quad (3.29)$$

Ara yüzeyde bırakılan ısı:

$$q_2 = \frac{F \cdot V_f}{\zeta \cdot b_1 \cdot l} \quad (3.30)$$

Talaşa giden ısı miktarı  $c_2 q_2$  ve takıma giden ısı  $(1-c_2) q_2$ .

Tekrar Jaegar'ın hareketli ısı kaynağı eşitliğini kullanarak (Eşitlik 3.13)

$$\Delta\theta_i = \frac{0.754 (c_2 q_2) \frac{l}{2}}{\lambda \sqrt{L_2}} \quad (3.31)$$

$$L_2 = \frac{V_f \frac{l}{2}}{2\alpha_2} \quad (3.32)$$

ve  $\lambda_2, \alpha_2$  = termal iletkenlik ve talaş malzemesinin arayüz sıcaklığında termal yayılma

$$\theta_i = \theta_s + \frac{0.377 c_2 q_2 l}{\lambda_2 \sqrt{L_2}} \quad (3.33)$$

Fakat 3.26'dan

$$\theta_i = \frac{(1-c_2) q_2 l}{\lambda_3 A} + \theta_0 \quad (3.34)$$

ve  $\lambda_3$  = arayüz sıcaklığında takım malzemesinin iletkenliği

3.33 ile 3.34 bağıntılarını eşitleyerek

$$C_2 = \left[ \frac{\frac{q_2 \cdot l \cdot \bar{A}}{\lambda^3} - \theta_s + \theta_0}{\frac{q_2 \cdot l \cdot \bar{A}}{\lambda^3} + \frac{0.377}{q_2 \lambda_2 \sqrt{L_2}}} \right] \quad (3.35)$$

elde edilir. Bununla birlikte:

$$E_s = \tau_s \cdot \varepsilon \quad (3.36)$$

$$\text{ve } E_f = \frac{\mu \cdot \tau_s}{\zeta \cdot \sin \beta}$$

(3.37)3.35, 3.36 ve 3.37 ifadelerinin toparlanması durumunda

$$\begin{aligned} [\theta_i - \theta_0] = & \frac{\tau_s}{\zeta} \sqrt{\frac{V_c a_1 \varepsilon}{\lambda_2 \rho_2 c_{p_2}}} \left[ \frac{0.754 \cdot l \sqrt{\frac{a_1}{\zeta \cdot \varepsilon \cdot l \cdot \sin^2 \beta}}}{1 + \frac{0.754}{A} \left( \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \right) \sqrt{l \cdot V_c}} \right] + \\ & + \frac{1}{\left[ \sqrt{\frac{V_c \cdot a_1}{\alpha_1 \cdot \varepsilon} + 1.328} \right] \left\{ 1 + \frac{0.754}{A} \left( \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \right) \right\} \sqrt{\frac{\alpha_2 \zeta}{l \cdot V_c}}} \end{aligned} \quad (3.38)$$

Bu eşitlikten de anlaşıldığı gibi sıcaklık derecesi direkt olarak çalışma malzemesinin dinamik kesim baskısına ( $\tau_s$ ) bağlı ve bununla birlikte kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve termal kombinasyona da bağlı ( $\lambda \cdot \rho \cdot c_p$ ).

### 3.4 Yüzey Sıcaklıklarının Boyutsal Analizi

Kronenberg (3.12), Loewen ve Shan (3.5), talaş-takım arayüz sıcaklığı ve metal kesme çeşitlilikleri arasında bir bağlantı meydana getirdiler.

Kesici takım sıcaklığını etkileyen fiziksel bilgiler:

Fiziksel büyüklük	Sembol	Boyut
Sıcaklık	$\theta_i$	$\theta$
Talaş kalınlığı	$a$	$L$
Kesme hızı	$V_e$	$L / T$
Termal iletkenlik	$\lambda$	$M L / T^3 \theta$
Özgül yoğunluk ısısı	$\rho c$	$M / L T^2 \theta$
Özgül kesim enerjisi	$E_c$	$M / L T^2$

Buckingham'ın iki teoremine bakarak, iki boyutsuz parametre kurulabilir,

$$Q_1 = \frac{\rho c \theta_i}{E_c} \quad (3.39)$$

ve

$$Q_2 = \left( \frac{V_e \cdot \rho \cdot c \cdot a_1}{\lambda} \right)^2 \quad (3.40)$$

$Q_1, Q_2$ 'ye parsellendiğinde formdaki bağlantı

$$Q_1 = C_1 \cdot Q_2^n \quad (3.41)$$

olduğu gözlenir. Böylece,

$$\frac{\rho \cdot c \cdot \theta_i}{E_c} = C_1 \left( \frac{V_e \cdot \rho \cdot c \cdot a_1}{\lambda} \right)^{2n}$$

$$\theta_i = \frac{V_e^{2n} \cdot a_1^{2n} \cdot E_c \cdot C_1}{\lambda^{2n} (\rho c)^{1-2n}} \quad (3.42)$$

Fiziksel verilere göre “n”, yaklaşık olarak 0.25 olarak bulunmuştur.

$$\theta_i = \frac{V_c^{0.5} \cdot a_1^{0.5} \cdot E_c \cdot C_1}{\lambda^{0.5} (\rho c)^{0.5}}$$

$$= C_1 \cdot E_c \cdot \sqrt{\frac{V_c \cdot a_1}{\lambda \cdot \rho c}} \quad (3.43)$$

Eşitlik 3.38 ile karşılaştırma sözkonusu olabilir.

### 3.5 Kayma Yüzeyi Sıcaklık Dağılımı

Kesici takımındaki sıcaklık dağılımları ile ilgili birçok uygun çözüm 3.6, 3.7 ve 3.8'de gösterilmiştir.

Weiner tarafından ortaya atılan bir öneriye göre, hareket eden bir malzemede ısı yalnızca öz iletkenlik ile değil aynı zamanda taşıma yolu ile de transfer edilebiliyor. Talaş akışı yönünde her enine kesitteki ısı transferi aşağıda verilmiştir.

$$dQ = -\lambda \cdot dA \text{ grad } \theta + \rho c V \, dA \, \theta_{arg}$$

$$= -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot b \, \Delta y + \rho c V \left( \theta + \frac{1}{2} \frac{\partial \theta}{\partial y} \cdot \Delta y \right) b \, \Delta y \quad (3.44)$$

Sabit durum şartları altındaki bir küpü ele alarak:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} - \frac{\rho c V}{\lambda b} \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad (3.45)$$

$V = x$ - yönündeki malzeme akışının hızı

$b =$  Akış yönündeki dikey genişlik

Üstteki değişiklik eşitliğinde odaklanan Weiner, iş parçasının sıcaklık dağılımını saptamak için analitik bir görüş öne sürdü. Bu görüş, talaş kaldırma bölgesinde bırakılan deformasyon ısı sonucunda talaş yüzeyi boyunca devam eden iş parçasındaki sıcaklık dağılımının saptanması ile ilgilidir.

Şekil 3.7'ye göre sınır şartları:

$$\frac{\partial \theta}{\partial y} = 0, \quad -\infty < x < 0, y = 0$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial y} = 0, \quad L \cdot \cos \beta < x < \infty, y = b$$

Böylece,

$$\lambda \left[ \cos \beta \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} - \sin \beta \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + V \cdot \rho \cdot c \cdot \sin \beta \cdot U = -f(x) \cdot q$$

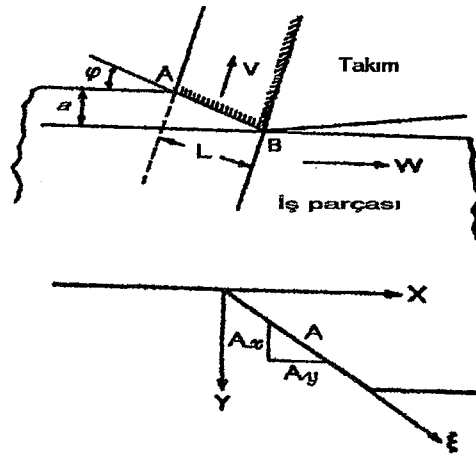
$0 < x < L \cdot \cos \beta, y = \psi \cdot x$  arasında

$$\lim_{y \rightarrow \infty} U = 0$$

$$\psi = \tan \beta$$

$q$  = talaş kaldırma bölgesinde bırakılan ısı

$f(x) = x$ 'te iş parçasına transfer edilen talaş yüzeyi ısısının net kesimi



Şekil 3.7 Isı kaynakları ve koordinasyonu (Bhattacharyya, 1969)

Sıcaklık, aşağıdaki gibi verilmiştir.

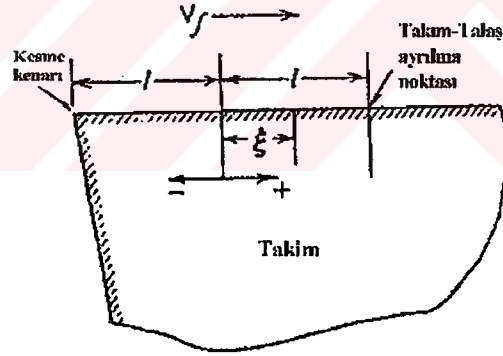
$$\theta(x,0) = \frac{q}{V\rho c \cdot \sin\beta} \left[ (1+2c^2x) \operatorname{erf} c\sqrt{x} + \frac{2c\sqrt{x}}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-c^2x} - 2c^2x \right]$$

$$c = \frac{\tan\beta}{2} \sqrt{\frac{V_c}{b}} \quad (3.46)$$

### 3.6 Talaş-Takım Arayüzeyinde Sıcaklık Dağılımı

Shao ve Trigger (3.9, 3.10., 3.11) tarafından yüzey sıcaklık dağılımını belirlemek için birçok metod geliştirilmiştir.

Talaş kaldırma bölgesi üzerindeki sıcaklık artışı, orta uzunluk bağlantısından  $\xi$  noktası mesafede (3.11) bağıntısı kullanılarak (Şekil 3.8) saptaması yapılmıştır. (Burada 3.11 hareketli ısı kaynağı için geliştirilmiştir.)



Şekil 3.8 Yüzey sıcaklığını hesaplama şeması (Bhattacharyya,1969)

$$\delta\theta_i = \frac{2q_i}{\pi c \rho V_f} \int_{E-L}^{E+L} e^{-u} \cdot K_0[|u|] du \quad (3.47)$$

$$E = \frac{V_f \cdot \xi}{2\alpha_c}, \quad L = \frac{V_f \cdot l}{2\alpha_c},$$

ve  $K_0$  = normal sıfır ve ikinci türün değişikliğe uğratılmış Bessel fonksiyonu.

$q_i$  = Isı kaynağı şiddeti, yüzeye bırakılan bütün ısının talaşa transfer edildiğini düşünerek hesaba katılır.

İntegralin ( Denklem 3.47 ) Çözümü:

$$\int_A^B e^{-U} K_0(u) du$$

$$\int_A^B e^{-U} K_0(u) du - I(B) - I(A) = \int_0^P e^{-P} K_0(u) du - \int_0^P e^U K_0(u) du \quad (3.48)$$

$$I_P = \int_A^B e^{-U} K_0(u) du, \quad p = +vc.$$

$$I_P = -e^{-U} K_0(u) \Big|_0^P + \int_0^P u e^{-U} K_0(u) du + \int_0^P u e^{-U} K'_1(u) du \quad (3.49)$$

$$\int_0^P u e^{-U} K_0(u) du = -p e^{-P} K_0(p) + \int_0^P e^{-U} K_0(u) du + \int_0^P u e^{-U} K'_0(u) du \quad (3.50)$$

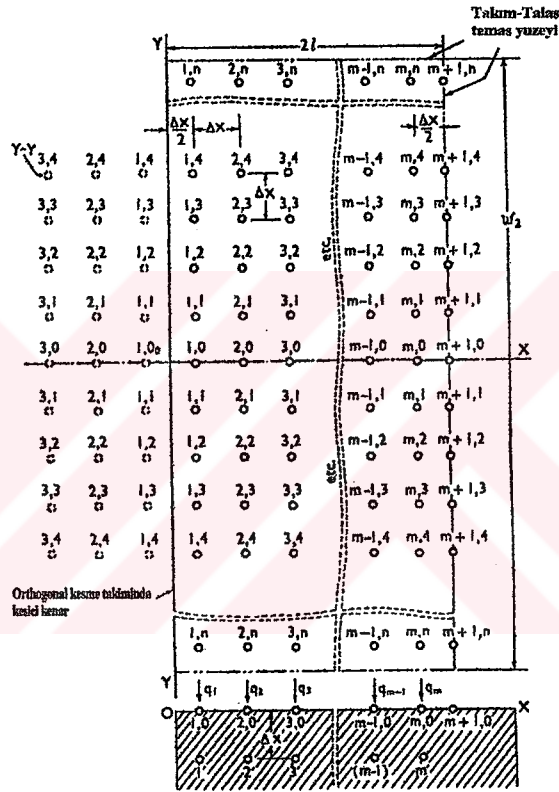
$$\int_0^P u e^{-U} K'_1(u) du = p e^{-P} K_1(p) - 1 - \int_0^P (e^{-U} - u e^{-U} K_1(u)) du \quad (3.51)$$

$$\lim_{U \rightarrow 0} [u e^{-U} K_0(u)] = 0 \dots \lim_{U \rightarrow 0} [u e^{-U} K_1(u)] = 1$$

$$I(p) = -e^U K_0(u) \Big|_0^P - p e^{-P} K_0(p) + p e^{-P} K_1(p) - 1 + \int_0^P e^{-U} K'_0(u) du$$

İlk ortalama dan sağlanmış olan hesaplanmış sıcaklık profilleri, bağlantı bölgesi üzerindeki takımın, en yüksek yüzeyinde birlikte ortalama olarak alınmışlardır ve ısı akımı dağıtımı tespit edilmiştir. İkincisi ise toplam yüzey sıcaklığından çıkarılır ve ikinci ortalama olarak yeni ve sabit olmayan bir ısı akımı dağılımı verir. Bu ikincisinden daha doğru sıcaklık dağılımı hesaplanabilir.

Şekil 3.9'da takımın en yüksek yüzey ağını görüyoruz. Burada takım kendi dikdörtgen biçimli talaş bağlantısının üzerindedir. Bu bağlantı ısı akımını tespit etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.9 Etkileşim tekniği için talaş-takım arayüzünde bölümlenme (Bhattacharyya,1969)

1', 2', ....., vb., 'deki sıcaklık yükselmesi aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$\Delta\theta'_i = \theta'_i - \theta_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_T} \sum_{i=1}^m q_i \left[ \frac{1}{1'^{d_{i,0}}} + \frac{1}{1'^{d_{i,\theta}}} \right] + \frac{1}{\pi\lambda_T} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij} \left[ \frac{1}{1'^{d_{i,j}}} + \frac{1}{1'^{d_{i,j}}} \right] \quad (3.52)$$

$q_i$  = i.sütunun alanı üzerine akan ısı miktarı

$1'^{d_{i,j}}$  = kafes noktasından (i,j), 1''ne olan mesafe



$l^{d_{t,j}}$  = imge noktasından (t,j), l' noktası için mesafe.

$$\frac{1}{l'^{\Delta_i}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{l'^{d_{t,0}}} + \frac{1}{l'^{d_{t,0}}} \right] + \sum_{j=1}^n \left[ \frac{1}{l'^{d_{t,j}}} + \frac{1}{l'^{d_{t,j}}} \right] \quad (3.53)$$

(3.48) bağıntısı genelleştirilmiş formda yazılabildiğinde,

$$\Delta \theta'_r = \theta'_r - \theta_0 = \frac{1}{\pi \lambda_T} \sum_{i=1}^m \frac{q_i}{r'^{\Delta_i}} \quad (3.54)$$

$$\frac{1}{r'^{\Delta_i}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{r'^{d_{i,0}}} + \frac{1}{r'^{d_{i,0}}} \right] + \sum_{j=1}^n \left[ \frac{1}{r'^{d_{i,j}}} + \frac{1}{r'^{d_{i,j}}} \right]$$

ve  $r' = 1', 2', 3', \dots, \dots$ , yada  $m'$ .

Isı balansı m, 0:

$$\theta'_{(m-1)} = \frac{4\theta_{m-1} - \theta_{m-2} - \theta_m}{2} - \frac{q_{m-1}}{\lambda_T \Delta x} \quad (3.55)$$

$$\theta'_m = \frac{9\theta_m - 2\theta_{m-1} - 4\theta_{m+1}}{3} - \frac{4}{3} \frac{q_m}{\lambda_T \Delta x} \quad (3.55 a)$$

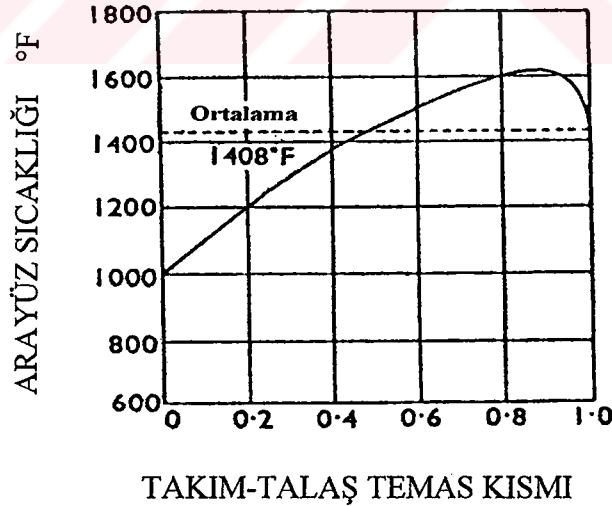
ve bu eşitlikleri yerine koyarak,

$$\begin{bmatrix} \dots \left( \frac{\pi}{\Delta_x} + \frac{1}{l'^{D_1}} \right) \frac{1}{l'^{D_2}}, \frac{1}{l'^{D_3}}, \dots, \frac{1}{l'^{D_m}} \dots & q_1 \\ \dots \frac{1}{2'^{D_1}}, \left( \frac{\pi}{\Delta_x} + \frac{1}{2'^{D_1}} \right), \dots, \frac{1}{2'^{D_m}} \dots & q_2 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \frac{1}{(m-1)'^{D_1}}, \frac{1}{(m-1)'^{D_2}}, \dots, \left( \frac{\pi}{\Delta_x} + \frac{1}{(m-1)'^{D_{m-1}}} \right), \dots, \frac{1}{(m-1)'^{D_m}} & q_{m-1} \\ \frac{1}{m'^{D_1}}, \dots, \frac{1}{m'^{D_2}}, \dots, \left( \frac{4}{3} \frac{\pi}{\Delta x} + \frac{1}{m'^{D_m}} \right) & q_m \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \pi \lambda_T \left( \frac{3\theta_1 - \theta_2}{2} - \theta_0 \right) \dots\dots\dots \\ \pi \lambda_T \left( \frac{4\theta_2 - \theta_1 - \theta_3}{2} - \theta_0 \right) \\ \dots\dots\dots \\ \pi \lambda_T \left( \frac{4\theta_{m-1} - \theta_{m-2} - \theta_m}{2} - \theta_0 \right) \dots \\ \pi \lambda_T \left( \frac{9\theta_m - 2\theta_{m-1} - 4\theta_{m+1}}{3} - \theta_0 \right) \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

Böylece n bilinmeyeni için çözümlenmek üzere n eşzamanlı lineer cebirsel eşitlikler vardır.  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ . Süperpozisyonda kural, yerel arayüz sıcaklığının işletilip hesaplanması. Her kafes noktası için ısı akışı  $\Delta x$  mesafesi üzerinde aynıdır. Sonraki 3.47 eşitliği 2b'nin  $\Delta x$  ile ve (q) nin (qic) ile yer değiştirmesi durumunda uygulanabilir. Yeni bir sıcaklık dağılımı, bağlantının tüm uzunluğu üzerindeki talaş yüzeye eğimli, sabit olmayan enerji akışı sayesinde şimdi hesaplanabilir.

Tekrar tekniği ile sağlanmış tipik bir takım-talaş arayüz sıcaklık dağılımı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



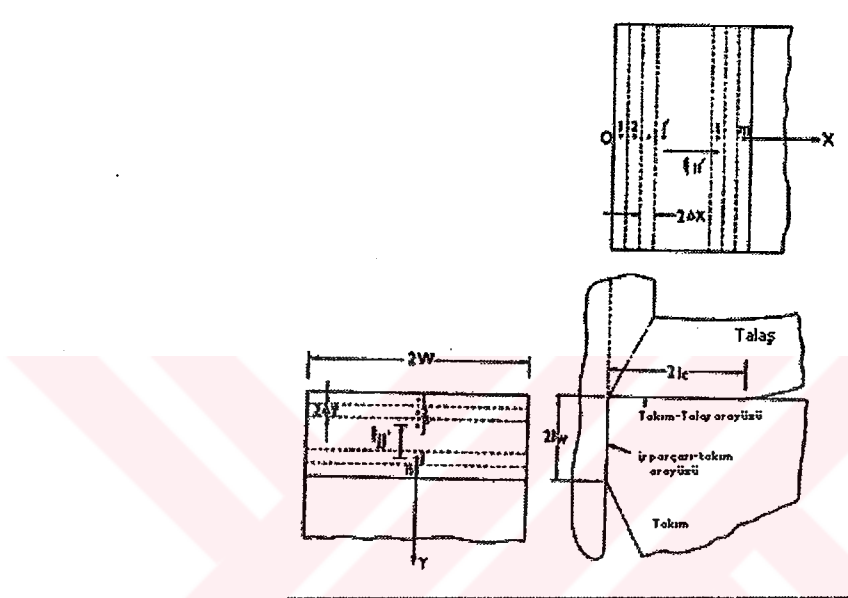
Şekil 3.10 Talaş-takım arayüzeyi sıcaklık dağılımı (Trigger and Chao).

İş parçası : NE-9445,  
Takım malzemesi : Karbür

### 3.7 Talaş-Takım ve Takım-İş parçası arayüzey sıcaklıkları için iteratif olmayan metod

Chao ve Trigger, talaş-takım ve takım-iş parçası arayüzeylerindeki sıcaklık dağılımlarını iteratif olmayan metod ile saptamışlardır.

Talaş-takım ve iş parçası-takım arayüzeylerindeki hareketli ısı kaynağını resimleyen Şekil 3.11'i inceleyelim. Talaş-Takım arayüzeyi  $2(\Delta x)$  genişliğinin "m" bölümcüklerine ve  $2(\Delta y)$  genişliğinin "n" bölümcükleri ile bağlantı halindeki yan (kanat) yüzeye bölünür.



Şekil 3.11 Arayüzeylerin bölümlenmesi şeması (Bhattacharyya, 1969)

Talaş kaldırma bölgesi üzerindeki ısı yükselişi  $\theta_s$ , i yerleşiminden ısı kaynağı sayesinde  $q_{c,i}$ 'nin i sebebiyle olan tek ısı akımı, hat kaynağı üzerinde bırakılıp Eşitlik 3.11'i kullanarak elde edilmiştir.

$$\Delta\theta_{c,i} = \frac{2q_{c,i}}{\pi c \rho V_f} \int_{x_{ii}-\Delta l}^{x_{ii}+\Delta l} e^{-u} K_0(u) du \quad (3.57)$$

$$x_{ii} = \frac{V_f \cdot \xi_{ii}}{2\alpha}, \quad \Delta l = \frac{V_f \cdot (\Delta x)}{2\alpha}$$

Belirli bir alt bölüm sayısı için  $\Delta l$ 'nin sabit olduğunu gözönünde bulundurursak kesin integralin  $\xi_{ii}$ ' mesafesine bağlı olan  $x_{ii}$  parametresinin fonksiyonu olduğunu görüyoruz.

İntegral  $i$ ' ile gösterilir ise, m sayıdaki kaynak sonucunda i'de meydana gelen toplam sıcaklık artışı

$$\theta_{e,i'} = \theta_s + \frac{2}{\pi c \rho V_f} \sum_{i=1}^m q_{c,i} (i|i') \quad (3.58)$$

Aynı şekilde, serbest arayüzeyinde sıcaklığın j'deki mobil ısı kaynağı sonucu olarak j'de çevre sıcaklığını aşması aşağıdaki denklem ile gösterilir.

$$\Delta \theta_{\omega,jj} = \frac{2q_{\omega,j}}{\pi c \rho V_c} \int_{x_{ii'} - \Delta l'}^{x_{ii'} + \Delta l'} e^{-u} K_0(u) du \quad (3.59)$$

Burada,

$$x_{ii'} = \frac{V_c \cdot \xi_{ii'}}{2\alpha}, \quad \Delta l' = \frac{V_c \cdot \Delta y}{2\alpha}$$

Bundan dolayı  $n$  sayıda bu tür kaynak için

$$\theta_{\omega,j'} = \theta_0 + \frac{2}{\pi c \rho V_c} \sum_{j=1}^n q_{\omega,j} (j|j') \quad (3.60)$$

Takım gözönünde bulundurulur ise,

$$\begin{aligned} \Delta \theta_{t,ii'} &= \frac{q_{t,i}}{2\pi \lambda_t} \int_{-b}^{3b} d\eta \int_{-\Delta x}^{\Delta x} \frac{d\xi}{\sqrt{(s_{ii'} - \xi^2) + \eta^2}} \\ &= \frac{b q_{t,i}}{2\pi \lambda_t} \left[ \frac{s_{ii'} + \Delta x}{b} \left\{ \sinh^{-1} \frac{3b}{s_{ii'} + \Delta x} + \sinh^{-1} \frac{b}{s_{ii'} + \Delta x} \right\} \right. \\ &\quad \left. - \frac{s_{ii'} - \Delta x}{b} \left\{ \sinh^{-1} \frac{3b}{s_{ii'} - \Delta x} + \sinh^{-1} \frac{b}{s_{ii'} - \Delta x} \right\} \right. \\ &\quad \left. + \sinh^{-1} \frac{s_{ii'} + \Delta x}{b} + 3 \sinh^{-1} \frac{s_{ii'} + \Delta x}{3b} \right. \\ &\quad \left. - 3 \sinh^{-1} \frac{s_{ii'} - \Delta x}{3b} - \sinh^{-1} \frac{s_{ii'} - \Delta x}{b} \right] \quad (3.61) \end{aligned}$$

3.61 denkleminde parantez içine alınan terim  $iD_i$ ' ile gösterilebilir. Bu da tahminen

$$\Delta\theta_{t,i} = \frac{bq_{t,i}}{2\pi\lambda_t}(iD_i) \quad (3.62)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu denklemde,

$$\Delta\theta_{f,ij} = \frac{q_{f,i}}{2\pi\lambda_t} \int_{-b}^{3b} d\eta \int_{-\Delta y}^{\Delta y} \frac{d\xi'}{s_r^2 + (s_j - \xi')^2 + \eta^2} \quad (3.63)$$

$$\Delta\theta_{f,ij} = \frac{bq_{f,j}}{2\pi\lambda_t}(jD_j)$$

$$jD_r = \left\{ \begin{aligned} & \frac{y_2}{b} \ln \frac{12}{\left(\frac{y_2}{b}\right)^2 + \left(\frac{s_r}{b}\right)^2} - \frac{y_1}{b} \ln \frac{12}{\left(\frac{y_1}{b}\right)^2 + \left(\frac{s_r}{b}\right)^2} \\ & - \frac{2s_r}{b} \left( \tan^{-1} \frac{y_2}{s_r} - \tan^{-1} \frac{y_1}{s_r} \right) \\ & + \dots \end{aligned} \right\} \quad (3.64)$$

ve  $y_1 = s_j - \Delta y$  ,  $y_2 = s_j + \Delta y$

Bundan dolayı  $i$ ' noktasında talaş-takım arayüzeyi OX- boyunca elde edilen sıcaklık hem kesme hem de serbest yüzeyinde ısı kaynaklarının sonucu olarak

$$\theta_{t,i} = \frac{b}{\pi\lambda_t} \left\{ \sum_{i=1}^m q_{t,i} \left[ \frac{iD_i + \bar{i}D_i}{2} \right] + q_{f,j} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{jD_j + \bar{j}D_j}{2} \right\} + \theta_0 \quad (3.65)$$

denklemini ile gösterilir.

Aynı şekilde O<sub>y</sub> boyunca serbest yüzeyde sıcaklık:

$$\theta_{f,j} = \frac{b}{\pi \lambda_t} \left\{ \sum_{i=1}^m q_{t,i} [{}_i D_j] + \sum_{j=1}^n q_{f,j} \left[ \frac{{}_j D_j + {}_j D_j}{2} \right] \right\} + \theta_0 \quad (3.66)$$

ile ifade edilir.

$$\begin{aligned} \text{ve,} \quad q_{c,i} + q_{t,i} &= q_c \\ q_{\omega,j} + q_{f,j} &= q_{\omega} \end{aligned} \quad (3.67)$$

Buna dikkat ederek 3.68 ve 3.69 denklemleri birleştirilir:

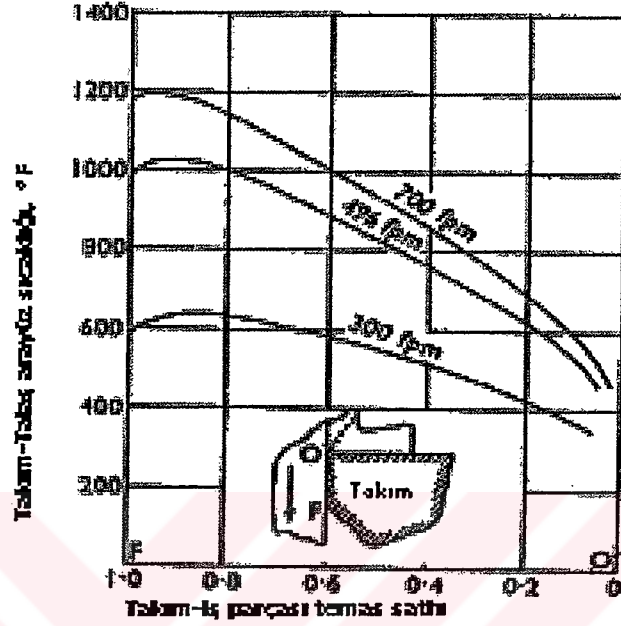
$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m q_{t,i} \left\{ \frac{{}_i D_j + {}_i D_j}{2} + \frac{2\lambda_t}{c\rho V_f b} ({}_i I_j) + \sum_{j=1}^n q_{f,j} ({}_j D_j) \right\} \\ = \frac{2\lambda_t}{c\rho V_f b} q_e \sum_{i=1}^m {}_i I_j + \frac{\pi \lambda_t}{b} (\theta_s - \theta_0) \end{aligned} \quad (3.68)$$

ve,

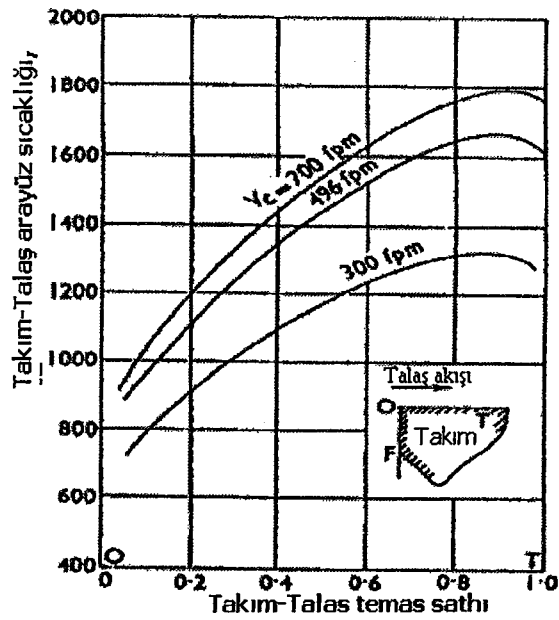
$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m q_{t,i} ({}_i D_j) + \sum_{j=1}^n q_{f,j} \left\{ \frac{{}_j D_j + {}_j D_j}{2} + \frac{2\lambda_t}{c\rho V_c b} ({}_j I_j) \right\} \\ = \frac{2\lambda_t}{c\rho V_c b} q_{\omega} \sum_{j=1}^n {}_j I_j \end{aligned} \quad (3.69)$$

Yukarıda gösterilen  $(m + n)$  lineer denklem oluşturulur. Bilinmeyenler  $m$  sayıda  $q_t$  ve  $n$  sayıda  $q_{f,j}$  'dir. Bu miktarlar belirlendikten sonra lokal sıcaklık 3.65 ve 3.66 nolu denklemlerin uygulanması ile kolayca elde edilebilir.

Bu teknikten yararlanarak Chao ve Trigger talaş-takım ve iş parçası-takım arayüz sıcaklıklarının dağılımını tespit ettiler. Bu Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Serbest yüzeydeki ısı kaynağı ile sıcaklık dağılımı (Bhattacharyya,1969)



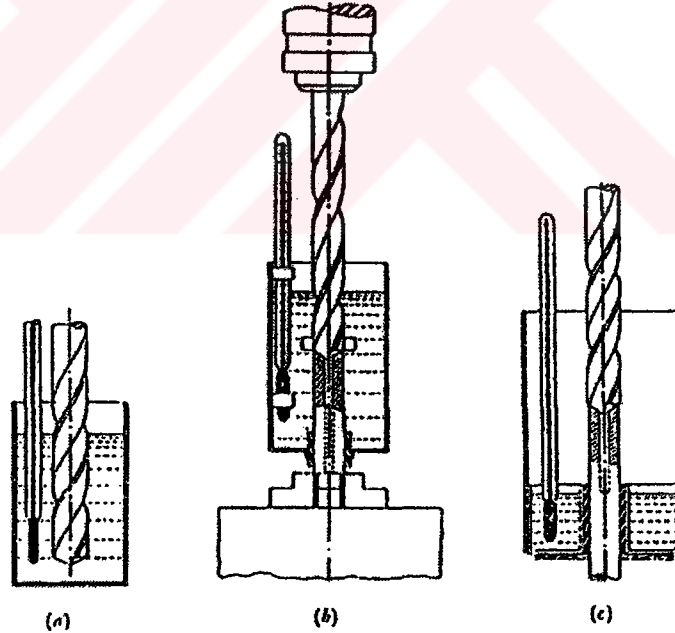
Şekil 3.13 Serbest yüzeydeki sıcaklık dağılımı (Bhattacharyya,1969)

### 3.8 Talaş kaldırmada oluşan sıcaklığın ölçülmesinde kullanılan deneysel yöntemler

Talaş kaldırma işlemleri esnasında takım-talaş ara yüzeyinde ve kayma bölgesinde meydana gelen sıcaklıkların ölçümü için araştırmacılar farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerin başlıcaları şunlardır.

#### 3.8.1 Kalorimetre yöntemi

Bu yöntemde hem talaş kaldırmada oluşan ortalama hemde takım talaş arasında ve iş parçasında oluşan ısı kalorimetre ile belirlenebilmektedir. Isı miktarının kümülatif toplamının ölçülmesinde ve belirlenmesinde, bilinen standart kalorimetre kaplarından yararlanılmaktadır. Isı tesbit edilmek istenen kısım kalorimetre kabı içerisine alınır ve ısı miktarı belirlenir. Klasik kalorimetre kabı ile ısı miktarı tesbit yöntemi, takım ısısı, talaş ısısı ya da her ikisinin birden toplam ısısının ölçümünde kullanılan bir yöntemdir. Şekil 3.14'te çelik bir malzemenin matkapla delinmesi esnasında ısı ölçümleri için geliştirilmiş olan kalorimetre deney seti görülmektedir. Gerek duyulursa sıcaklıklar daha sonra işlemlerle belirlenebilmektedir.

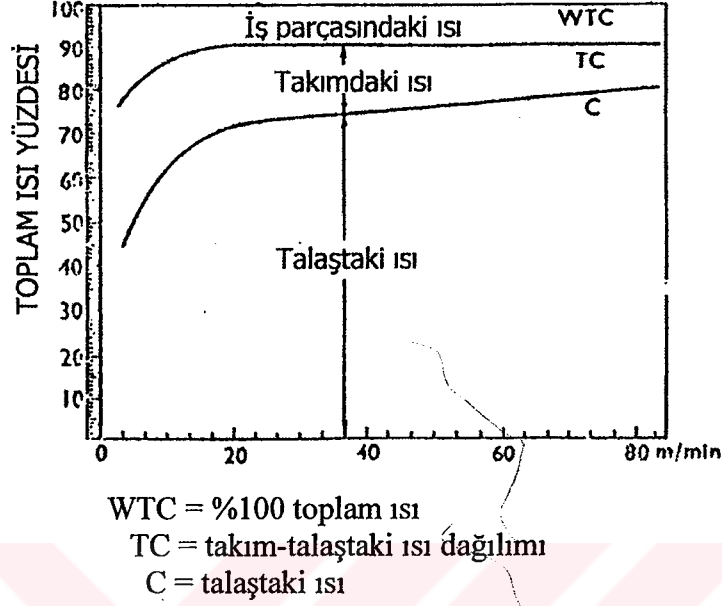


- (a) Takımdaki ısıyı ölçmek için kalorimetre  
 (b) Toplam ısıyı ölçmek için kalorimetre  
 (c) Talaştaki ısıyı ölçmek için kalorimetre

Şekil 3.14 Matkapla delik delmede sıcaklık ölçümleri için Schmidt tarafından oluşturulan kalorimetre esasına dayalı deney seti (Altan ve Kıyak,1995)



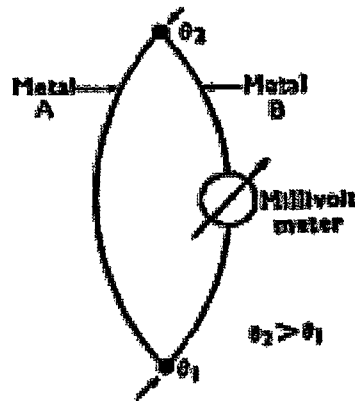
Çeşitli kesme hızlarında talaş,takım ve iş parçasındaki ısı dağılımı Şekil 3.15'te gösterilmiştir.Burada ısının çoğunun talaş ile gittiği görülüyor.



Şekil 3.15 Talaş kaldırma esnasında ısı dağılımı (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.2 Sıcaklık ölçümünde ısıl çift (termocouple ) yöntemi

Bu yöntemin temelinde iki farklı metalin ara yüzeyinde, ara yüzey sıcaklığı değiştiği zaman e.m.k. (elektro motor kuvveti) oluşması bulunmaktadır. Isıl çift elektrik iletir hale gelmesinden ibarettir. Bir ısıl çift, farklı sıcaklıklarda kullanılmak üzere hazırlandığında termoelektrik potansiyeli farklı herbir ısıl çift elemanındaki farklı elektron yayılım oranları sayesinde kullanılabilir. Şekil 3.16'da bu durum görülmektedir.



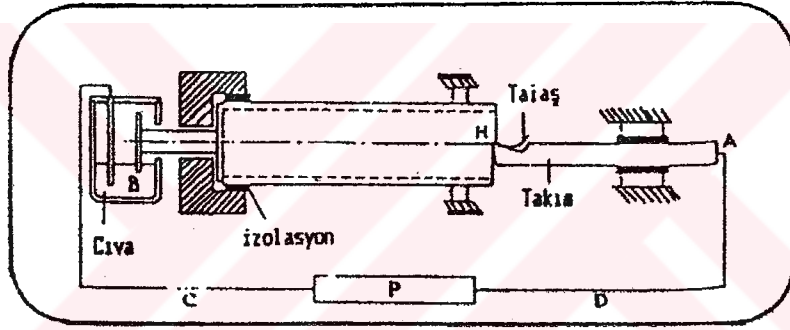
Şekil 3.16 Isıl çift etkisinin temeli (Altan ve Kıyak,1995)

Burada uygulanan termoelektrik devre kanunları şu şekilde özetlenebilir;

- Termoelektrik devrede oluşacak e.m.k., sadece sıcak ve soğuk temas noktaları arasındaki sıcaklık farkına bağlı olup sistemin dizaynından bağımsızdır.
- Sistemdeki e.m.k., temastaki her bir kısmın direncinden ve boyutundan bağımsızdır.
- Eğer iki metalin bağlantısı üniform sıcaklıkta ise, e.m.k. oluşumunu, ilk ikisi arasında bağlantı sağlamak için kullanılan ve aynı sıcaklıkta olan üçüncü metal etkilemez.

### 3.8.2.1 Takım-iş parçası ısıl çifti ile sıcaklık ölçme yöntemi

Yukarıda belirtilen devre kanunlarına bağlı bir pratik uygulama Şekil 3.17'de görülmektedir. A ve B noktaları oda sıcaklığında soğuk temas durumunda iken, takım ve talaş H noktasında sıcak temas durumundadır. Tüm bu noktalar deney esnasında üstüne çıkabilmektedir.



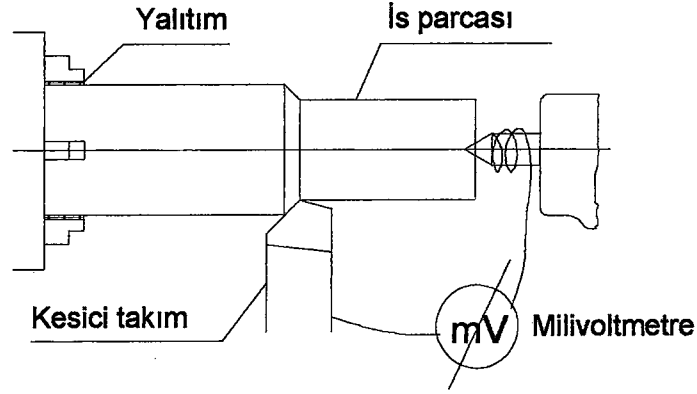
Şekil 3.17 Termoelektrik teknikle takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ölçümünün şematik görünüşü (Altan ve Kıyak,1995)

1920'li yıllara kadar talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sıcaklıklarla pek ilgilenilmemiştir. Daha sonra 1924 yılında Amerika'da Shore, aşağı yukarı aynı zamanlarda Almanya'da Gottwein ve 1926'da İngiltere'de Herbert tarafından, kesme takımlarında talaş yüzeyi boyunca sıcaklığı belirlemek için takım-iş parçası ısıl çifti tekniği geliştirilmiştir.

Talaş kaldırma işlemlerinde kesme takımı ile iş parçası ısıl çift oluşturacak şekilde bağlanabilmekte ve burada takım-talaş ara yüzeyinde sıcak temas söz konusu olmaktadır. Takım-talaş ara yüzeyi sıcaklığının ölçümü için Herbert-Gottwein tarafından geliştirilen takım iş parçası ısıl çifti tekniği şematik olarak şekil 3.18'te görülmektedir.

Takım-iş parçası ısıl çift uygulamaları oldukça basit olup, sınırlamalar söz konusu değildir. Ölçümde elde edilen değer, talaşla takım arasında oluşan tüm temas alanındaki sıcaklıktır. Burada ayrıca yığılma ağız oluşumuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü yığılma ağız oluşumu söz konusu ise elde edilen sıcaklık değerleri gerçek değerden farklı olacaktır. Burada

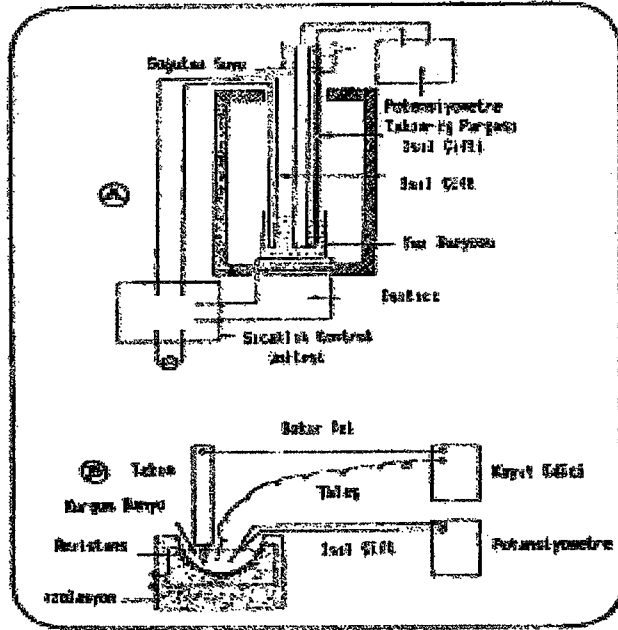
sorun olarak karşımıza çıkabilecek bir durum da, kalibrasyonun, statik şartlar altında tatmin edici olmasına rağmen, talaş kaldırma durumunda da geçerli olduğu kabulüdür.



Şekil 3.18 Takım-iş parçası ile oluşturulan ısı çifti (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.2.1.1 Takım-iş parçası ısı çiftinin kalibrasyonu

Oldukça basit bir yöntem olan ve yeterli doğrulukta sonuç elde edilebilen, takım-iş parçası ısı çifti uygulamasının kalibrasyonu için yöntem Şekil 3.19'da görülmektedir. Şekil 3.19.a kalibrasyon uygulaması için iş parçası malzemesinden elde edilmiş olan uzun bir talaş kullanılmaktadır. Ayrıca takım iş parçası ısı çiftinin kalibrasyonu fırın içibnde tuz banyoları kullanılarak şekil 3.19.b'de görüldüğü gibi de gerçekleştirilebilmektedir. Temas neticesinde indikatörden izlenen değerlerden yararlanılarak ısı çifti kalibre edilmektedir. Sözü edilen her iki kalibrasyon yöntemi de şekil 3.19'de görülmektedir.

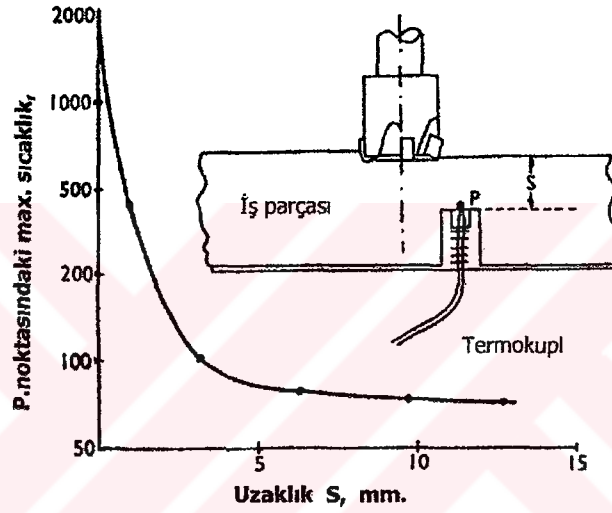


Şekil 3.19 Takım iş parçası ısı çifti kalibrasyonları için uygulanan iki farklı set (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.2.2 Gömülmüş Isıl çift yöntemi

#### 3.8.2.2.1 İş parçasına gömülmüş ısıl çift ile sıcaklık ölçme yöntemi

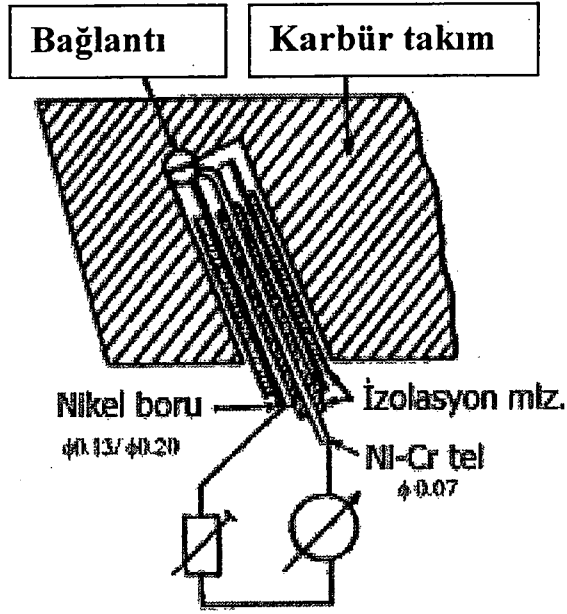
Bu yöntemde iş parçasına gömülmüş ısıl çift kullanılmaktadır.Şekil 3.20’de böyle bir çalışmaya örnek verilmektedir. Delikteki ısıl çift çok küçük olmamak kaydıyla bu bölgedeki sıcaklığı belirleyebilmektedir.Gömülmüş ısıl çifti ile sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir.”S”mesafesi değiştirilerek “P”deki maximum sıcaklık saptanabilir.



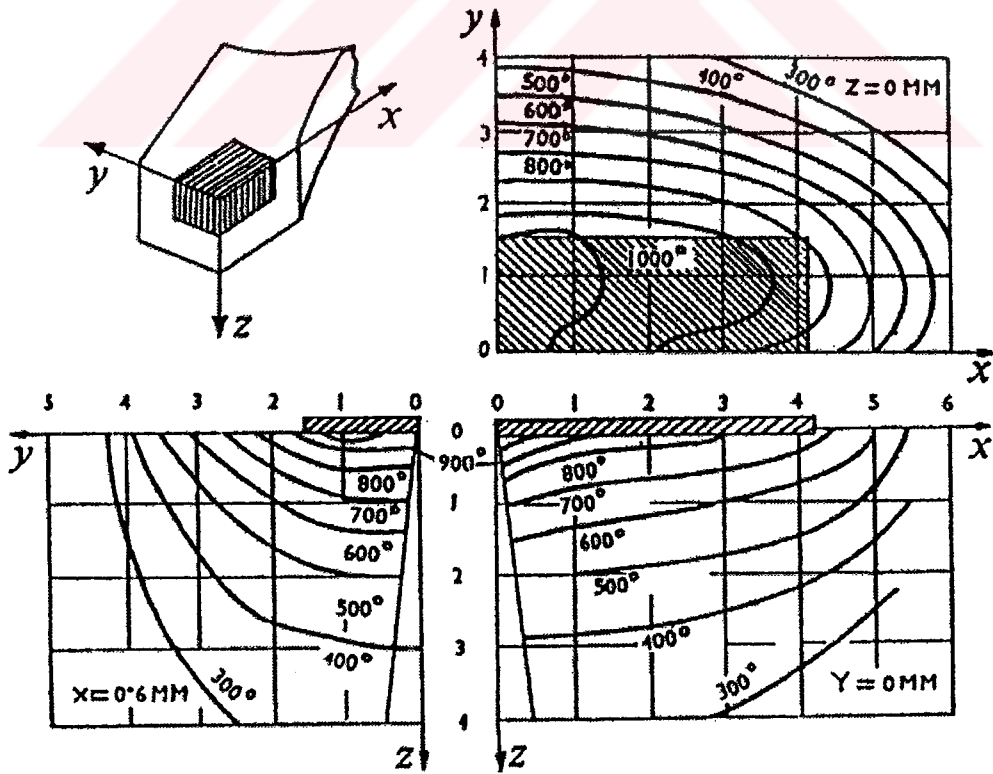
Şekil 3.20 İş parçasına gömülmüş ısıl çift yöntemi ve sıcaklık gradyanları  
(Altan ve Kıyak,1995)

#### 3.8.2.2.2 Takıma gömülmüş ısıl çift ile sıcaklık ölçme yöntemi

Bu yöntemde iş parçasına gömülmüş ısıl çift yöntemine benzer şekilde ısıl çift kesici takım içine gömülür.Şekil 3.21’de kesici takım içine gömülmüş bir ısıl çift uygulaması görülmektedir.Takımın talaş yüzeyindeki maksimum sıcaklığı Şekil 3.22’de görüldüğü gibi kesme kenarında belirli bir mesafede oluşmaktadır. Aşınmış ve yeni (keskin) bir takımda oluşan sıcaklık dağılımları Şekil 3.22.a’da görülmektedir. Bu yöntemde ayrıca eş sıcaklık hatlarının genel bir sonucunun çıkarılması için de kullanılmaktadır. Bu yöntemle serbest ve talaş yüzeylerinde elde edilen eş sıcaklık hatları Şekil 3.22.b’ de görülmektedir.



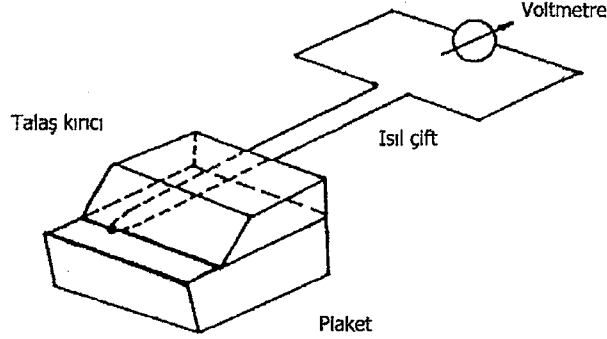
Şekil 3.21 Takıma Gömülmüş Isıl Çift Yöntemi (Altan ve Kıyak,1995)



Şelil 3.22 Tek kesen ağızlı kesme takımında oluşan sıcaklık alanları (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.2.2.3 Talaş kırıncı altından ısı çift ile sıcaklık ölçme yöntemi

Gömülmüş ısı çift tekniğinin farklı bir uygulaması ise talaş kırıncı altından sıcaklık değerlerini okuma esnasında dayanmaktadır. Şekil 3.23'te görüldüğü gibi talaş kırıncının altına Plaket üzerine yerleştirilmiş olan bir ısı çift kullanılmaktadır.

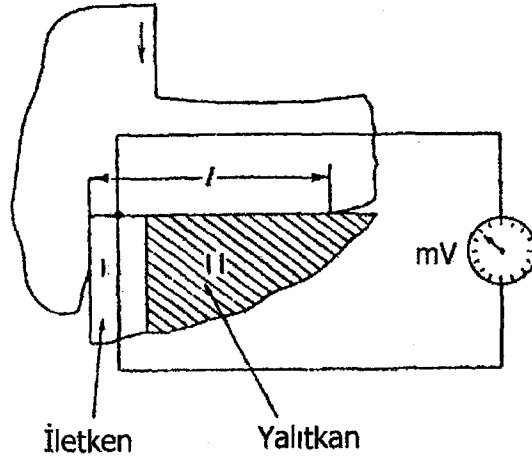


Şekil 3.23 Talaş kırıncı altından ısı çift ile sıcaklık ölçme yönteminin şematik görünüşü (Altan ve Kıyak,1995)

Isıl çift olarak plantinyum -plantinyum alaşımı yada crom -crom nikel alaşımını ince teller kullanılabilir. Bu tip uygulamalarda tellerin birleştirilmiş ucu takımın kesici kenarından belli bir mesafeye (örneğin 2 mm'lik bir uzaklığa yerleştirilmektedir. Burada talaşın hemen alt noktasından bir yerden (krater aşınması bölgesi yakınlarından ) noktasal sıcaklık alınmaktadır.

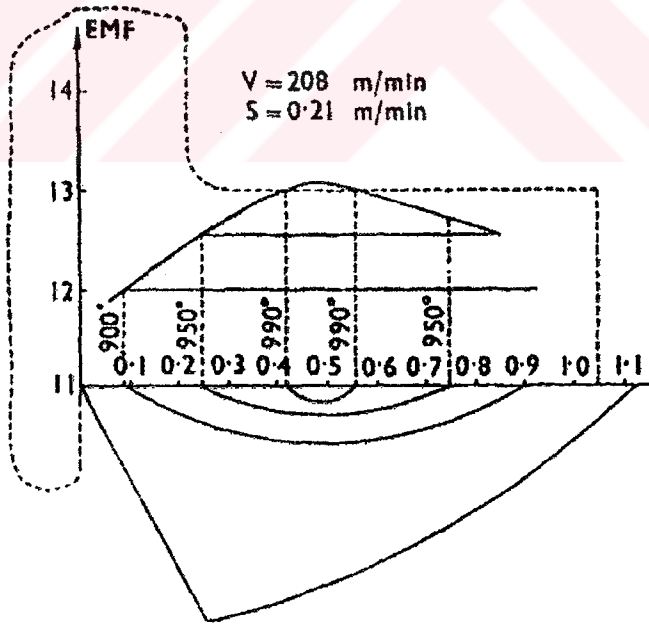
### 3.8.2.3 Kompaund takım ile sıcaklık ölçme yöntemi

Kompaund takım tekniği esas itibariyle bir ısı çift yöntemidir. Bu yöntemde de sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Yöntem takım -iş parçası ısı çift yöntemine benzemektedir. Burada talaş -takım temas bölgesi elektrik iletken ve elektrik iletmeyen (genellikle seramikten yapılan ) olarak iki kısma bölünmektedir. Bu iki bölgenin genişlikleri birbirine göre değiştirilmekte ve sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Bu durumda toplam temas alanı aynı kalmaktadır. Kompaund bir takım Şekil 3.24'te görülmektedir.



Şeki 3.24 Sıcaklık dağılımının saptanması için kullanılan kompaund bir takımın şematik görünüşü (Altan ve Kıyak,1995)

Tsotskhadze tarafından sağlanan tipik bir deneysel sonuç Şekil 3.25'te sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi sıcaklık dağılımı paraboliktir.

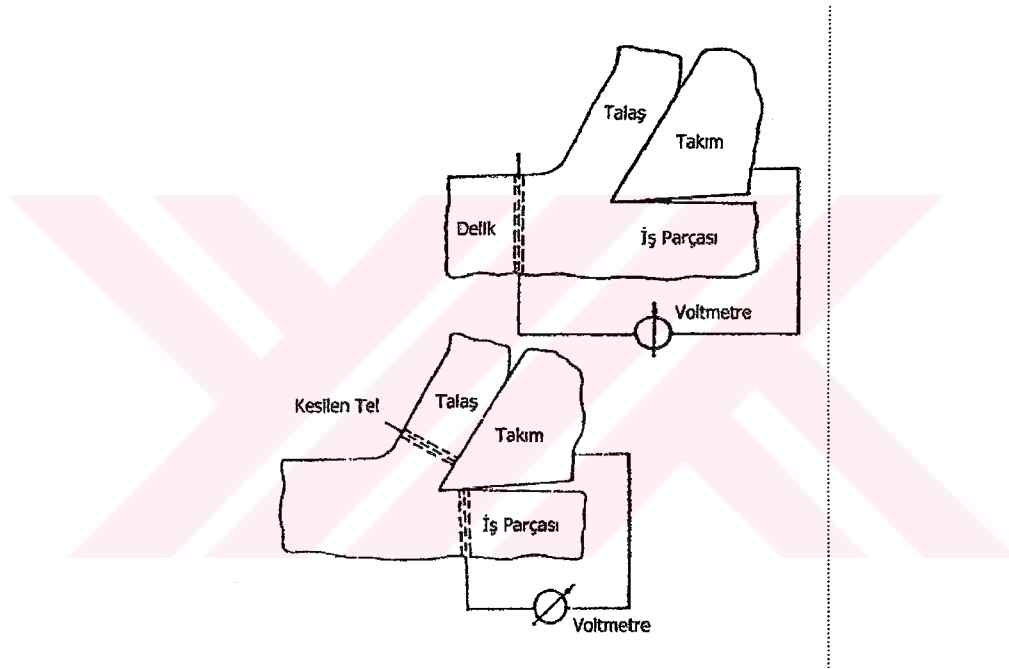


Şekil 3.25 Kompaund takım uygulamasında sıcaklık dağılımı (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.2.4 Kesilen tek tel-takım ısıl çifti ile sıcaklık ölçme yöntemi (hareketli ısıl çift)

Bu yöntemde sıcaklığı tespit edecek olan ve ısıl çiftini oluşturan tellerden biri işlenecek parçanın talaş kaldıracak yüzeyinden bir delik açılarak buraya yerleştirilmektedir. Sıcaklık ölçülebilmesi için bu telin talaş kaldırma esnasında takım tarafından kesilmesi gerekmektedir. Bu nedenle talaş kaldırma öncesi delik içerisine tel uygun boyda yerleştirilmelidir. Kesilen telin ucu takımın serbest yüzeyi ile temas eder ve devre tamamlanarak e.m.k. oluşur. Bu e.m.k.'nın tespit edilmesiyle takımın serbest yüzeyindeki sıcaklık elde edilebilmektedir.

Bu yöntemin şematik görünüşü Şekil 3.26'da verilmektedir. Yöntem bazı kaynaklarda "Hareketli Isıl Çift Yöntemi" olarak anılmaktadır.



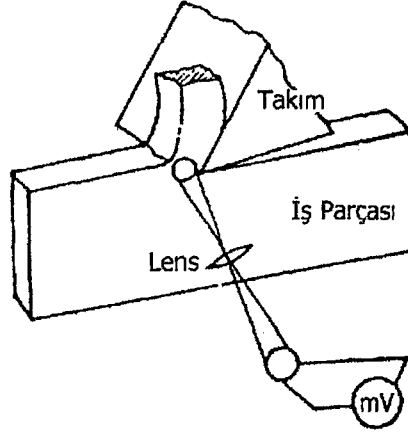
Şekil 3.26 Kesilen tek tel- takım ısıl çifti yönteminin şematik görünüşü  
(Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.3 Radyasyon esaslı sıcaklık ölçüm yöntemleri

#### 3.8.3.1 Radyasyon pirometresi ile sıcaklık ölçüm yöntemi

İlk olarak Schward 1937'de takım ve talaşta ortagonal kesme şartlarında oluşan sıcaklıkları radyasyon pirometresi ile tespit etmiştir. Bu yöntem yalnızca yüzey sıcaklığını vermektedir. Bu yöntemle; kayma düzleminde takımında ve talaştaki sıcaklık dağılımı saptanabilmektedir. Şekil 3.27'de kayma bölgesindeki radyasyon ölçümü ile sıcaklık saptanması şematik olarak gösterilmektedir. Burada ölçüm seti takımla birlikte aynı hızda hareket etmektedir.

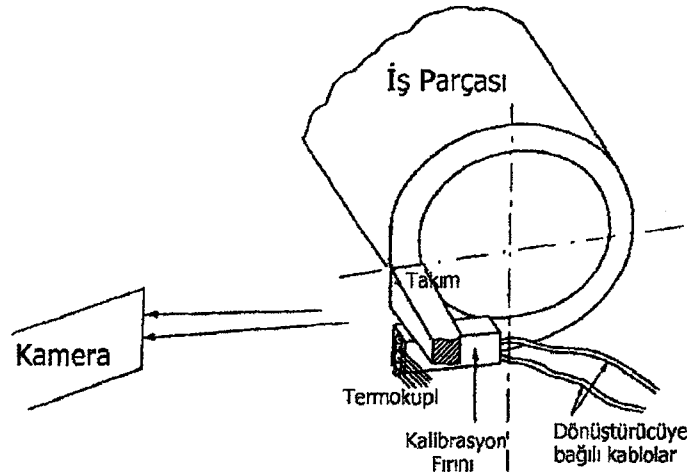




Şekil 3.27 Radyasyon pirometresi ile sıcaklık tespitinin şematik görünüşü  
(Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.3.2 Fotoğrafik yöntemle sıcaklık ölçümü

Boothroyd 1963 yılında radyasyon ölçümüne benzer bir teknik kullanmıştır. İş parçasını 600° C kadar ısıtarak ortogonal kesmede takım,talaş ve iş parçasından yayılan radyasyonu fotoğraflanmıştır. Bu tekniğin prensibi infrared fotoğraf tekniğinden elde edilmektedir. İş parçası, talaş ve takımın yan yüzeylerinden ortagonal kesme işlemi boyunca fotoğrafı çekilmektedir. Fotoğraf sonradan sıcaklık dağılımı için kalibre dilmektedir. Sistemin kalibrasyonu için, takımın altından küçük bir kalibrasyon fırını yerleştirilerek takım, talaş, iş parçası ve fırının aynı zamanda fotoğrafları alınmaktadır. Sistemin şematik görünüşü Şekil 3.28’de verilmektedir.



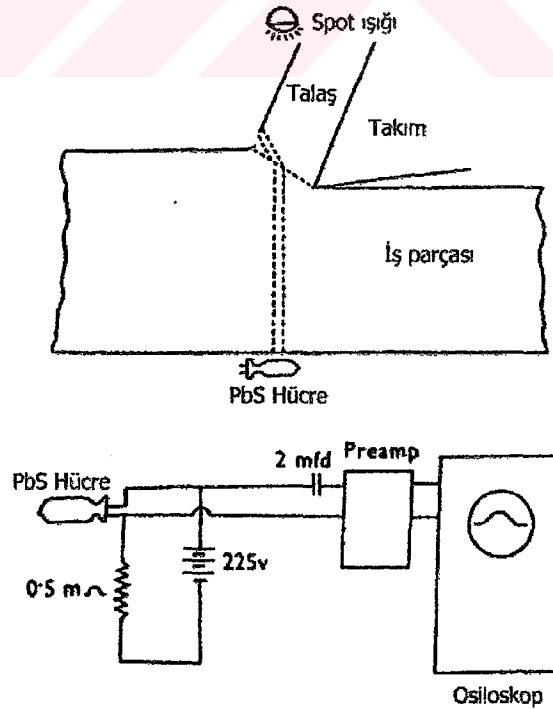
Şekil 3.28 Fotoğrafik yöntemle sıcaklık tesbitinin esas ve kalibrasyon işleminin şematik görünüşü (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.3.3 Fotosel kullanarak sıcaklık ölçüm yöntemi

Trigger 1963’de kesici takımın serbest yüzeyindeki sıcaklık dağılımı kurşun sülfat radyasyon algılayıcı kullanarak tespit etmiştir. Burada sıcaklık algılayıcı kurşun sülfat (PbS) hücredir. Bir kurşun sülfat hücre radyasyon ışına mahruz kaldığında direncinde çok az değişiklikler olmaktadır. Böyle bir hücre saniyede 10.000 çevrimlik frekansa cevap verebilmektedir.

Buradan elde edilen değerlere çeşitli yaklaşım metotları kullanılarak takım yüzey sıcaklık eğrileri elde edilebilmektedir. Şekil 3.29’da PbS hücre kullanımıyla sıcaklık ölçüm yöntemi şematik olarak görülmektedir.

Hücrenin direnç değişikliği voltaj değişimi şeklinde osiloskopta izlenmektedir. Hücre nokta ışık kaynağı ile ışınlardan etkilenebilecek bir mesafeye yerleştirilip delikten ışık gönderilmektedir. Takımın ilerlemesiyle kayma düzlemine varıldığında deliğin üzeri kapanmakta ve ışığın kesilmesiyle PbS hücrede voltaj değişikliği görülmektedir. Kesme devam ettiğinde PbS hücre kayma düzleminin değişik noktalarını ve daha sonra takımın serbest yüzeyini görmektedir. Böylece takımın serbest yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Serbest yüzeydeki sıcaklık serbest yüzey aşınmasına bağlıdır. Ortalama serbest yüzey sıcaklığı serbest yüzeydeki aşınmanın artmasıyla sürekli artmaktadır.

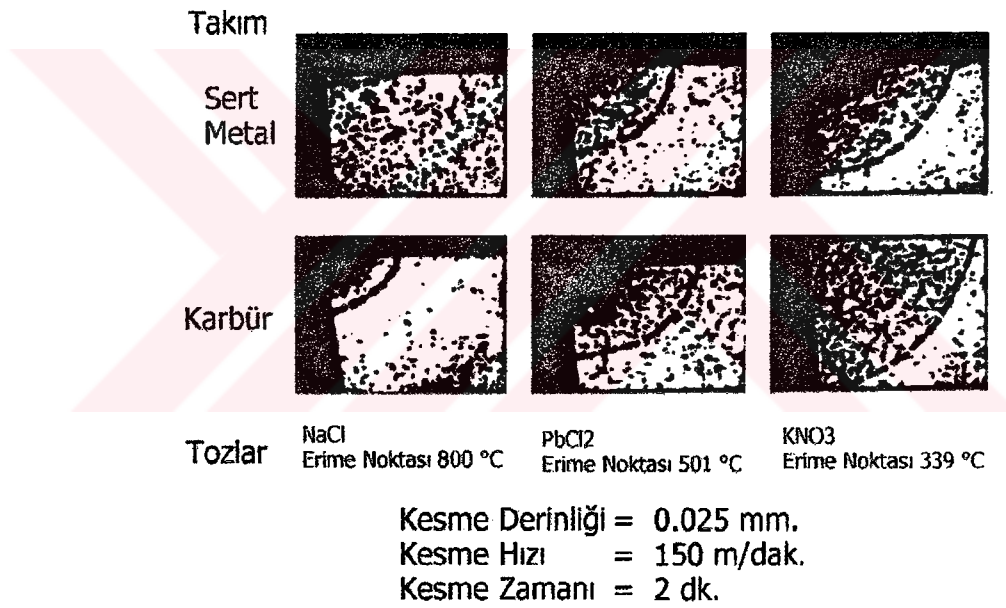


Şekil 3.29 Radyasyon algılayıcı bir kurşun sülfat PbS hücre kullanılarak sıcaklık ölçüm yönteminin şematik görünüşü (Altan ve Kıyak,1995)

### 3.8.4 Erime sıcaklığı bilinen toz halindeki malzemelerin kullanılmasıyla sıcaklık dağılımının belirlenmesi

Isı oluşumu durumunda renk değiştiren toz halindeki malzemeler ilk olarak 1943'de Schallbrok ve Lang, yine aynı tarihlerde Pahlitzsch ve Helmerdig, 1954'de Bickel ve Widmer tarafından kullanılmıştır. Bu yöntem sabit durum şartlarıyla ve kesme yüzeyiyle sınırlanmaktadır. Erime sıcaklığı bilinen tozlar; seramik, cermet gibi takımlarla talaş kaldırma işleminde kullanılabilir.

Şekil 3.30'da farklı talaş kaldırma şartları altında ve değişik tozların kullanılmasıyla elde edilen sıcaklık bölgeleri görülmektedir. Tozların serpilmesinden önce yüzeye sodyum silikat çözeltisi tatbik edilip tozlar yüzeye sonradan serpilirse çok iyi yapışırlar. Şekil 3.30'da görüldüğü gibi işlemten sonra çekilen fotoğraflarla, ısıyla etkilenmiş oldukça net bir şekilde izlenebilmektedir.



Şekil 3.30 Erime sıcaklığı bilinen toz halindeki malzemelerin kullanılmasıyla elde edilen sıcaklık dağılımları (Altan ve Kıyak,1995)

Fotoğraflarda, belirgin olarak görülebilen iki bölgenin farklı sınır hatları, yüzey üzerinde belirgin olarak erimiş ve erimemiş tozların oluşturduğu iki bölgeden oluşmaktadır. Farklı tozların kullanım durumunda her birinin erimesiyle oluşan eş sıcaklık hatları, noktalardan oluşan hatlar şeklinde olmaktadır. Takım üzerinde sıcaklık dağılımı bu eş sıcaklık, serbest yüzeyde oluşan sıcaklık dağılımından genelleştirilerek elde edilebilmektedir. Bu yöntemde sıcaklık dağılımı, tozların erimiş ve erimemiş bölgelerinin sınır hatlarından gözlemlerle çıkartılmaktadır. İzlenen bölge yüzeylerinde eş sıcaklık hatları, tozun erime noktasına bağlı olarak oluşan sınır hatlarıyla sağlanmaktadır. Tozların farklı tiplerinin kullanımıyla farklı sınır hatları elde edilmektedir.

Bu yöntemde kalibrasyona ihtiyaç yoktur, çünkü malzemeye özgü erime noktasıyla sıcaklık dağılımı belirlenmesi çok kolay olmaktadır. Bu yöntemde yaygın olarak kullanılan toz haline gelebilen malzemeler ve erime sıcaklıkları Çizelge 3.1’de verilmektedir.

<b>Kimyasal Sembol</b>	<b>Erime Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Kaynama Sıcaklığı (°C)</b>
NaCl	800	1413
KCl	776	1500
CdCl	568	960
PbCl <sub>2</sub>	501	954
AgCl	544	1550
Zn	419	907
KNO <sub>2</sub>	339	—
Pb	327.4	1750
SnCl <sub>2</sub>	546.8	623
Sn	231.9	2270

Çizelge 3.1 Sıcaklık dağılımının tesbitinde kullanılan farklı tozların kimyasal bileşimleri ve erime sıcaklıkları (Altan ve Kıyak, 1995)

Bu yöntemde yardımcı maddeler kullanarak bazı ısı renkleri de elde edilebilmektedir. Yöntemde kullanılan tozların ortalama çapları, 0.01-02 mm. arasındadır

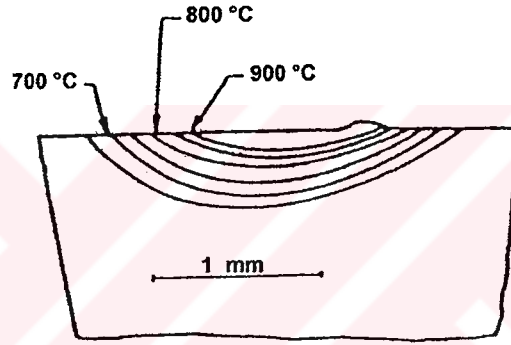
### 3.8.5 Dağlama yöntemi ile sıcaklığın saptanması ve dağılımının belirlenmesi

İlk defa Wright ve Trent 1973 yılında HSS takımı kısa süreli, yüksek hızda çalıştırarak dağlama diyagramlarını elde etmişlerdir. Bir HSS takımında sıcaklık dağılımının bu yöntem ile belirlenmesi, takımın 600°C civarında çalışması, bunun sonucunda malzeme yapısının değişmesi ve işlem değişiminin saptanması ile gerçekleştirilebilir.

HSS bir takımla uzun ve yüksek kesme hızlarında talaş kaldırırca, yapıdaki değişiklikler ve sertlik değişimleri saptanabilmektedir. Yapı değişikliği ya da mikrosertlik, sıcaklığa ve sürelerle bağlı olarak basit bir kalibrasyon yardımıyla açıklanabilmektedir. Bu karıştırma için takımdan alınan kalibrasyon numuneleri tuz banyolarında belli bir sıcaklıkta ve belli bir süre bekletilmekte sonra su ile temizlenerek incelenmeye hazır hale getirilmektedir. HSS takımlarda bu yöntemin uygulanması için aşağıda belirtilen bazı şartlar söz konusu olmaktadır.

- Yapının, sıcaklığı gösteren bir denge haline gelebilmesi belli bir süre içinde olmaktadır.
- Takımda oluşan sıcaklık dağılımının saptanmasında, aşırı gradyentlerinin bulunması halinde kalibrasyonda aşırı sıcaklık gradyentleri için numune alınması önemli değildir.
- HSS'le çok kısa zamanda, çok yüksek kesme hızlarında, demir esaslı malzemenin talaşla işlenmesi, diğer tüm HSS takım-malzeme kombinasyonlarında ve kesme hızlarında benzer şekilde eş sıcaklık hatlarını verecektir.

Yukarıda belirtilen şartlardan son ikisi ile ilgili olarak zaman zaman bazı sorunlar ortaya çıkmasına rağmen, yöntem sonuçlarıyla uygun olduğunu göstermektedir. Şekil 3.31'de dağlama yöntemi ile bir HSS takımda elde edilen sıcaklık hatları şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.31 Dağlama yöntemiyle HSS bir takımda elde edilen eş sıcaklık hatlarının görünüşü  
(Altan ve Kıyak,1995)

### 3.9 Metallerin Talaşı İşlenmesinde Talaş – Takım Temas Yüzeyinde Sıcaklık Dağılımı

#### 3.9.1 “Talaş Yüzeyi” Sıcaklık Modeli

Analizde kullanılan talaş oluşturma modeli Şekil 3.32’de gösterilmiştir; düzlemsel yayılma ve sabit şartların uygulandığı varsayılmıştır.

İş parçasının kesme yüzeyine dikey olarak  $V$  hızı ile hareket ettiği kabul edilmiştir. Bu hareket sırasında paso derinliği  $t'$  dir. Deforme alan  $t_c$  kalınlığındaki talaş daha sonra kesici takımın kesme yüzü boyunca  $V_t$  ve  $V_{ct_c}$ 'nin eşit olması gerekiyor ( $V_t = V_{ct_c}$ ). Genelde talaş kaldırma işi tek bir hız devamsızlığı ile belirtilir (Şekil 3.32, “kayma yüzeyi” AB). Böylece sabit “akış stresi” durumlarında iş parçasında plastik deformasyonunun meydana geldiği kabul edilmiştir.

Kayma sonucu olarak oluşan ısı kaynağı etki biçimli büyüklükte olan düzlemsel bir ısı kaynağıdır. Kayma bölgesinin büyük bir kısmı oluşan ısının etkisi altında kalır [9]. Bu, düşük hız ve kesme açılarında oldukça yumuşak metaller (örn. Yumuşak çelik) için tespit edilmiştir.

Yukarıda açıklanan teorik talaş kaldırma işlemini göz önünde bulundurarak ve hareket yönü şartının göz ardı edilebileceğini varsayarak talaş kaldırılan malzemede gerçekleşen ısı transferini yansıtan temel denklemini oluşturabiliriz :

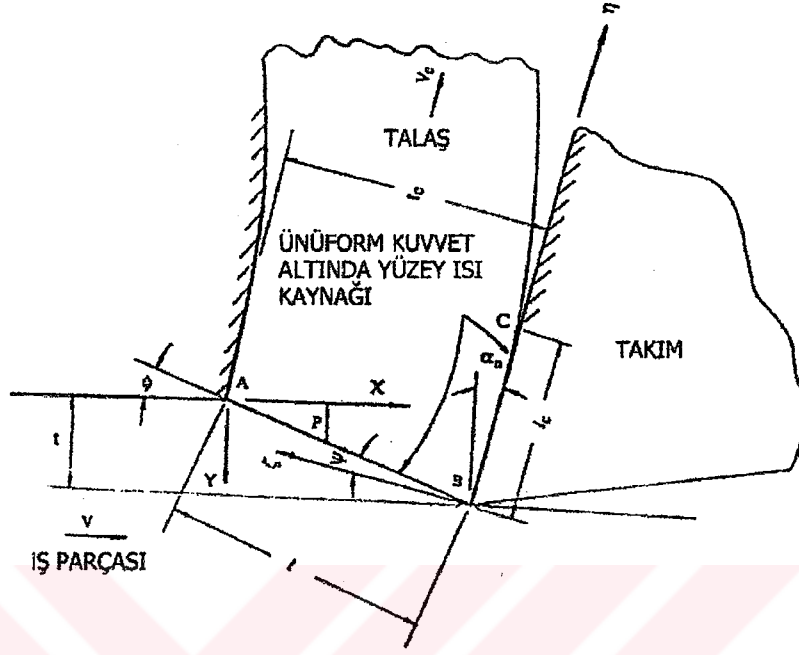
$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} - \frac{V}{x} \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0, \quad (3.70)$$

Uygun “Başlangıç” ve sınır şartları :

$$\theta = 0, \quad x = 0, \quad 0 < y < \infty \quad (3.71a)$$

$$-k \cos \phi \frac{\partial \theta}{\partial y} + n V c_p \sin \phi \theta = q, \quad 0 < x < l \cos \phi, \quad y = \tan \phi x \quad (3.71b)$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} \theta = 0. \quad (3.71c)$$



Şekil 3.32 İdealize edilmiş ortognal talaş kaldırma işlemi modeli (Young ve Chau,1994)

- /// = izole edilmiş yüzeyler  
 t = deforme olmamış talaş kalınlığı  
 t<sub>c</sub> = talaş kalınlığı  
 l = “kayma yüzeyi” uzunluğu  
 l<sub>0</sub> = takım / talaş temas uzunluğu  
 V = kesme hızı  
 V<sub>c</sub> = talaş hızı  
 α<sub>n</sub> = kesme açısı  
 Ø = kayma açısı

(3.71c) denklemi ile gösterilen sınır şartı AB “talaş yüzeyi” üzerinde bulunan malzemenin ısı balansı göz önünde bulundurularak türetilmiştir. Isının AB üzerinde sabit bir q oranı ile oluştuğu varsayılmıştır. Denklem 3.71’in sınır şartlarını sağlayan yeni bir parametre ( $z = y - \tan \phi x$ ) tanımlanarak denklem 3.70’te ustaca bir basitleştirme yapılabilir;

$$\theta_x(x,0) = \frac{q}{V\rho c \sin \phi} \left\{ 2\text{erf}(\hat{D}\sqrt{x}) + \frac{1+2n}{2n(1+n)} \right. \\ \left. \times \left[ 1 - e^{4n(1+n)/\hat{D}^2 x} \text{erfc}((1+2n)\hat{D}\sqrt{x}) - (1+2n)\text{erf}(\hat{D}\sqrt{x}) \right] \right\} \quad (3.72)$$



Bu denklemde,

$$\hat{D} = \frac{1}{2} \tan \phi \sqrt{\frac{V}{\alpha}}$$

$\text{erfx}$  = hata fonksiyonu

$\text{erfex}$  = tamamlayıcı hata fonksiyonu,  $1 - \text{erfx}$

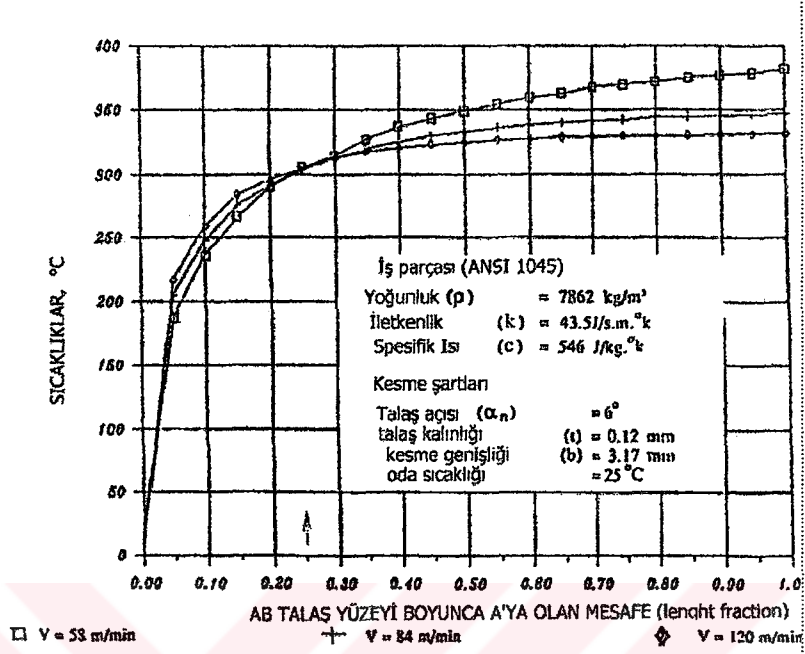
Yukarıdaki problemin çözülmesi, değişken  $x$  için Laplace'ın transformasyon ve inversiyon çalışmasının kullanılmasını gerektiriyor.

Weiner'in analizinde [5] sadece talaş akışının "kayma yüzeyine" göre dik olduğu, yani  $n = 0$ , durumu dikkate alınmıştır. Bu çalışmada en genel hal göz önünde bulundurulmuştur. 3.72 denkleminin çözümüne dayanan model Weiner modelinin geliştirilmiş şekli olarak düşünülebilir Şekil 3.33'te "kayma yüzeyi" sıcaklığı ve varyasyonların kesme hızı üzerinde etkisini gösteren örnekler verilmiştir. Eğriler, sıcaklığın "kayma yüzeyi" boyunca yarı-sabit veya doyurulmuş değerine doğru hızlı bir büyüme gösteriyor. Doyurulmuş sıcaklıklara tepki zamanının kesme hızı yükseldikçe azaldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden Rapier'in [3] modelinde olduğu gibi kesme hızı belirli bir değere ulaştığında sabit bir "kayma yüzeyi" sıcaklığının kabul edilmesi makuldür.

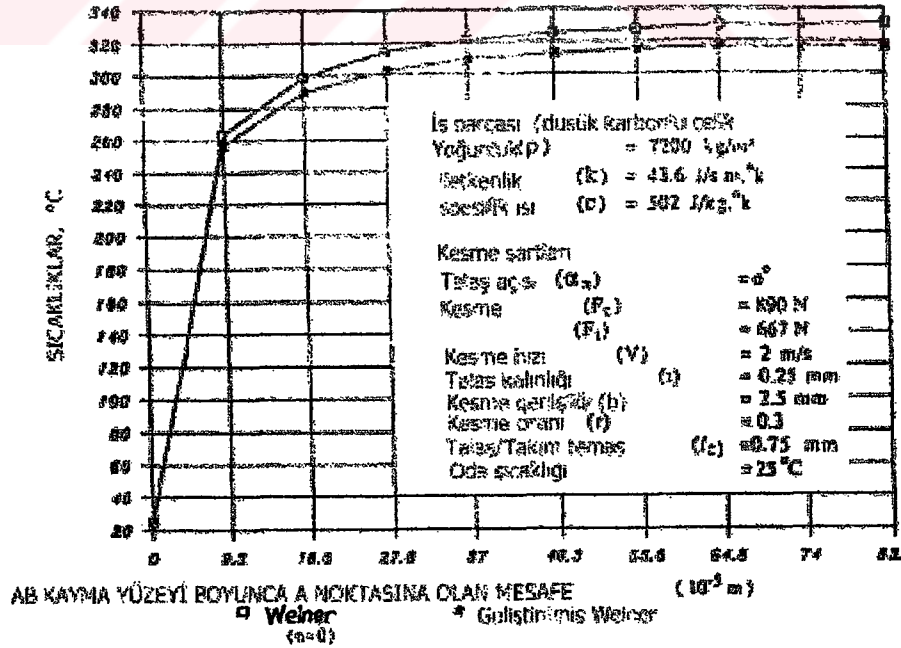
Şekil 3.33 ilginç bir sonuç daha sunuyor : daha yüksek kesme hızları düşük değerli sıcaklıklara neden oluyor. Sıcaklığın artması ile sadece "kayma yüzeyi" nin ön kısmına yakın olan bölgedeki (talaş / serbest yüzey) kesme hızı artıyor. Bunun sebebi talaş kaldırma işlemi sırasında ısı taşıyıcı elemanın çok etken olması ve daha yüksek kesme hızları için "kayma yüzeyi" ısı kaybının daha yüksek olmasıdır.

Şekil 3.34'te denklem 3.72 ile verilen meyilli bant kaynağı probleminin çözümü ve talaş akışının geometrik kolaylık için "kayma yüzeyi" dik olduğu durumlardan edinilen yaklaşık çözüm arasında karşılaştırma yapılmıştır,  $\psi = 0$  (Şekil 3.32) dolayısıyla  $n=0$  (Denklem 3.72). İki sıcaklık dağılımı eğrisi arasında benzerlik vardır. Yalnızca geometrik kolaylığa başvurulduğundan sıcaklık değerlerine daha yüksek değer verilmiştir (verilen örnek için % 3.5 civarında). Daha fazla sayıda deney yapılmıştır, sonuçlar benzerdir. Geometrik varsayım "kayma yüzeyi" sıcaklığı konusunda oldukça iyi bir tahmin olarak nitelendirilebilir.





Şekil 3.33 Kesme hızı varyasyonu ile “kayma yüzeyi” sıcaklığı (Weiner’in modelinden)  
(Young ve Chau,1994)



Şekil 3.34 ( $n=0$ ) Geometrik varsayımın “kayma yüzeyi” sıcaklığı üzerine etkisi  
(Young ve Chau,1994)

Talaş kaldırma işlemi sırasında talaş sıcaklığını ölçmeye yönelik deneyler yapan Young ve Chau, Tavlı karbonlu çelik ANSI 1045 iş parçasını tornada talaşlı işleme tabi tutmuşlar ve aynı anda duyarlı infraRed dedektör elemanı ile talaşın arka kısmındaki sıcaklık dağılımını renkli CRT ekranına sabit bir resim olarak yansıtmışlardır.

Bu ölçme sisteminde, dedektör ünitesi, ilk olarak kızıl ötesi radyasyonu tespit eder sonra da onu elektrik sinyallere dönüştürür.

Oluşan elektrik sinyalleri lineer hale getirildikten sonra sıcaklık değeri belirlenir. Her test için kesme kuvvetinin her üç elemanı da ölçüldü. Deney sırasında ölçülen sıcaklık ve sabit işlem şartları arasında tutarlılık sağlamak amacı ile talaş kaldırma kuvvetleri kontrol edildi.

Torna tezgahında talaş kaldırma deneyleri ortogonal şartların kabul edilebileceği şekilde düzenlendi. Deney için A noktasından sıcaklık verileri alındı, talaş / işlem görmeyen yüzey ile “kayma yüzeyi” AB’nin kesişmesi saptandı. Şekil 3.33’te gösterilen sonuçları veren tüm kesme şartları farklı kesme hızlarında 170°C den fazladır. Çevredeki 25°C’lik sıcaklıktan farklı olarak deneysel sonuçlar bundan önce yapılan analizde oluşturulan sınır koşulu ile (denklem 3.71a) çelişiyor. Bu deneysel gözlemleri de dikkate alarak denklem 3.71a aşağıdaki şekilde iyileştirilebilir.

$$T = T_a + (T_A - T_a) e^{-py}; \quad x=0, y=0 \rightarrow \infty \quad (3.71a)$$

$T_a$  = çevre sıcaklığı

$T_A$  = A noktasında ölçülen sıcaklık

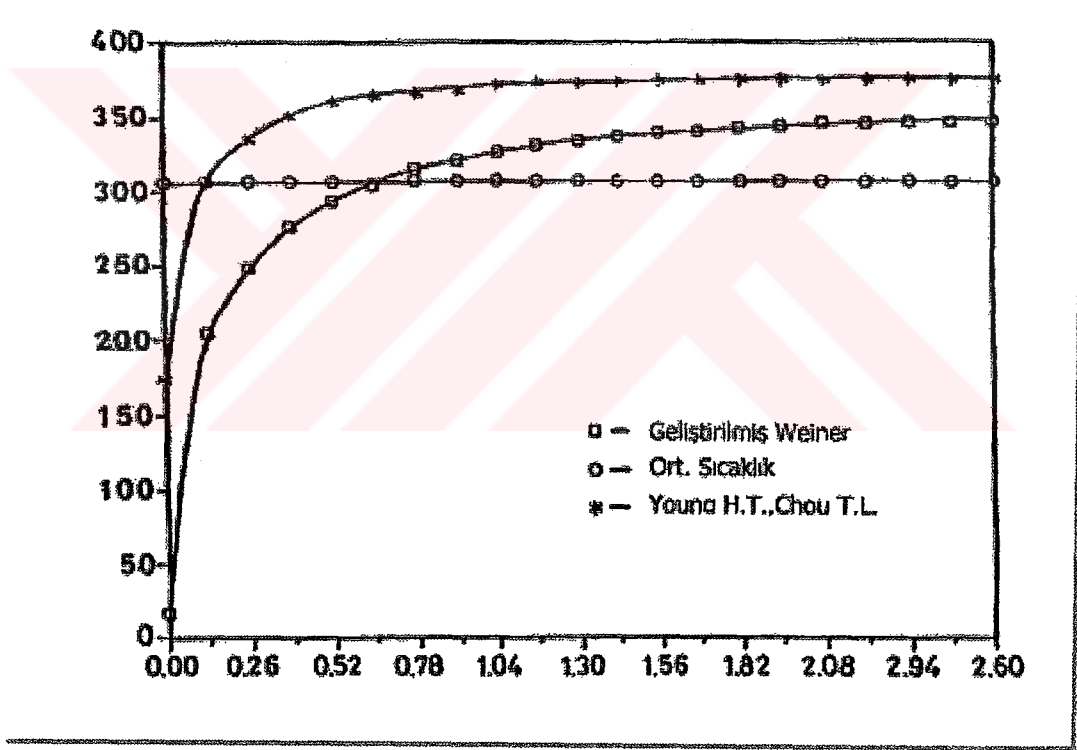
$\rho$  = konstant (ortalama “kayma yüzeyi sıcaklığının, kesme gücü hesaplarına dayanan deneysel değere eşit (yaklaşık) olmasını sağlar).

Aynı işlem denklem 3.72 ile verilen “kayma yüzeyi” sıcaklık dağılımı için de yapılır. Denklem 3.71a’nın sınır şartı denklem 3.71a<sup>1</sup> ile değiştirilirse  $\theta_s$  için daha karmaşık bir ifade oluşuyor :

$$\theta_s(x,0) = \left( \frac{q}{V\rho c \sin \phi} - nT_a \right) \left\{ 2\text{erf}(\hat{D}\sqrt{x}) + \frac{1+2n}{2n(1+n)} \right. \\ \left. x \left[ 1 - e^{4n(1+n)\hat{D}^2 x} \text{erfc}(1+2n)\hat{D}\sqrt{x} \right] \right\}$$

$$\begin{aligned}
& -(1+2n)\operatorname{erf}(\hat{D}\sqrt{\hat{x}})\} - \left[ 2\hat{D} \left( \frac{k \cos \phi p}{V \rho \sin \phi} + n \right) (T_A - T_a) \right] \\
& \times e^{-\hat{D}^2 x} \left\{ \frac{e^{\hat{E}^2 x} [\hat{F} - \hat{E} \operatorname{erf}(\hat{E}\sqrt{x})] - \hat{F} e^{\hat{F}^2 x} \operatorname{erfc}(\hat{F}\sqrt{x})}{\hat{F}^2 - \hat{E}^2} \right\} \\
& + (T_A - T_a) e^{-\left( p \tan \phi - \frac{\alpha p^2}{V} \right) x},
\end{aligned} \tag{3.72}$$

Şekil 3.35'te bu değişikliklerin "kayma yüzeyi" sıcaklığı üzerindeki etkisini gösteren bir örnek verilmiştir. Görüldüğü gibi, yeniden düzenlenen modelin çözümü olan denklem 3.72<sup>1</sup> Weiner modeline nazaran "kayma yüzeyi" sıcaklık artmasına neden oluyor. 3.71a<sup>1</sup> denkleminin sınır şartı fiziksel açıdan daha kabul edilebilir ve daha makul "kayma yüzeyi" sıcaklığı



Şekil 3.35 Kayma yüzeyi sıcaklık dağılımı karşılaştırması (Joung ve Chau, 1994)

$$\hat{D} = \frac{1}{2} \tan \phi \sqrt{\frac{V}{\alpha}}$$

$$\hat{E} = \sqrt{\hat{D}^2 - \left( p \tan \phi - \frac{\alpha p^2}{V} \right)}$$

$$\hat{F} = \hat{D}(1+2n).$$

sağlayabilir.  $T_A$  deneysel sıcaklıkları ile A noktasının belirlenmesi zordur. Bununla birlikte sayısal çalışmalar gösteriyor ki  $T_A$  değerinde  $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'a kadar olan farklılıklar B noktasında [Şekil 3.32] hesaplanan sıcaklık değerinde sadece  $10\text{ }^\circ\text{C}$ 'tan küçük değişikliklere neden olabilir.  $(3.71a^1)$  ile verilen daha makul bir sınır şartının belirlenmesi yönünde eski modelleri geliştiren yeni çalışmaların yapılması gereklidir.

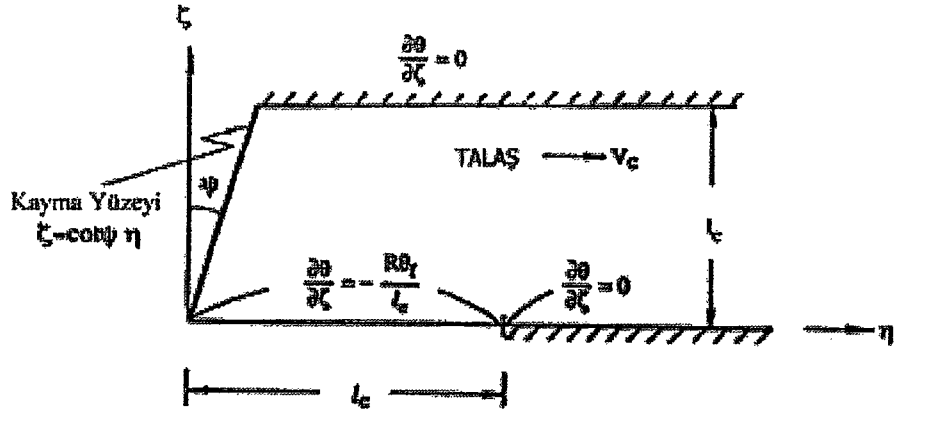
### 3.9.2 Takım – Talaş Temas Yüzeyi Sıcaklıkları Modeli

Talaş, talaş kaldırma işlemi esnasında plastik şekil değiştirme sonucu olarak kesme ucu ve talaş / işlem görmeyen yüzey arasında bulunan dar bir bölgede oluşur. Bu  $V$  hızının  $V_c$ 'ye dönüştüğü AB (Şekil 3.32) “kayma yüzeyi” gösterilmiştir. Isı taşıma olayı, malzemenin yaklaşp AB “kayma yüzeyi”nden geçtiği düşünülür ise, benzerdir. Son bölümde verilen denklem talaş sıcaklık dağılımı için de uygulanır. Analiz edilen objeye (Şekli 3.32) uygun bir kartezyen koordinat sistemi  $(\eta-\zeta)$  ve proses parametrelerinin tekrar düzenlenmesi ile talaşta sıcaklık varsayımları ile ilgili temel denklem aşağıdaki şekli alır:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \zeta^2} = \frac{R}{t_c} \frac{\partial \theta}{\partial \eta}, \quad (3.73)$$

Denklemden termal sayı  $R = \rho c V_c t_c / k$  dir.

Bu durumda sorun 3.73 denkleminin çözülmesidir (Şekil 3.36)



Şekil 3.36 Talaş sıcaklığı dağılım modeli (Joung ve Chau, 1994)

$$\theta = \theta_s(x, z=0)\theta_s(\xi); \quad \zeta = \cot\psi\eta \quad (3.74a)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\zeta} = 0; \quad \zeta = t_c \quad (3.74b)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\zeta} = -\frac{R\theta_f}{l_c}; \quad 0 \leq \eta \leq l_c, \quad \zeta = 0$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\zeta} = 0; \quad \eta > l_c, \quad \zeta = 0 \quad (3.74c)$$

$\theta_f = BC$  düzlemsel ısı kaynağından talaşa homojen olarak verilen ısıнын sebep olduğu sıcaklık artış miktarıdır.

Son bölümde elde edilen “kayma yüzeyi” sıcaklığı  $\theta_s$  burada sınır şartı olarak kullanılacaktır. Farklı koordinat sistemleri kullanılmıştır. Bu yüzden iki koordinat sisteminin arasında ilişki kurmak gerekir. AB kayma yüzeyinin üzerinde bir P noktası düşünün (Şekil 3.32). P noktasının koordinatları (x,y) veya ( $\eta, \zeta$ ) ile ifade edilir. geometrik tutarlılığın sağlanması için

$$\overline{PB} = \overline{AB} - \overline{AP}$$

$$\frac{\xi}{\cos\psi} = \frac{t_c}{\cos\psi} - \frac{x}{\cos\phi}$$

olması gerekir. Bundan aşağıdaki denklemi elde ediyoruz :

$$x = \frac{\cos\phi}{\cos\psi}(t_c - \xi). \quad (3.75)$$

3.75 denklemi, 3.72 denklemindeki başlangıç “kayma yüzeyi” sıcaklık modeli (Weiner’in geliştirilmiş modeli) veya iş bu analizde önerilen değiştirilmiş modeli yansıtan (3.72<sup>1</sup>) denklemdeki yerine yerleştirilir ise  $\eta$  ve  $\zeta$  yönünden  $\theta_s$  için daha açık bir ifade oluşur :

$$\theta_s(x,0) = \frac{q}{V\rho c \sin\phi} \left\{ 2\text{erf} \left( \hat{D} \sqrt{\frac{\cos\phi}{\cos\psi}}(t_c - \zeta) \right) \right\}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1+2n}{2n(1+n)} \left[ 1 - e^{4n(1+n)\hat{D}^2} \frac{\cos\phi}{\cos\psi} (t_c - \varsigma) \operatorname{erfc} \left( (1+2n)\hat{D} \sqrt{\frac{\cos\phi}{\cos\psi} (t_c - \varsigma)} \right) \right. \\
& \left. - (1+2n) \operatorname{erf} \left( \hat{D} \sqrt{\frac{\cos\phi}{\cos\psi} (t_c - \varsigma)} \right) \right] \Bigg\} \quad (3.76)
\end{aligned}$$

(3.73) ve (3.74) denklemleri ile verilen problemleri çözmek için aşağıdaki yer değiştirme işlemi yapılır.

$$\theta(\eta, \varsigma) = T(\eta, \varsigma) + \frac{R\theta_f}{2t_c l_c} \varsigma^2 - \frac{R\theta_f}{l_c} \varsigma + \frac{\theta_f}{l_c} \eta \quad (3.77)$$

Bu da aşağıdaki ifadeleri verir :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} = \frac{R}{t_c} \frac{\partial T}{\partial \eta} \quad (3.73^1)$$

$$T(\eta, \varsigma) = \theta_s(\varsigma) - \frac{R\theta_f}{2t_c l_c} \varsigma^2 + \left( \frac{R\theta_f}{l_c} - \frac{\theta_f \tan\psi}{l_c} \right) \varsigma; \quad \varsigma = \cot\psi\eta \quad (3.74a^1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varsigma} = 0; \quad \varsigma = t_c \quad (3.74b^1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varsigma} = 0; \quad \varsigma = 0, \quad 0 \leq \eta \leq l_c. \quad (3.74c^1)$$

Değişkenlerin Bölünmesi ile (3.78) denkleminin ısı denklemi, sınır şartları, (3.74b<sup>1</sup>) ve (3.74c<sup>1</sup>) denklem şartlarını yerine getirdiği tespit edilmiştir.

$$T = \sum_{m=0}^{\infty} A_m \cos \frac{m\pi\varsigma}{t_c} e^{-\frac{m^2\pi^2}{Rt_c}\eta} \quad (3.78)$$

(3.74a<sup>1</sup>) denklemi ile ifade edilen şartların yerine getirilmesi için

$$\theta_s(\varsigma) - \frac{R\theta_f}{2t_c l_c} \varsigma^2 + \left( \frac{R\theta_f}{l_c} - \frac{\theta_f \tan\psi}{l_c} \right) \varsigma = \sum_{m=0}^{\infty} A_m \cos \frac{m\pi\varsigma}{t_c} e^{-\frac{m^2\pi^2 \tan\psi}{Rt_c} \varsigma} \quad (3.79)$$

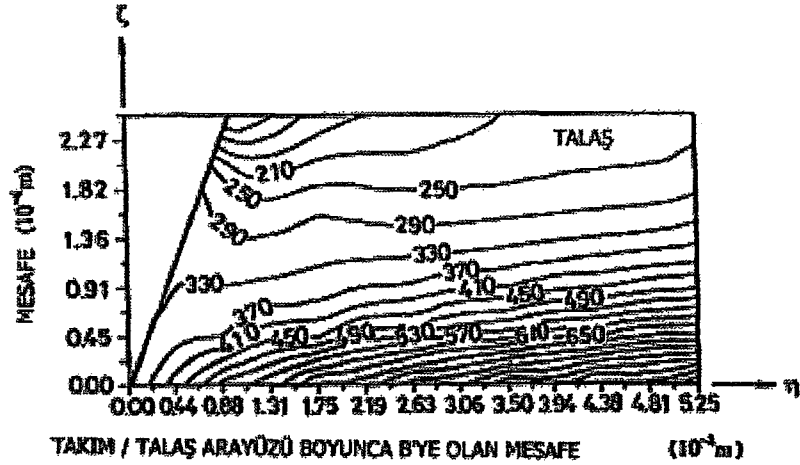
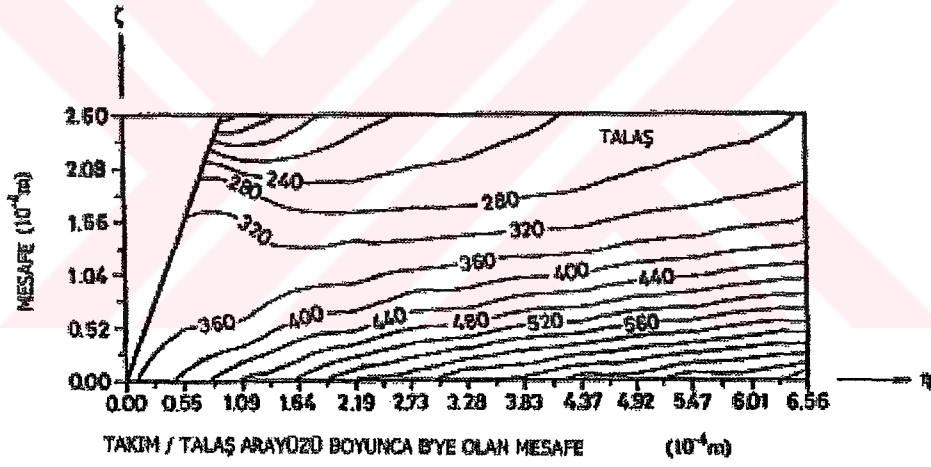
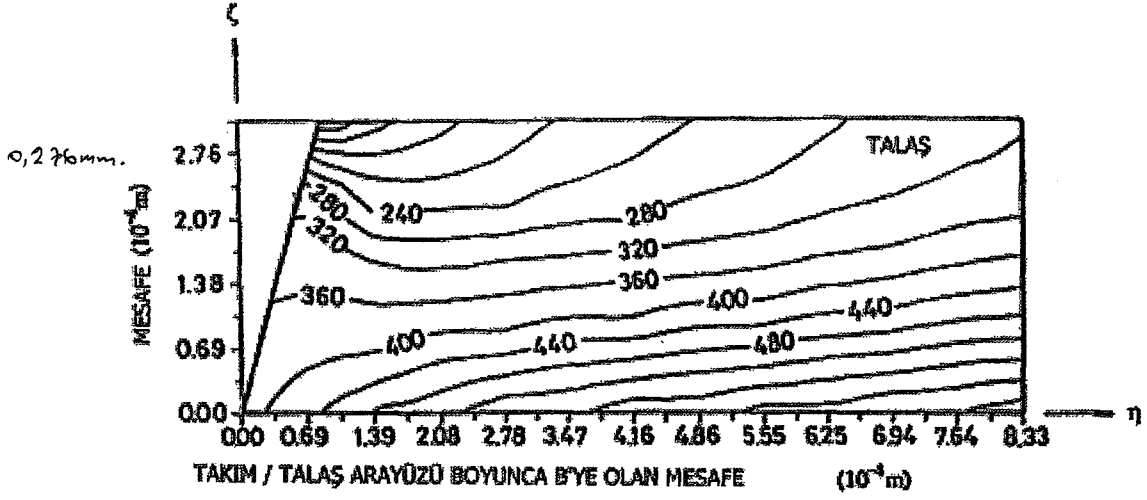
gereklidir.

Fonksiyonel ortogonalite açısından (3.78) denklemin  $A_m$  katsayıları için analitik çözümler mevcut değildir. Sayısal metodların kullanılması gerekiyor.  $M$  arttıkça  $e^{-\frac{m^2 \pi^2 \tan \psi}{Rl_c} \zeta}$  değerinin düşmesi  $T(\eta, \zeta)$  fonksiyonunun kısmi bir toplam ile ifade edilmesini yeterli kılıyor. Eğer kısmi toplam  $M+1$  terimden oluşuyor ise  $A_0, A_1, \dots, A_M$  katsayıları değerleri bilinen  $\theta_s$ 'i 3.79 denklemindeki  $(M+1)$  ifadesine yerleştirerek belirlenir. Bu durumda talaş sıcaklık dağılımı (3.80) ile ifade edilir.

$$\theta = \frac{R\theta_f}{2t_c l_c} \zeta^2 - \frac{R\theta_f}{l_c} \zeta + \frac{\theta_f}{l_c} \eta + \sum_{m=0}^M A_m \cos \frac{m\pi\zeta}{t_c} e^{-\frac{m^2 \pi^2}{Rl_c} \eta} \quad (3.80)$$

$A_m$  katsayıları (3.76) denkleminin “kayma yüzeyi” sıcaklığına dayanarak elde ediliyor ise sonuç olarak oluşan sıcaklık dağılımı, bundan sonraki çalışmada yer alan weiner modeline denk düşen bir dağılım olarak nitelendirilebilir. Bu şekilde isimlendirilmesinin sebebi Joung ve Chau ‘nun teklif ettiği değiştirilmiş “kayma yüzeyi sıcaklık modeli denkleminde (3.72)  $\theta_s$ ’ın uygulanması ile elde edilen sonuçlarla karıştırmamaktır. Aslında her iki analitik çözüm bu çalışmanın temelini oluşturan algoritmadan türemiştir.

Benzer durumlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Şekil 3.37a-c’de 3 farklı kesme hızı (Şekil 3.33) şartlarında elde edilen “kayma yüzeyi” sıcaklıklarını yansıtan talaş sıcaklık dağılımı (izotermal şekil) şekillere göre max. sıcaklık , talaş-takım temas yüzeyi boyunca, talaşın takımdan ayrılmaya başladığı yerde oluşur. Şekil 3.37a-c’de takım – talaş temas yüzeyine yakın çok daha yüksek sıcaklık gradyanları görülmektedir. Joung ve Chau ‘nun çalışmasında bu kesin bir eğilimdir, bu da takım-talaş temas sathı boyunca mevcut olan sürtünme ısı kaynağı ile açıklanabilir.



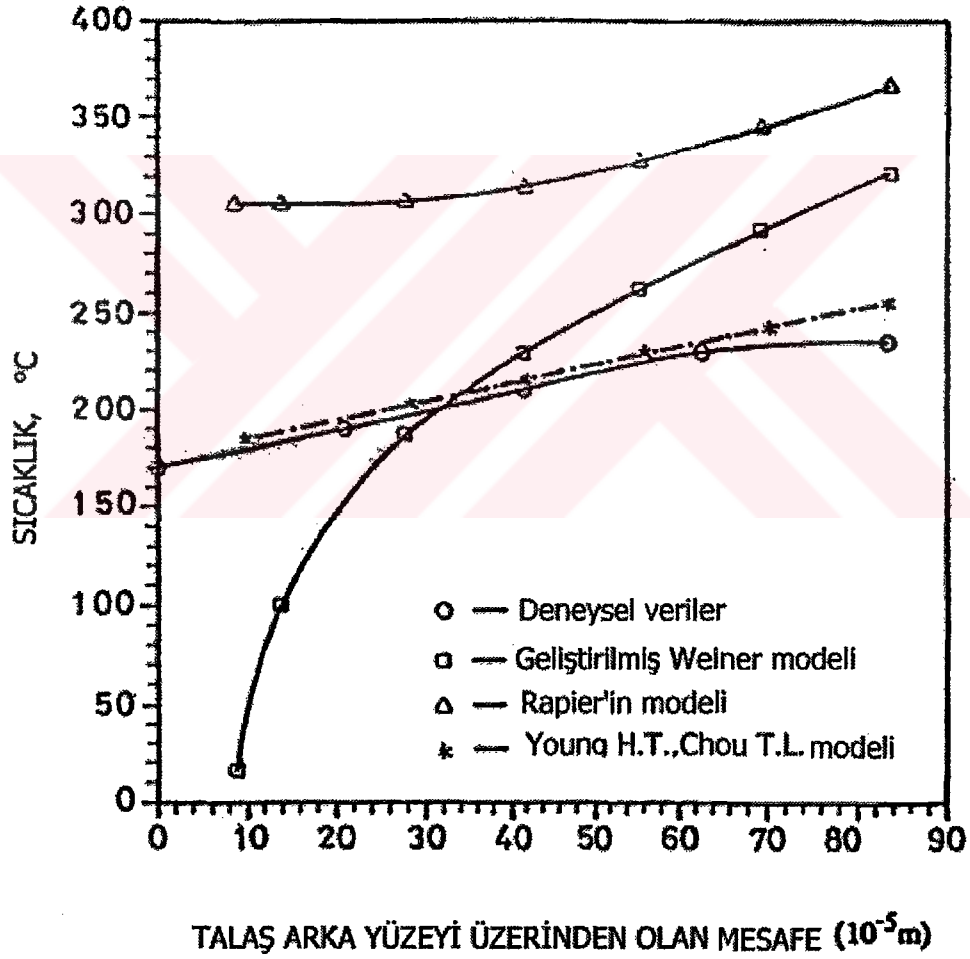
Şekil 3.37 Talaş Sıcaklık dağılımı a)  $V=58$  m/dak , b)  $V=84$  m/dak , c)  $V=120$  m/dak  
(Joung ve Chau, 1994)



Özel bir durum için :  $\psi = 0$  (Şekil 3.32) yani  $n = 0$  ve sabit "kayma yüzeyi" sıcaklığı  $\theta_s$  için 3.79 denklemini aşağıdaki şekle indirgenmiş olur :

$$\theta_s - \frac{R\theta_f}{2t_c l_c} \zeta^2 + \frac{R\theta_f}{l_c} \zeta = \sum_{m=0}^{\infty} A_m \cos \frac{m\pi\zeta}{t_c} \quad (3.81)$$

Bu bir Fourier cosinüs serisidir ve karşılık olarak aşağıdaki katsayılar gösterilebilir.



Şekil 3.38 Talaş arkası (talaş / hava temas yüzeyi) sıcaklıkları ( $V=58$  m/dak)  
(Joung ve Chau, 1994)

$$A_o = \theta \frac{R\theta_f t_c}{3l_c}$$

$$A_m = \frac{2}{m^2 \pi^2} \frac{R\theta_f t_c}{l_c}; m = 1, 2, \dots \quad (3.82)$$

Yeni bir parametre ( $\beta = 1/t_c$ ) kullanarak 3.82 denklemini 3.81 denklemindeki yerine yerleştirirsek :

$$\frac{\beta}{R} \frac{\theta - \theta_s}{\theta_f} = \frac{(t_e - \zeta)^2}{2t_c^2} + \frac{\eta}{Rt_c} - \frac{1}{6} + \frac{2}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m^2} \cos \frac{m\pi\zeta}{t_c} - \frac{m^2 \pi^3}{Rt_c} \eta. \quad (3.83)$$

Sonuç, Rapier modelinde [3] açıklanan sonucun aynısıdır, bu yüzden bu analiz özel bir durum niteliğini taşır.

Young ve Chau'nun yaptığı deneysel çalışmaların sonuçları yukarıda açıklanan analitik metodlara dayanan tahminlerle karşılaştırılması ilginç olabilir.

Boothroyd'un [11] deneylerinde sıcaklık verileri talaşın yan yüzeylerinden alındı. Köşelerin etkisinden dolayı bu sıcaklıklar talaş kütesinde mevcut olan sıcaklıktan daha düşüktür. Bu araştırmada talaş sıcaklığının direkt bir şekilde ölçülmesi sağlanıyor. Bu, talaşın arkasında merkez bölgeler üzerinde yoğunlaşan kızıl ötesi termo-izcinin kullanılması ile sağlanıyor. Bu yöntemle edinilen veriler direkt kontrol için daha doğrudur. Bu yöntemle  $\zeta = t_c$  (Şekil 3.37a)'nın karşılığı olan düşük hızlar için tahmini sıcaklıklar belirlendi ve aynı kesme şartları için geçerli olan deneysel değerler ile karşılaştırıldı. Karşılaştırma sonuçları Şekil 3.38'de verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 3.38 Rapier'in [3] sabit "kayma yüzeyi" sıcaklıkları da karşılaştırma için verilmiştir. Görülüyor ki sabit kayma yüzeyi sıcaklıklarına dayanan tahminler sonuçlara göre daha yüksek değerler veriyor. Buna karşın Weiner'in geliştirilmiş modeli ise talaşın teması/işlem görmeyen yüzey Şekil 3.32'de A noktası civarında büyük tutarsızlıklara neden olmaktadır. Joung ve Chau'nun modeli ile talaş arkasında sıcaklık dağılımı için çok daha tatminkar tahminler verilmiştir. Joung ve Chau'nun modeli teorik "kayma yüzeyi" sıcaklığı için verilen (3.71a) denkleminin yeniden düzenlenmiş sınır şartlarına bağlı olarak yapılan değişikliğe dayanıyor. Joung ve Chau tarafından sunulan bu modelde bazı değerlerde olduğundan daha yüksek değerler gözlemlenmektedir. Fakat bunların sayısı azdır. Hataların sebebi, belki talaşın

serbest yüzeyi için önerilen yalıtım şartlarıdır. Şekil 3.38'in dışındaki talaş kaldırma şartları için eğilimler tutarlıdır. Fakat burada belirtilmemiştir.

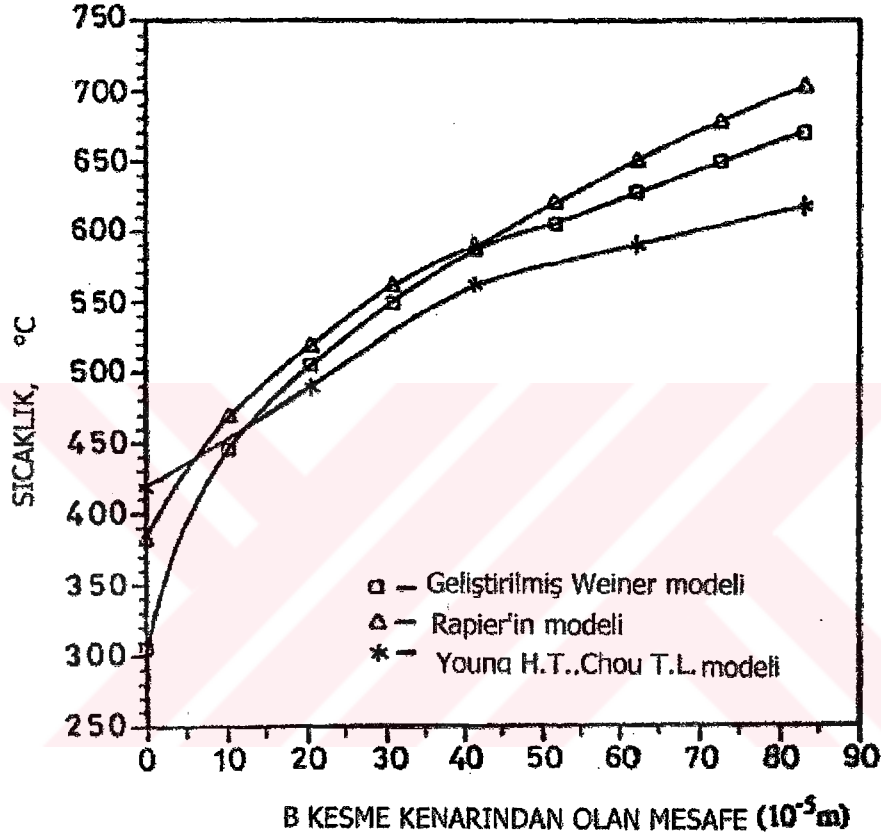
Tüm bunlar "kayma yüzeyi" sıcaklıklarını türetmek için kullanılan sınır şartının (Denklem 3.71) önemli olduğunu ve aslında gerçek olmadığını gösteriyor. Şu anda mevcut olan tüm tahminlere rağmen, sunulan bu talaş sıcaklık modelinin yararlı olacak kadar doğru ve başka teorik prosedürlerin eksiklikleri tespit edecek kadar yeterli olduğu düşünülmektedir.

Yukarıda açıklanan deneysel sonuçlara göre bu model, başka teorik modellerle kıyaslandığında, talaş arkasında sıcaklık dağılımını çok daha yakın tespit ediyor. Dolayısıyla, bu model ile talaş – takım temas yüzeyi boyunca mevcut olan sıcaklıklarında daha doğru bir şekilde tespit edilebileceğini belirtmek mantıklı olacaktır. Şekil 3.37a-c'yi elde etmek için üç farklı kesme hızında kullanılan talaş kaldırma şartlarının tahmin edilen sonuçları sırasıyla Şekil 3.39a-c'de gösterilmiştir. Sıcaklıklar kesme ucu B'den (Şekil 3.32) talaşın takımdan ayrılmasına kadar monoton bir şekilde yükseliyor. Eski modeller max. takım – talaş temas yüzeyi sıcaklık değerine, olduğundan daha yüksek değer veriyor. Fakat kesme hızının artması ile fark daha küçük oluyor. Şekillere göre kesme hızının artması ile max. temas yüzeyi sıcaklığının da arttığı gözleniyor.

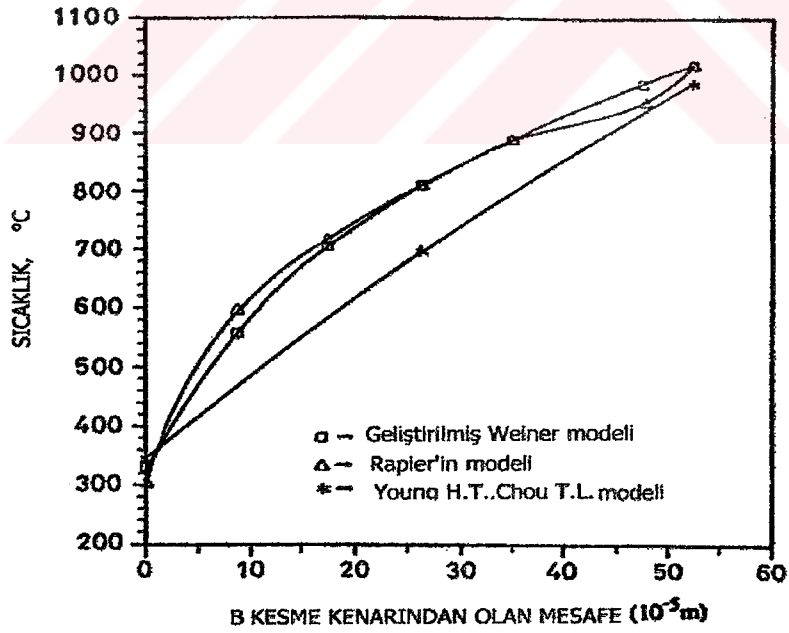
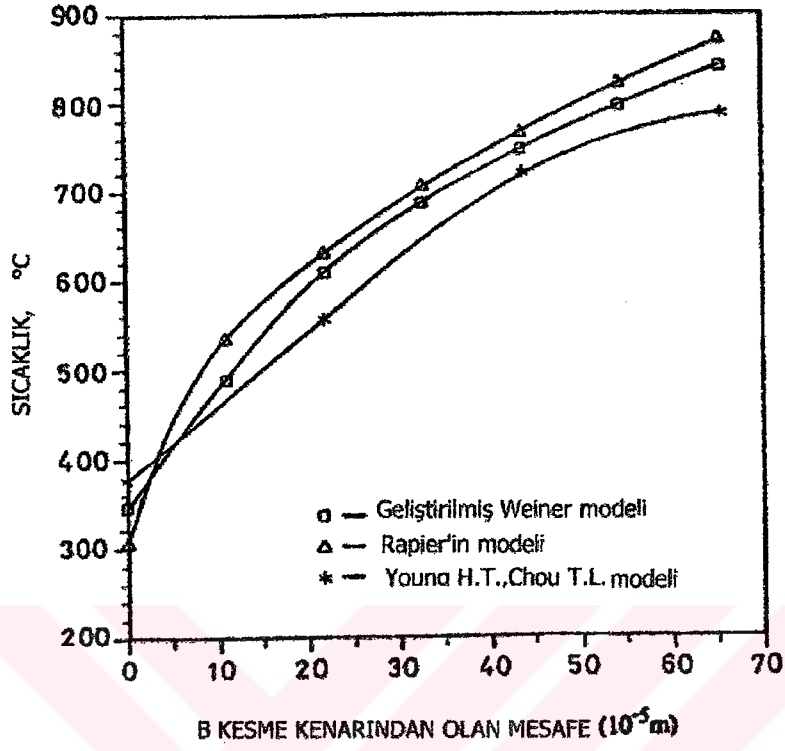
Şekil 3.39a-c'nin verdiği örneklere göre max. sıcaklık talaşın takım yüzeyinden ayrılmaya başladığı temas yüzeyinde meydana geliyor.

Bu sunulan modelin direkt bir sonucudur. Sunulan modelde ise takım talaş temas sathı ısı kaynağının tek biçimli (uniform) güce sahip olduğu varsayılmıştır. Üç farklı basitleştirilmiş ısı dağılımı türünün etkileri incelendi (Şekil 3.40) : Her tür için aynı kesme şartları uygulandı (Şekil 3.39a) : Bir ısı kaynağı eşit bir şekilde dağıtıldı (A eğrisi), max. ısı oluşumu takım ucunda oldu (eğri C); üçüncü ısı kaynağı ise trapezoid şeklinde dağıtıldı: Takım noktasından temas uzunluğunun yarısına kadar eşit dağılımdan sonra 0'a kadar lineer varyasyon takip etti (B eğrisi).

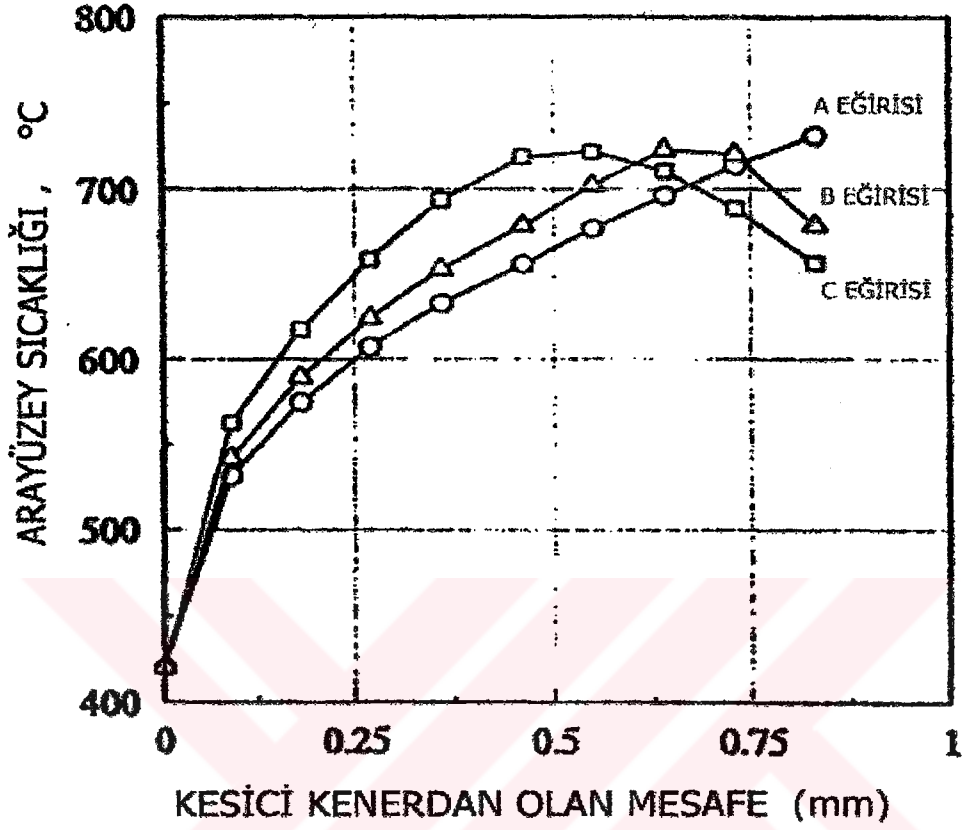
Temas uzunluğunun kesri olarak ifade edildiğinde max. temas yüzü sıcaklık bölgesi sırasıyla 1.0 dan 0.55'e ve 0.65'e değişiyor.



Şekil 3.39a



Şekil 3.39 Talaş/takım temas sathı sıcaklık dağılımı a)  $V=58 \text{ m/min}$ , b)  $V=84$ , c)  $V=120$   
(Joung ve Chau, 1994)



Şekil 3.40 Talaş / takım temas yüzeyinde, dağılan ısı kaynağının hesaplanan sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi (Joung ve Chau, 1994)

Değerler, üçgen ve trapezoid ısı oluşumları sonuçları ve Tay.etal [12]'in sayısal sonuçları arasında tutarlılığın söz konusu olduğunu gösteriyor. Oluşan ısının gerçek dağılım oranının nihai olmamasına rağmen, Şekil 3.40'ta da gösterildiği gibi, temas sathında ısı oluşumunun türüne bağlı olmayarak max. temas sathı sıcaklığının yaklaşık aynı değer koruması, önemli bir bulgudur.

### 3.10 Kesme Yüzeyi Dizaynının Kesici Takımdaki Sıcaklık Dağılımı Üzerindeki Etkileri

#### 3.10.1 Deneysel Çalışma

Yarı ortogonal,soğutma sıvısı kullanmadan bir tornalama işlemi gerçekleştirilmiş. Tavlı düşük karbonlu bir metal malzeme kullanılmış (%0.07C,%0.14 Mn,%0.13 S ve Sertlik 110 VPN).Deforme olmamış talaş kalınlığı  $t_o=0.2$  mm/dev, deforme olmamış talaş genişliği  $w_o=1.5$  mm, kesme hızı ise  $V_o=10-175$  m/min için değiştirilmiş. İlk olarak deneylerde M34 yüksek hızlı ve çift temperlenmiş kesici takım kullanılmış.Kesici takım, aşağıdaki kesme yüzeyi açılarının karşılaştırılmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmiş:

- (a)  $\alpha=+6^\circ$  kesme yüzeyi açısı
- (b) İlk 0.5 mm  $\alpha_1=+6^\circ$  de olan kesme yüzeyi,kalanı  $\alpha_2=+45^\circ$

Diğer takım açıları her iki takım türü için de aynıdır: arka kesme açısı  $0^\circ$ , yan boşluk açısı  $6^\circ$ ,ön boşluk açısı  $10^\circ$ ,yan kesme kenarı  $0^\circ$ ,uç radyüsü 0.35mm. Düşük karbonlu çeliğin tornalama işleminde bu iki takım kullanıldı ve kesme güçleri Kistler,piezoelektrik transdüktör tipinden dinamometre ile ölçüldü. Esas  $F_c$  ve  $F_t$  güçleri şekil 3.41'de gösterilmiştir.Testler boyunca numune talaşlar ayrılıp talaş genişliği ve talaş yüzeyi açısı  $\phi$  ölçüldü.Talaş ile takım temas uzunluğu da optik projektör ile ölçüldü.Bu çalışmada iki temas bölgesinin ayırt edilmesi mümkün oldu.

Kesme yüzüne yakın olan ve kopmanın veya yığıma ağzı oluşumunun meydana geldiği bölge ve temas bölgesinin kenarlarında olan ve sürtünme belirtilerinin [4] tipten olan alan.Daha sonra verilecek hesapları destekleyen deneysel bilgiler çizelge 3.1'de verilmiştir.

Aşağıda açıklanan sıcaklık eğrileri belirleme işlemi her zaman 60 sn.içerisinde yapılmıştır.Bu yüzden sertleştirilmiş iç yapı incelendiğinde 60sn.de tuz banyosunda ısıtılmış standart örneklerle karşılaştırılmıştır.Bu işlem için yapılan varsayımlar bundan önceki çalışmada [1] ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştı.

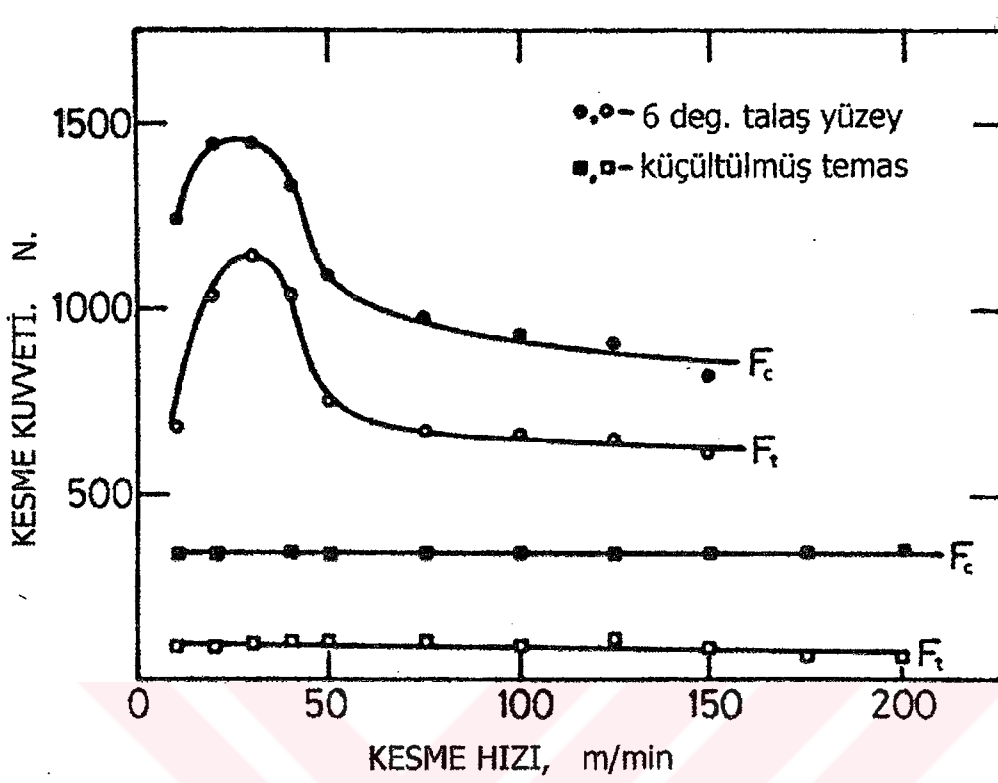
### 3.10.2 Deneysel Kesici Takım Sıcaklığı

Bundan önceki çalışmada M34 yüksek hızlı çelikte sadece sıcaklığın 650-700 °C 'ı aştığı durumlarda önemli mikroyapı değişikliklerinin meydana geldiği açıklanmıştı (60 sn. kesme işlemi). Genel olarak 6°'li takımlar kesme gücü testlerinde metalurjik şekilde parçalara ayrıldı ve sonuç olarak sadece 75 m/dak'dan daha fazla kullanılmış olanlarda sertleşme etkisi görüldü. Şekil 3.42 ve 3.43'te 100 m/dak şartlarında kullanılan 6°'lik bir takım için tipik micrograph ve sıcaklık eğrileri tespiti gösterilmektedir. Sertleşme etkisi kesme yüzünün altındaki koyu yaydır ve kesme yüzü sıcaklığının kraterdeki en yüksek sıcaklıktan yaklaşık 300°C daha düşük olduğu da görülmektedir. Şekil 3.44 deneysel maximum kesme yüzeyi sıcaklığı ile max kesme hızını göstererek M34 6°'lik takımlardan sonuçları özetlemektedir.

Maksimum sıcaklık sonuçları 750-1000 °C arasında değişmektedir. Bu tür sıcaklıkların ticari talaş kaldırma işlemlerinde HSS'kesici takım kullanımında meydana gelen sıcaklıklardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Metalografik metodun en önemli özelliği kesme hızının sertleşme reaksiyonu sağlayacak kadar yüksek olmasıdır. Bu durumda kullanılan takımlar kolayca kırılabilir. Bazı özel çelik takım türleri için metalografik metod sertleşme reaksiyonu sağlayacak kadar yüksek olan fakat kesme yüzünü ısıtıp kırılmasına sebep olacak kadar yüksek olmayan kesme şartları ile sınırlıdır. Bu yüzden bu çalışmanın tavlı düşük karbonlu çelik kullanılarak gerçekleştirildiğinin belirtilmesi son derece önemlidir. Bu malzeme yüksek kesme gücü ve dolayısıyla ısı kaynağı yaratır, fakat çok sağlam olmaması kesme yüzeyi üzerinde oldukça az baskı yapmasını sağlıyor. Orta karbonlu çelik kullanıldığında kırılmadan önceki sıcaklıkların Şekil 3.44'te verilen değerlerden daha düşük olduğu saptanmıştır.

Daha düşük hızlarda sıcaklık belirlemek için düşük ısıya duyarlı olan malzemelerin kullanılması gerekiyor. Bundan önceki çalışmada 430 veya D2S, 410 veya 01 tipinden soğuk iş çeliği kullanılmıştır. D2S malzemesinde meydana gelen mikro yapı değişiklikleri azdır ve bu malzeme Şekil 3.44'te 50 m/dak daki noktaya ulaşmak için kullanılmıştır. 01 çeliği 150-600°C arasında azalan monoton sertlik değişmesi gösteriyor ve aşınmış alet üzerinde yapılan ayrıntılı mikro sertlik araştırması ve standart sertleşme eğrisi ile sıcaklık eğrilerinin belirlenmesi mümkündür[1]. 10 ve 12.5 m/dak için veriler bu şekilde elde edilmiştir.





Şekil 3.41 Normal 6° kesme açısı olan ve 0.5 mm'lik kontrollü temaslı takım için kesme gücü (Wright ve Cormick,1980)



Şekil 3.42 6° M34 yüksek hızlı çelik aletin metalurjik şekilde parçalara bölünmesi. Kesme yüzeyinin altında hızlı aşınma bantı görülmektedir. (Kesme hızı 100 m/dak.) (Wright ve Cormick,1980)

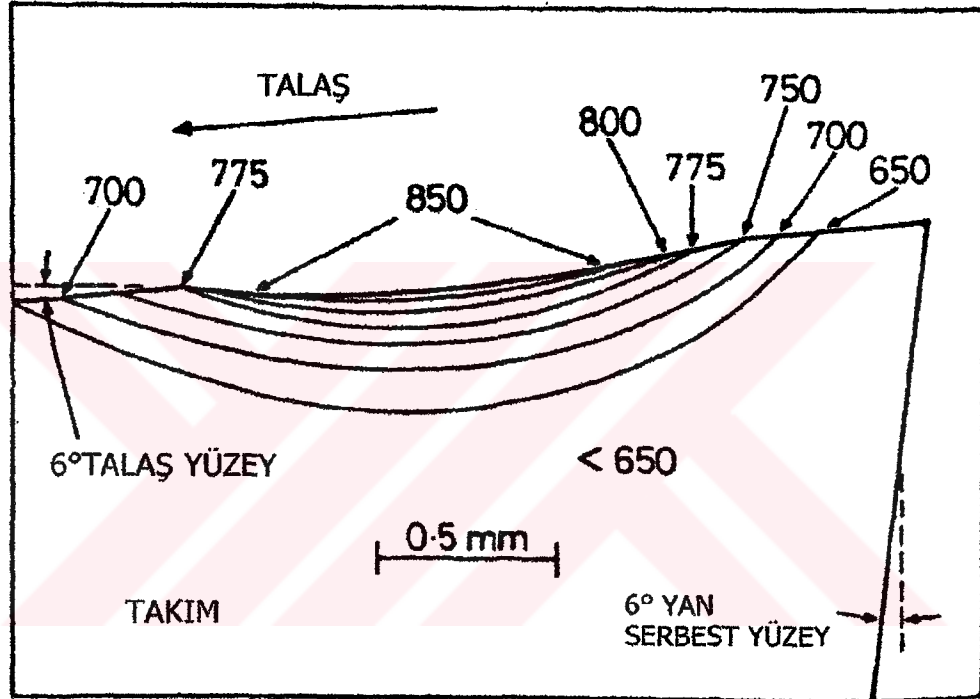
Şekil 3.42'de tüm data noktaları tek bir eğriye ilişkin olmasına rağmen onlar üç farklı takım malzemesi ile yapılan çalışmadan elde edilmiştir. Bunlar hepsi çelik takımlardır ve bu yüzden termal özellikleri benzerdir. Fakat (10m/dak) gibi düşük bir hızda karşılaştırıldıklarında üç takım arasında farklılıkların olduğu anlaşılıyor. D2S ve 01 malzemeleri için kesme gücü benzer iken M34'ün kesme gücü yaklaşık %10 daha azdır. Eğer M34 için 10 ev 12.5 m/dak şartlarında sıcaklık tespiti yapılır ise büyük bir ihtimal ile 01 çeliği için gösterilen

1,5

değerlerden daha düşük olacaktır. Bu çalışmada geleneksel ve kontrollü temaslı takımlar arasında yapılan karşılaştırmada 01 çelik kullanılmıştır.

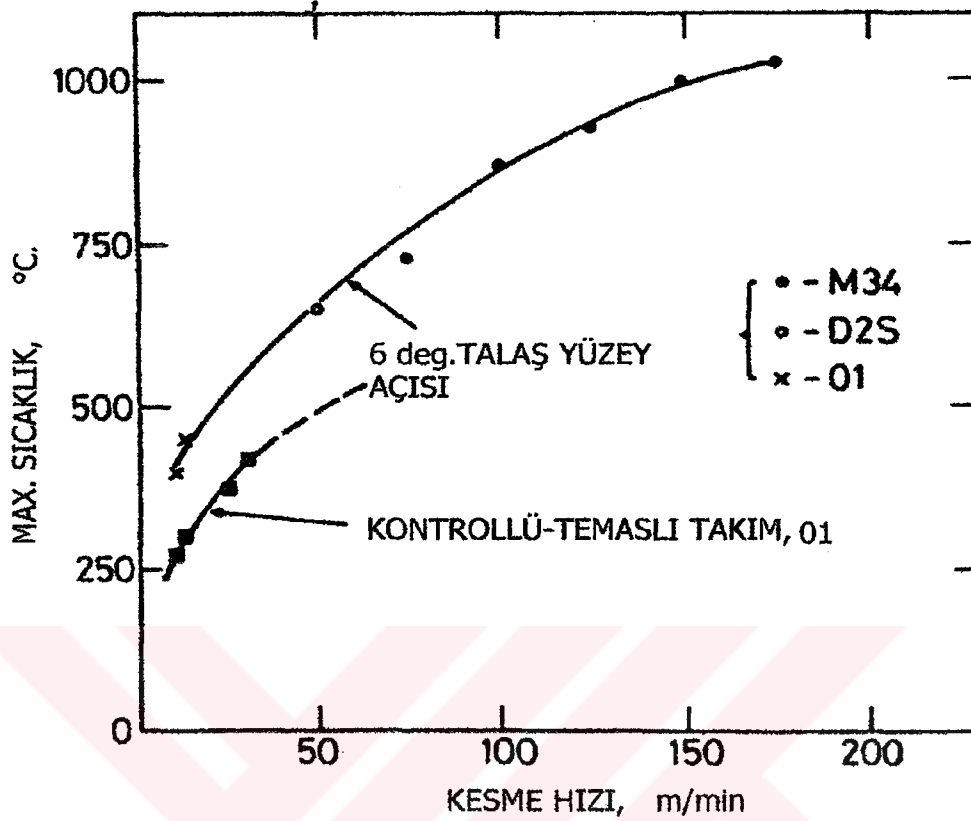
Çizelge 3.2 İki takım türü için kayma yüzeyi açısı ( $\phi$ ), yapışma ( $l_s$ ), sürtünme temas uzunluğu ( $l_f$ ) ve talaş uzunluğu ( $w$ ) varyasyonu.

Hız m/min	6° kesme açılı				Küçültülmüş takım teması			
	$\phi$ Derece	$l_s$ mm.	$l_f$ mm.	$w$ mm.	$\phi$ derece	$l_s$ mm.	$l_f$ mm.	$w$ mm.
12.5	12.6	0.86	1.79	2.70	42	0.43	0.44	1.75
100	16.5	1.08	1.92	2.25	34	0.45	0.51	1.70



Şekil 3.43 Şekil 3.42'den sıcaklık eğrileri (Wright ve Cormick, 1980).

Şekil 3.41'de görüldüğü gibi takım-talaş arasındaki temasın yapay olarak azaltılması ile talaş kaldırmada tüketilen güç' te düşüyor ( $F_c V_c$  ile gösterilmiştir). Wallace ve Boothroyd [4] ve Chao ile Trigger [6] aynı sonuçlara varmışlardır. Sonuç olarak oluşan ısı azalır. Kesme gücü testlerinde kullanılan M34 düşük temas uzunluğu olan takımların hiçbirisinin şekil 3.42'de gösterilen belirgin sertleşme strüktürüne sahip olmadığı anlaşılmıştır. Böylece düşük temaslı takımların sıcaklık eğrileri 01 çelik dolgularının kullanılması ile belirlenmiştir. Aşınmış takımlarda mikrosertlik üzerine yapılan araştırmalardan edinilen tipik bir sonuç şekil 3.45'te verilmektedir, ilişkin kesme yüzeyi sıcaklıkları ise şekil 3.44'te verilmektedir. (Soğuk iş çeliği 30 m/dak'nın üzerinde çok fazla aşındığı için 01 takımları için sıcaklık eğrileri belirlenememiştir.)



Şekil 3.44 Kullanılan iki takım geometrisi için max.kesme yüzeyi sıcaklığı (Wright ve Cormick,1980)

Her deney için kullanılan takım malzemesi de belirtilmiştir.

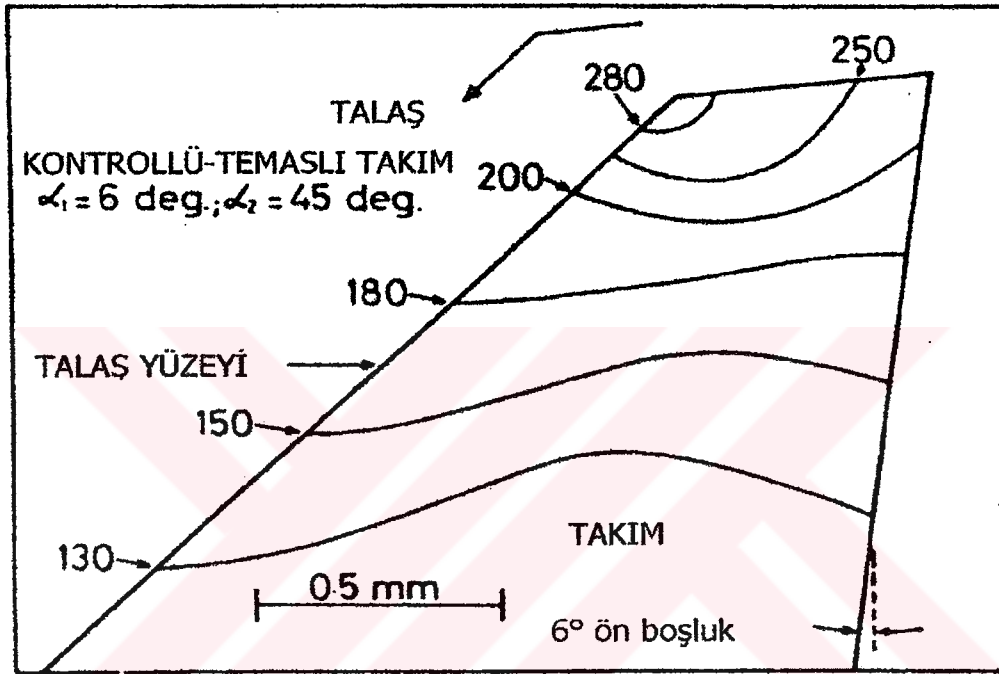
Deney sonuçlarına göre 10-30 m/dak'nın üzerindeki çalışma hızı için takım ile talaş arasındaki temasın yapay olarak azaltılması ile maximum sıcaklıklar yaklaşık %30 oranında azalıyor.

(Örneğin 20 m/dak için yaklaşık 150°C). Elde edilen eğriler araştırılan sınırlı sayıda hız değerleri için benzer gradyanlardan oluşur.M34 kontrollü temaslı takımlarda hiçbir hızda sertleşme etkisi meydana gelmediğine göre 100-175 m/dak arasında eğrinin yüksekliği  $T < 650-700^{\circ}\text{C}$  sağlayacak şekilde azalmalıdır.

(Şekil 3.44 'te kesik çizgi ile gösterilmiştir). Bu da en az max.sıcaklıkta %30 düşüşe eşittir.

Sıcaklıkların azalmasının sonucu olarak belirli takım malzemesi tipleri ve kesme hızları için düşük temaslı takımlar geleneksel 6° açılı kesme takımlarından daha dayanıklıdır (daha uzun kullanılırlar).Örneğin M34,6° takım ile 175 m/dak'da işlem yapıldığında takımın kesme yüzü 60 sn. çalışmadan sonra ömrünü tamamlar.Sınırlı temas uzunluğuna sahip M34 takımları ise 175 m/dak'da 10 dakika boyunca talaş kaldırabilir.İki takım türü için Taylor'un denklemine

uyacak sonuçlar edinilmemiştir, fakat temasın azaltılması lokal basınç ve kesme yüzeyi sıcaklığını azaltarak takımın ömrünü uzatıyor. Bu sonuçlar, sürekli olarak işlem gören yumuşak düşük karbonlu çelik için geçerlidir ve kesintili kesme işlemleri ve farklı malzemelerde daha farklı sonuçların meydana çıkacağı da belirtilmelidir. Çalışmanın ticari önemi belirli bir malzeme için kesme sıcaklığını en düşük derecede tutacak ve sağlam kesme yüzeyi sağlayacak optimum bir kesme yüzeyinin bulunduğunu belirtmesindedir.



Şekil 3.45 Kontrollü temas yüzeyli kesici takımda mikrosertlik araştırması sonucu edinilen sıcaklık eğrileri Kesme hızı 12.5 m/dak. (Wright ve Cormick,1980)

### 3.10.3 Talaş – Takım Arayüz Sıcaklığı İçin Genel Denklem

Ortogonal talaş kaldırma işlemleri sırasında sıcaklık dağılımı tespiti konusunda Boothroyd [8] tarafından açıklanan birçok teorik metod vardır.

Tay et.al.,[9] ise deneysel bilgilere dayanarak hem talaş hemde takım sıcaklıklarını hesaplayan sonlu-elemanlar tekniğini geliştirmiştir. Demir içeren malzemelerin işlem gördüğü durumlarda metalografik metod sonuçlarının Tay'ın hesaplarına uyduğu tespit edilmiştir[1]. Fakat her ikisi de oldukça zordur ve deneylerden edinilen sonuçları destekleyen daha basit bir metoda ihtiyaç vardır.

Bundan önceki çalışmalarda talaş-takım temas yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımını hesaplamak için oldukça izafi bir çözüm sunulmuştu. Bu çalışmada yardımcı (ikinci derecede) kesim bölgesindeki ısı kaynağı değişiklikleri daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu yeni yaklaşımdan geliştirilen denklemler oldukça basit olmakla birlikte sıcaklık dağılımı daha doğru saptanabiliyor. Bu denklemler sadece şekil 3.43 ve 3.45'te gösterilen kesme yüzeyi sıcaklık profilleri için değil kesme ucu ve aşınma araştırmaları için yapılan max. kesme yüzeyi sıcaklık hesapları için de kullanılıyor.

Kesme yüzünde sıcaklık dağılımını hesaplamak için ilk olarak  $\Delta T_p$  ile gösterilen temel bölgede malzeme sıcaklığında meydana gelen sıcaklık artışı tespit edilmelidir.

$$\Delta T_p = \frac{(1 - \beta)(F_C \cos \phi - F_t \sin \phi) \cos \alpha}{\rho c w_0 t_0 \cos(\phi - \alpha)} \quad (3.48)$$

Bu denklemde;  $\rho$  = yoğunluk

$c$  = özgül ısı

$\beta$  = iş parçasına geri iletilen ısı miktarı

( $\beta$ ) değerinin hesaplanması için Boothroyd [2]'in standart eğrisi kullanılabilir [8].

Temel bölgeden çıkan malzeme ya talaşların oluşturduğu kütleye karışır yada talaş-takım arayüzeyine bitişik olan ince deformasyon bölgesinde tekrar işlem görür.

Genel denklemi elde etmek için herhangi bir ( $x$ ) noktasında talaş-takım arayüzeyi boyunca talaş'a doğru gönderilen ısının akışı  $f(x)$  ile belirtildiğinin açıklanması yeterlidir.

Temas alanında her birim alanda  $Q_t$  için toplam ısı oluşum oranı sabit olarak kabul edilebilir. Bu bölgede  $[m.Q_t = f(x)]$  oranında ısı talaş tarafından absorbe edilir ve  $[(1 - m).Q_t]$  takıma doğru yönelir. Bu şartlar diğer sınır şartlarla birlikte şekil 3.46'da özetlenmiştir. Talaş yüzeyi için standart hareketli ısı kaynağı ısı transfer denklemi uygulanır. Bu konu Boothroyd [8] tarafından incelenmiştir. Weiner'in [10] talaş yönünde giden ısının gözardı edilebileceği konusundaki varsayımı aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\frac{\partial T(x, y)}{\partial x} = \frac{K \cdot \partial^2 [T(x, y)]}{V_c \cdot \partial y^2} \quad (3.85)$$

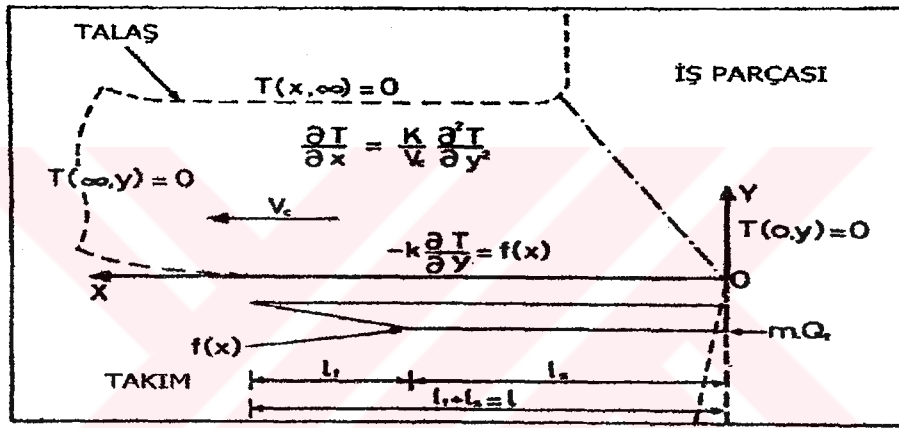
$V_c$  = talaş kütle hızı

$K$  = termal difüzyon

Laplace (3.85) bağıntısını aşağıdaki şekilde değiştirmiştir;

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} - \frac{V_c s}{K} T(s, y) = 0 \quad (3.86)$$

Belirtilen sınır şartları için genel çözüm aşağıdaki gibi gösterilir;



Şekil 3.46 ısı transfer problemi için uygun denklem, sınır koşulları ve ısı kaynağı  $f(x)$  tiplerinin özeti (Wright ve Cormick, 1980)

$$\bar{T}(s, y) = C.e^{-(y/\sqrt{K})\sqrt{V_c s}} \quad (3.87)$$

Daha sonraki sınır şartın  $y=0$  'da olduğu için sabit C belirlenebilir;

$$-k \frac{\partial T(x, y)}{\partial y} = f(x) \quad (3.88)$$

$k$  = iletkenlik

$f(x)$  = talaş'a iletilen ısı

denklem 3.88'in Laplace transformation;

$$\frac{\partial \bar{T}(s, y)}{\partial y} = -C \sqrt{\frac{s V_c}{K}} \quad (3.89)$$

$y=0$  durumunda 3.87 denkleminin türevi 3.90 denklemini ile gösterilebilir;

$$\frac{\partial T(s,y)}{\partial y} = -C \sqrt{\frac{sV_c}{K}} \quad (3.90)$$

Sonuç olarak C bulunabilir;

$$C = (sV_c / K)^{\frac{1}{2}} \cdot F(s) / k \quad (3.91)$$

Tekrar 3.87 denklemine dönerek  $y=0$  durumunda talaş takım arayüzeyi için 3.92 denklemini elde edebiliriz.

$$T(s,0) = \frac{F(s)}{\sqrt{s}} \cdot \frac{1}{k} \sqrt{\frac{K}{V_c}} \quad (3.92)$$

İki fonksiyon  $F(s)$  ve  $1/\sqrt{s}$  içeren bu denklem konvolüsyon teoreminin kullanımı ile (29.2.8 Abramovitz ve stegun [11] ters yönde değiştirilirse 3.93 denklemini elde edilir.

$$T(x,0) = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{K}{V_c}} \int_0^x f(x-z) \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi z}} dz \quad (3.93)$$

Bu ilişki 3.46 şekilde gösterilen kesme yüzünün tüm 3 bölgesi yapışma sonucu meydana gelen sürtünme bölgesi ( $l_s$ ), kayma sürtünmesi ( $l_f$ ), ve temas bölgesinin üzerindeki bölge için değerlendirilebilir. ( $> l_s + l_f$ )

Talaş yönünde gerçekleşen ısı akımı fonksiyonu  $f(x-z)$  her 3 bölge için değişir:

$$\text{Yapışma sürtünmesi} \quad f(x-z) = mQ_t \quad (3.94)$$

$$\text{Kayma sürtünmesi} \quad f(x-z) = mQ_t \frac{[l - (x-z)]}{l_f} \quad (3.95)$$

$$\text{Temas yüzeyi arkasında} \quad f(x-z) = 0 \quad (3.96)$$

$(x-z = l_s)$  ' olduğu durumlarda 3.95 denkleminin değeri  $m \cdot Q_t$  'ye kadar düşer.

$(x-z = l_f)$  ' olduğu durumda ise denklem sıfırdır. (3.94 ve 3.96) 'nolu denklemler (3.93) ' nolu denklemde yerine yazılırsa aşağıdaki üç integral oluşur:



i) yapışma sürtünmesi

$$T(x,0) = \frac{mQ_t}{k} \sqrt{\frac{K}{\pi V_c}} \int_0^x \frac{1}{\sqrt{z}} dz$$

$$T(x,0) = \frac{2mQ_t}{k} \sqrt{\frac{Kx}{\pi V_c}} \quad (3.97)$$

ii) kayma sürtünmesi

$$T(x,0) = \frac{mQ_t}{k} \sqrt{\frac{K}{\pi V_c}} \left[ \int_0^{x-l_s} \frac{[l-(x-z)]}{l_f \cdot \sqrt{z}} dz + \int_{x-l_s}^x \frac{1}{\sqrt{z}} dz \right]$$

$$T(x,0) = \frac{mQ_t}{k} \sqrt{\frac{K}{\pi V_c}} \left[ \frac{4(l_s - x)(x - l_s)^{1/2}}{3l_f} + 2\sqrt{x} \right] \quad (3.98)$$

iii) temas yüzeyi arkasında

$$T(x,0) = \frac{mQ_t}{k} \sqrt{\frac{K}{\pi V_c}} \times \left[ \int_0^{x-1} \frac{0}{\sqrt{z}} dz + \int_{x-1}^{x+l_s} \frac{[l-(x-z)]}{l_s \cdot \sqrt{z}} dz + \int_{x-l_s}^x \frac{1}{\sqrt{z}} dz \right]$$

$$T(x,0) = \frac{mQ_t}{k} \sqrt{\frac{K}{\pi V_c}} \times \left[ \frac{4(x-l)(x-l)^{1/2}}{3l_f} + \frac{4(l_s-x)(x-l_s)^{1/2}}{3l_f} + 2\sqrt{x} \right] \quad (3.99)$$

3.97 denklemini Carslaw ve jaeger [12] tarafından düzenlenen standart referans metinlerinde yer alan çözümlerin kullanılması ile'de elde edilebilir. Burada verilen metod talaş kaldırmada yardımcı bölge ısı kaynağına direkt olarak uygulanır.

Laplace transformasyon metodunun başka bir avantajıda kısmi yüzünün diğer bölgeleri için direkt olarak 3.98 ve 3.99 Denklemlerinin oluşmasının sağlanmasıdır. Yukarıda gösterilen denklemler güç,talaş boyutu ve temas uzunluğu gibi hazır edinilen bilgilerden yararlanarak takım- talaş temas yüzeyi boyunca sıcaklığın hesaplanmasını sağlıyor.

#### 3.10.4 Kesme Yüzü Isı Kaynağı

3.97 ve 3.99 denklemlerinde  $Q_t$  değeri temas bölgesinin iki alanında ( $l_s$  ve  $l_f$ ) mevcut olan tribolojik şartlara direkt olarak bağlıdır. Bu çalışmada yapışma sürtünmesi sonucu olarak meydana gelen fizik şartlarda birkaç tutarsızlık vardır. Tayet .al.[9] kesimden önce



numuneleri ızgara fortogravürüne yerleştirmiş, sonra da yardımcı kısmı bölgesini “ani-duruş” yapan numuneleri kullanarak incelemiştir. Temas yüzeyinde malzemenin geri sürtüklenmesi kesme yüzüne bitişik olan malzeme hızının  $V_c/3$  olmasına sebep olur. Tayet .al temas yüzeyi hızının yükseldiğini yapışma sürtünmesinin sonunda ( $l/s$ ) malzeme hızı talaş kütlelerinin hızına eşit olduğunu öne sürer. Sonuç olarak kesme deformasyonuna sebep olan relatif hız kesme yüzünde  $2.V_c/3$  ‘ten  $x=l/s$  ‘te 0’ a kadar düşüyor.

Talaş kaldırma sonucu meydana gelen ısı oluşumu ( $Q_s$ ) her birim alan için relatif hız ve yardımcı bölgedeki malzemenin kesme kuvveti ( $\tau_s$ ) ile ifade edilir. ( $\tau_s$ )’nin sabit olduğu kabul edilirse kesme yüzeyinde  $Q_s=2.\tau_s.V_c/3$  . Fakat Tay’ ın modelinde malzeme  $V_c/3$  ‘te de kesme yüzü üzerinde kayıyor, böylece  $Q_f=\tau_s.V_c/3$  değerinde ek sürtünme ısısı oluşuyor. Bu iki ısı kaynağının varyasyonları Şekil 3.47’de gösterilmiştir. Yapışma-Sürtünme bölgesinde toplam ısı oluşumu her birim alan için  $Q_t=\tau_s.V_c$  ile gösterilmiştir.

Trent [13] ve Wright ile Trent [14] farklı fizik şartlar incelemiştir. Bu bölgedeki sıcaklığın  $1100^\circ\text{C}$  kadar ve normal gerilmenin  $40-75 \text{ MN/m}^2$  arasında olduğundan  $x=l/s$ ’te kopma’nın meydana geldiği, sonuç olarak da temas yüzeyine bitişik olan atomik katman hızının sıfır olduğu öne sürülmüştür.

Tay tarafından önerilen metod’un fiziksel şartların yanlış kullanımına yol açacağıda öne sürülmüştür; aniden kopma gerçekleştiğinde şiddetli ayrılma meydana geliyor ve bu temas yüzeyinde malzeme kaybına veya malzemenin takıma yapışık kalmasına sebep olabilir.

Bu zıt görüşlerin ortadan kalkması için araştırmaların geliştirilmesi gerekiyor. Transparan takımlarla ilgili oldukça ilginç bir çalışma yapılmaktadır. Yukarıda açıklanan sıcaklık hesaplama amaçlı modellerin her ikisinde toplam ısı kaynağı konusunda aynı sonucu veriyor. Eğer  $x=l/s$ ’e kadar ulaşan tam bir kopma meydana gelir ise [13,14] ısı oluşum oranı her bölge ünitesi için basit bir şekilde  $Q_t=\tau_s.V_c$  ile verilir.

Temas bölgesinin ikinci bölümünde ( $l/s < x < l$ ) klasik sürtünme teorileri uygulanır. Talaş-Takım teması sürtünme gücünün oluşmasına sebep olur. Temas yüzeyi hızı talaş hızına eşittir ve Zorev’in [7] çalışmasına göre kayma gerilmesi yapışma bölgesinin sonundan lineer olarak ( $\tau_s$ ) değerinden temas sonuna doğru sıfır değerine kadar düşer. Böylece ısı oluşum oranı lineer şekilde  $\tau_s.V_c$  ‘den sıfır’a kadar düşüyor. (Şekil 3.47 ve denklem 3.95)

### 3.10.5 Teori Deney Karşılaştırması

Takım-Talaş temas yüzeyinin herhangi bir noktası üzerinde sıcaklık aşağıda sıralanan değerlerin toplamından oluşur:

Malzemenin başlangıç sıcaklığı ( $20^{\circ}\text{C}$ ); temel bölgede sıcaklık değişimi ( $\Delta T_p$ ) ve 14-16. denklemlerde verilen kesme yüzü sıcaklık yükselmesi  $T(x,0)$ . Hepsini için  $Q_t = \tau_s \cdot V_c$  ve talaş hızı  $V_0 \cdot t_0 \cdot w_0 = V_c \cdot t_1 \cdot w_1$  'den tespit edilir. Bu denklemde  $t_1$  deforme olmuş Talaş kalınlığı,  $w_1$  ise deforme olmuş Talaş genişliğidir. Kesme gücü'nü saptamak için önce kesme yüzeyi üzerinde etken olan toplam kesme gücü bulunur.

$$F_R = F_C \sin \alpha + F_T \cos \alpha \quad (3.100)$$

Bu kesme gücü temas alanının iki bölgesinde oluşur. Yapışma-sürtünme bölgesinde kesme gerilmesi ( $\tau_s$ )' dir. Kayma-sürtünme bölgesinde ise stress ( $\tau_s$ )'den sıfıra düşer. Ortalama olarak  $(0.5\tau_s)$ 'tir. İki bölgenin toplamı:

$$\tau_s = F_R / w_1 (l_s + 0.5l_f) \quad (3.101)$$

Düşük karbonlu çeliğin termal özellikleri,  $k$  ve  $c$ , standart tablolardan alınmıştır [16].

Bu değerlerin grafik değerlendirmesi yapılmıştır ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

$$k = 65 - (0.046T) \dots\dots\dots \text{W/m}^{\circ}\text{C} \quad (3.102)$$

$$c = 400 + (0.588T) \dots\dots\dots \text{J/Kg } ^{\circ}\text{C} \quad (3.103)$$

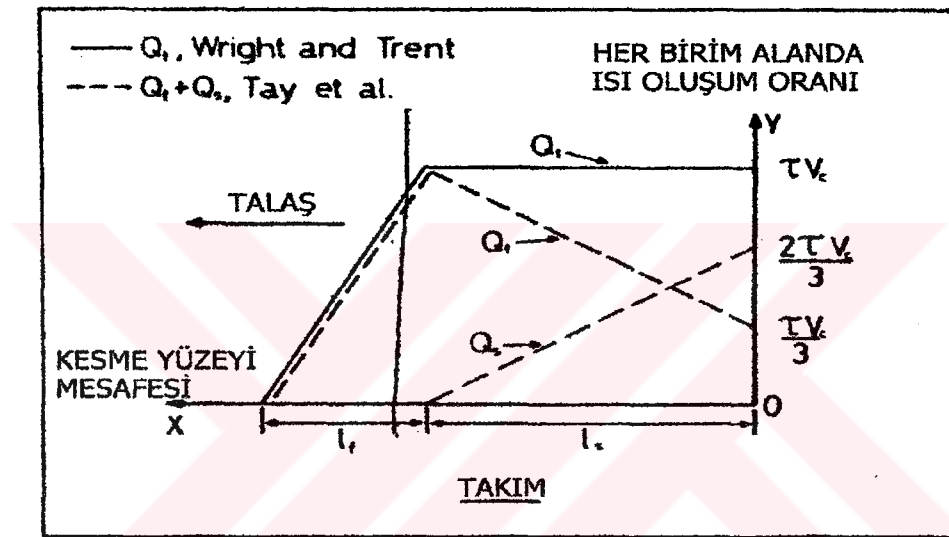
Bu denklemde  $T$  için bir başlangıç değeri vermek için metalografik metodun sonuçları kullanılmıştır, sonrada benzer işlemin tekrarlanması ile  $T(x,0)$  son değeri elde edilmiştir. Isı bölme sabiti  $m$ 'nin değeri hem takım hem talaş eğrilerini göz önünde bulunduran başka işlemlerin sıcaklık dağılımlarından belirlenmiştir.

Talaş veya takıma iletilen ısı bu bölgelerdeki sıcaklık gradyanları ile orantılıdır. Sonuçlara göre kesme yüzeylerinde meydana gelen ısının % 80-90 'ı talaşa geçer. Bu çalışmada  $m=0.8$  olduğu ve bu değerlerin temas alanı boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir.  $m$  sabitinin kullanılması bundan önceki [1] modele göre oldukça iyi bir gelişmedir. Bundan önceki modelde ısının eşit olarak talaşa ve takıma geçtiği varsayılmıştı. Bundan önceki çalışmada

3.97 denklemi tamamen farklı bir yaklaşım ile tespit edilmişti m' kullanılmamıştı ve talaş hızı yardımcı bölgede yayılma oranı  $(\tau s=Vc/h)$  'ye göre belirlenmişti.

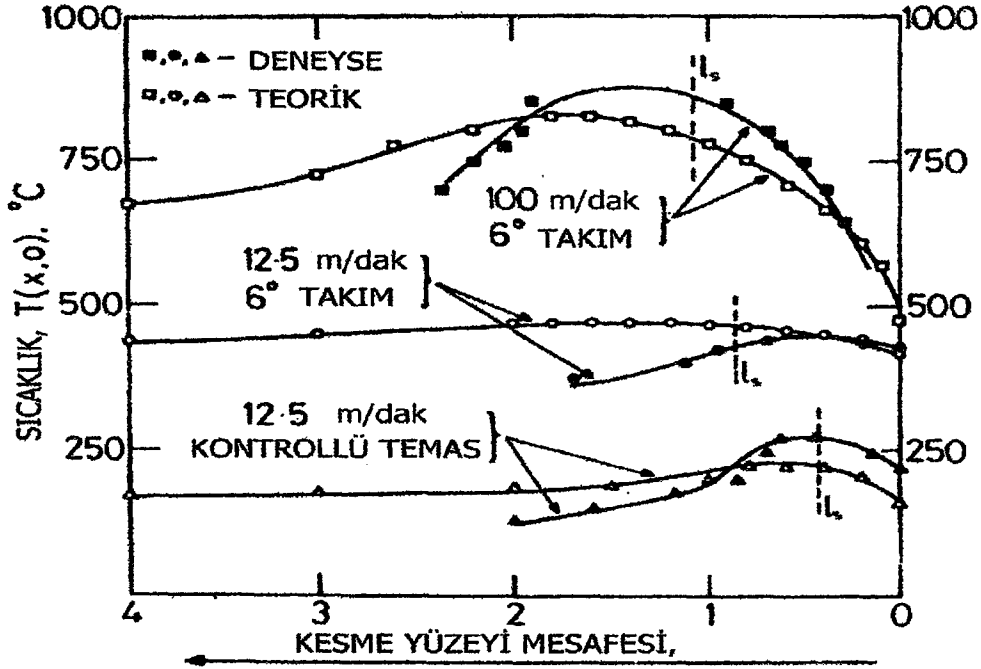
Bu denklemde h' bölgenin ortalama kalınlığını gösteriyor. Daha önceden edinilen bilgiler [1,17] 100 m/dak 'şartlarında işlem gören ticari temiz bakır için tekrar değerlendirilmiştir. Metalografik metodun sonuçlarına göre kesme yüzü sıcaklığı 290°C, yapışma –sürtünme bölgesi sıcaklığı ise ~320°C dir.

(bkz Şekil 3.45.Ref[1].)



Şekil 3.47 Tay et al [9], Wright ile Trent [13]'e göre birim alan için ısı oluşum oranı

Her iki durumdada yapışma sürtünmesi bölgesinde toplam ısı kaynağı  $Q_t = \tau s \cdot V_c$  (Tay'ın modelinde  $Q_s$  ve  $Q_t$  'kesme ve sürtünme sonucu oluşan ısıdır.)



Şekil 3.48 Takım -Talaş temas yüzeyi boyunca deneysel ve teorik sıcaklık karşılaştırılması, deneysel yapışma-sürtünme temas uzunluğu  $l_s$  'de gösterilmiştir

Daha önceki hesaplarda  $x=l_s$ 'de sıcaklığa  $\sim 100^\circ\text{C}$  ile daha yüksek değer verilmişti fakat  $m$ 'kullanıldığında kesme ucu sıcaklığı  $280^\circ\text{C}$  den (denklem 3.84)  $330^\circ\text{C}$  ye yükseliyor(denklem 3.97)

Bakır için edinilen deneysel eğriler ve yeniden hesaplanan sıcaklık değerlerinin arasında tutarlığın olduğu söylenebilir. Şekil 3.48'de düşük karbonlu çelik için deneysel ve analitik sonuç karşılaştırması verilmiştir. Deneysel sonuçlar bu çalışmanın 3.43 ve 3.45 Şekillerinden bundan önceki çalışmanın [1] ise 4.şekilden alınmıştır.

İki geleneksel  $6^\circ$ li takım için deneysel ve hesaplama edinilen sonuçlar arasında tutarlılık var fakat kontrollü temas takımları için  $\sim 50^\circ\text{C}$  tan oluşan fark sözkonusudur.

Kesme yüzü sıcaklığı için hesaplanan değerler  $x=l_s$  değerine kadar yükselip kayma-sürtünme bölgesinin bir kısmında negatif değer alana kadar artmaya devam ediyor. 3.98 denklemi boyunca parantez içindeki 2.dönem boyunca etkin oluyor,kayma-sürtünme bölgesinin kalan kısmında sıcaklık düşüyor. Fakat hesaplanan sıcaklık düşüş oranı her üç durumdaki deneysel çalışmalardan daha azdır. Bunun sebebi  $m$ 'değeri ve malzeme gücünün ( $\tau_s$ )'değeri sabit kabul edilmesidir.

Aslında sıcaklığın temas sathı boyunca yükselmesi ile birlikte ( $\tau_s$ ) değerinin dolayısıyla  $Q_t$ 'nin düşmesi beklenir [14].

Temas uzunluğunun tam olarak belirlenmesi son derece önemlidir. Örneğin eğer  $l_s=100$  m/dak sonuçları için % 15 daha düşük olsaydı teorik eğrinin şekli deneysel sonuçlara tam olarak uyardı. Temas uzunluğu ölçüldüğünde toplam uzunluk  $l$  genelde kolayca tespit edilir fakat bazen yapışma-sürtünme ve kopma-sürtünme bölgeleri zor ayırt edilir [18].

Yardımcı kısmı bölgesinin daha geliştirilmesi mümkündür. Boothroyd 'un [8] belirttiği gibi ısı kaynağı altında çok ince genelde 0.02-0.08 mm olan bir bölgede dağılır. Böylece ısı kaynağının temas bölgesi ile sınırlı olduğu varsayımı Şekil 3.48'de gösterildiği gibi hesaplanan sıcaklık değerlerinin daha yüksek değerlerde ifade edilmesine yol açar.

Hesap metodunun geliştirilmesine yönelik teklifler yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı kesme gücü, gibi kolayca edinilen verilere dayanarak basit denklemler oluşturabilmektir. (denklem 3.97-3.99). Bütün pürüz noktalarına rağmen ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki tutarlılık oldukça tatminkardır. Araştırma alanının dar olduğuda belirtilmiştir (örn.  $l=1-3mm$ )

kesme yüzü gradyanları'da çok yüksektir (örn.şek.3'te sıcaklık sadece 0.4mm'de 200°C artıyor). Bu yönden olumlu bakıldığında deneysel metodlar takım sıcaklığı konusunda ayrıntılı ve doğru bilgi veriyor.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, talaş kaldırma esnasında, HSS kesici takımında sıcaklık dağılımı ve takım geometrisinin etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri St37 alaşımsız çelik mil üzerinde, üniversal torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Kesici takım malzemesi olarak HSS E kullanılmıştır ve üç ayrı geometride kesici takım için talaş kaldırma esnasında oluşan ortalama sıcaklık dağılımları, "Takım- iş parçası ısıl çift yöntemi" kullanılarak ölçülmüştür. Herbir takım geometrisi için üç farklı kesme hızı, herbir kesme hızı için de üç farklı ilerleme oranı kullanılarak toplam 27 adet deneysel ölçüm yapılmıştır.

İş parçası : St37 alaşımsız çelik mil  $\phi 65$  mm.

Kesici takım : HSS E Yüksek hız çeliği

Tezgah : Üniversal Torna Tezgahı

Analog : OMRON K3NX Process Meter

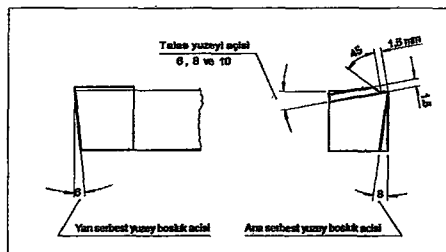
process meter

Konverter : OMRON K3SC – 10 Interface Converter ( RS 422 / RS 232'ye)

Yazılım : OMRON SYS-Config v2.0 yazılımı, istenilen örnekleme zamanı seçilerek okunan analog sinyalin (DC Voltaj [mV]) monitörde eşzamanlı mV-zaman grafiği çizdirilirken, aynı zamanda Excell'e mV- zaman sütunlarında eşzamanlı dataları kayıt etmekte kullanıldı.

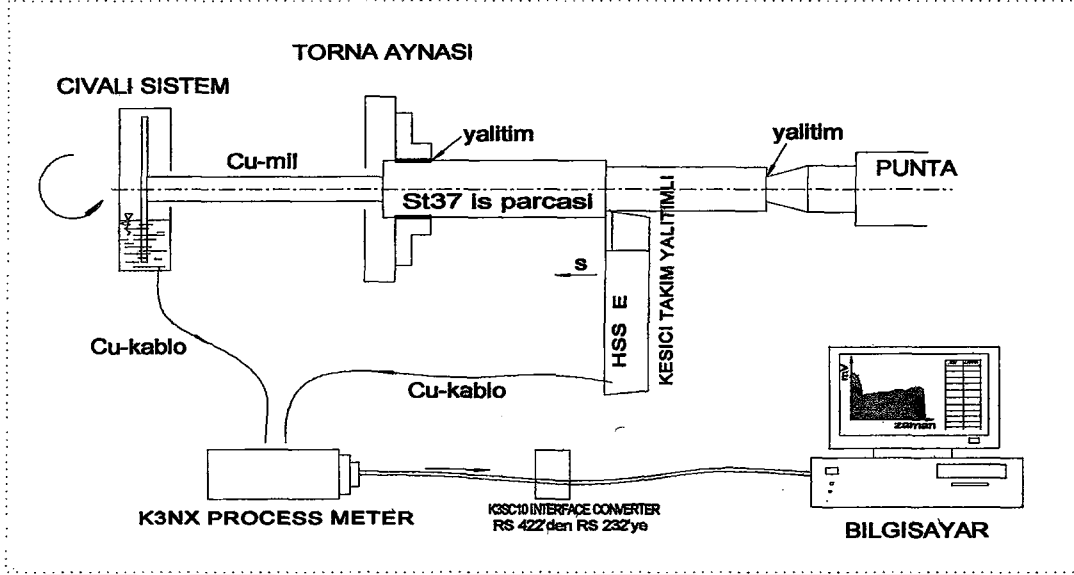
##### 4.1 Deney Şartları ve Düzenegi

Deney süresi	t : 60 sn.
Talaş yüzeyi açıları	$\gamma$ : $6^\circ - 8^\circ - 10^\circ$
Ana serbest yüzey boşluk açısı	: $8^\circ$ sabit
Yan serbest yüzey boşluk açısı	: $6^\circ$ sabit
Talaş kırıcı açısı	: $45^\circ$ sabit
Kesme hızları	V : $V_1=20$ m/dak, $V_2=25$ m/dak, $V_3=35$ m/dak
Talaş derinliği	$t_c$ : 0,50 mm. Sabit
Talaş kırıcının kesici ağza olan mesafesi	: 1,5 mm. Sabit
İlerleme değeri	s : $s_1=0.11$ mm/dev , $s_2=0,2$ mm/dev, $s_3=0.32$ mm/dev



Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan HSS E kesici takım geometrisi

Şekil 4.1’de görülen HSS E ortogonal kesici takımdan; talaş yüzeyi açısı = 6 , 8 ve 10 için 9’ar adet olarak toplam 27 adet hazırlanmıştır.

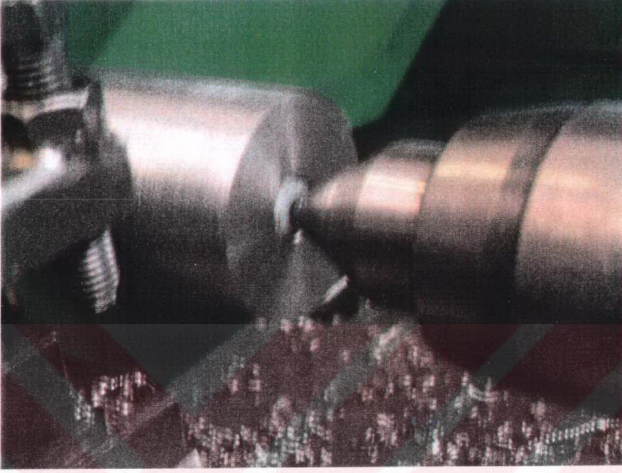


Şekil 4.2 Takım – İş parçası ısı çift yöntemi ile talaş kaldırma sıcaklığının ölçülmesinde kullanılan deney seti

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere, takım-iş parçası ısı çift yönteminde HSS E kesici takım ile St37 iş parçası sistemden izole edilerek akım kaçağı olması önlenmiştir. İş parçasının torna aynasına metalik temasını önlemek için dışı çelik içi kestamid 50 mm genişliğinde yarık bir bilezik imal edilmiştir. İş parçasının punta deliği açılan tarafına da kestamid monte edilerek tezgahtan izolasyonu sağlanmıştır.(Resim 4.1) Kesici takım ve takım tutucu katerin sporta metalik temasını önlemek için yine kestamid levhalardan faydalanılmıştır. Dönen iş parçasından elektrik akımını analog karta taşıyabilmek için iş parçasından fener mili dışına kestamid bir burç (Resim 4.2) ile yataklanarak uzatılmış bakır mil ve bakır diskten faydalanılmıştır. İş parçası ile beraber dönen bakır disk, tezgah gövdesine rijid olarak monte edilmiş olan mika malzemedeki özel olarak imal, içi cıva dolu hazneye dalmış vaziyettedir. (Resim 4.3) Elektrik akımı, cıvaya temaslı bakır levha ve çubuk sayesinde izoleli bakır tel kullanılarak OMRON K3NX Proses meter ‘e iletilmektedir.(Resim 4.4) Ayrıca HSS E kesici takım’a lehimlenmiş izoleli bakır tek tel de diğer uç olarak OMRON K3NX Proses meter’e bağlanmıştır. Prses meter tarafından okunan DC voltaj değerleri OMRON K3SC-10 RS422/RS232 dönüştürücü (Resim 4.5) üzerinden Bilgisayar üzerindeki SYS-Config V2.0 yazılımına aktarılmaktadır.(Resim 4.6 , Resim 4.7) Yazılımın Data Log Viewer menüsünde Zaman-Milivolt grafikleri eşzamanlı olarak kayıt edilmiştir.(Resim 4.8) Ölçülen datalar



otomatik olarak Excell programında Zaman-Milivolt sütunlarında 7 ms örnekleme zamanı ile kayıt altına alınmıştır.(Resim 4.9)

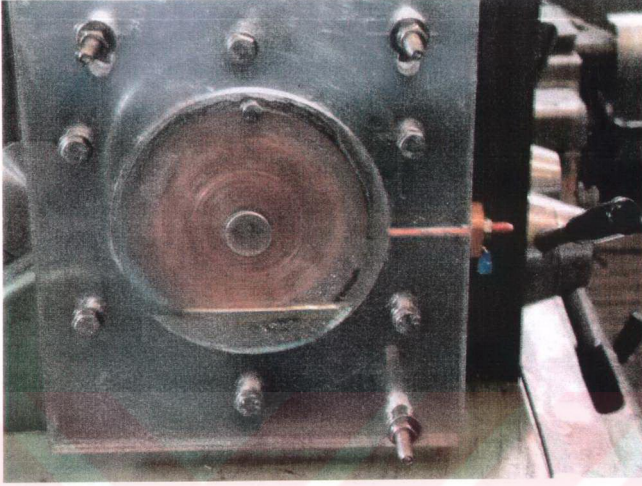


Resim 4.1 İş parçası ile torna tezgahının puntası arasında akım kaçacağını önlemek amacıyla iş parçasına çakılan kestamid'in görüntüsü

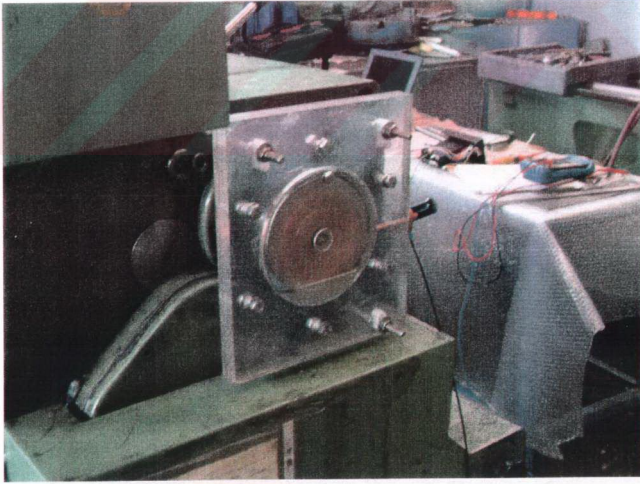


Resim 4.2 İş parçasına bağlı bakır milin fener mili arkasında kestamid ile yataklanması

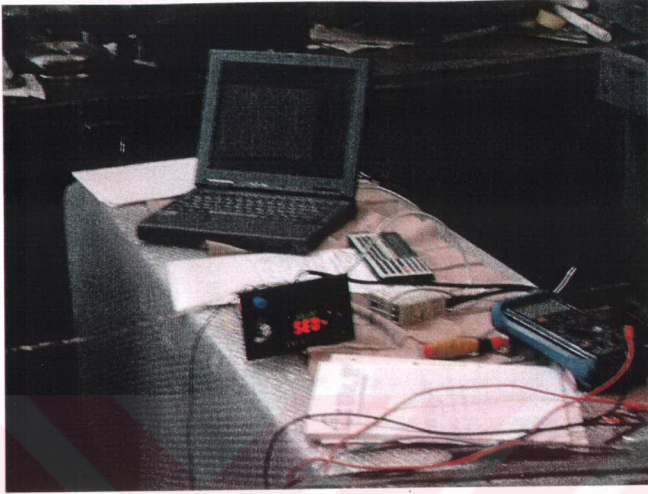




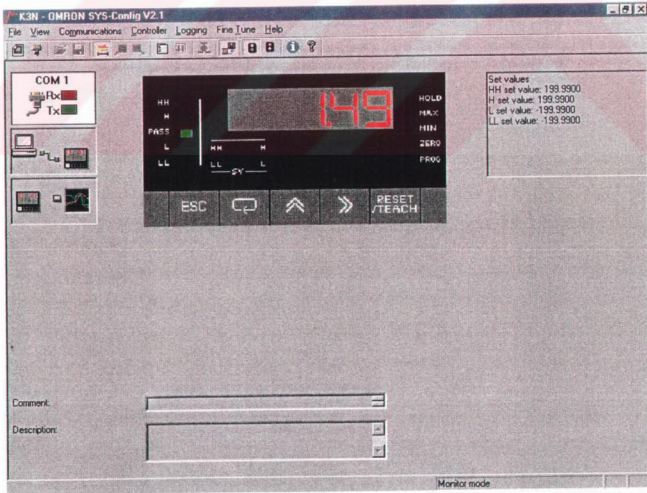
Resim 4.3 İş parçası ile beraber dönen bakır disk'in cıva içerisine dalmış görüntüsü



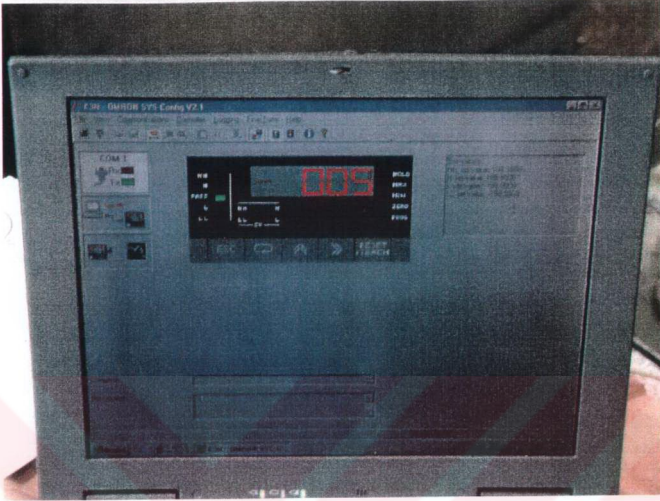
Resim 4.4 DC Voltajın izoleli bakır kablo ile Cıvalı sistem üzerinden OMRON K3NX Proses Meter' taşınması



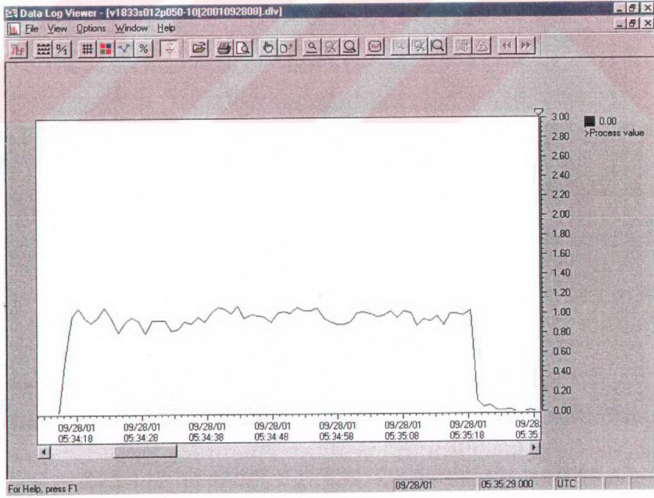
Resim 4.5 OMRON K3SC-10 RS422/RS232 dönüştürücü



Resim 4.6 K3N OMRON SYS Config V2.0 yazılımı ana menü görüntüsü

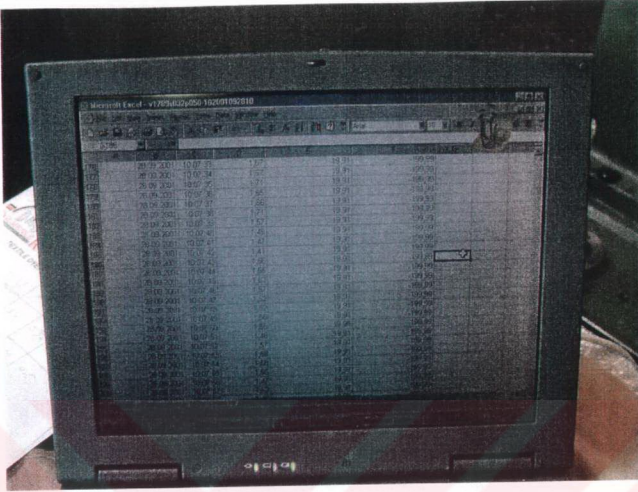


Resim 4.7 K3N OMRON SYS Config V2.0 yazılımı ana menünün bilgisayar ekranındaki görünüşü



Resim 4.8 K3N OMRON SYS Config V2.0 yazılımı Data Log Viewer menüsü





Resim 4.9 Deneylerde ölçülen Zaman-Milivolt datalarının Excell'de otomatik kayıt altına alındığı ortam



Resim 4.10 Deneylerde kullanılan Üniversal Torna Tezgahtı

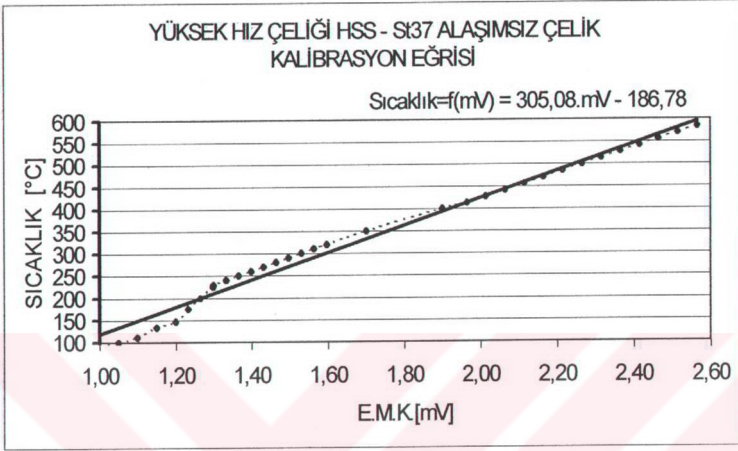
## 4.2 DENEYİN YAPILIŞI

Talaş kaldırma işleminde kullanılan iş parçası(St37, çap: 65 mm) torna aynası ile punta arasına elektiriksel yalıtım yapılarak bağlanmıştır. İş parçası ile içerisinde cıva bulunan döner bakır diskli sistem 16 mm çapında bir bakır mil ile birbirlerine vidalı bağlantı olarak bağlanmışlardır. Bakır mil ile fener mili arasındaki yalıtım polyamid burç ile sağlanmıştır.

Cıvalı sistemden analog cihaza sinyal akışı bakır kablo ile sağlanmıştır. Analog cihazdan RS 422 haberleşme protokolü ile çıkan DC Voltage (mV) RS422/RS 232 Arayüz Dönüştürücü aracılığı ile bilgisayara bağlantısı sağlanmıştır. Sys-Config v2.0 yazılımı ile okunan DC Voltaj değerlerinin 60 sn.'lik işlem süresince iki boyutlu grafikleri oluşturuldu. Aynı zamanda Excell'e data olarak kayıt edildi. Deney öncesi ve deney esnasında sinyal kaçağı olup/olmadığını dikkatli bir şekilde kontrol edilmiştir. Kaçak olduğu durumlarda değer okunamamaktadır. Talaş yüzeyi açıları  $6^{\circ}$ - $8^{\circ}$ - $10^{\circ}$  olmak üzere,herbiri için üç ayrı kesme hızı  $V1=20$  m/dak,  $V2=25$  m/dak ve  $V3=35$  m/dak değeri ele alınmıştır.Ayrıca bu üç ayrı kesme hızı değerinin, yine herbiri için üç ayrı ilerleme  $s1=0.11$  mm/dev  $s2=0.20$  mm/dev,  $s3=0.32$  mm/dev değerleri ele alınarak toplam 27 adet deneysel ölçüm yapılmıştır.

Takım-İş parçası ısı çift yönteminde, talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan ısı etkisiyle meydana gelen emk değerlerininin sıcaklık karşılıklarını bulmak için Sıcaklık-Milivolt kalibrasyon eğrisi oluşturmamız gerekmektedir.

Bu amaçla St37 iş parçasından tormalama işlemiyle elde ettiğimiz sürekli bir talaş, HSS E kesici takım, Ohmmetre ve dijital göstergeli sıcaklık ölçme cihazı (K tipi termokupl) 'dan faydalanıldı. Kesici takım ile talaş'ın birbirlerine temas eikleri noktaya, oksijen alevi ile ısıtılan bakır bir mil de temas etmekte ve iletimle ısı transferi gerçekleştirilmektedir. Bu esnada eşzamanlı olarak alınan sıcaklık ve DC voltaj değerleri kayıt edilerek kalibrasyon eğrisi ve denklemleri oluşturulmuştur.(Şekil 4.3)

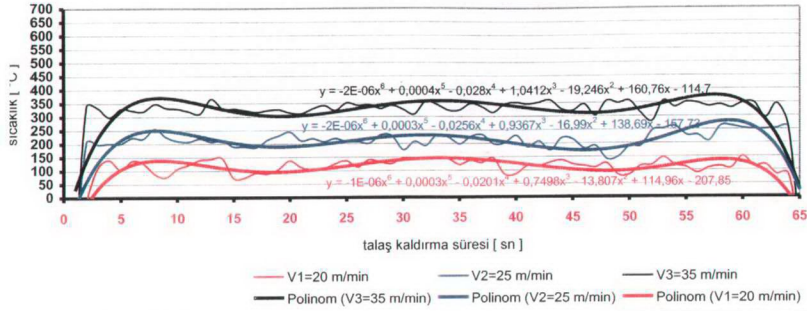


Şekil 4.3 HSS Takım – S137 iş parçası ısı çiftine ait kalibrasyon şeması ve denklemi

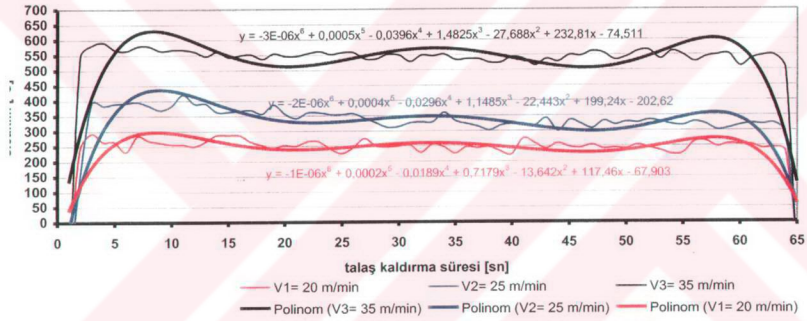
#### 4.3 Elde Edilen Sonuçlar

Elde edilen DC voltaj datalarının (EK3 ve EK4), Şekil 4.3' te görülen HSS E kesici takım-S137 iş parçası ısı çiftine ait kalibrasyon eğrisi ve denkleminde ( $Sıcaklık=f(mV)=305,08.M.mV-186,78$ ) yararlanılarak sıcaklık karşılıkları tespit edilmiştir. (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6) Ayrıca 27 adet deneysel ölçüme ait Sıcaklık-Zaman eğrilerinin, Talaş açısı, İlerleme ve Kesme hızı değişimlerine göre elde edilen matematik denklemleri Çizelge 4.1 'de görülmektedir.

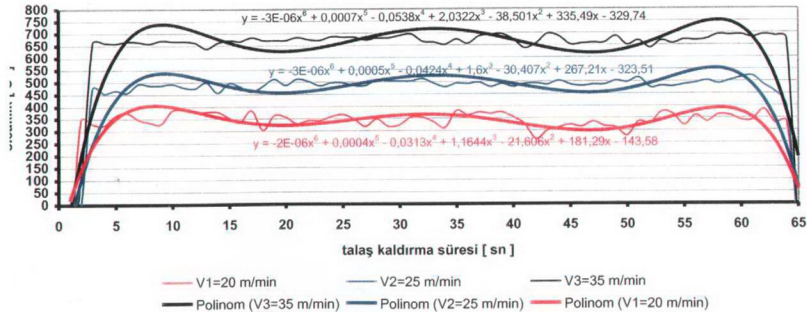
Talaş açısı=6 derece, s1=0,12 mm/min, tc=0,50 mm



Talaş açısı=6 derece, s1=0,20 mm/min, tc=0,50 mm



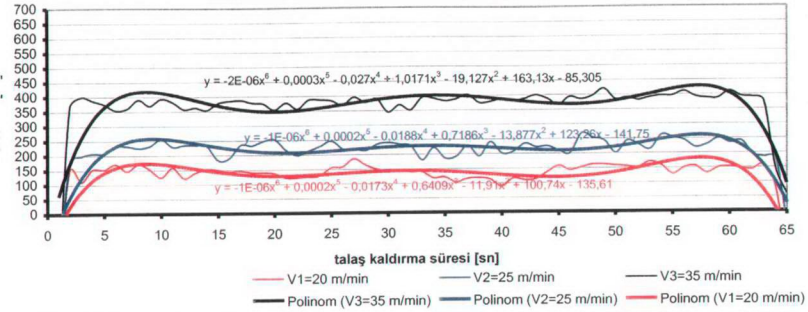
Talaş açısı=6 derece, s1=0,32 mm/min, tc=0,50 mm



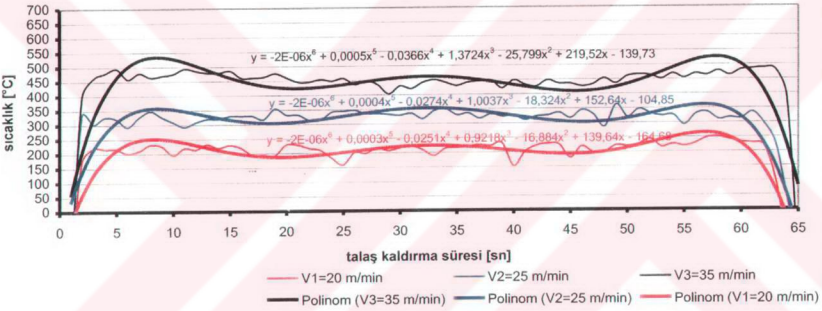
Şekil 4.4 Talaş açısı =6°, tc=0.50 mm şartlarında sabit ilerleme değerinde, V1=20 m/min, V2=25 m/min, V3=35 m/min kesme hızları için sıcaklık oluşumlarının karşılaştırılması  
a) s1=0,12 mm/min b) s2=0,20 mm/min c) s3=0,32 mm/min



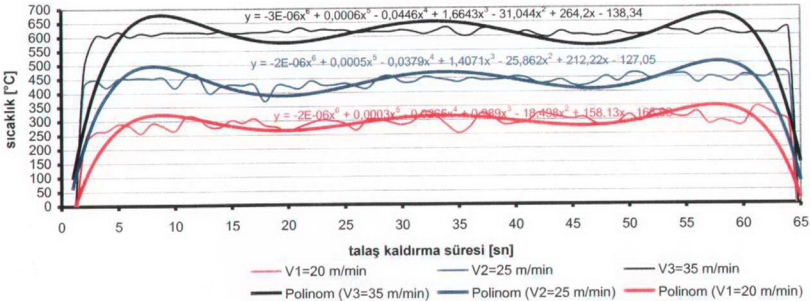
Talaş açısı=8 derece, s1=0,12 mm/min, tc=0,50 mm



Talaş açısı=8 derece, s1=0,20 mm/min, tc=0,50 mm



Talaş açısı=8 derece, s1=0,32 mm/min, tc=0,50 mm

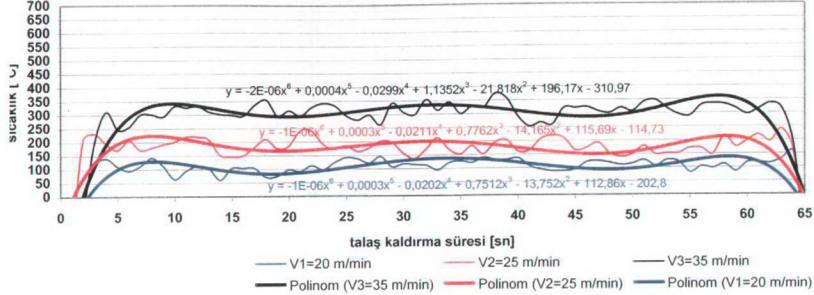


Şekil 4.5 Talaş açısı =8°, tc=0.50 mm şartlarında sabit ilerleme değerinde V1=20 m/min, V2=25 m/min, V3=35 m/min kesme hızları için sıcaklık oluşumlarının karşılaştırılması

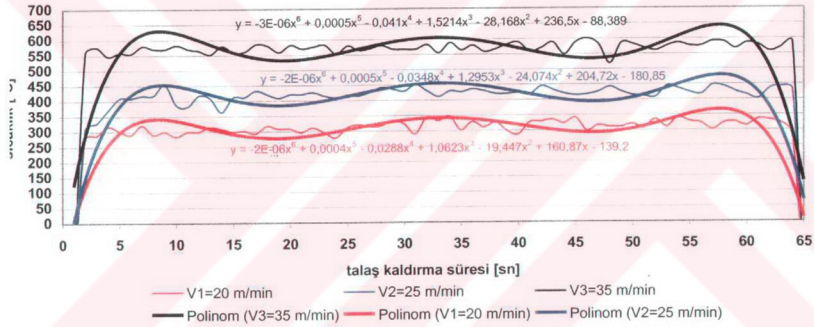
a) s1=0,12 mm/min b) s2=0,20 mm/min c) s3=0,32 mm/min



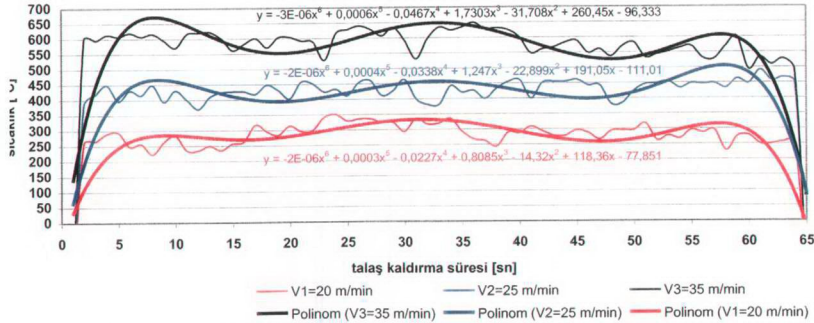
Talaş açısı=10 derece, s1=0,12 mm/min, tc=0,50 mm



Talaş açısı=10 derece, s1=0,20 mm/min, tc=0,50 mm



Talaş açısı=10 derece, s1=0,32 mm/min, tc=0,50 mm



Şekil 4.6 Talaş açısı =10°, tc=0.50 mm şartlarında sabit ilerleme değerinde V1=20 m/min, V2=25 m/min, V3=35 m/min kesme hızları için sıcaklık oluşumlarının karşılaştırılması  
 a) s1=0,12 mm/min b) s2=0,20 mm/min c) s3=0,32 mm/min

Çizelge 4.1 Talaş açısı / İlerleme / Kesme Hızı değişimlerine göre elde edilen Sıcaklık - Zaman Eğrilerine ait matematik denklemler

Talaş Açısı [derece]	Talaş kırıcı açısı/Kesen ağza olan mesafesi [derece] / [mm]	İlerleme [mm/min]	Talaş Derinliği [mm]	Kesme Hızı [m/min]	Sıcaklık - Zaman Eğrisi denklemleri
6	45° / 1,5 mm	0,12	0,5	20	$y = -1E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0201x^4 + 0,7498x^3 - 13,807x^2 + 114,96x - 207,85$
6	45° / 1,5 mm			25	$y = -2E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0256x^4 + 0,9367x^3 - 16,99x^2 + 138,99x - 157,73$
6	45° / 1,5 mm			35	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,028x^4 + 1,0412x^3 - 19,246x^2 + 160,76x - 114,7$
6	45° / 1,5 mm	0,2	0,5	20	$y = -1E-06x^6 + 0,0002x^5 - 0,0189x^4 + 0,7179x^3 - 13,642x^2 + 117,46x - 67,903$
6	45° / 1,5 mm			25	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,0296x^4 + 1,1485x^3 - 22,443x^2 + 199,24x - 202,62$
6	45° / 1,5 mm			35	$y = -3E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,0396x^4 + 1,4825x^3 - 27,688x^2 + 232,81x - 74,511$
6	45° / 1,5 mm	0,32	0,5	20	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,0313x^4 + 1,1644x^3 - 21,608x^2 + 181,29x - 143,58$
6	45° / 1,5 mm			25	$y = -3E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,0424x^4 + 1,6x^3 - 30,407x^2 + 267,21x - 323,51$
6	45° / 1,5 mm			35	$y = -3E-06x^6 + 0,0007x^5 - 0,0538x^4 + 2,0322x^3 - 38,501x^2 + 335,49x - 329,74$
8	45° / 1,5 mm	0,12	0,5	20	$y = -1E-06x^6 + 0,0002x^5 - 0,0173x^4 + 0,6409x^3 - 11,91x^2 + 100,74x - 135,61$
8	45° / 1,5 mm			25	$y = -1E-06x^6 + 0,0002x^5 - 0,0188x^4 + 0,7186x^3 - 13,877x^2 + 123,26x - 141,75$
8	45° / 1,5 mm			35	$y = -2E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,027x^4 + 1,0171x^3 - 19,127x^2 + 163,13x - 85,305$
8	45° / 1,5 mm	0,2	0,5	20	$y = -2E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0251x^4 + 0,9218x^3 - 16,884x^2 + 139,64x - 164,68$
8	45° / 1,5 mm			25	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,0274x^4 + 1,0037x^3 - 16,324x^2 + 152,64x - 104,85$
8	45° / 1,5 mm			35	$y = -2E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,0366x^4 + 1,3724x^3 - 25,799x^2 + 219,52x - 139,73$
8	45° / 1,5 mm	0,32	0,5	20	$y = -2E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0265x^4 + 0,989x^3 - 18,498x^2 + 158,13x - 168,98$
8	45° / 1,5 mm			25	$y = -2E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,0379x^4 + 1,4071x^3 - 25,862x^2 + 212,22x - 127,05$
8	45° / 1,5 mm			35	$y = -3E-06x^6 + 0,0006x^5 - 0,0446x^4 + 1,6643x^3 - 31,044x^2 + 264,2x - 138,34$
10	45° / 1,5 mm	0,12	0,5	20	$y = -1E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0202x^4 + 0,7512x^3 - 13,752x^2 + 112,86x - 202,8$
10	45° / 1,5 mm			25	$y = -1E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0211x^4 + 0,7762x^3 - 14,165x^2 + 115,69x - 114,73$
10	45° / 1,5 mm			35	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,0299x^4 + 1,1352x^3 - 21,818x^2 + 196,17x - 310,87$
10	45° / 1,5 mm	0,2	0,5	20	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,0288x^4 + 1,0623x^3 - 19,447x^2 + 160,87x - 139,2$
10	45° / 1,5 mm			25	$y = -2E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,0348x^4 + 1,2953x^3 - 24,074x^2 + 204,72x - 180,85$
10	45° / 1,5 mm			35	$y = -3E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,041x^4 + 1,5214x^3 - 28,168x^2 + 236,5x - 88,369$
10	45° / 1,5 mm	0,32	0,5	20	$y = -2E-06x^6 + 0,0003x^5 - 0,0227x^4 + 0,8085x^3 - 14,32x^2 + 118,36x - 77,851$
10	45° / 1,5 mm			25	$y = -2E-06x^6 + 0,0004x^5 - 0,0338x^4 + 1,2473x^3 - 22,899x^2 + 191,05x - 111,01$
10	45° / 1,5 mm			35	$y = -3E-06x^6 + 0,0006x^5 - 0,0467x^4 + 1,7303x^3 - 31,708x^2 + 260,45x - 96,333$

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Talaşta ısı dağılımının tespit edilmesini araştıran Young ve Chau, talaş-takım temas yüzeyini ortogonal talaş kaldırma işlemi sırasında sınır olarak kabul etmişlerdir. Kesme yüzü sıcaklığı büyük önem taşır. Çünkü bu sıcaklık takımın aşınmasını, dolayısıyla onun performansını etkilemektedir. Bu sıcaklık talaş ve takım arasında sürtünmeyi de etkilemektedir. Kesme yüzü sıcaklığının oluşturulması için “talaş yüzeyi” boyunca mevcut olan sıcaklık dağılımının bilinmesi gerekmektedir.

Bundan önce yapılan çalışmada 2 farklı yaklaşımla “talaş yüzeyi” boyunca sıcaklık dağılımı oluşturma modelleri önerilmişti. Çalışmaların bir kısmında “talaş yüzeyi” nin ortalama sıcaklığı gözönünde bulundurulmuştur. Hahn ve Weiner tarafından aranan analitik çözümler diğer çalışma grubunu oluşturmaktadır. Hahn ve Weiner’in yaklaşımı aşırı derecede basitleştirmeye dayanıyor, Bu yüzden onların edindiği sonuçlar gerçek şartlardan oldukça uzaktır. Örnek olarak talaşın “talaş yüzeyine” normal hareket ettiği geometrik simplifikasyonunu ve çevre sıcaklığında “talaş yüzeyine” ve çalışma yüzeyi kesişiminin korunduğu konusunda önerilen sınır şartı gösterilebilir.

Young ve Chau’nun çalışmasında bu tür simplifikasyonlardan (basitleştirme) uzak durulmuştur. Edinilen sonuç daha sonra Rapiere ve Weiner sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sayısal analizler talaş akışı ile ilgili olarak yapılan geometrik simplifikasyonları doğru buluyor. Fakat infrared kamera ile yapılan deneysel sonuçlara göre “talaş yüzeyi”nin sonlarına doğru ve talaşın üstüne yakın bir yerde çevre sıcaklığına ulaşıldığı yönünde önerileri oldukça büyük hatalara yol açıyor.

Young ve Chau’nun metodu Weiner modelinin tüm talaşa uygulanmasına yöneliktir, bu yüzden Weiner modelinin devamı olarak kabul edilebilir. Metod tüm talaşta (talaş takım temas yüzeyi dahil) sıcaklığın tespit edilmesini sağlamaktadır; talaş-takım temas yüzeyi için ayrı olarak başka çözümler bulunmuştur.

“Thermocouple” (ısı çifti) veya optik pirometre ile yapılan direkt deneyler talaş-takım temas sathında sıcaklık dağılımının tam olarak belirlenmesi sağlamaktadır, fakat temas sathına yakın olan gradyanların yüksek sıcaklığı yüzünden pratikte kullanılmaya elverişli değildir. Yine de infrared kamera ile talaşın üstü (veya arkasından) alınan sıcaklıklar doğrulama amaçlı kullanılabilir. Bu yüzden çözümlerin talaşın üstüne yönelik sıcaklık bilgileri kapsamı son

derece önemlidir. Bu şart sunulan analitik metodun pratikte de kullanılmasını sağlayacaktır. Kesme hızının, kesme yükü max. sıcaklık üzerindeki etkisi de bu metod ile incelenebilir.

Daha önceki bir çalışmada HSS kesici takımlarda sıcaklık dağılımlarının belirlenmesine yönelik deneysel metodlar açıklanmıştı. Bu metodlar ana ve yardımcı deformasyon bölgelerinde oluşan ısı kaynaklarının sonucu olarak kesici takımda meydana gelen sertleşmeye dayanıyor. Sertlikte meydana gelen değişiklik, takımın metalurjik bir şekilde parçalara bölünmesi ve mikro sertlik testi ile veya değişen mikro yapıyı görüntülemek için dağlama yöntemi kullanılarak saptanmıştır. Daha sonra sertlik veya mikro yapısında meydana gelen değişiklikler standart numuneler ile karşılaştırılmıştır. Standart numuneler çeliğin tuz banyosunda ısıya tabii tutulması ile elde edilmektedir.

Cormick ve Wright'ın çalışmasında kesme yüzü dizaynı incelenilmiştir. Talaş kaldırmada kullanılacak kesici takımların kesme açıları genellikle ampirik formüllerle belirlenmektedir. Büyük yan kesme yüzeyine sahip bir kesici takım talaş kaldırma esnasında az enerji tüketir, buna karşılık takım ömrü kısalmaktadır. Kesici yüzeyin dayanıklılığı son derece önemlidir. Takım ömrünü uzatmak amacıyla birçok talaş kaldırma işleminde negatif kesme açıları tercih edilmektedir. Bu iki uç nokta arasında denge sağlamanın yolu, Klopsock'un da belirttiği gibi küçültülmüş veya kontrollü kesme uzunluğuna sahip takımların seçilmesidir. Bu tür bir takımın kesme açısı, kesici yüzeyin hemen arkasındaki kısa mesafe üzerinde azaltılır veya negatif hale getirilir, fakat kesici yüzeyin geride kalan kısmı yüksek kesme açısına ayarlanır ve talaşlar bu bölge ile çok az veya hiç temasta bulunmazlar. Talaş takım temas uzunluğunun kesme gücü üzerindeki etkisi Wallace ile Boothroyd ve Worthington tarafından dikkate alınmıştır. Bu araştırmaların amaçlarından bir tanesi bu araştırmaları genişletmek ve temas uzunluğu azaltılmış takımlarda sıcaklık dağılımlarının ayrıntılı bir şekilde metalografik metodun uygulanması ile belirlenmesidir.

Araştırmada talaş-takım ara yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımına yönelik teorik denklemler geliştirilmiştir. Bu denklemler, kesme gücü ve talaş boyutları bilindikten sonra ölçülen sıcaklıkların doğrulanmasını sağlayabilmektedir.

Geliştirilen model daha önceki çalışmaya nazaran limit sınırdaki ısı transfer koşullarını daha ayrıntılı bir şekilde dikkate alıyor. Deneysel ve teorik değerler arasında büyük bir tutarlılık sağlanmıştır.

Kesici takımın talaş ile temas uzunluğu yapay bir şekilde düşürüldüğünde ise talaş kaldırma süresince tüketilen güçte de düşüş olmakta, böylece takıma giriş yapan ısı da azalmaktadır.

Düşük karbonlu çeliğin talaşlı işlenmesinde standart 6<sup>0</sup>lık kesme takımları yerine, kontrollü 0.5 mm'lik temas takımları kullanılır ise takım sıcaklığı ~%30 düşmekte ve böylece takım ömrünün uzaması sağlanmaktadır.

Sıcaklık ölçümünde kullanılan metalografik metodlar, takımların sıcaklık gradyanlarını belirlemek için ayrıntılı ve güvenilir tekniklerdir. Sertliğinde değişiklik tespit edilebilen fakat kesme sırasında aşırı derecede aşınmayan bir takım malzemesinin seçimi birçok metal kesme durumlarının incelenmesini kolaylaştırır.

Yaptığımız deneysel çalışmalarda HSS E kesici takım ve St37 iş parçası kullanılmıştır. Ünlversal Torna tezgahında yapılan ortogonal talaş kaldırma işleminde talaş derinliği  $t_c=0.50$  mm alınmıştır. Kesici takım yan serbest yüzey açısı 6°, ana serbest yüzey açısı 8° olarak sabit tutulmuştur. Kesici takımların talaş yüzeyi açıları 6°, 8° ve 10° olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. Kesen ağıza 1,5 mm mesafede 45°'lik sabit açılı talaş kırıcılar kullanılmıştır. Talaş kırıcı kalınlığı 1,5 mm'dir. Talaş kaldırma işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Her bir takım geometrisi için  $V_1=20$  m/dak,  $V_2=25$  m/dak,  $V_3=35$  m/dak kesme hızlarında ve  $s_1=0,12$  mm/dev,  $s_2=0,2$  mm/dev,  $s_3=0,32$  mm/dev ilerleme değerleri için deneyler tekrarlanmıştır.

Şekil 5.1 Talaş açısı 6, 8 ve 10 derece için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, ilerleme "s:(mm/dev)" ve kesme hızlarındaki "V:(m/min)" değişimler de dikkate alarak incelediğimizde; talaş yüzey açısı arttıkça oluşan sıcaklıkların düştüğü gözlenmektedir. Bu durum özellikle ilerleme  $s_3=0,32$  mm/dev değerinde ısı oluşumu daha fazla olduğundan bütün kesme hızları için daha kararlı bir şekilde ortaya çıkan sıcaklık değerleri tezimizi doğrulamaktadır. Düşük ilerleme ve kesme hızlarında ısı oluşumu çok yoğun olmadığından dolayı, talaş açısı artımı ile sıcaklık oluşumunun düştüğü bazı noktalarda görülememektedir.

Şekil 5.2 İlerleme değeri  $s_1, s_2$  ve  $s_3$  için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, talaş yüzeyi açıları ve kesme hızlarındaki "V:(m/min)" değişimler de dikkate alarak incelediğimizde; ilerleme değerleri arttıkça sıcaklık oluşumlarının arttığı belirgin bir şekilde görülmektedir. Sıcaklık değerleri, düşük talaş açısı ve yüksek kesme hızlarında artma eğilimi göstermektedir.

Şekil 5.3 Kesme Hızları  $V_1, V_2$  ve  $V_3$  için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimleri, ilerleme "s:(mm/dev)" ve talaş yüzeyi açılarındaki

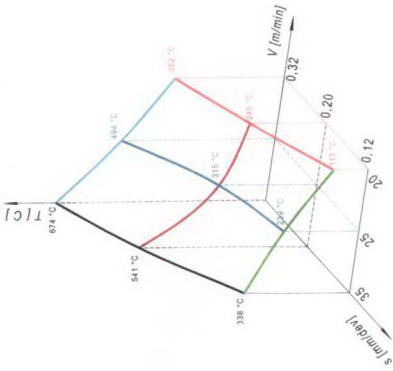


değişimler de dikkate alınarak incelendiğinde; kesme hızı arımı ile sıcaklık oluşumlarının arttığı gözlenmektedir.

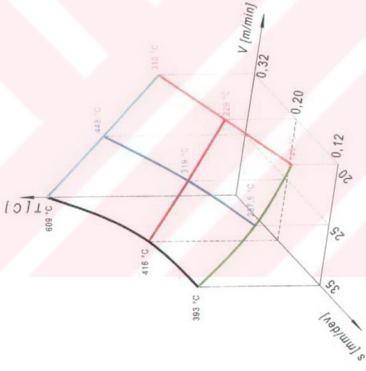
Bu çalışmanın devamında; farklı geometride kesici takımlar için talaş kırıcı açısı,kalınlığı ve kesen ağıza olan mesafeleri değiştirilerek takımdaki sıcaklık dağılımlarına ne şekilde etki edeceği incelenebilir.

Çizelge 5.1 60 sn'lik talaş kaldırma süresi boyunca son 10 sn'ye ait sıcaklık ortalama değerlerinin talaş yüzeyi açısı, kesme hızı ve ilerleme değerleri değişimlerine göre incelenilmesi

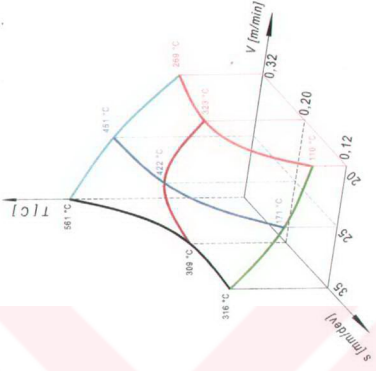
Talaş Yüzyi açısı [°]	Sıcaklık[ C ]	Kesme hızı [m/min]	ilerleme [mm/dev]
6	113,3	20	0,12
6	239,22	25	0,12
6	338,23	35	0,12
6	245,32	20	0,2
6	314,93	25	0,2
6	541,25	35	0,2
6	351,54	20	0,32
6	493,82	25	0,32
6	674,1	35	0,32
8	148,8	20	0,12
8	237,55	25	0,12
8	393,42	35	0,12
8	229,23	20	0,2
8	318,82	25	0,2
8	416,17	35	0,2
8	309,94	20	0,32
8	448,06	25	0,32
8	609,47	35	0,32
10	109,97	20	0,12
10	170,99	25	0,12
10	315,76	35	0,12
10	323,25	20	0,2
10	422,27	25	0,2
10	309,11	35	0,2
10	269,17	20	0,32
10	451,39	25	0,32
10	561,49	35	0,32



TALAS ACISI 6 derece

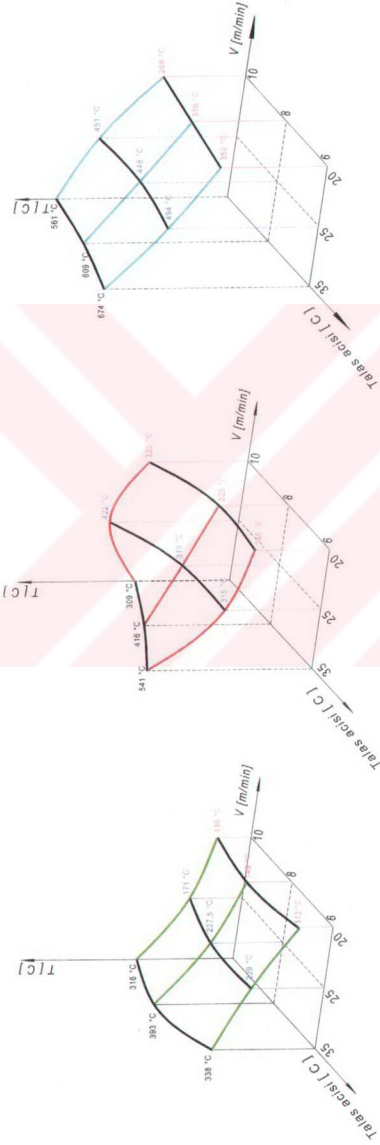


TALAS ACISI 8 derece



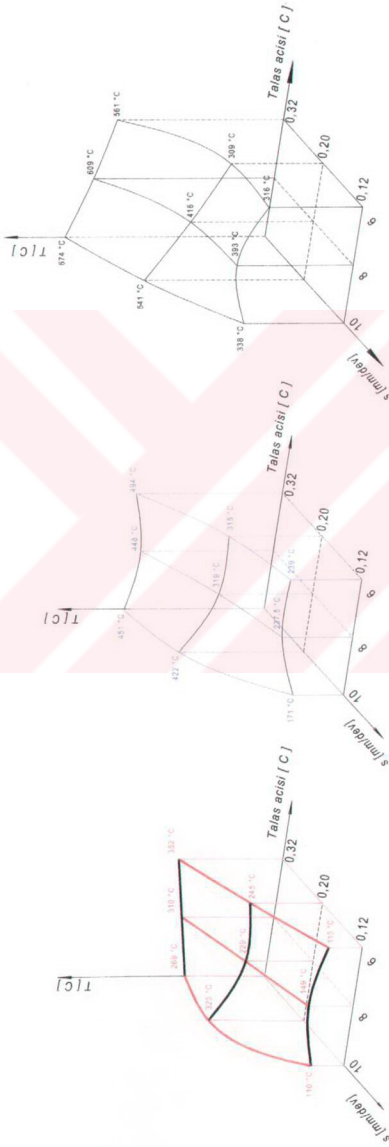
TALAS ACISI 10 derece

Şekil 5.1 Talaşaçısı 6, 8 ve 10 derece için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'ine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, ilerleme “s:(mm/dev)” ve kesme hızlarındaki “V:(m/min)” değişimleri de dikkate alınarak incelenilmesi



Şekil 5.2 İlerleme değeri s1, s2 ve s3 için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'ine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, talaş yüzeyi açıları ve kesme hızlarındaki "V:(m/min)" değişimleri de dikkate alınarak incelenmesi





KESME HIZI V1 = 20 m/min

KESME HIZI V2 = 25 m/min

KESME HIZI V3 = 35 m/min

Şkil 5.3 Kesme Hızları V1, V2 ve V3 için, 60 sn'lik talaş kaldırma süresinin son 10 sn'sine ait ortalama sıcaklık değişimlerinin, ilerleme "s":(mm/dev)" ve talaş yüzeyi açılarındaki değişimler de dikkate alınarak incelenilmesi

**KAYNAKLAR**

Akkurt, M. (1991), Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Altan, E. ve Kıyak, M.(1995), "Talaş Kaldırma İşleminde Oluşan Sıcaklığın Ölçülmesinde Kullanılan Yöntemler", Metal-Makine, 63: 12-18.

Bhattacharyya, A.(1969), Principles of Metal Cutting, New Central BookAgency, İndia

Bruings/Droger,(1975),Takımlar ve Takım Tezgahları Cilt 1, Çeviren: Doç.Dr.Murat DİKMEN

Güleç, Ş. ve Aran, A. (1995), Malzeme Bilgisi Cilt II, İTU Mak.Fak.Ofset Atl.,İstanbul.

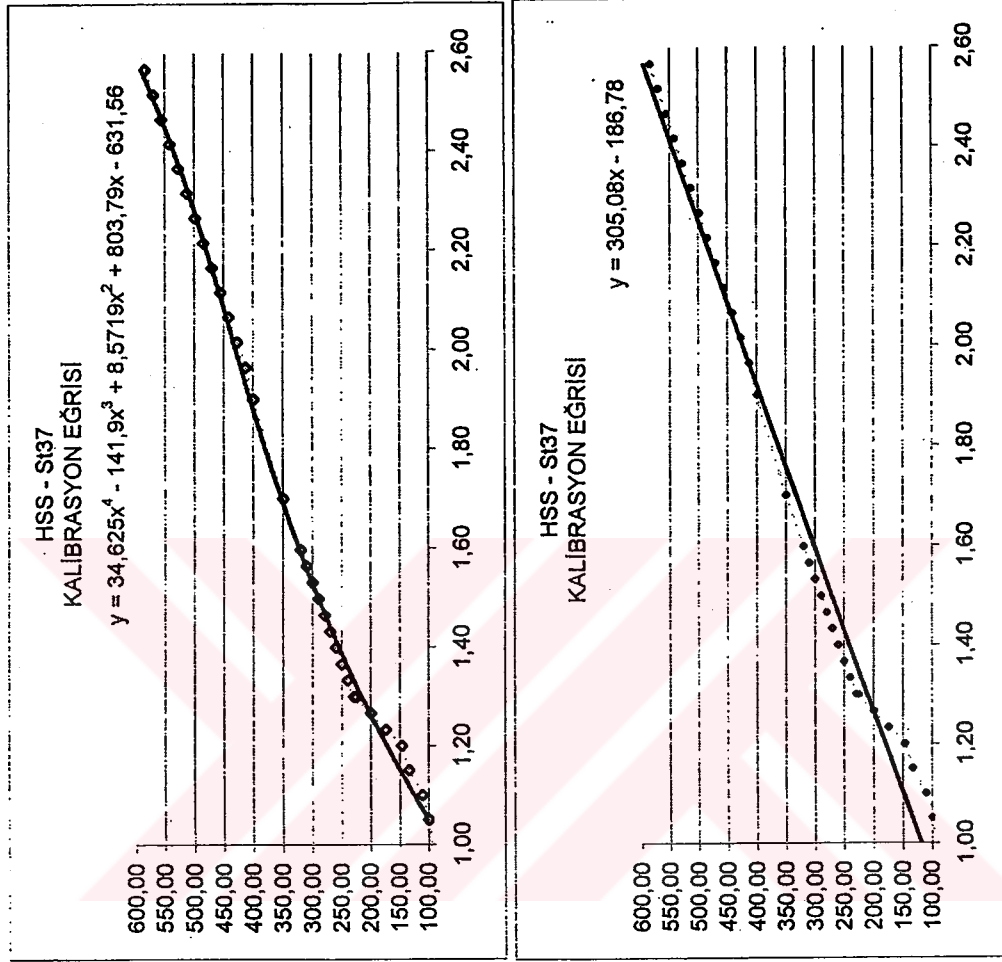
Mc Cormick, S.P. ve Wright, P.K. (1980), "Effect of Rake Face Design on Cutting Tool Temperature Distributions", Journal of Engineering for Industry, 102: 123-128.

Wright, P.K. (1978), "Correlation of Tempering Effects With Temperature Distribution in Steel Cutting Tools", Journal of Engineering for Industry, 100: 131-134.

Young, H.T. ve Chau T.L. (1994), "Modelling of Tool Chip Interface Temperature Distribution in Metal Cutting", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 36: 931-943.

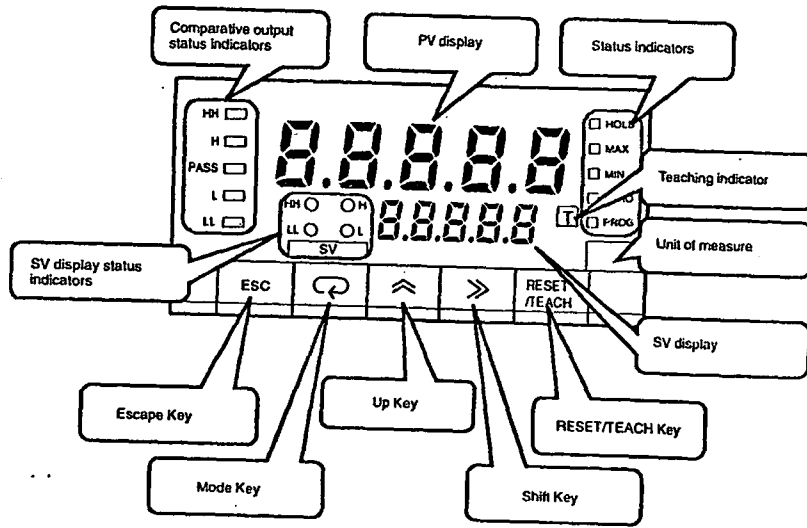
## EKLER

## Ek 1 HSS Takım – St37 İş Parçası Isıl Çifti için Kalibrasyon Tablo Değerleri ve Grafikleri



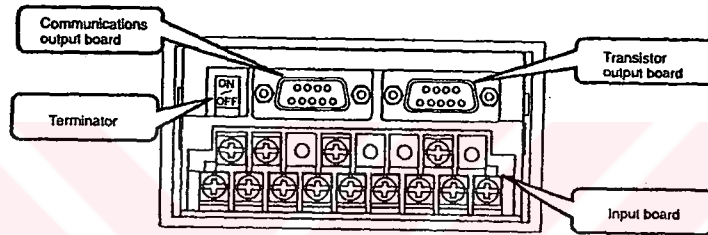
[mV]	ÖLÇÜLEN [°C]	HESAPLANAN 4.DERECE POLİNOM	HESAPLANAN 2.DERECE POLİNOM
0,20	94,00	73,5269	118,3
0,40	100,00	99,68993616	133,554
0,70	111,00	124,8065615	148,808
0,80	134,00	148,8820167	164,062
0,90	147,00	171,926736	179,316
1,20	175,00	186,5789901	189,38364
1,23	200,00	200,7946882	199,45128
1,27	229,00	214,5805513	209,51892
1,30	229,00	214,9916735	209,824
1,33	240,00	228,3427406	219,89164
1,37	250,00	241,2806415	229,95928
1,40	260,00	253,8150804	240,02892
1,43	270,00	265,9567471	250,09456
1,47	280,00	277,7173169	260,1622
1,50	290,00	289,1094504	270,22984
1,53	300,00	300,1467939	280,29748
1,56	310,00	310,8439791	290,36512
1,60	320,00	321,2166232	300,43276
1,70	350,00	351,6925535	331,856
1,80	400,00	404,5298215	392,872
1,96	413,13	420,5323891	412,6519791
2,01	427,44	432,706705	427,8961227
2,06	441,75	444,8625755	443,1402663
2,11	456,06	457,0752542	458,3844098
2,16	470,37	469,4851749	473,6288534
2,21	484,68	482,197952	488,872697
2,26	498,99	495,3343801	504,1168406
2,31	513,30	509,020434	519,3609841
2,36	527,61	523,387269	534,6051277
2,41	541,92	538,5712208	549,8492713
2,46	556,23	554,7138052	565,0934148
2,51	570,54	571,9617187	580,3375584
2,56	584,85	590,4668377	595,581702

Front of the Meter

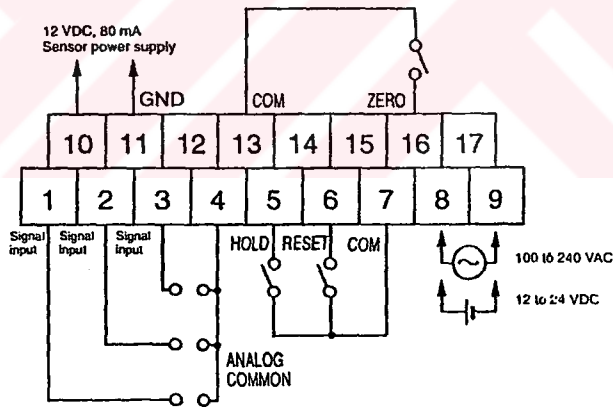


Five-digit (-19999 to 99999), seven-segment, 14.2-mm-high LED display with a programmable decimal point.  
 The displays show the process value, maximum value, minimum value, operations/parameters when setting, and error messages.

K3NX with RS232C + Transistor Output Board, K31-FLK4  
 K3NX with RS-422 + Transistor Output Board, K31-FLK6

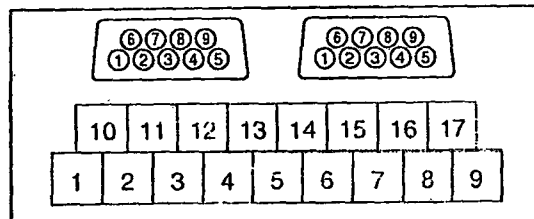


Terminal Arrangement



Note Terminals 7 to 13 are connected internally.

K3NX with RS-422 + Transistor Output Board, K31-FLK6



## Characteristics

<b>Input signal</b>	DC voltage/current, AC voltage/current
<b>A/D conversion method</b>	Double integral method
<b>Sampling period</b>	50 Hz: 12.5 times/s; 60 Hz: 15 times/s (selectable)
<b>Display refresh period</b>	Sampling period (sampling times multiplied by number of averaging times if simple average processing is selected.)
<b>Max. displayed digits</b>	5 digits (-19999 to 99999)
<b>Display</b>	7-segment LED
<b>Polarity display</b>	"-" is displayed automatically with a negative input signal.
<b>Zero display</b>	Leading zeros are not displayed.
<b>Scaling function</b>	Programmable with front-panel key inputs (range of display: -19999 to 99999). The decimal point position can be set freely.
<b>HOLD function</b>	Maximum hold (maximum data) Minimum hold (minimum data)
<b>External controls</b>	HOLD: (Process value held) RESET: (Maximum/Minimum data reset) ZERO: (Forced zero)
<b>Comparative output hysteresis setting</b>	Programmable with front-panel key inputs (1 to 9999).
<b>Other functions</b>	Variable linear output range (for models with linear outputs only) Remote/Local processing (available for communications output models only) Maximum/Minimum value data reset with front panel keys Forced-zero set with front panel keys Averaging processing function (simple or moving average) Startup compensation time (0.0 to 99.9 s) Comparative output pattern selection Security Field calibration
<b>Output configuration</b>	Relay contact output (5 outputs) Transistor output (NPN and PNP open collector), BCD (NPN open collector) Parallel BCD (NPN open collector) + transistor output (NPN open collector) Linear output (4 to 20 mA, 1 to 5 V) + transistor output (NPN open collector) Communication functions (RS-232C, RS-485, RS-422) Communication functions (RS-232C, RS-485, RS-422) + transistor output (NPN open collector)
<b>Delay in comparative outputs (transistor output)</b>	DC input: 200 ms max. AC input: 400 ms max.
<b>Enclosure ratings</b>	Front panel: NEMA4 for indoor use (equivalent to IP66) Rear case: IEC standard IP20 Terminals: IEC standard IP00
<b>Memory protection</b>	Non-volatile memory (EEPROM) (possible to rewrite 100,000 times)

## Input/Output Ratings

### Relay Contact Output (Incorporating a G6B Relay)

Item	Resistive load ( $\cos\phi = 1$ )	Inductive load ( $\cos\phi = 0.4$ , $L/R = 7$ ms)
Rated load	5 A at 250 VAC; 5 A at 30 VDC	1.5 A at 250 VAC, 1.5 A at 30 VDC
Rated carry current	5 A max. (at COM terminal)	
Max. contact voltage	380 VAC, 125 VDC	
Max. contact current	5 A max. (at COM terminal)	
Max. switching capacity	1,250 VA, 150 W	375 VA, 80 W
Min. permissible load (P level, reference value)	10 mA at 5 VDC	
Mechanical life	50,000,000 times min. (at a switching frequency of 18,000 times/hr)	
Electrical life (at an ambient temperature of 23°C)	100,000 times min. (at a rated load switching frequency of 1,800 times/hr)	

### Transistor Output

Rated load voltage	12 to 24 VDC $+10\%$ / $-15\%$
Max. load current	50 mA
Leakage current	100 $\mu$ A max.

### BCD Output

I/O signal name		Item	Rating
Inputs	REQUEST, HOLD, MAX, MIN, RESET	Input signal	No-voltage contact input
		Input current with no-voltage input	10 mA
		Signal level	ON voltage: 1.5 V max. OFF voltage: 3 V min.
Outputs	DATA, POLARITY, OVERFLOW, DATA VALID, RUN	Rated load voltage	12 to 24 VDC $+10\%$ / $-15\%$
		Max. load current	10 mA
		Leakage current	100 $\mu$ A max.

**Note** Logic method: negative logic

### Linear Output

Item	4 to 20 mA	1 to 5 V	1 mV/10 digits (see note)
Resolution	4,096		
Output error	$\pm 0.5\%$ FS		$\pm 1.5\%$ FS
Permissible load resistance	600 $\Omega$ max.	500 $\Omega$ min.	1 K $\Omega$ min.

**Note** For the 1 mV/10-digit output, the output voltage changes for every 40 to 50 increment in the display value.

## Communications

Item		RS-232C, RS-422	RS-485
Transmission method		4-wire, half-duplex	2-wire, half-duplex
Synchronization method		Start-stop synchronization	
Baud rate		1,200/2,400/4,800/9,600/19,200/38,400 bps	
Transmission code		ASCII (7-bit)	
Communications	Write to K3NX	Comparative set value, scaling value, remote/local programming, trend zero control, reset control of maximum/minimum values, and other setting mode items excluding communications conditions.	
	Read from K3NX	Process value, comparative set value, maximum value, minimum value, model data, error code, and others	

## Specifications

### Ratings

Supply voltage	100 to 240 VAC (50/60 Hz); 12 to 24 VDC
Operating voltage range	85% to 110% of supply voltage
Power consumption (see note)	15 VA max. (max. AC load with all indicators lit) 10 W max. (max. DC load with all indicators lit)
Sensor power supply	80 mA at 12 VDC $\pm$ 10% (Use a power supply of less than 50 VAC or 70 VDC for input signals.)
Insulation resistance	20 M $\Omega$ min. (at 500 VDC) between external terminal and case. Insulation provided between inputs, outputs, and power supply.
Dielectric withstand voltage	2,000 VAC for 1 min between external terminal and case. Insulation provided between inputs, outputs, and power supply.
Noise immunity	$\pm$ 1,500 V on power supply terminals in normal or common mode $\pm$ 1 $\mu$ s, 100 ns for square-wave noise with 1 ns
Vibration resistance	Malfunction: 10 to 55 Hz, 0.5-mm for 10 min each in X, Y, and Z directions Destruction: 10 to 55 Hz, 0.75-mm for 2 hrs each in X, Y, and Z directions
Shock resistance	Malfunction: 98 m/s <sup>2</sup> (10G) for 3 times each in X, Y, and Z directions Destruction: 294 m/s <sup>2</sup> (30G) for 3 times each in X, Y, and Z directions
Ambient temperature	Operating: -10°C to 55°C (with no icing) Storage: -20°C to 65°C (with no icing)
Ambient humidity	Operating: 25% to 85% (with no condensation)
Ambient atmosphere	Must be free of corrosive gas
EMC	Emission Enclosure: EN55011 Group 1 class A Emission AC Mains: EN55011 Group 1 class A Immunity ESD: EN61000-4-2: 4-kV contact discharge (level 2) 8-kV air discharge (level 3) Immunity-RF-interference: ENV50140: 10 V/m (amplitude modulated, 80 MHz to 1 GHz) (level 3) 10 V/m (pulse modulated, 900 MHz) Immunity Conducted Disturbance: ENV50141: 10 V (0.15 to 80 MHz) (level 3) Immunity Burst: EN61000-4-4: 2-kV power-line (level 3) 2-kV I/O signal-line (level 4)
Approved standards	UL508, CSA22.2; conforms to EN50081-2, EN50082-2, EN61010-1 (IEC1010-1); conforms to VDE106/part 100 (Finger Protection) when the terminal cover is mounted.
Weight	Approx. 400 g

**Note** An Intelligent Signal Processor with DC supply voltage requires approximately 1 A DC as control power supply current the moment the Intelligent Signal Processor is turned on. Do not forget to take this into consideration when using several Intelligent Signal Processors. When the Intelligent Signal Processor is not in measuring operation (e.g., the Intelligent Signal Processor has been just turned on or is operating for start-up compensation time), the display will read "00000" and all outputs will be OFF.

Time	6°N/20/s0.12/ft0.50	8°N/20/s0.12/ft0.50	10°N/20/s0.12/ft0.50	6°N/25/s0.12/ft0.50	8°N/25/s0.12/ft0.50	10°N/25/s0.12/ft0.50	6°N/35/s0.12/ft0.50	8°N/35/s0.12/ft0.50	10°N/35/s0.12/ft0.50
1	0	0	-0,01	0	0	0,04	0	0	0,02
2	0,57	1,11	0,57	1,29	1,1	1,3	1,73	1,81	0,44
3	0,97	0,97	0,99	1,26	1,26	1,37	1,7	1,92	1,27
4	1,07	1,11	1,07	1,27	1,29	1,25	1,59	1,88	1,63
5	0,95	1,11	0,97	1,27	1,29	1,17	1,69	1,84	1,42
6	1,06	1,17	0,92	1,34	1,37	1,29	1,67	1,77	1,45
7	1,03	1,09	0,98	1,33	1,37	1,17	1,66	1,79	1,6
8	0,9	1,17	1,08	1,45	1,35	1,2	1,75	1,89	1,6
9	0,86	1,11	0,98	1,35	1,37	1,24	1,7	1,82	1,57
10	0,96	1,02	0,82	1,3	1,45	1,27	1,69	1,9	1,7
11	1,01	1,13	0,92	1,29	1,36	1,33	1,66	1,86	1,68
12	1,07	1,01	0,98	1,33	1,38	1,33	1,63	1,78	1,7
13	1,08	1,07	0,95	1,29	1,38	1,3	1,81	1,8	1,63
14	1,09	1,11	0,81	1,3	1,37	1,11	1,69	1,77	1,6
15	0,85	1,1	0,95	1,23	1,21	1,09	1,69	1,85	1,59
16	0,85	1,08	0,95	1,23	1,23	1,1	1,67	1,87	1,58
17	0,91	1,09	0,95	1,22	1,38	1,2	1,65	1,88	1,71
18	0,9	1,07	0,84	1,31	1,37	1,3	1,67	1,85	1,77
19	0,95	1,07	0,85	1,36	1,42	1,19	1,68	1,84	1,58
20	1,06	1,06	0,93	1,41	1,44	1,21	1,64	1,77	1,64
21	0,98	1,01	0,91	1,3	1,32	1,4	1,63	1,85	1,58
22	0,95	1,01	0,98	1,33	1,26	1,4	1,69	1,78	1,68
23	0,96	1,02	0,93	1,29	1,31	1,24	1,73	1,88	1,73
24	1,02	1,03	1,02	1,33	1,36	1,18	1,67	1,88	1,7
25	1,06	1,12	1,08	1,29	1,42	1,22	1,76	1,87	1,58
26	0,98	1,13	1,06	1,29	1,33	1,15	1,73	1,82	1,53
27	1,07	1,22	1,01	1,27	1,33	1,19	1,74	1,91	1,59
28	1,04	1,15	1,09	1,37	1,31	1,27	1,69	1,85	1,47
29	1,02	1,1	0,96	1,36	1,38	1,26	1,73	1,89	1,73
30	1,09	1,08	1	1,19	1,4	1,13	1,68	1,74	1,62
31	1,08	1,09	0,99	1,29	1,38	1,06	1,62	1,82	1,59
32	1,08	1,07	0,98	1,24	1,36	1,17	1,78	1,76	1,77
33	1,1	1,07	0,92	1,37	1,2	1,31	1,74	1,9	1,64
34	1,08	1	1,01	1,34	1,34	1,08	1,67	1,89	1,74



35	1,01	1,01	1,03	1,26	1,22	1,02	1,67	1,86	1,6
36	1,06	0,95	1,01	1,35	1,24	1,01	1,75	1,88	1,69
37	1,03	0,99	1,07	1,37	1,36	1,11	1,71	1,93	1,67
38	1,09	1	1,04	1,26	1,24	1,09	1,64	1,84	1,84
39	0,89	0,98	1,04	1,27	1,4	1,06	1,74	1,85	1,78
40	0,89	0,9	1,06	1,36	1,27	1,14	1,76	1,88	1,56
41	0,99	0,99	0,96	1,22	1,29	1,15	1,74	1,86	1,62
42	0,99	0,97	0,92	1,29	1,38	1,29	1,76	1,88	1,6
43	1,03	0,98	0,9	1,18	1,34	1,33	1,79	1,92	1,58
44	1,06	1,06	0,9	1,33	1,35	1,37	1,68	1,88	1,66
45	1,01	1,13	0,92	1,31	1,3	1,15	1,66	1,81	1,66
46	0,99	1,08	1,01	1,2	1,27	1,18	1,74	1,9	1,67
47	0,97	1,11	1,02	1,23	1,49	1,24	1,6	1,87	1,62
48	1,02	1,14	1	1,07	1,44	1,02	1,78	1,91	1,6
49	0,88	1,14	0,97	1,1	1,41	1,07	1,75	1,99	1,66
50	0,88	1,13	0,99	1,23	1,27	1	1,78	1,87	1,62
51	0,99	1,12	1,03	1,23	1,41	1,04	1,63	1,89	1,73
52	1	1,11	0,96	1,42	1,36	1,1	1,53	1,86	1,75
53	1,09	1,17	1,03	1,44	1,31	1,11	1,78	1,89	1,65
54	1	1,13	1,01	1,47	1,47	1,11	1,7	1,91	1,58
55	0,97	1,03	0,88	1,36	1,44	1,17	1,76	1,91	1,56
56	0,9	1,1	0,95	1,36	1,41	1,17	1,75	1,96	1,69
57	0,96	1,12	0,93	1,29	1,33	1,1	1,71	1,9	1,71
58	0,98	1,04	0,98	1,47	1,36	1,32	1,73	1,88	1,7
59	0,96	1,1	0,89	1,47	1,43	1,19	1,69	1,88	1,65
60	1,1	1,11	1	1,44	1,38	1,26	1,75	1,96	1,58
61	0,98	1,09	1	1,43	1,4	1,33	1,75	1,9	1,64
62	1	1,08	0,99	1,21	1,12	1,25	1,57	1,89	1,71
63	0,88	1,13	1,04	0,57	0,63	0,4	1,74	1,84	1,65
64	0,88	0,88	0,12	0,16	0,2	0,09	1,46	1,1	0,82
65	0,2	0,05	0,05	0,015	0,01	0,02	0,17	0,25	0,09

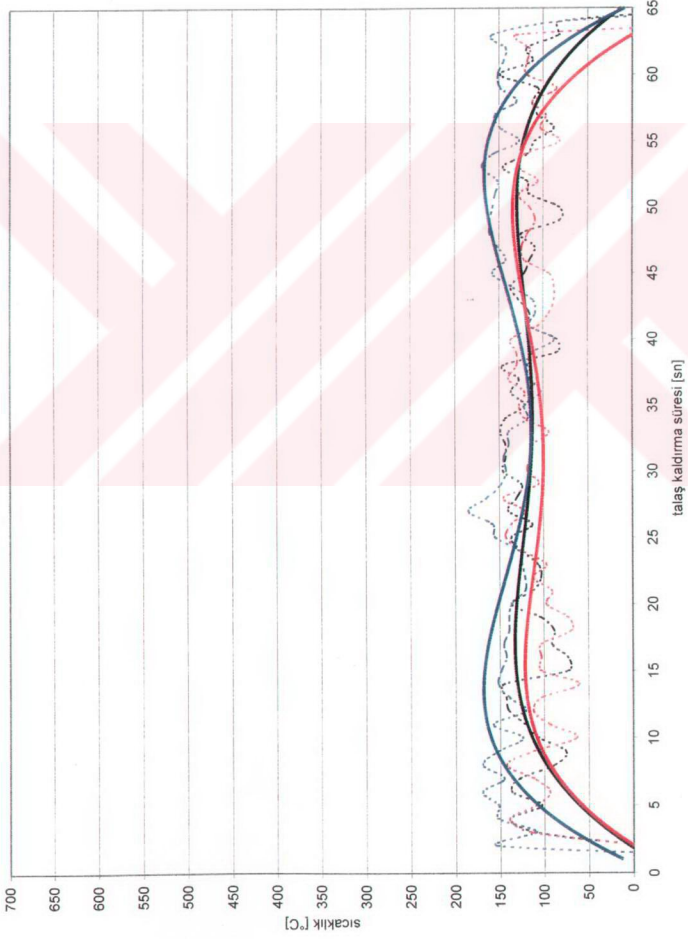
Time	6°V/20/s0.20/tc0.50	8°V/20/s0.20/tc0.50	10°V/20/s0.20/tc0.50	6°V/25/s0.20/tc0.50	8°V/25/s0.20/tc0.50	10°V/25/s0.20/tc0.50	6°V/35/s0.20/tc0.50	8°V/35/s0.20/tc0.50	10°V/35/s0.20/tc0.50
1	0,2	0	0,77	0	0	0,26	0	0	0
2	1,4	1,18	1,52	1,1	1,71	1,62	2,4	1,92	2,44
3	1,57	1,33	1,55	1,9	1,6	1,68	2,52	2,12	2,5
4	1,48	1,32	1,65	1,87	1,68	1,82	2,55	2,18	2,4
5	1,48	1,32	1,6	1,89	1,66	1,95	2,47	2,23	2,44
6	1,37	1,27	1,56	1,9	1,57	1,95	2,46	2,11	2,43
7	1,54	1,3	1,66	1,91	1,68	1,98	2,51	2,18	2,51
8	1,49	1,37	1,56	1,87	1,75	1,98	2,51	2,13	2,48
9	1,47	1,35	1,59	1,82	1,68	2,1	2,46	2,15	2,48
10	1,45	1,25	1,54	1,87	1,62	1,88	2,47	2,17	2,52
11	1,45	1,33	1,59	1,99	1,57	1,86	2,47	2,23	2,48
12	1,43	1,31	1,59	1,89	1,62	1,98	2,45	2,2	2,46
13	1,48	1,37	1,64	1,89	1,66	1,95	2,4	2,18	2,42
14	1,55	1,33	1,62	1,8	1,66	1,8	2,45	2,18	2,51
15	1,55	1,36	1,59	1,8	1,69	1,96	2,39	2,2	2,44
16	1,55	1,33	1,6	1,81	1,69	1,96	2,41	2,12	2,45
17	1,48	1,25	1,57	1,82	1,69	2,03	2,42	2,12	2,53
18	1,44	1,25	1,65	1,78	1,65	1,99	2,37	2,13	2,51
19	1,41	1,24	1,62	1,88	1,77	1,95	2,43	2,17	2,44
20	1,44	1,36	1,62	1,78	1,7	1,99	2,4	2,12	2,52
21	1,43	1,36	1,58	1,73	1,7	1,99	2,4	2,07	2,48
22	1,48	1,32	1,63	1,79	1,64	2,01	2,43	2,07	2,5
23	1,48	1,3	1,58	1,79	1,64	1,97	2,45	2,1	2,52
24	1,4	1,21	1,52	1,77	1,73	1,95	2,42	2,08	2,42
25	1,35	1,13	1,63	1,77	1,74	1,98	2,44	2,11	2,51
26	1,41	1,27	1,66	1,78	1,75	1,97	2,44	2,04	2,46
27	1,51	1,26	1,64	1,56	1,71	2,01	2,37	2,08	2,48
28	1,43	1,32	1,65	1,57	1,71	2,06	2,37	2,04	2,51
29	1,42	1,29	1,7	1,63	1,7	2,04	2,42	1,93	2,47
30	1,43	1,32	1,67	1,64	1,69	2,02	2,41	2,02	2,47
31	1,44	1,34	1,56	1,54	1,71	2,09	2,34	1,99	2,47
32	1,36	1,3	1,74	1,69	1,65	2,02	2,41	2,06	2,52
33	1,45	1,23	1,7	1,69	1,74	1,96	2,4	2,09	2,43
34	1,42	1,31	1,75	1,79	1,76	2,02	2,42	2,06	2,54

35	1,35	1,32	1,6	1,7	1,69	2,01	2,36	2,02	2,46
36	1,42	1,33	1,69	1,55	1,71	2,04	2,37	2,06	2,51
37	1,41	1,35	1,63	1,64	1,65	2,02	2,37	2,07	2,44
38	1,42	1,34	1,68	1,6	1,7	1,99	2,33	2,08	2,47
39	1,37	1,37	1,59	1,65	1,67	1,99	2,33	1,99	2,52
40	1,34	1,11	1,55	1,67	1,68	2	2,39	2,08	2,54
41	1,51	1,27	1,68	1,53	1,63	1,98	2,37	2,03	2,44
42	1,46	1,34	1,69	1,65	1,67	2,07	2,3	2,01	2,48
43	1,4	1,36	1,71	1,73	1,68	2,03	2,37	2,08	2,54
44	1,46	1,35	1,67	1,59	1,71	1,99	2,34	2,04	2,41
45	1,42	1,2	1,73	1,71	1,65	1,97	2,41	2,04	2,54
46	1,41	1,33	1,59	1,67	1,74	1,98	2,4	2,01	2,58
47	1,44	1,26	1,65	1,62	1,69	2,01	2,45	2,03	2,52
48	1,4	1,26	1,63	1,7	1,55	2,06	2,43	2,1	2,31
49	1,41	1,34	1,63	1,66	1,8	2,01	2,36	2,04	2,53
50	1,4	1,33	1,66	1,69	1,66	1,97	2,39	2,12	2,52
51	1,44	1,35	1,62	1,68	1,75	1,96	2,45	2,14	2,48
52	1,41	1,41	1,71	1,71	1,7	1,95	2,46	2,13	2,45
53	1,38	1,32	1,63	1,69	1,67	2,07	2,37	2,09	2,5
54	1,34	1,35	1,73	1,66	1,68	2,04	2,45	2,15	2,53
55	1,35	1,33	1,69	1,65	1,57	2	2,41	2,1	2,5
56	1,47	1,36	1,67	1,69	1,69	1,98	2,34	2,15	2,5
57	1,48	1,42	1,6	1,53	1,71	2,08	2,39	2,13	2,55
58	1,42	1,43	1,67	1,6	1,63	2,06	2,41	2,18	2,54
59	1,45	1,4	1,68	1,62	1,65	2,01	2,42	2,13	2,47
60	1,44	1,37	1,64	1,65	1,64	1,97	2,29	2,19	2,53
61	1,44	1,36	1,71	1,67	1,71	1,93	2,37	2,2	2,51
62	1,4	1,33	1,7	1,66	1,58	1,87	2,4	2,21	2,44
63	1,41	1,33	1,67	1,67	1,35	1,73	2,4	2,19	2,48
64	1,36	0,8	1,54	1,55	0,75	1,62	2,25	2,15	2,28
65	0,42	0,08	0,62	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4

Time	6°V20/s0.32/tc0.50	8°V20/s0.32/tc0.50	10°V20/s0.32/tc0.50	6°V25/s0.32/tc0.50	8°V25/s0.32/tc0.50	10°V25/s0.32/tc0.50	6°V35/s0.32/tc0.50	8°V35/s0.32/tc0.50	10°V35/s0.32/tc0.50
1	0	0	0	0	-0,71	1,58	0	0	0
2	1,75	1,29	1,46	0,62	2	1,87	0,98	2,19	2,58
3	1,69	1,46	1,48	2,17	2,08	1,98	2,78	2,58	2,56
4	1,67	1,48	1,56	2,1	1,99	2,08	2,78	2,58	2,62
5	1,8	1,56	1,57	2,14	2,09	1,91	2,77	2,64	2,6
6	1,84	1,54	1,42	2,11	2,09	2,02	2,8	2,58	2,64
7	1,75	1,45	1,45	2,23	2,1	1,97	2,79	2,62	2,6
8	1,71	1,57	1,34	2,21	2,09	2,08	2,77	2,6	2,63
9	1,69	1,53	1,47	2,21	2,1	1,9	2,81	2,63	2,56
10	1,87	1,48	1,54	2,23	1,98	2,02	2,8	2,63	2,48
11	1,88	1,64	1,38	2,18	2,11	1,92	2,8	2,63	2,63
12	1,85	1,63	1,38	2,17	2,13	1,82	2,78	2,63	2,64
13	1,85	1,53	1,43	2,25	1,92	1,95	2,7	2,62	2,65
14	1,85	1,52	1,38	2,11	1,99	2	2,78	2,64	2,58
15	1,77	1,6	1,45	2,24	2,02	2,01	2,81	2,62	2,45
16	1,71	1,57	1,47	2,19	2,01	2,01	2,8	2,62	2,52
17	1,87	1,62	1,65	2,12	2,02	1,98	2,85	2,63	2,58
18	1,6	1,54	1,58	2,2	1,82	2,08	2,81	2,63	2,48
19	1,8	1,52	1,54	2,29	2,01	2,02	2,81	2,65	2,59
20	1,78	1,47	1,64	2,21	2	1,93	2,81	2,63	2,59
21	1,69	1,52	1,58	2,29	1,97	2,11	2,85	2,68	2,55
22	1,73	1,57	1,59	2,26	2,06	2,09	2,82	2,64	2,54
23	1,73	1,6	1,73	2,2	2,01	2	2,81	2,66	2,34
24	1,78	1,59	1,76	2,24	2,01	2,03	2,86	2,65	2,63
25	1,81	1,56	1,69	2,24	2,03	1,96	2,85	2,65	2,67
26	1,75	1,48	1,71	2,2	1,99	2,1	2,85	2,62	2,71
27	1,65	1,6	1,71	2,2	1,97	2,12	2,81	2,63	2,67
28	1,75	1,6	1,67	2,28	2,09	1,96	2,84	2,63	2,6
29	1,65	1,57	1,67	2,26	2,11	2,01	2,84	2,63	2,69
30	1,67	1,54	1,57	2,26	2,04	2,13	2,87	2,65	2,55
31	1,77	1,58	1,71	2,26	2,04	1,92	2,89	2,63	2,35
32	1,77	1,69	1,65	2,29	2,1	1,86	2,79	2,6	2,57
33	1,71	1,64	1,66	2,23	2,08	1,86	2,78	2,64	2,69
34	1,63	1,53	1,71	2,18	2,06	2,06	2,75	2,68	2,68

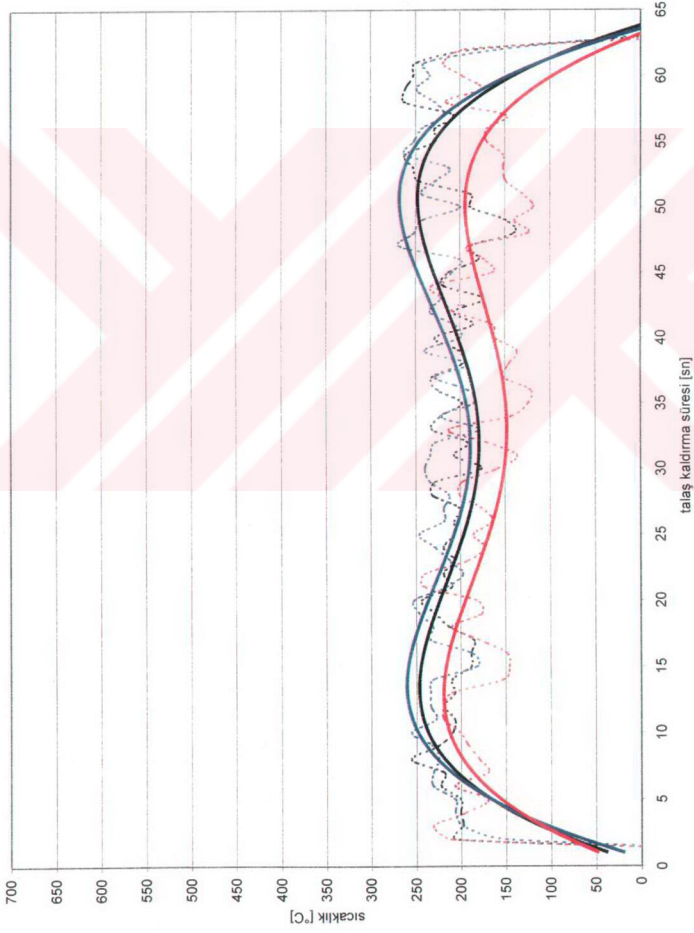
35	1,86	1,44	1,57	2,23	2,04	1,99	2,82	2,59	2,69
36	1,8	1,51	1,49	2,22	2,08	2,01	2,76	2,58	2,74
37	1,84	1,67	1,47	2,24	2,06	1,92	2,86	2,66	2,67
38	1,82	1,62	1,41	2,18	2,06	2,03	2,88	2,67	2,68
39	1,84	1,54	1,56	2,22	2,07	2,1	2,89	2,63	2,66
40	1,77	1,55	1,55	2,18	2,1	2,12	2,82	2,6	2,58
41	1,88	1,57	1,62	2,22	2,08	1,92	2,7	2,63	2,41
42	1,48	1,67	1,57	2,23	2,02	2,09	2,76	2,58	2,45
43	1,59	1,65	1,52	2,21	2,03	2,1	2,89	2,56	2,47
44	1,63	1,62	1,52	2,26	2,06	2,1	2,86	2,63	2,52
45	1,67	1,6	1,58	2,21	2	2,12	2,75	2,59	2,54
46	1,64	1,62	1,55	2,19	1,99	2,06	2,76	2,59	2,41
47	1,71	1,55	1,48	2,21	2,03	2,06	2,77	2,57	2,45
48	1,65	1,52	1,57	2,21	2,1	1,86	2,77	2,58	2,37
49	1,63	1,56	1,58	2,26	2,04	1,87	2,86	2,62	2,48
50	1,52	1,65	1,58	2,24	2,13	2	2,74	2,52	2,52
51	1,71	1,57	1,65	2,3	2,13	2,07	2,8	2,59	2,36
52	1,68	1,68	1,47	2,17	2,06	2,08	2,7	2,6	2,39
53	1,84	1,69	1,52	2,19	2,1	2,1	2,8	2,65	2,42
54	1,81	1,63	1,49	2,18	2,12	2,03	2,76	2,63	2,46
55	1,66	1,62	1,58	2,21	2,12	2,08	2,81	2,62	2,48
56	1,79	1,68	1,55	2,23	2,02	2,07	2,8	2,57	2,35
57	1,71	1,54	1,58	2,26	2,09	2,08	2,82	2,62	2,34
58	1,8	1,58	1,36	2,22	2,07	2,03	2,88	2,64	2,48
59	1,79	1,55	1,51	2,26	2,03	2,13	2,87	2,6	2,58
60	1,73	1,53	1,52	2,3	2,11	2,08	2,88	2,58	2,5
61	1,73	1,71	1,43	2,32	2,09	2,22	2,84	2,6	2,52
62	1,87	1,7	1,43	2,2	2,08	2,11	2,88	2,6	2,46
63	1,68	1,62	1,45	1,8	2,15	2,14	2,86	2,6	2,5
64	1,7	1,55	1,44	0,8	1,2	1,6	2,82	2,45	2,2
65	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,13	0,2	0,15

Kesme hızı=20 m/dak, İlerleme=0.12 mm/dev, Talaş derinliği=0.50 mm

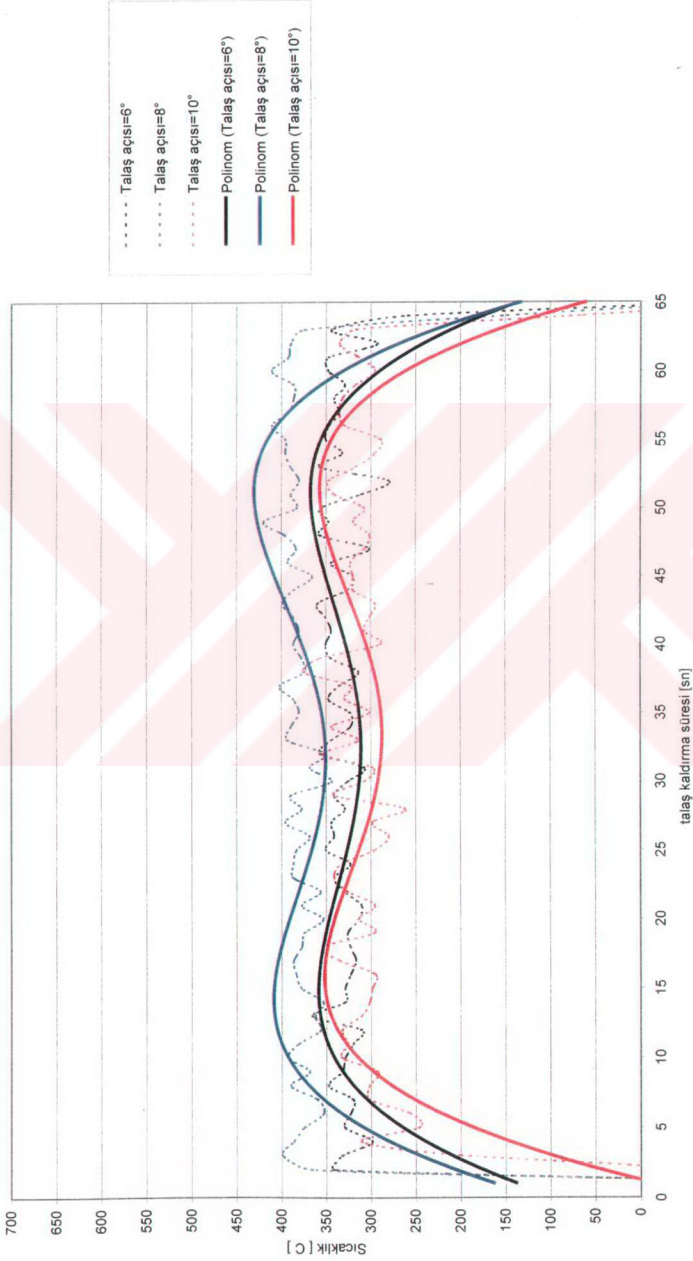


- ..... Talaş açısı=6°
- ..... Talaş açısı=8°
- ..... Talaş açısı=10°
- Polinom (Talaş açısı=6°)
- Polinom (Talaş açısı=8°)
- Polinom (Talaş açısı=10°)

Kesme hızı=25 m/dak, ilerleme=0.12 mm/dev, Talaş derinliği=0.50 mm

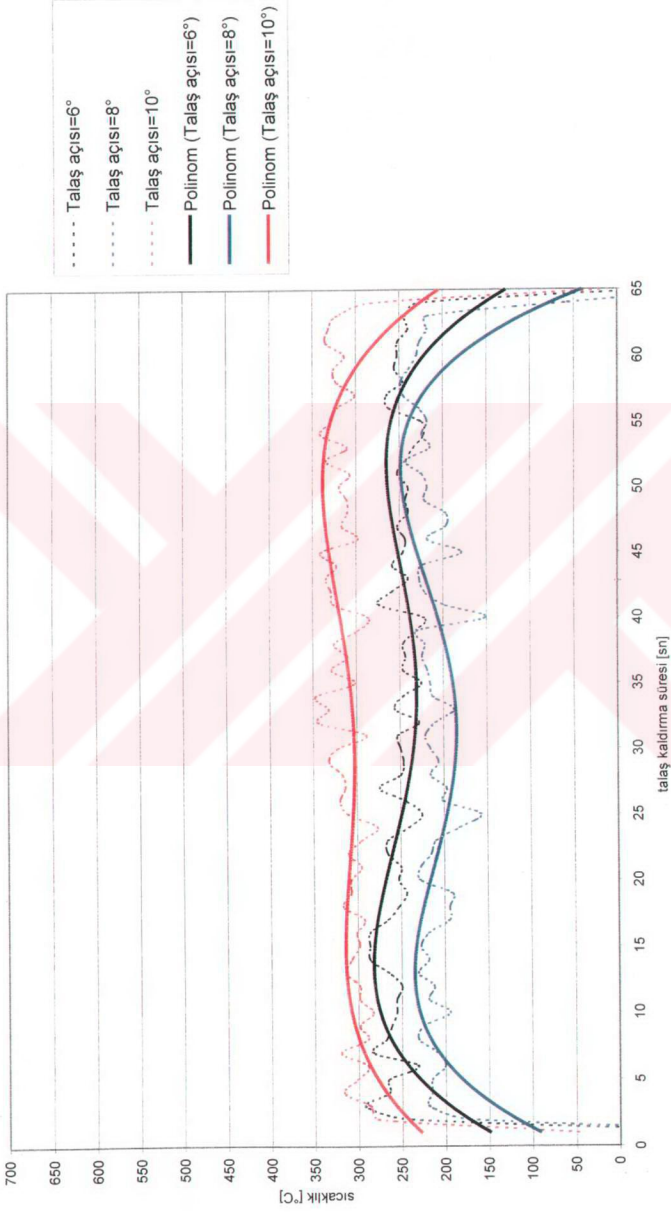


Kesme hızı=35 m/dak, İlerleme=0.12 mm/dev, Talaş derinliği=0.50 mm



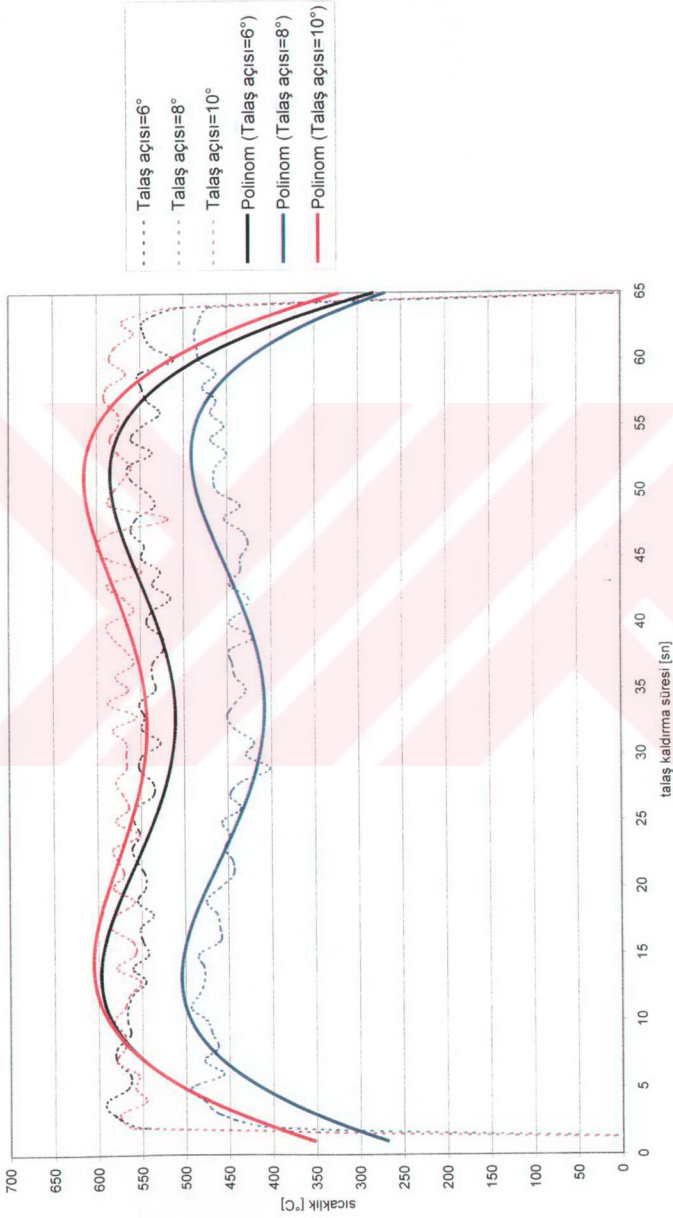


Kesme hızı=20 m/dak, ilerleme=0.20 mm/dev, Talaş derinliği=0.50 mm

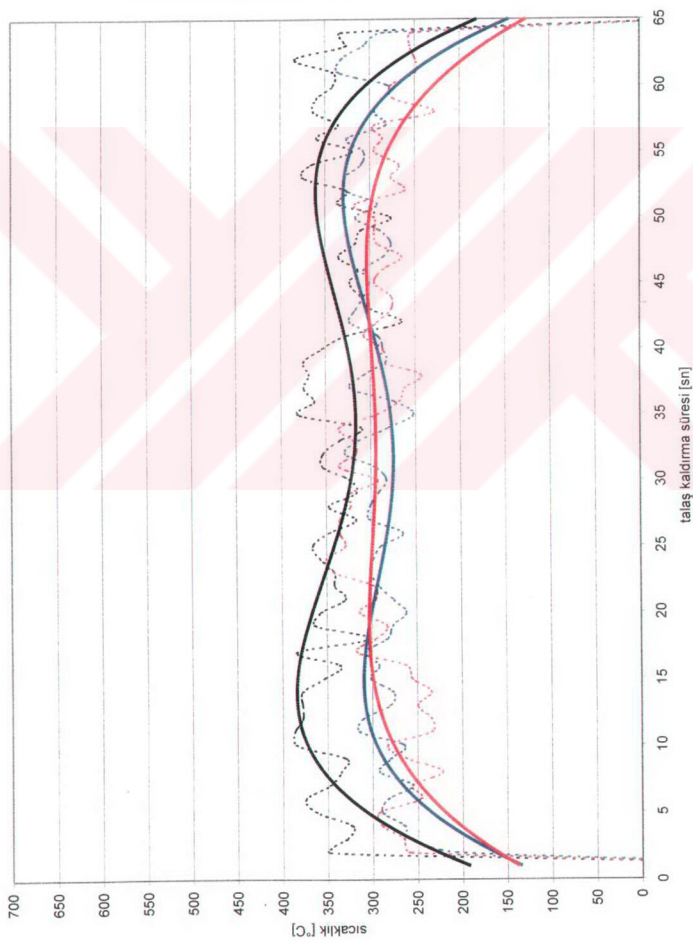




Kesme hızı=35 m/dak, İlerleme=0.20 mm/dev, Talaş derinliği=0.50 mm

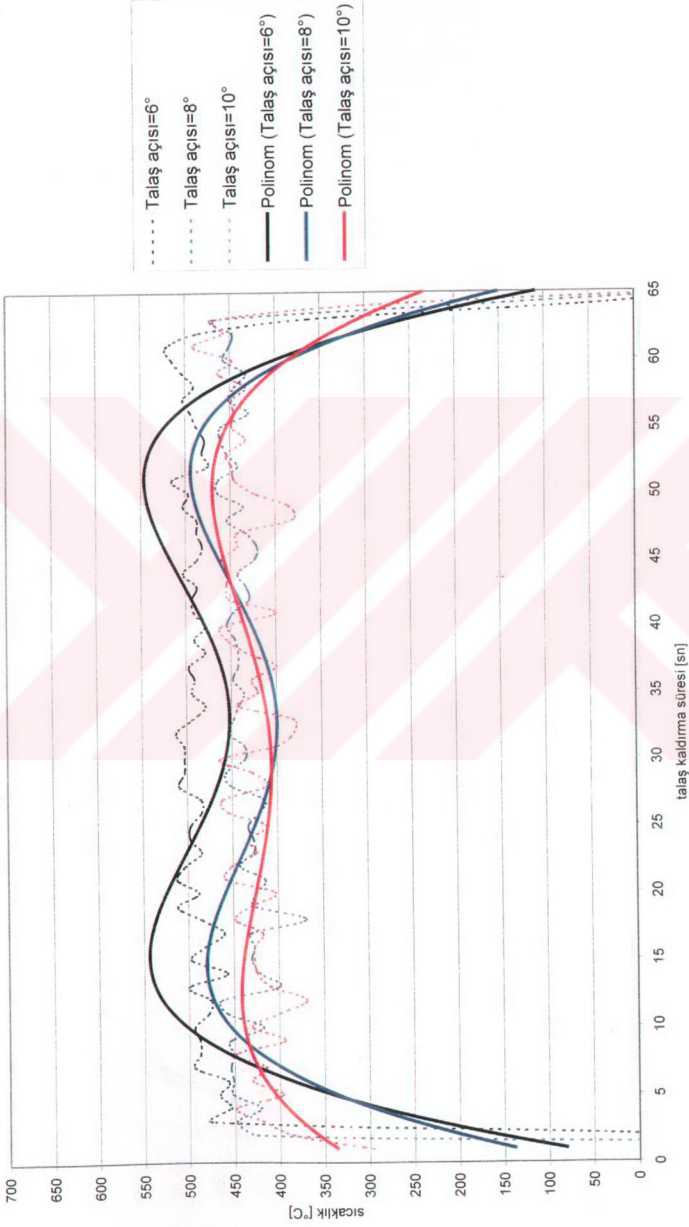


Kesme hızı=20 m/dak, İlerleme=0.32 mm/dev, Talaş derinliği=0.50 mm

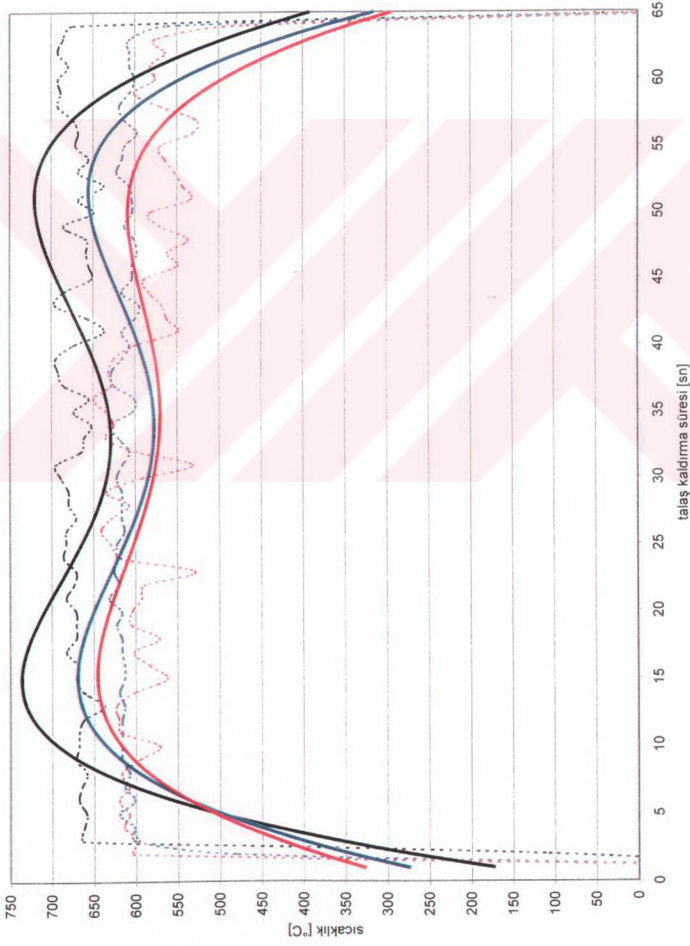


- ..... Talaş açısı=6°
- ..... Talaş açısı=8°
- ..... Talaş açısı=10°
- Polinom (Talaş açısı=6°)
- Polinom (Talaş açısı=8°)
- Polinom (Talaş açısı=10°)

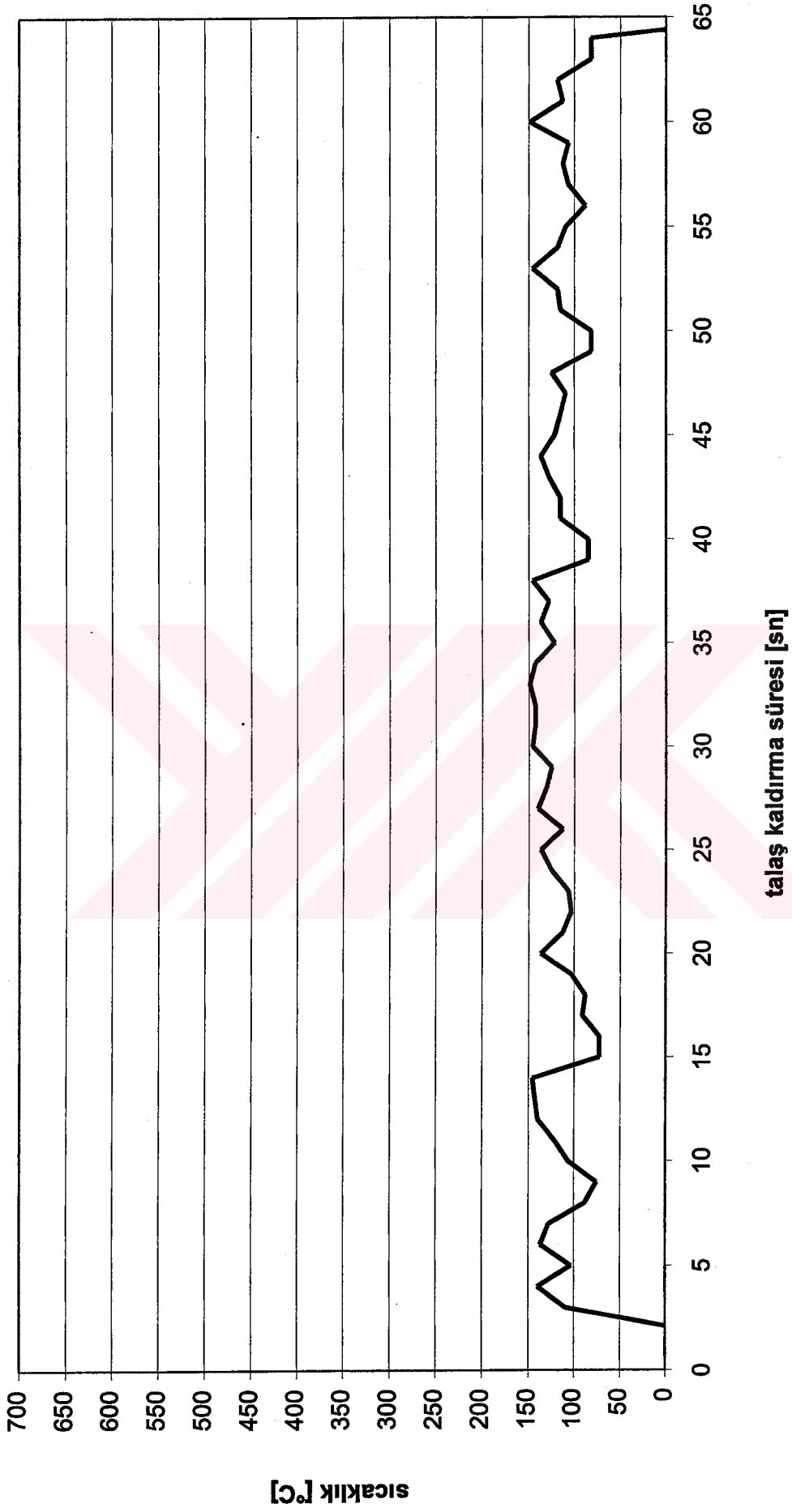
Kesme hızı=25 m/dak, İlerleme=0.32 mm/dev, Talaş derniği=0.50 mm



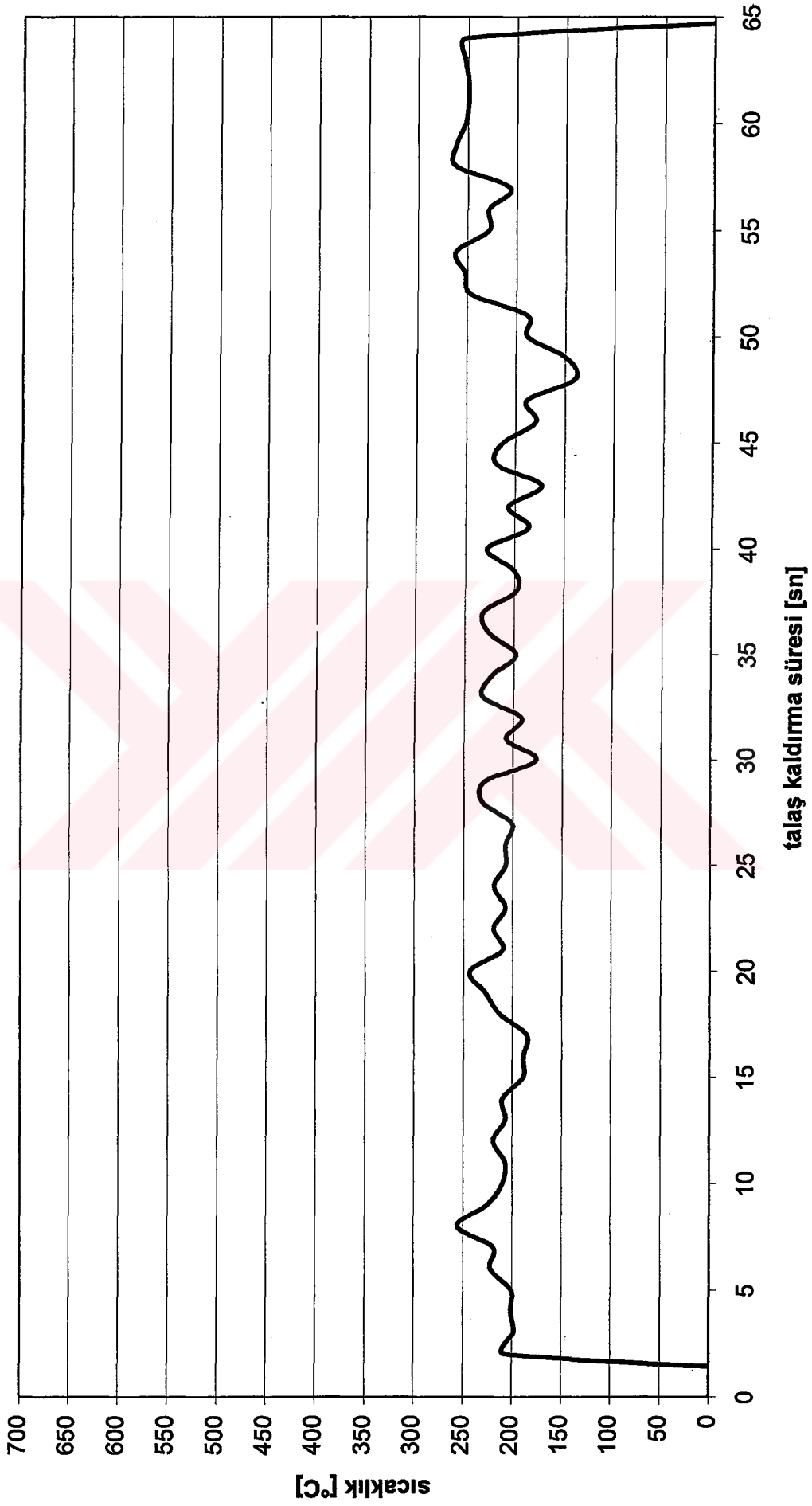
Kesme hızı=35 m/dak. İlerieme=0.32 mm/dev. Talaş derinliği=0.50 mm



Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

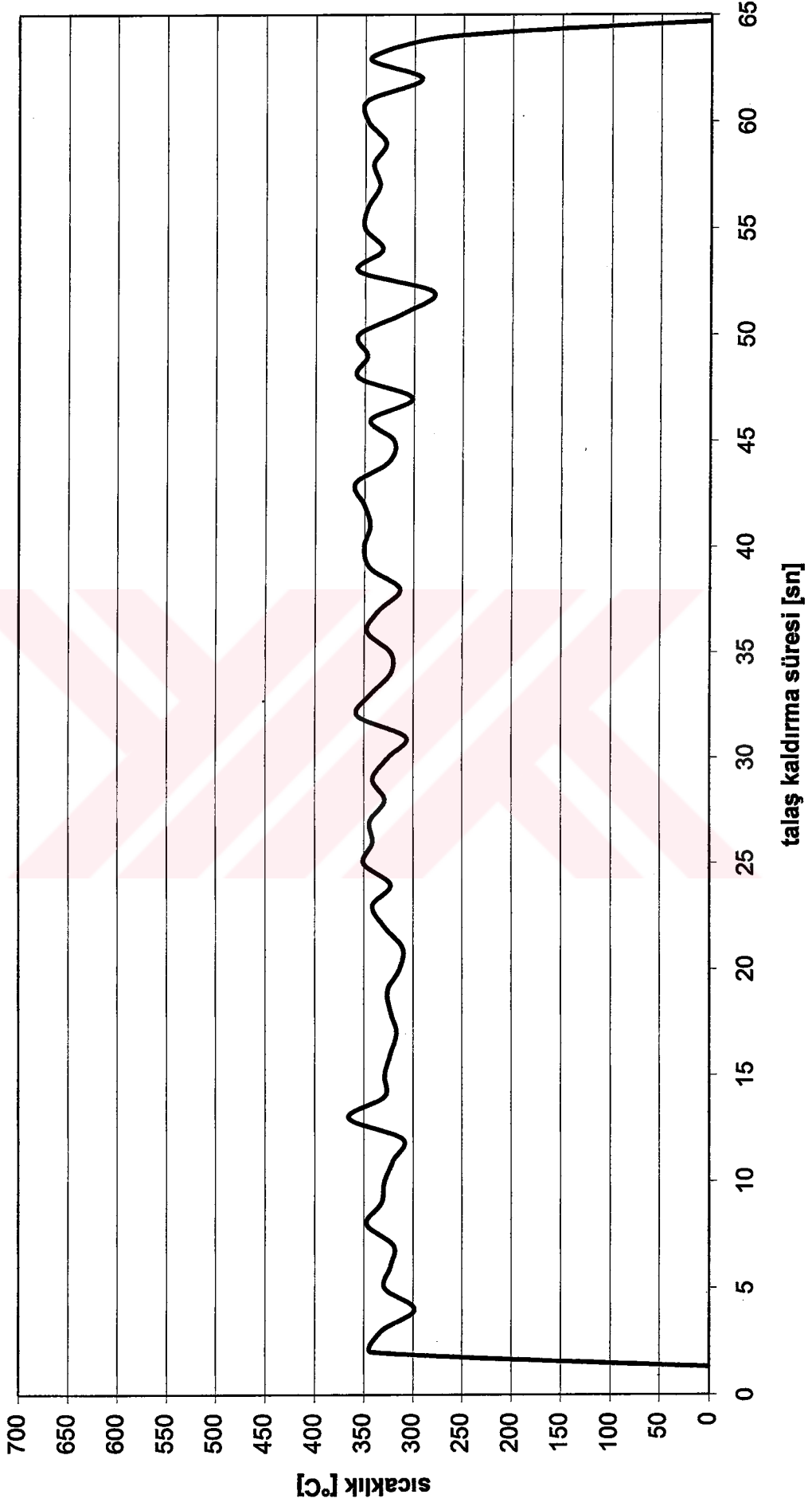


Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

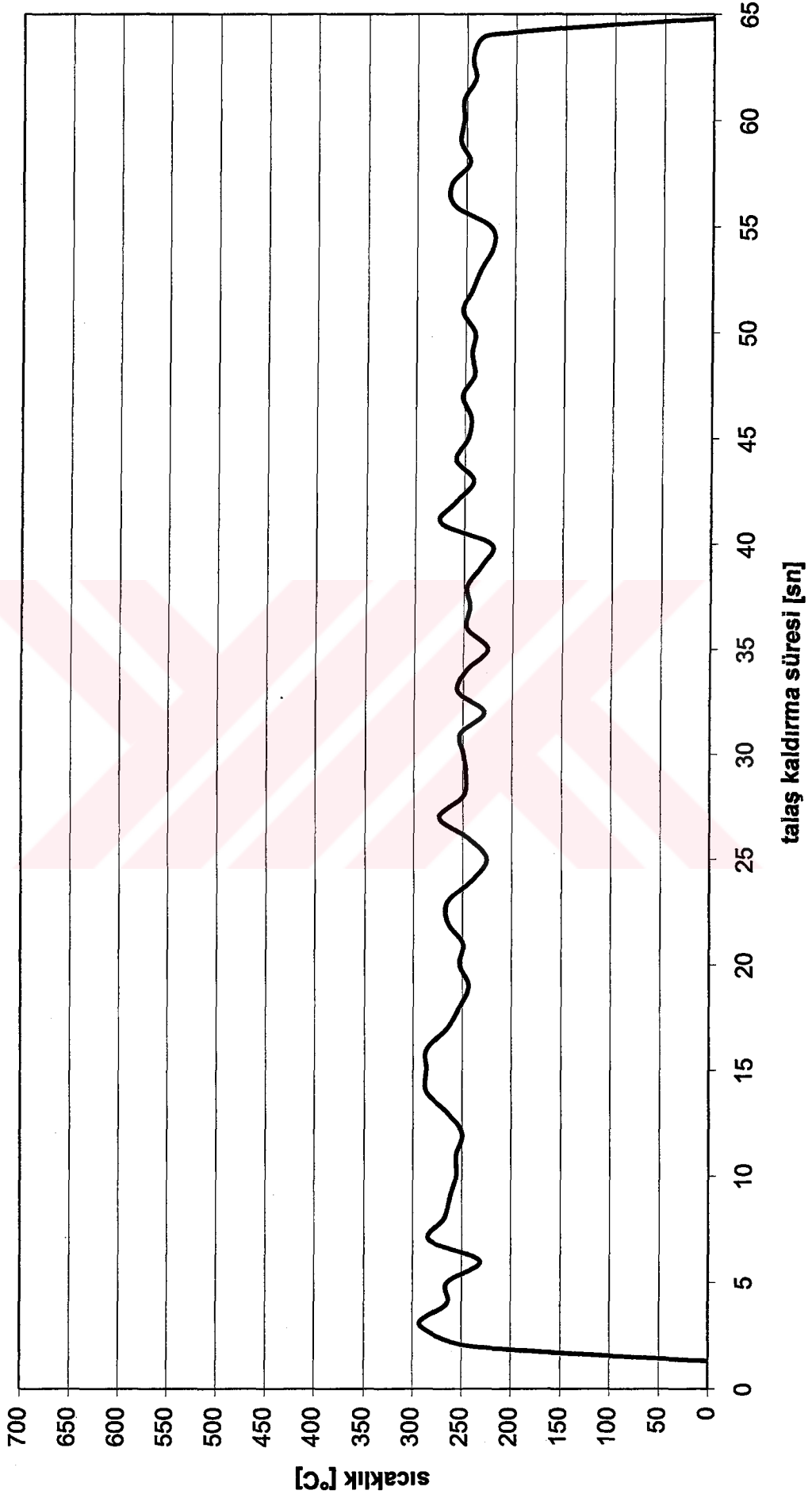




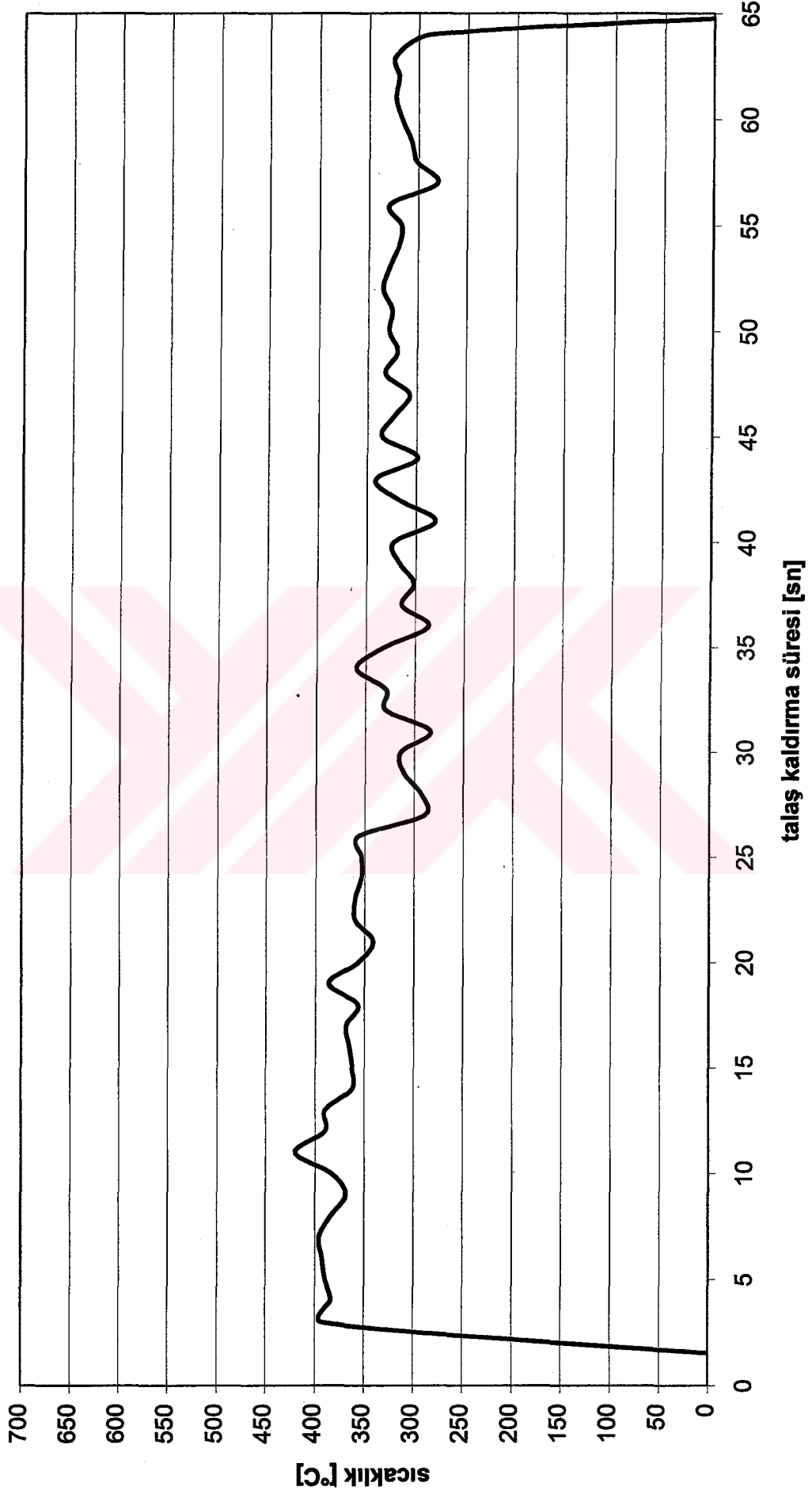
Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



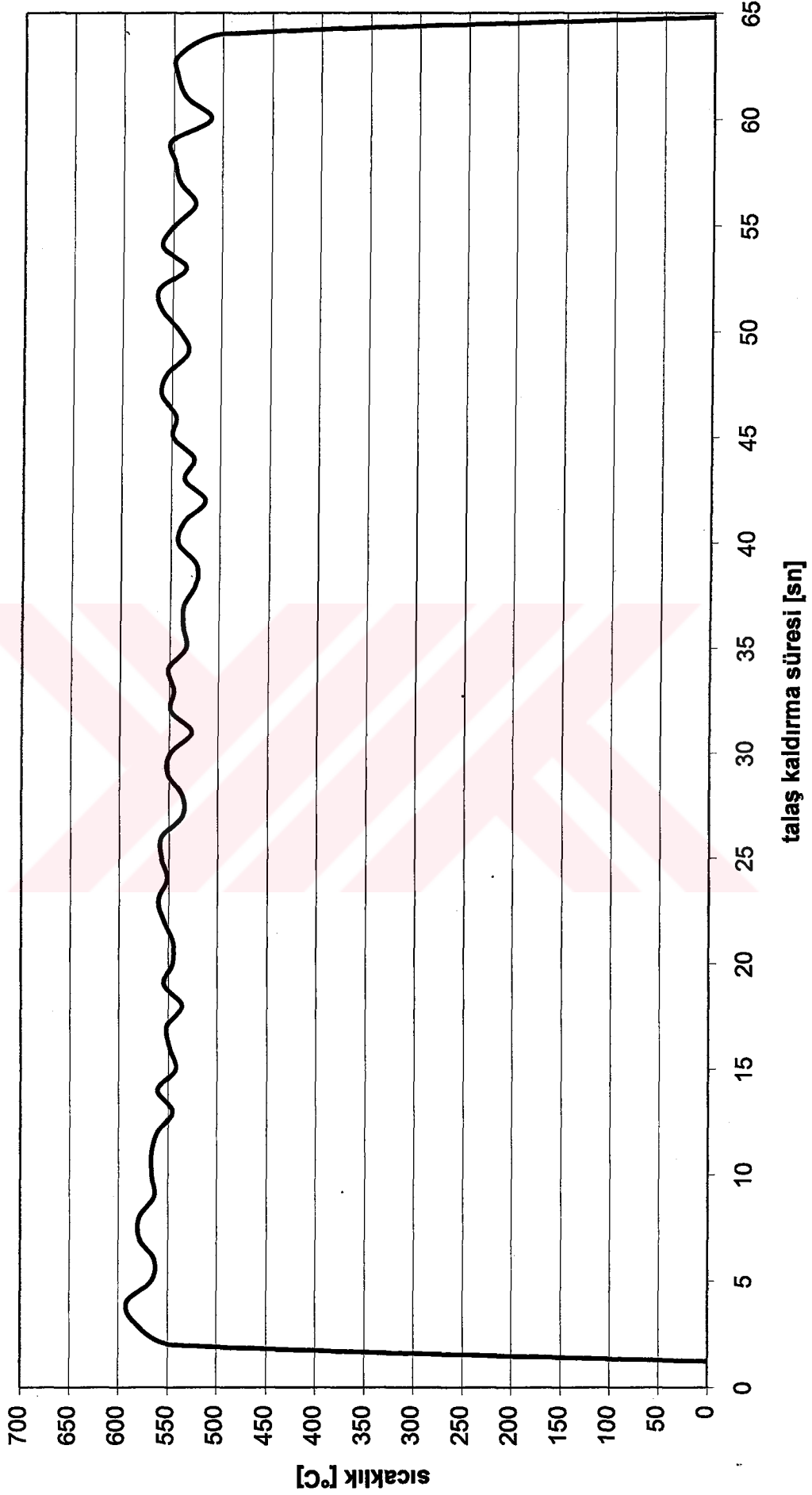
Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



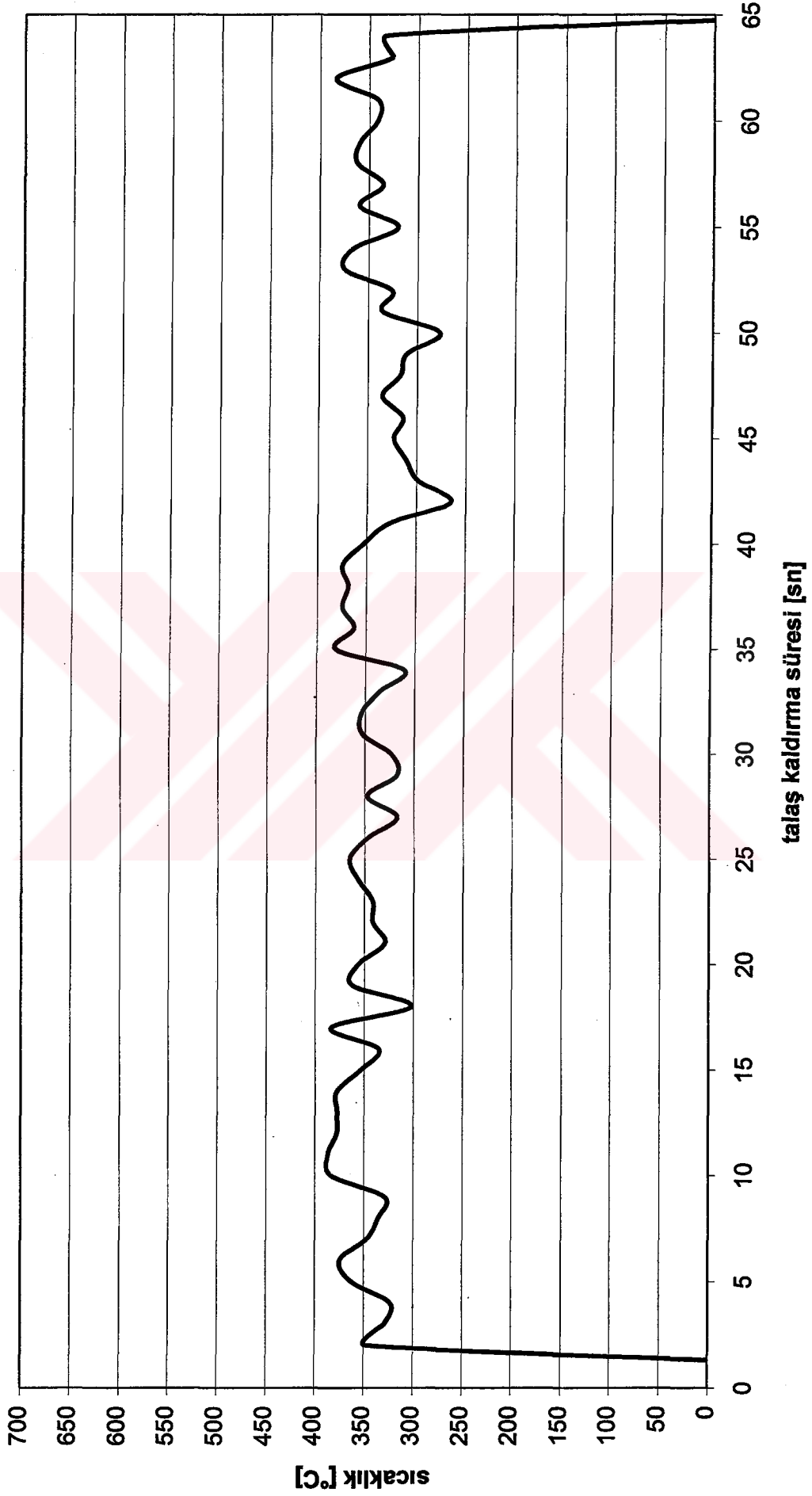
Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı  $V=25$  m/dak /İlerleme  $s=0.20$  mm/dev /Talaş derinliği  $t_c=0.50$  mm



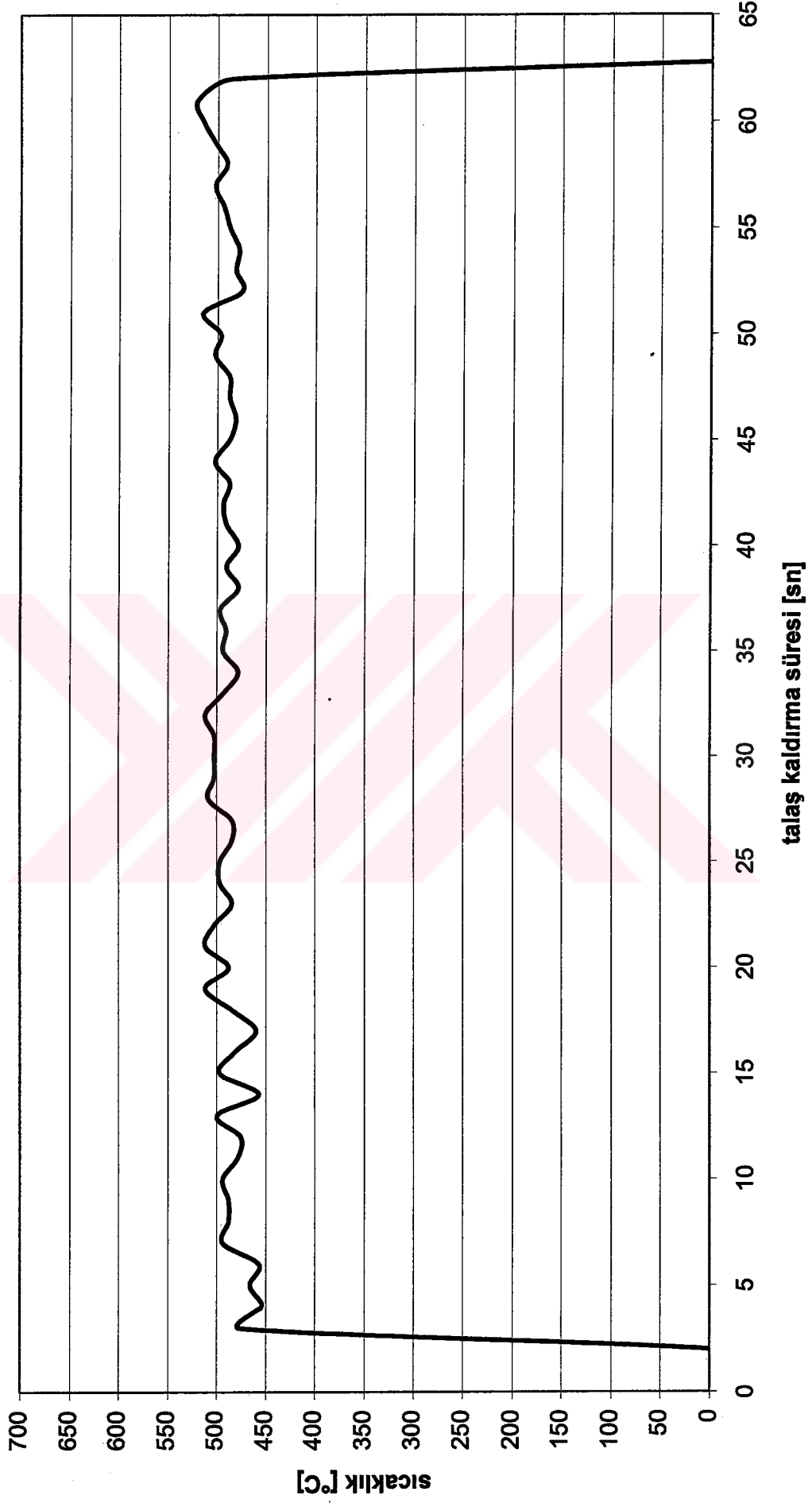
Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



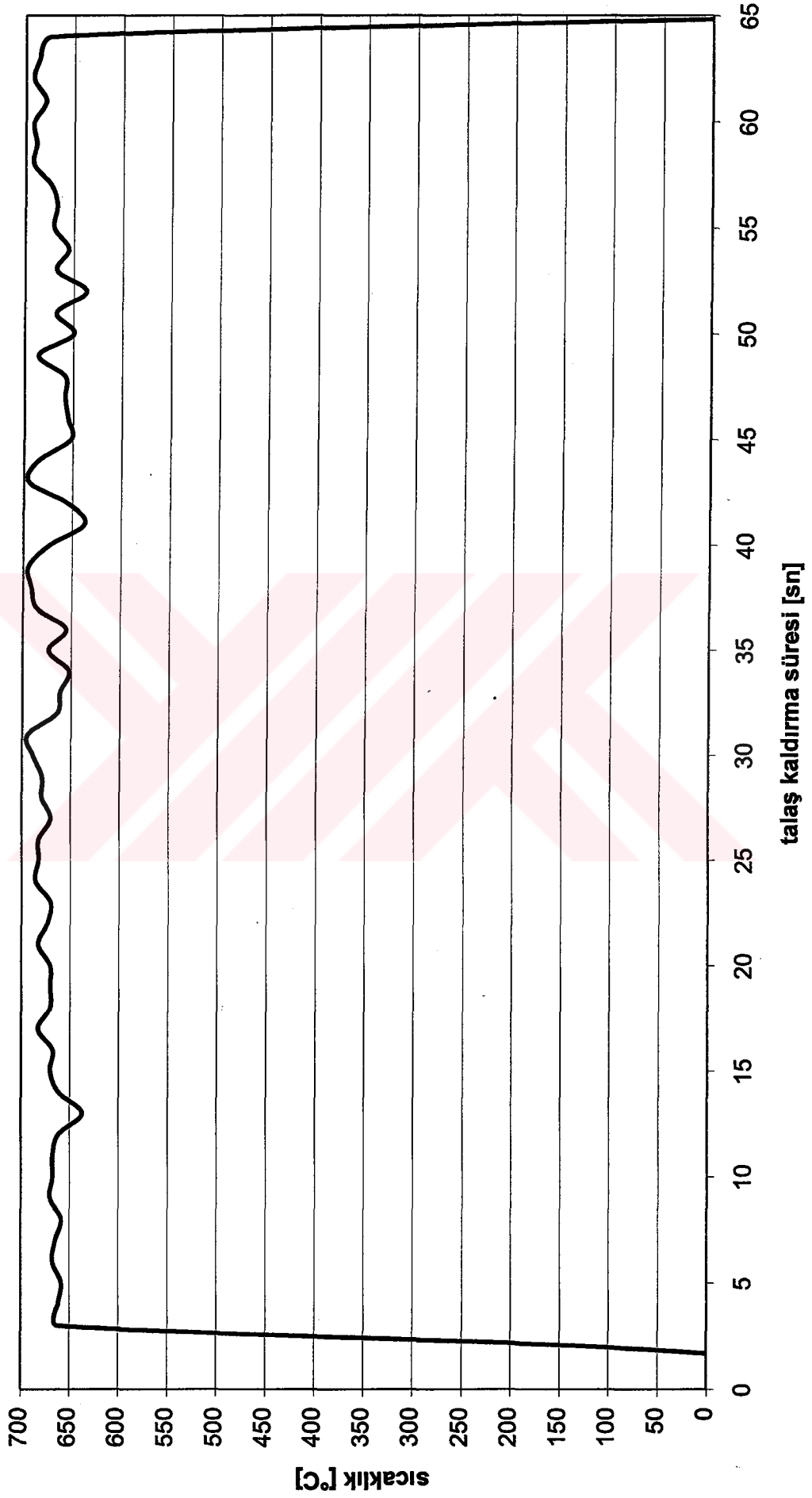
Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



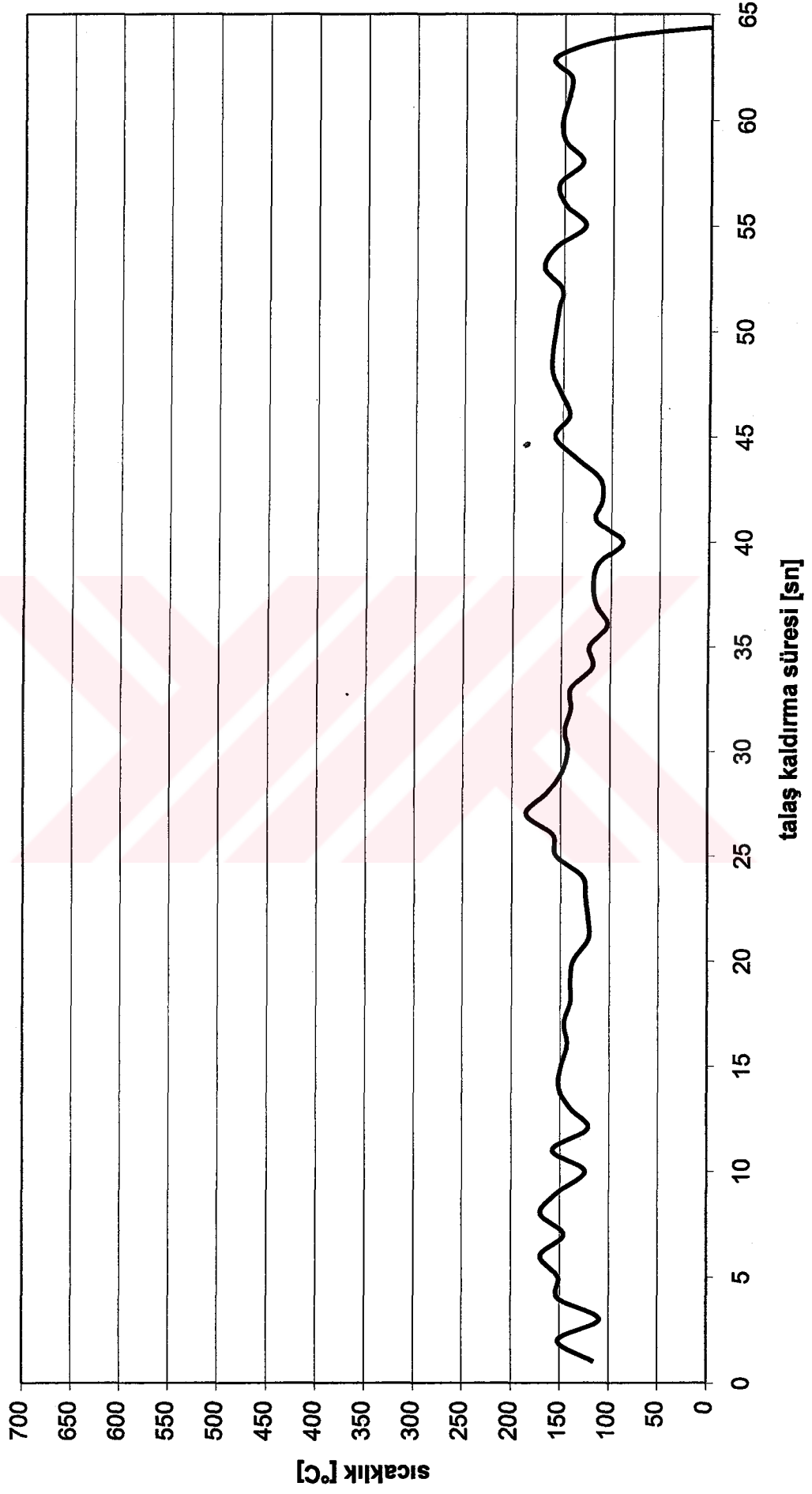
Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



Talaş yüzeyi açısı 6°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

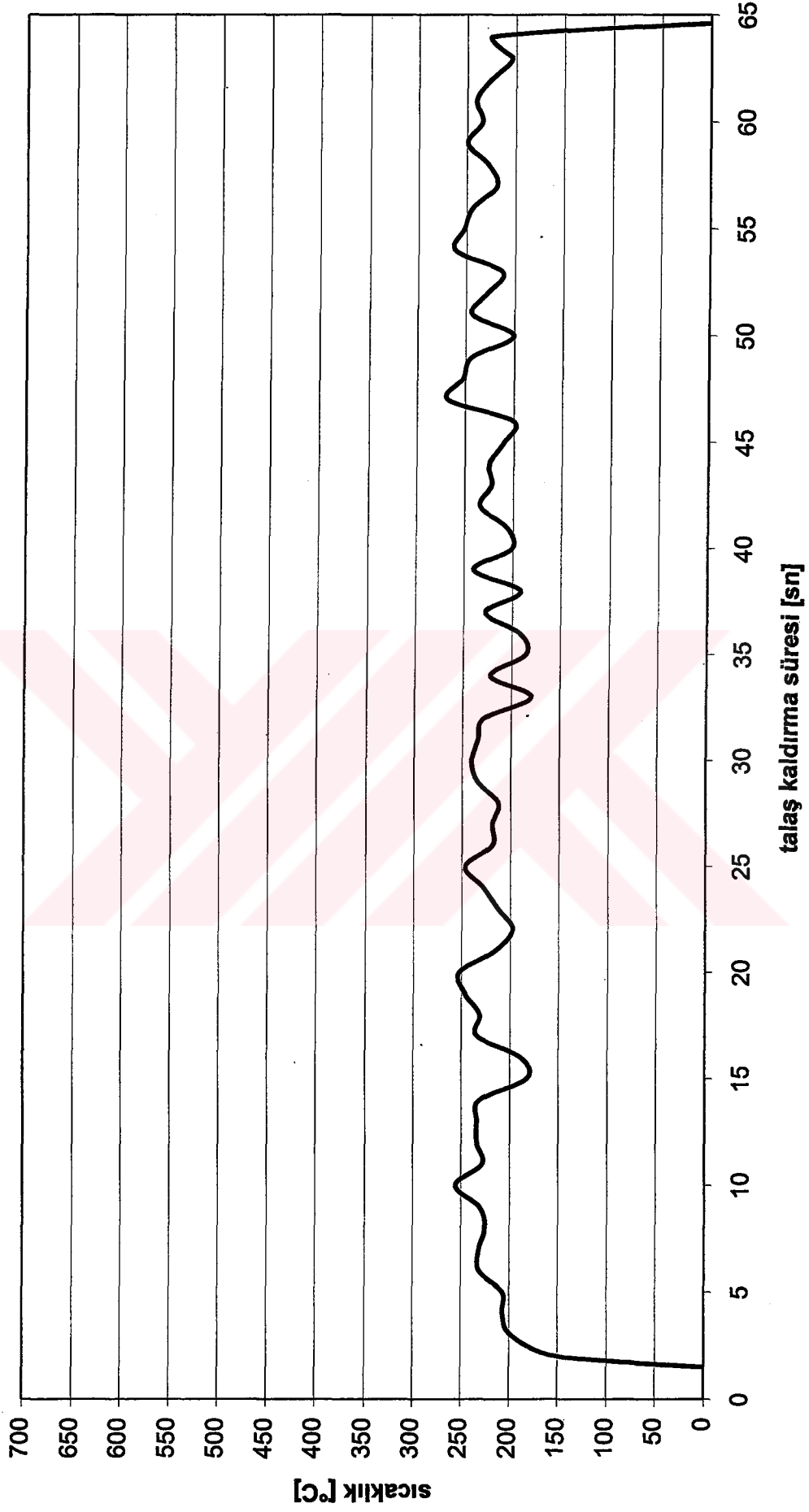


Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

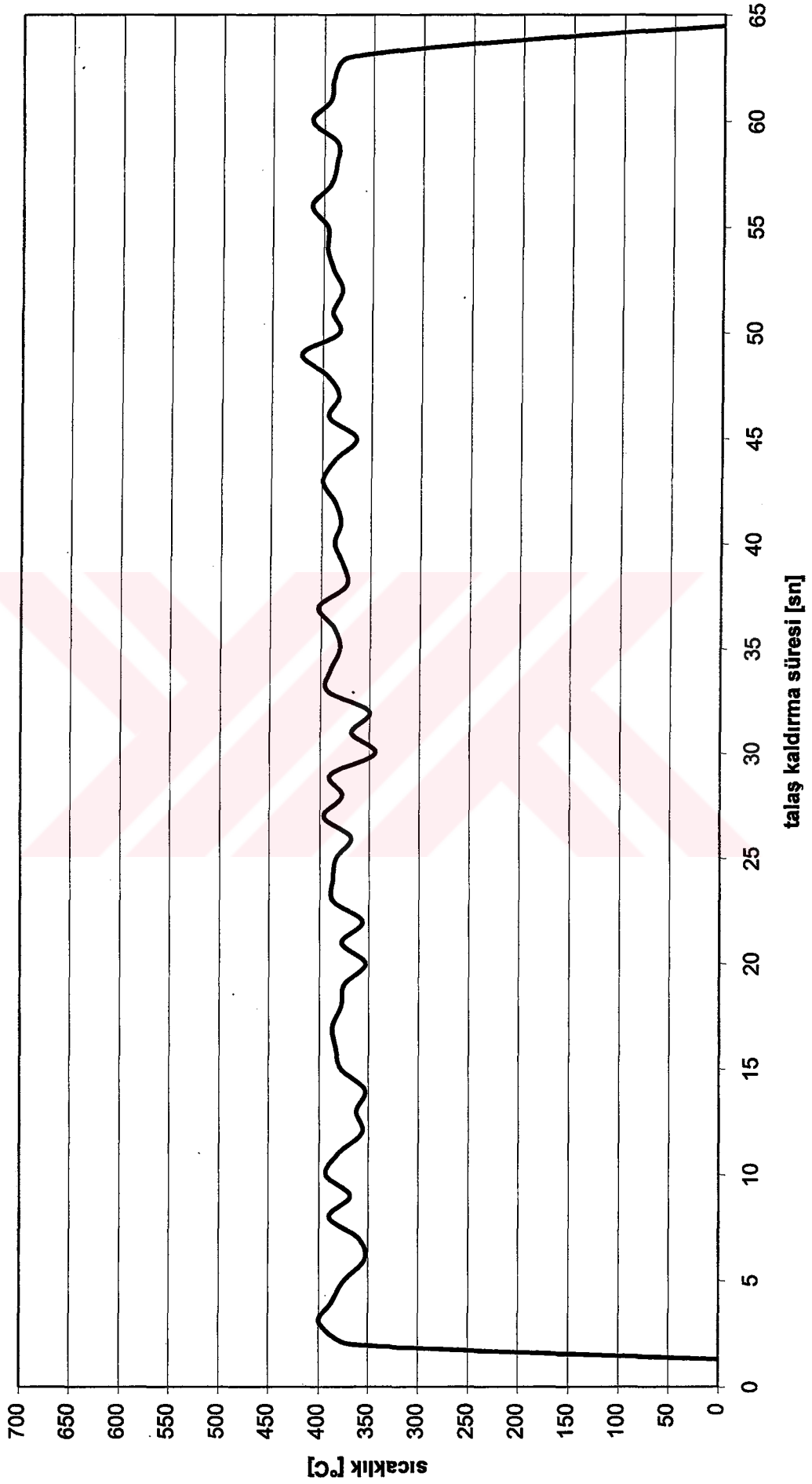




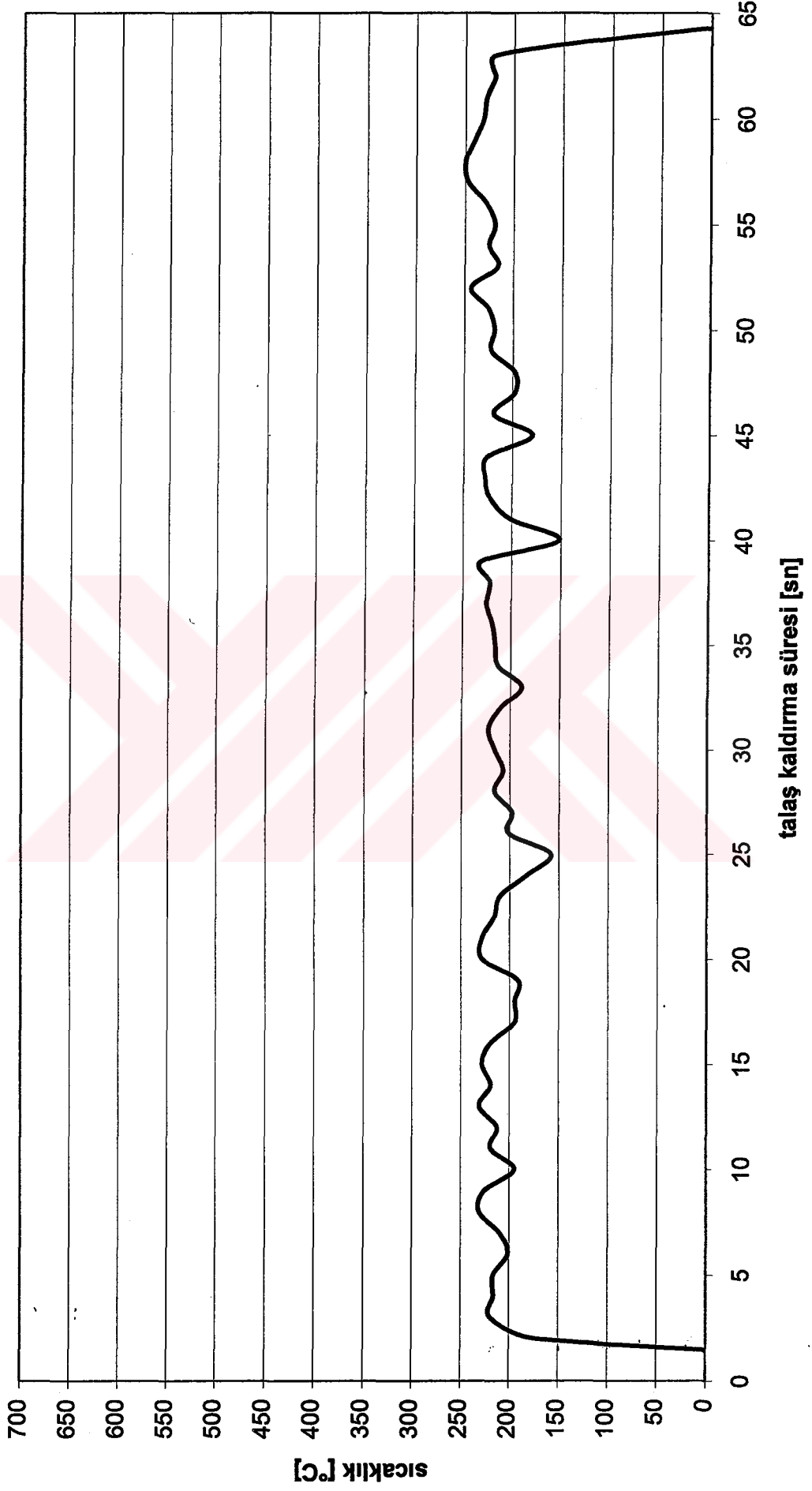
Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



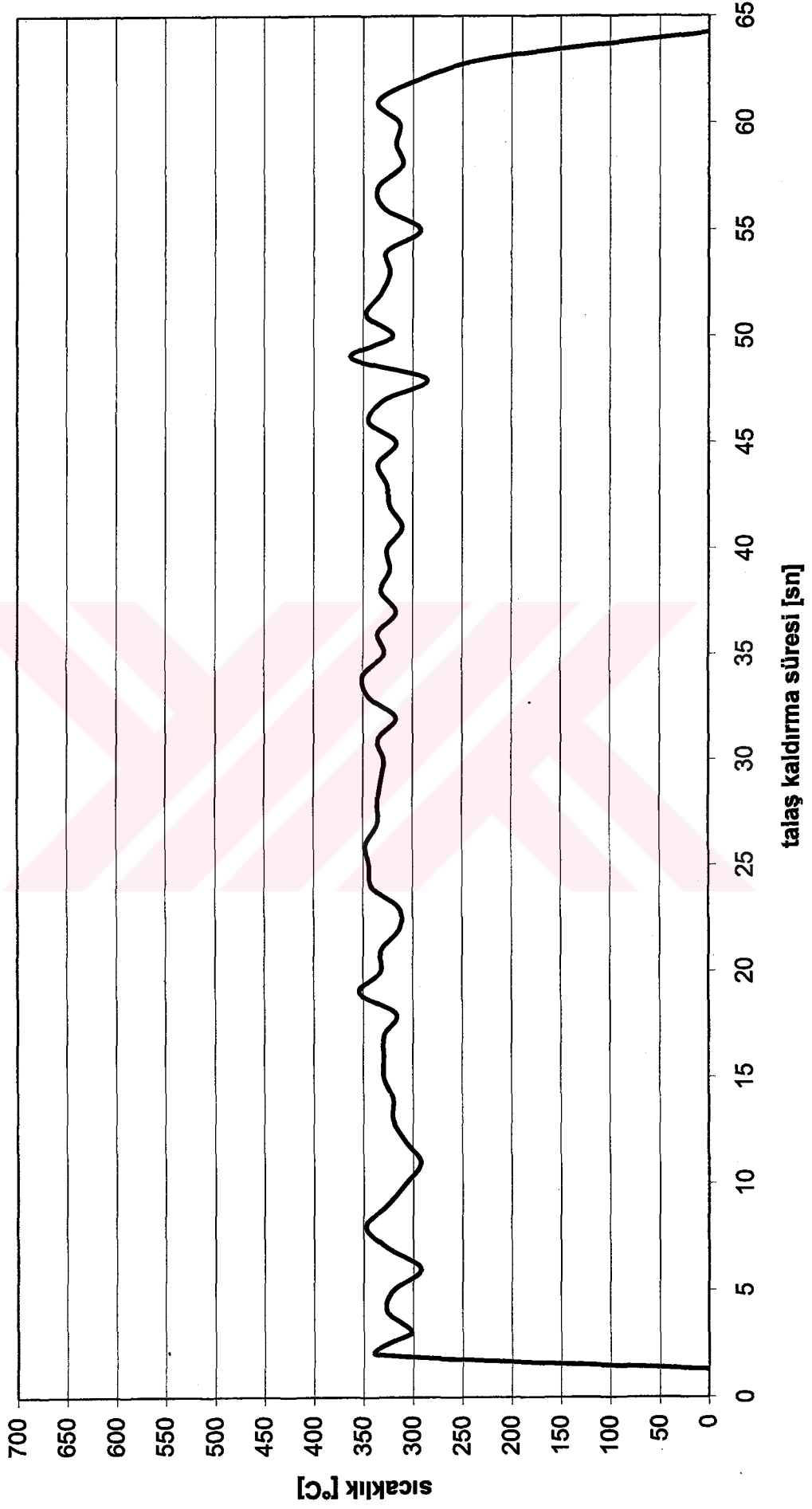
Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



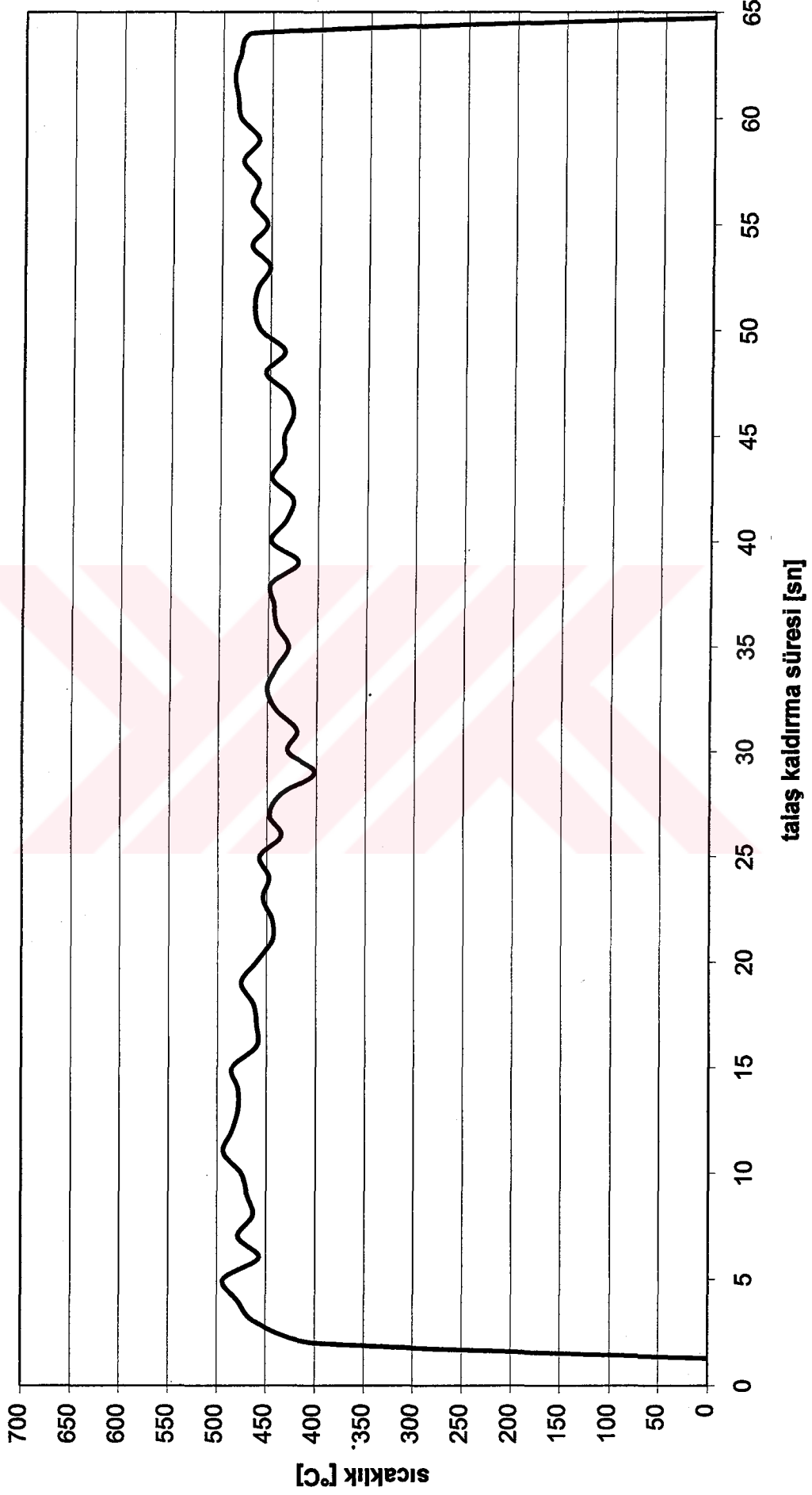
Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



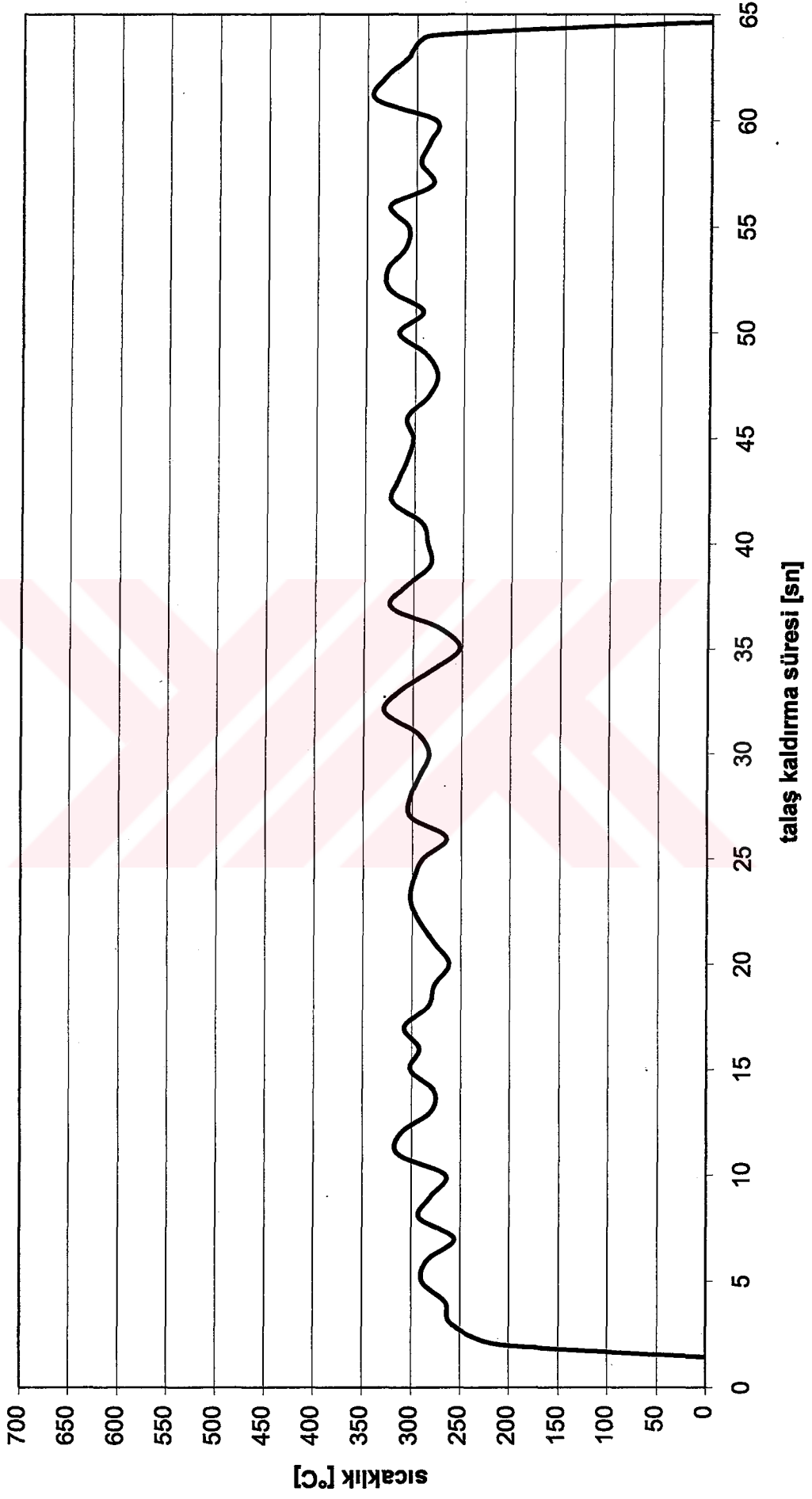
Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



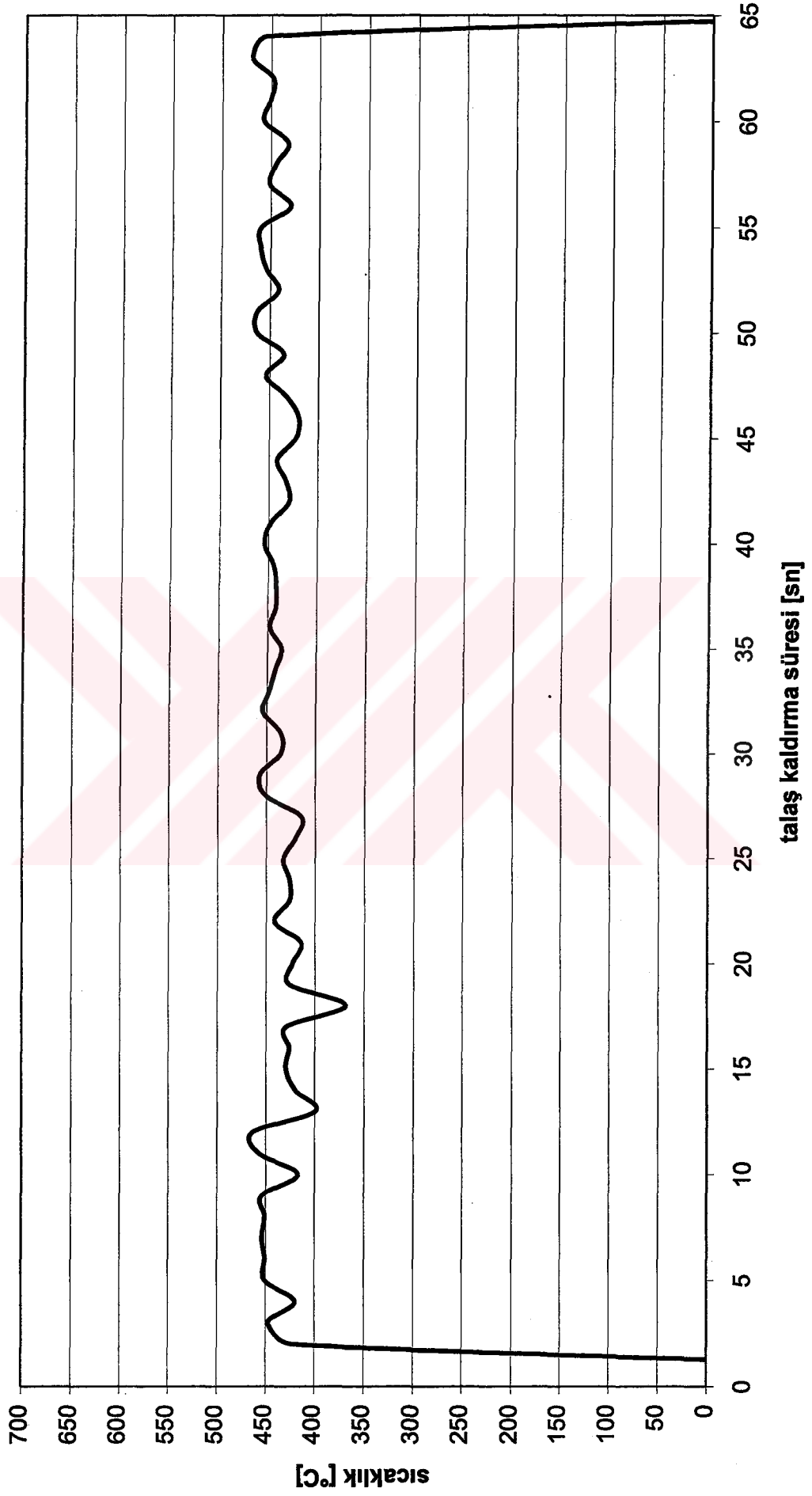
Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



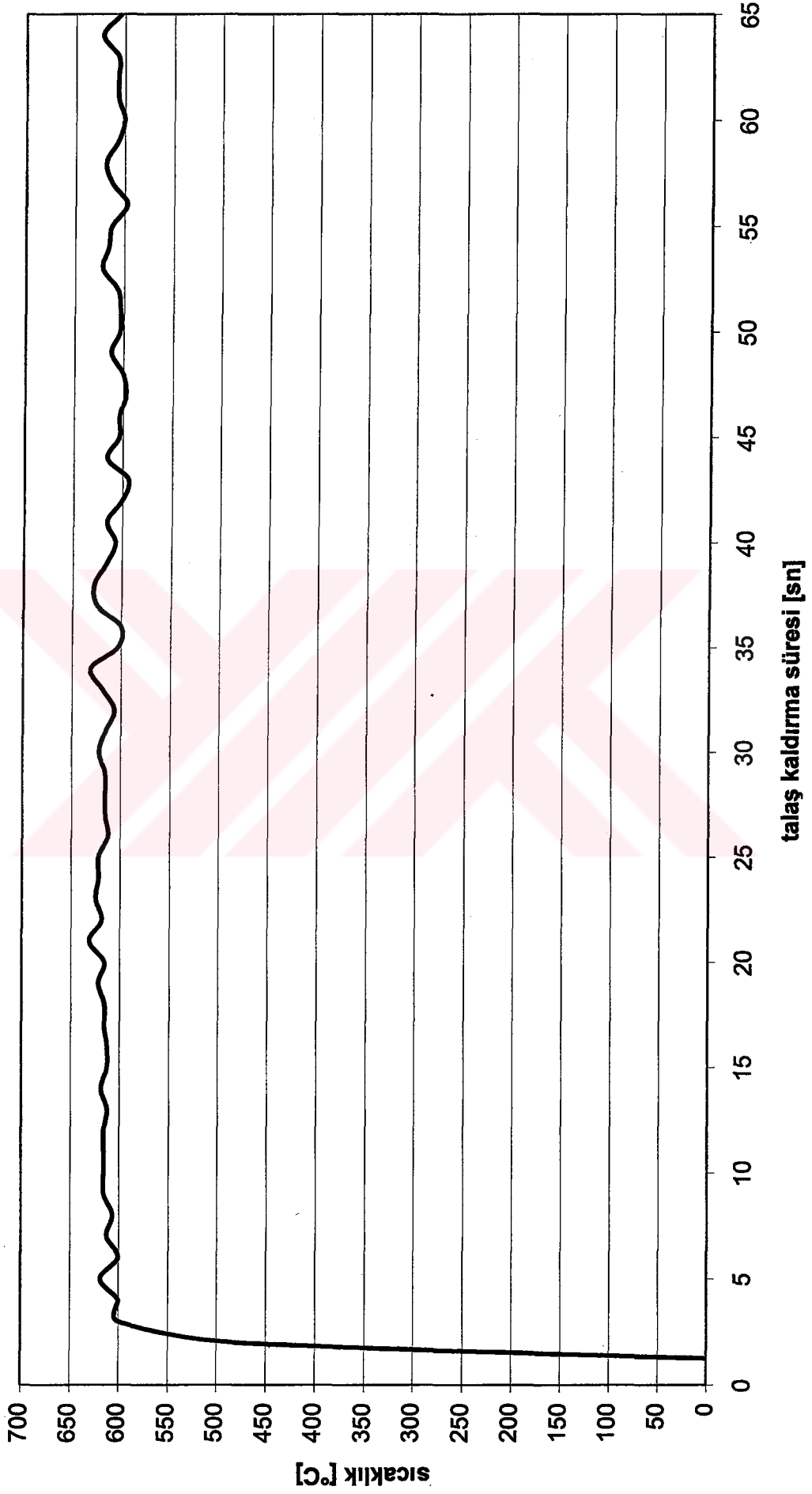
Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=20 m/dak /İllerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

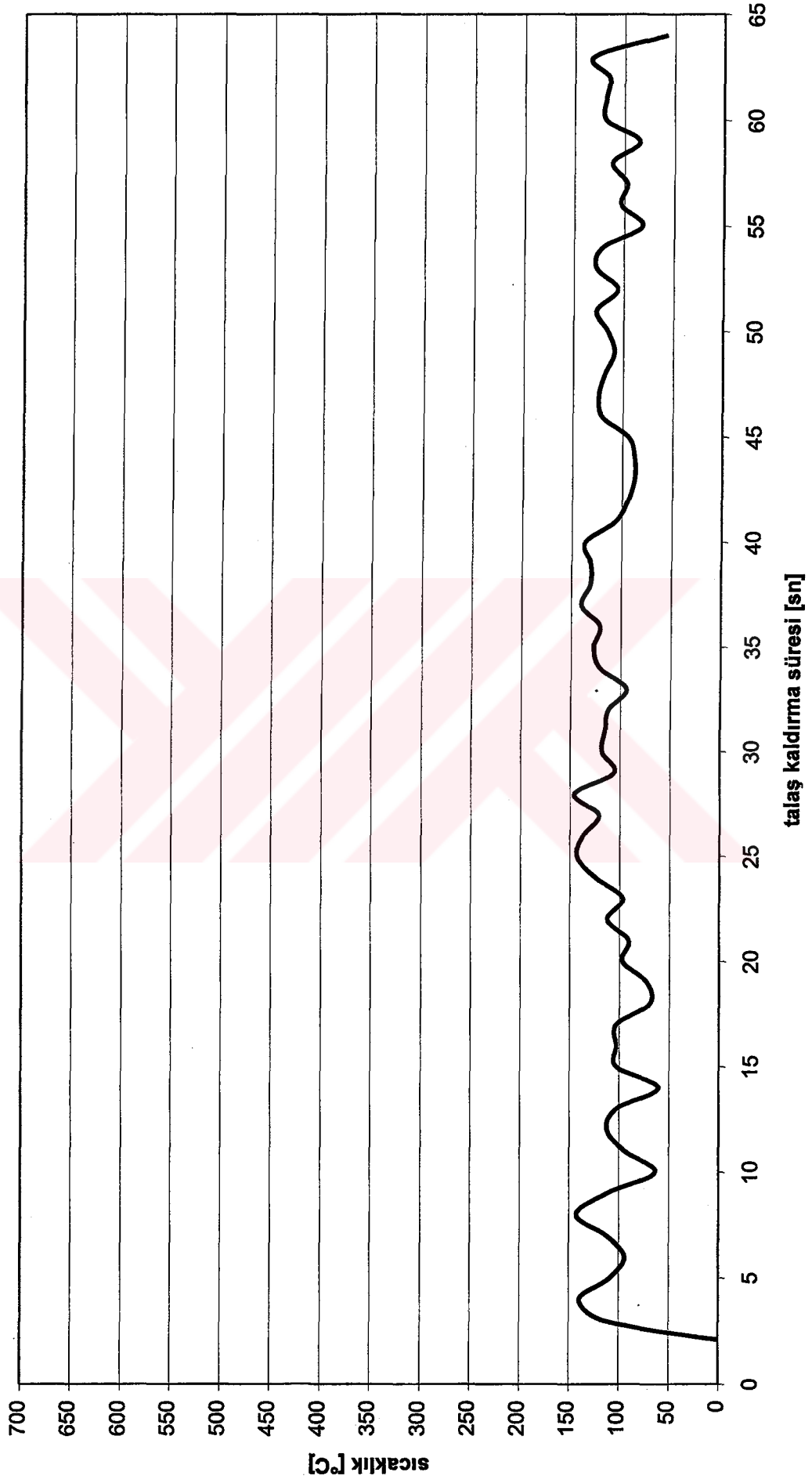


Talaş yüzeyi açısı 8°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

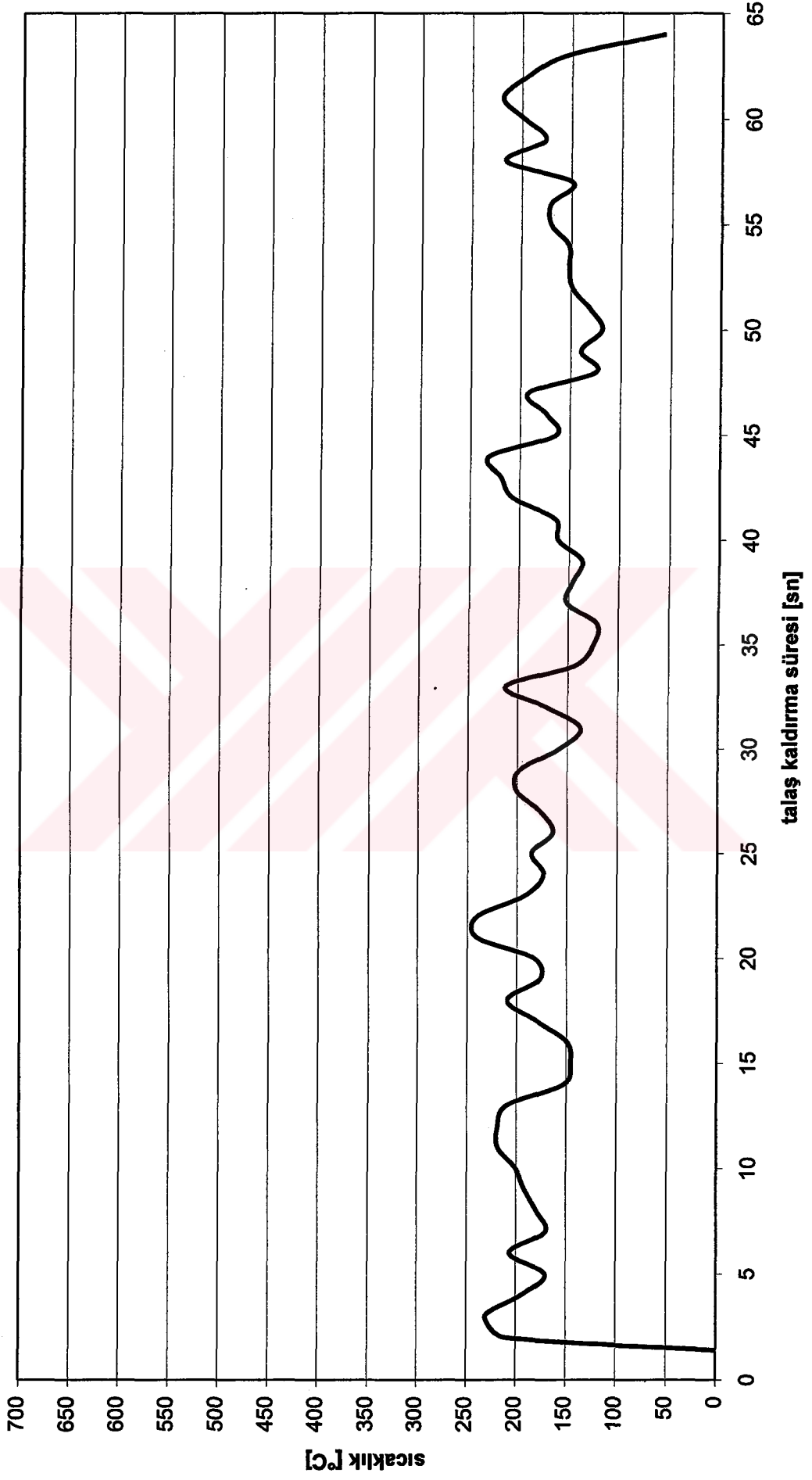




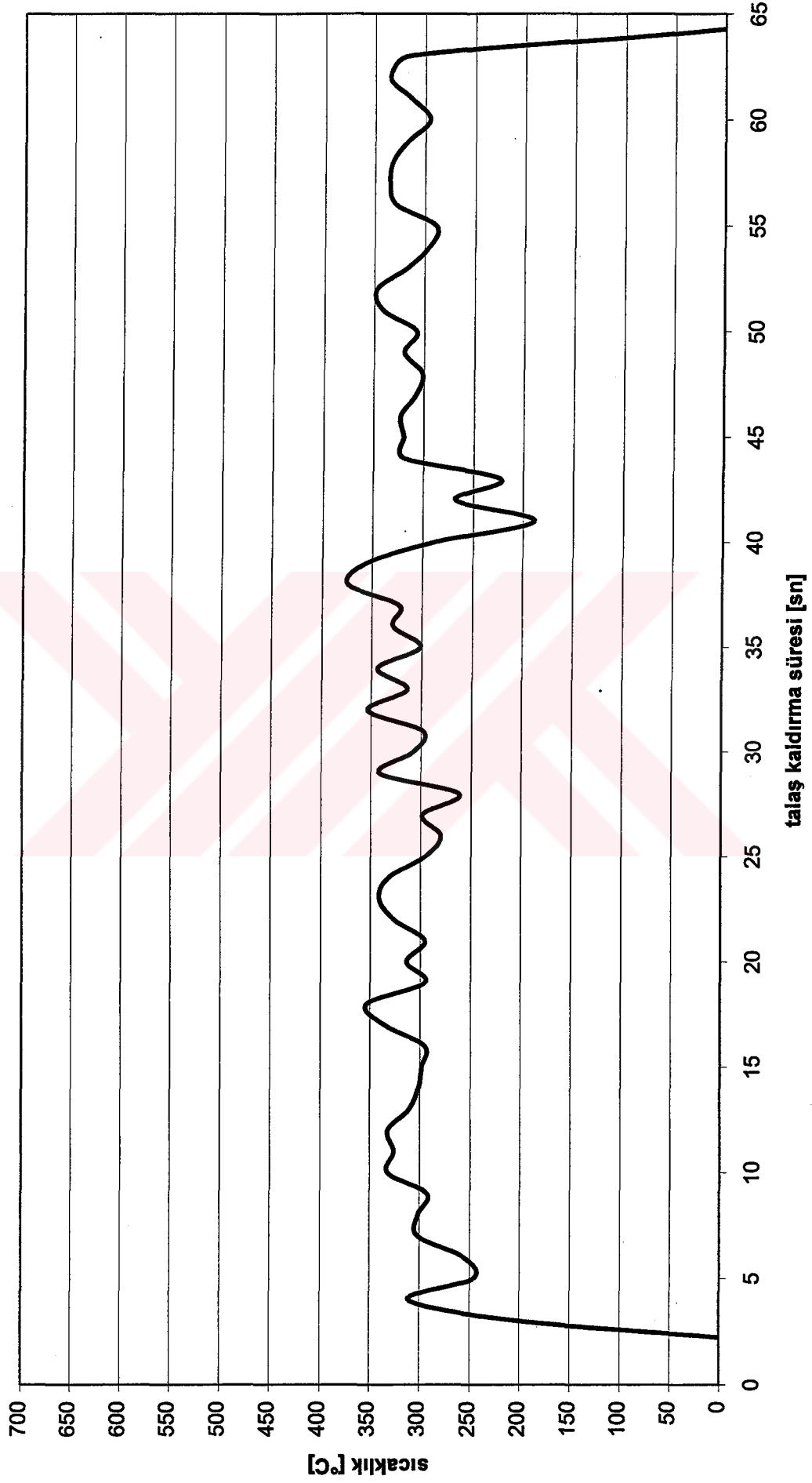
Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



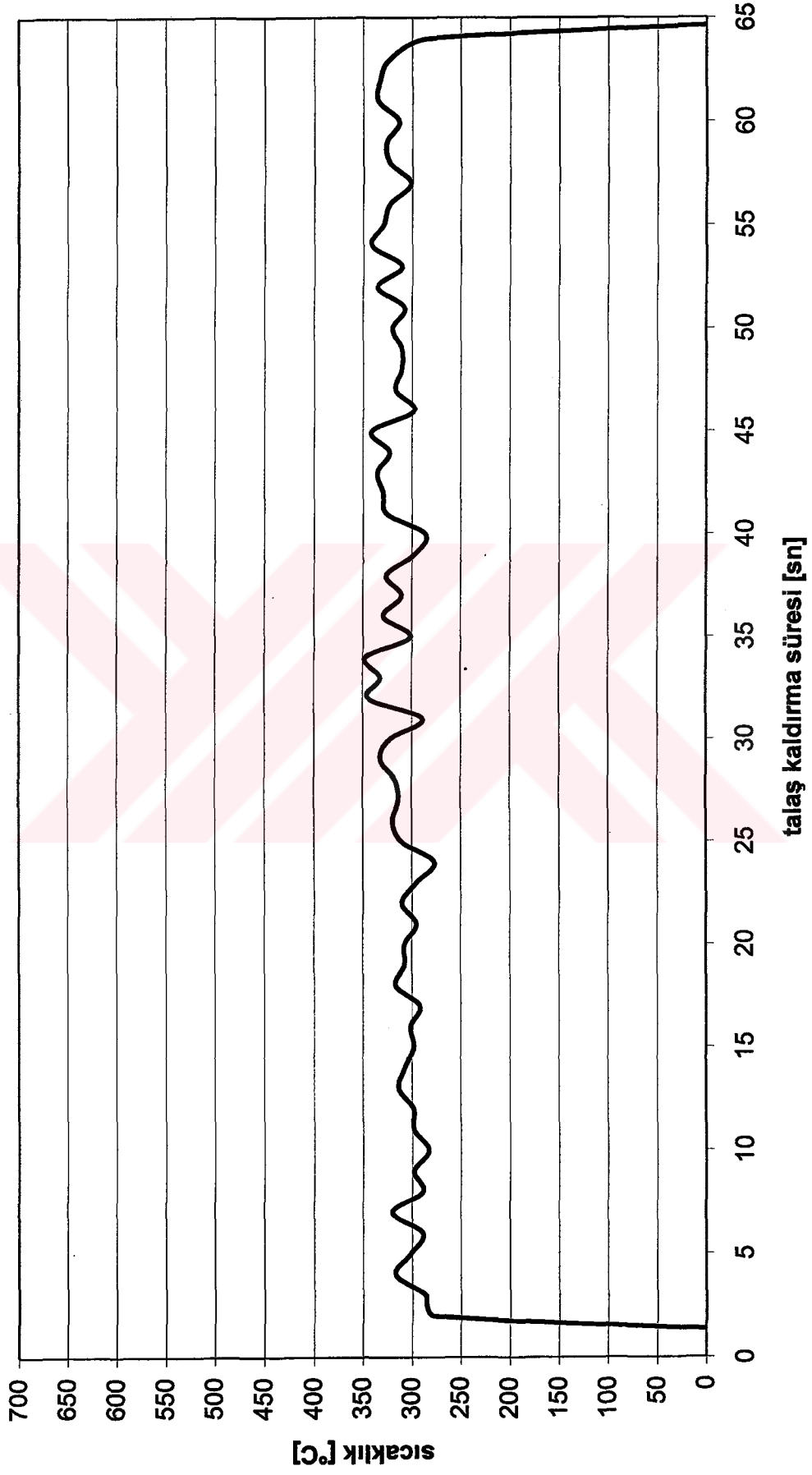
Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

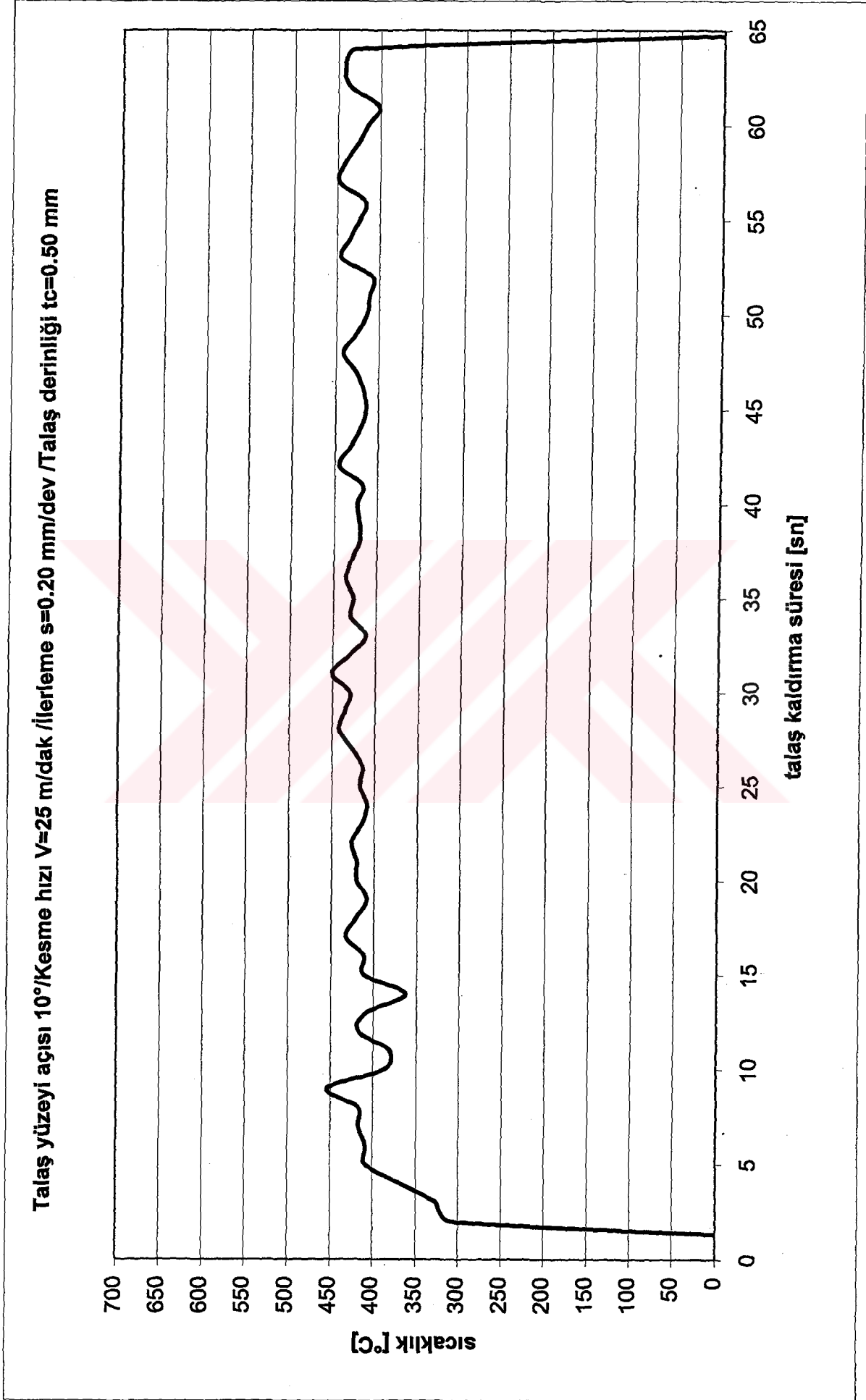


Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.12 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

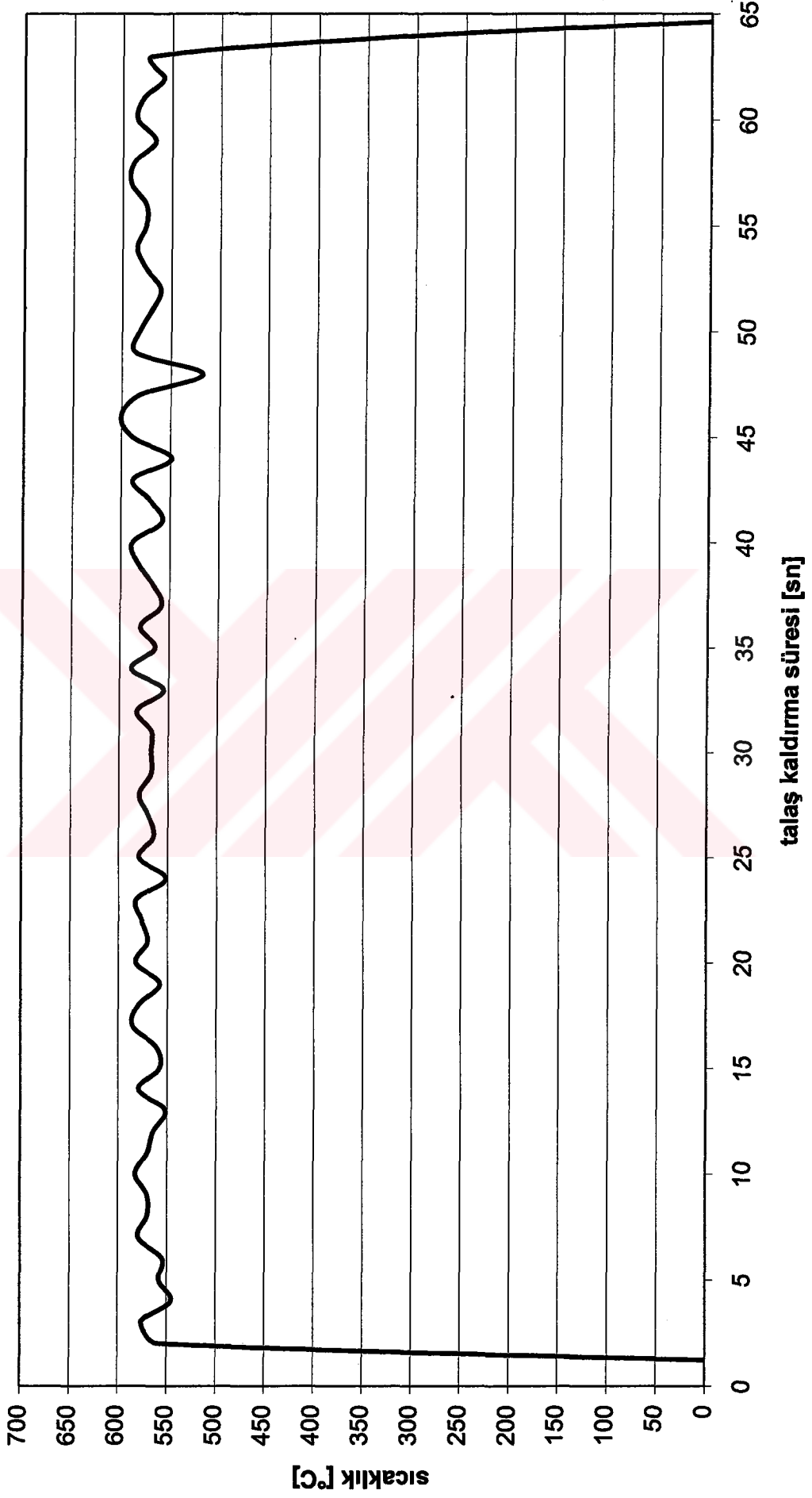


Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

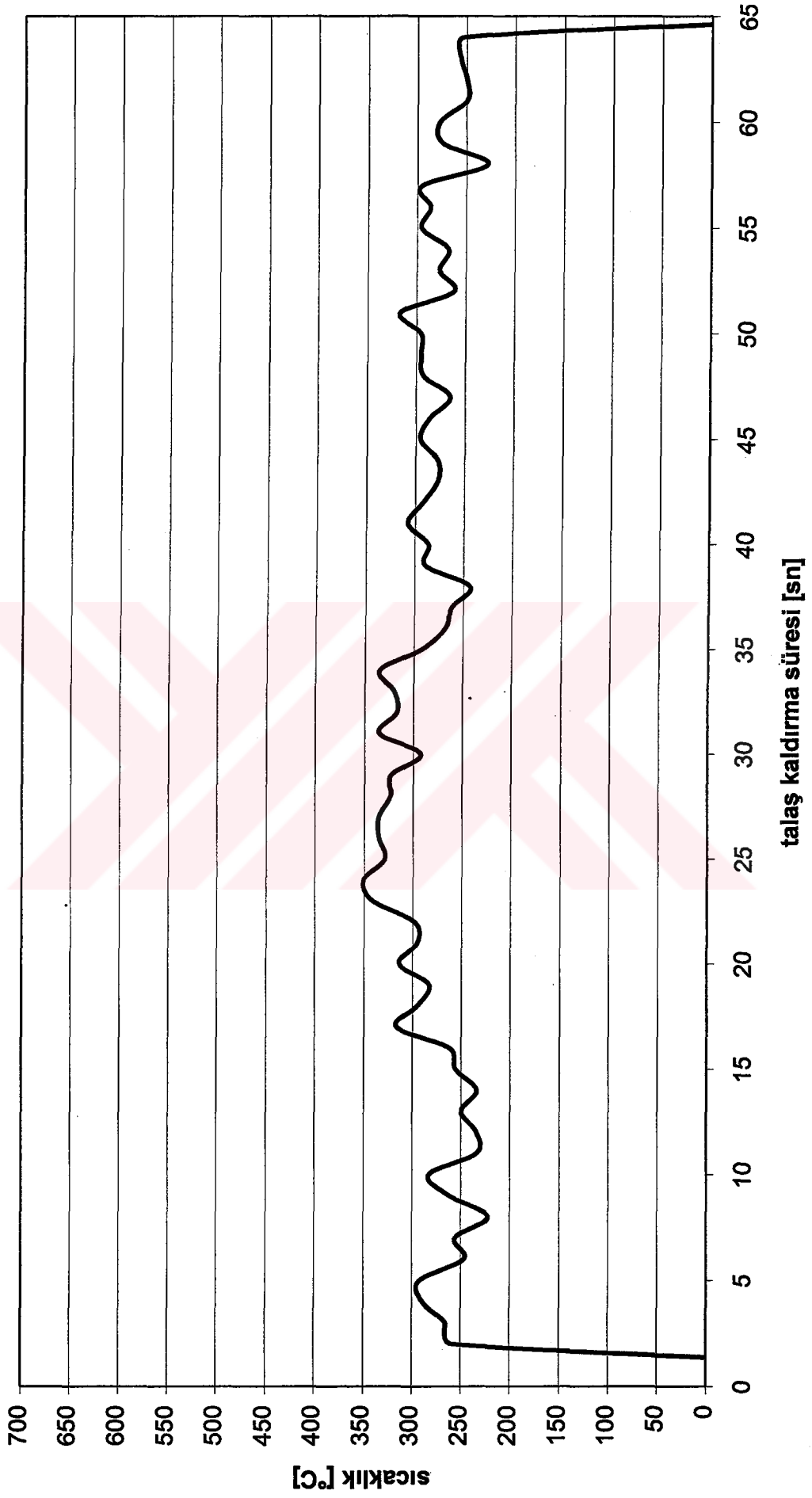




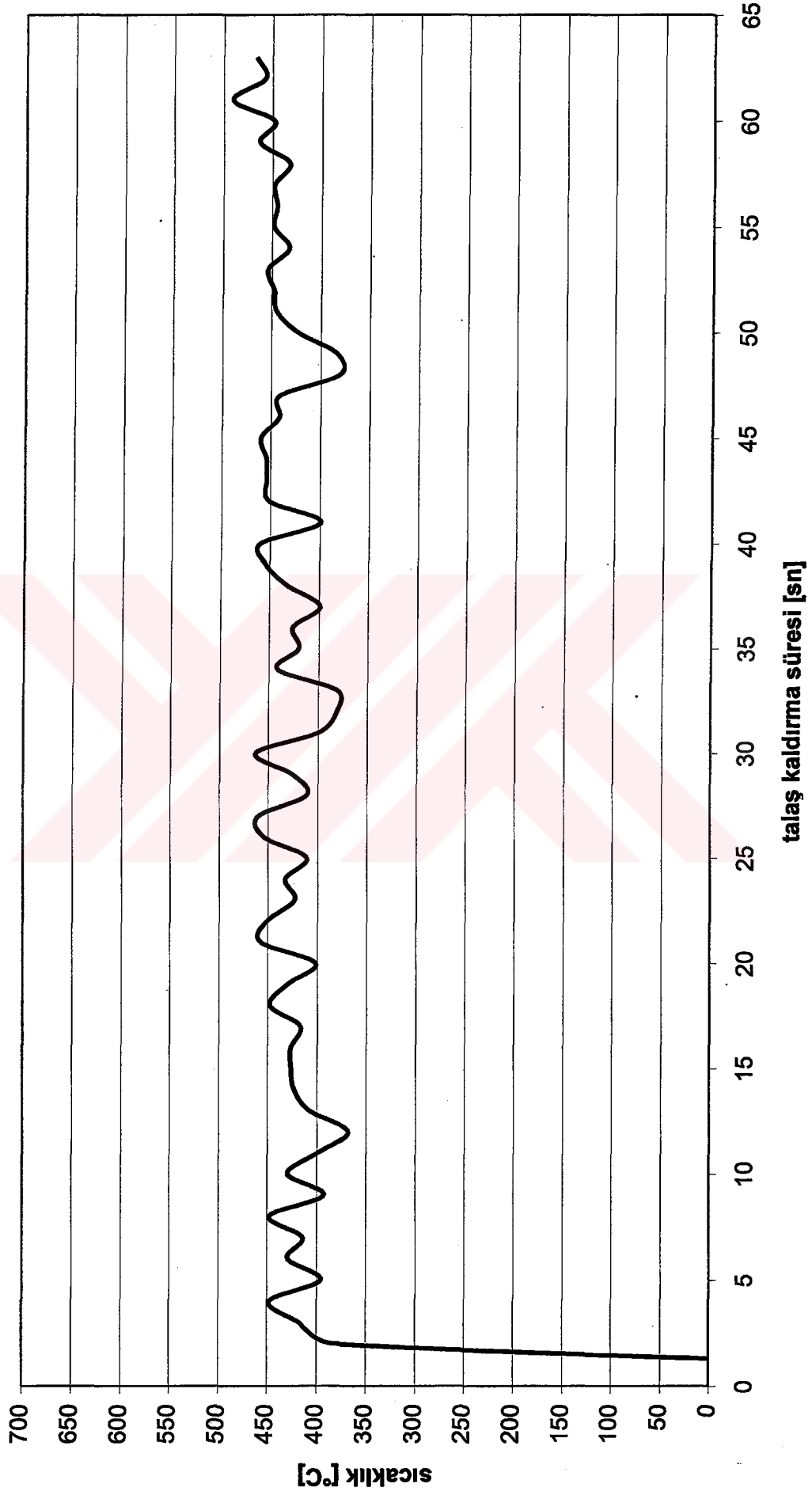
Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.20 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=20 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm

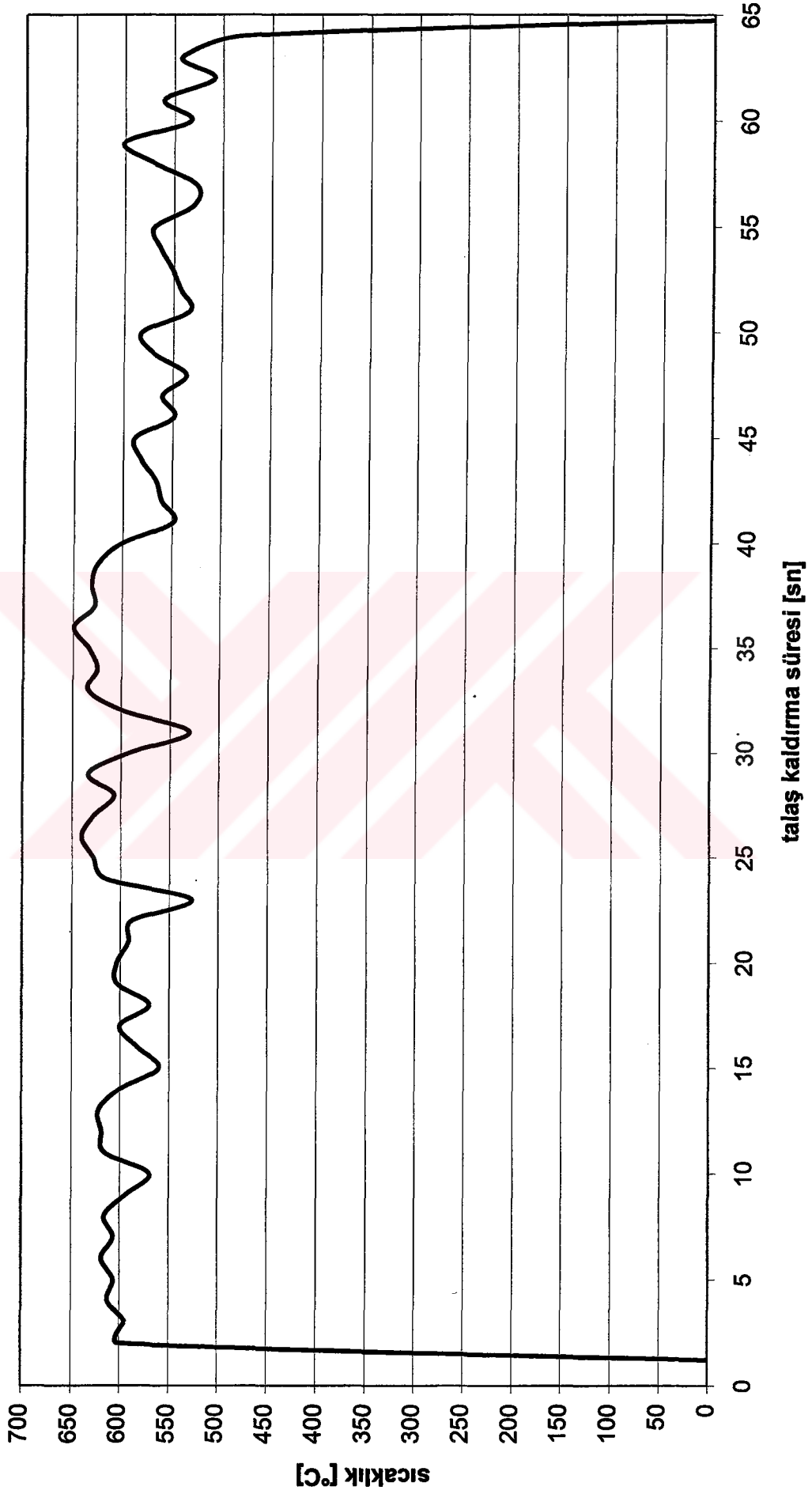


Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=25 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm





Talaş yüzeyi açısı 10°/Kesme hızı V=35 m/dak /İlerleme s=0.32 mm/dev /Talaş derinliği tc=0.50 mm



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	29.10.1969	
Doğum yeri	Tolbuhin	
Lise	1984-1988	Maçka Teknik Lisesi, Makine Bölümü, İstanbul.
Lisans	1988-1992	Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1992-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı
Askerlik	1997-1998	Hava Lojistik Komutanlığı, Hv.Müh.Teğ.

**Çalıştığı kurumlar**

1994-1996	Dilmenler Makine San.A.Ş., Üretim Şefi
1998- Haz.2001	Akın Tekstil A.Ş., Makine Bakım Şefi
Tem.2001-Devam ediyor	Dilmenler Makine San.A.Ş., Üretim Md.