

**NİKEL ESASLI INCONEL 718 SÜPER ALAŞIMININ
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Abdullah ALTIN

**DOKTORA TEZİ
(MAKİNA EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2005
ANKARA**

Abdullah ALTIN tarafından hazırlanan “Nikel Esaslı Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğinin İncelenmesi” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan YUMAK
(İkinci Danışmanı)

Prof. Dr. Muammer NALBANT
(Tez Yöneticisi)

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Faruk MENDİ

Üye : Prof. Dr. Muammer NALBANT (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mustafa KURT

Üye : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Üye : Doç. Dr. Mahmut İZCİLER

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

NİKEL ESASLI INCONEL 718 SÜPER ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Abdullah ALTIN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2005

ÖZET

Bu çalışmada, Inconel 718'in işlenmesi esnasında kesme parametrelerinin karbür ve seramik kesici takımlar için takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilerek, grafik ve resimlerle açıklanmıştır. Silikon nitrit esaslı seramik, whisker takviyeli alüminyum oksit esaslı seramik, CVD kaplamalı sementit karbür ve kaplamasız tungsten karbür takım kullanılarak soğutma sıvısı ortamında CNC torna tezgahında talaş kaldırılmıştır. Kesici takım üzerinde oluşan aşınmalar, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve takım ömrü için yanak aşınması, bir kriter olarak ele alınmıştır. Kaplamalı karbürlerde yanak aşınması, plastik deformasyon ve çentik, kaplamasız karbürlerde yanak aşınması ve çentik, seramik SNGN uçlarda krater ve yanak aşınması, seramik RNGN uçlarda ise yanak aşınması ve çentik aşınması daha fazla görülmüştür. Takım ömrü için yanak aşınma alanı genişliği esas alınmıştır.

2 mm'lik sabit talaş derinliği, 0.20 mm/rev.'lik sabit ilerlemede yanak aşınma alanı genişliği, yüzey kalitesi ve asıl kesme kuvveti yönünden İnconel 718' in SECO 883 RCMM kaplamasız karbür uç ile $V = 45$ m/min.'lik kesme hızında elde edilen optimum değerleri sırasıyla $V_{bb} = 0.08$ mm, $R_a = 0.45$ μ m ve $F_C = 1149$ N, KYON 4300 SNGN whisker takviyeli $Al_2O_3+SiC_w$ seramik uç ile $V = 150$ m/min.'lik kesme hızında ise sırasıyla, $V_{bb} = 0.13$ mm, $R_a = 1.22$ μ m ve $F_C = 852$ N olarak bulunmuştur.

Bilim Kodu : 728
Anahtar Kelimeler : Süper alaşımlar, İnconel 718, kesme kuvvetleri, Takım ömrü deneyleri, Yanak aşınması, İşlenebilirlik,
Sayfa adedi : 207
Tez yöneticisi : Prof. Dr. Muammer NALBANT

**THE REVIEW ON MACHINABILITY OF INCONEL 718 NICEL BASE
SUPER ALLOY**

(Ph. D. Thesis)

Abdullah ALTIN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2005

ABSTRACT

In this study, analysis of tool life, cutting forces and surface roughness for the machining of Inconel 718 with carbide and ceramic cutting tools was carried out and the results were shown graphically. Metal cutting process is done with cutting floods by using Silicon nitride based ceramic, aluminium oxide based whisker reinforced ceramic, CVD coated cemented carbide and uncoated tungsten carbide cutting tools in CNC machine Tool. Assuming flank wear as a criterion; tool wear, cutting forces and surface roughness were measured. Flank wear, plastic deformation and notch for coated carbides; Flank wear and notch for uncoated carbides; crater and flank wear for SNGN inserts, Flank wear and notch wear for ceramic RNG inserts were seen. Width of flank wear area was considered as a main case for the tool life.

Optimum values of width of flank wear area, surface roughness and main cutting force for Inconel 718 were found to be $V_{bb} = 0.08$ mm, $R_a = 0.45$ μ m ve $F_C = 1149$ N, respectively, in 2 mm constant depth of cut, 0.20 mm/rev constant feed rate, $V = 45$ m/min cutting speed and by using uncoated SECO 883 RCMM carbide insert. The optimum values were found to be $V_{bb} = 0.13$ mm, $R_a = 1.22$ μ m and $F_C = 852$ N by using 4300 SNGN whisker reinforced cutting tool at the cutting speed of 150 m/min.

Science code	: 728
Key word	: Super Alloys, Inconel 718, Cutting forces, Tool Life, Flank Wear, Carbide Insert.
Paper number	: 207
Adviser	: Prof. Dr. Muammer NALBANT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca engin tecrübeleri, değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen ve beni her an destekleyen danışmanım Prof. Dr. Muammer NALBANT'a, yine tezimin her aşamasında sınırsız bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, destek olan ve teşvik eden Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, yaptığım çalışmalarda bana yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa KURT'a, Öğretim Görevlisi Dr. Ahmet TAŞKESEN'e, Araştırma Görevlileri Abdullah KURT ve Mustafa GÜNAY'a, Eskişehir TUSAŞ'ta yaptığım çalışmalarda bana yardımcı olan uçak mühendisleri Mubin ŞANLI ve Ali KILIÇ'a, Makine Mühendisleri Mutlu DOĞRAMACI ve Özgür YAMAN'a, Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında bana yardımcı olan sayın Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU' na, Araştırma Görevlisi Ferhat BÜLBÜL'e, KENNAMETAL TR AŞ. Satış ve Pazarlama müdürlüğünde görevli sayın İlhan ERYENER ve Taner ÇINAR'a her zaman manevi desteği ile yanımda olan eşim Süreyya ve çocuklarım Cihat, Cihan, Tuğba ve Hilal'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1. GİRİŞ	1
2. SÜPER ALAŞIMLAR	3
2.1. Süper Alaşımların Gelişim Süreci	5
2.2. Süper Alaşımların Metalürjisi	7
2.3. Süper Alaşımların Sınıflandırılması	8
2.3.1. Nikel esaslı süper alaşımlar	10
2.3.2. Demir esaslı süper alaşımlar	24
2.3.3. Kobalt esaslı süper alaşımlar	25
2.3.4. Dökümler ve dövmelemler	26
2.4. Süper Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışları	27
2.4.1. Sürünme/Gerilme-kopma	27
2.4.2. Metalürjik kararsızlık	27
2.5. Süper Alaşımların Toz Metalürjisinde Kullanımı	28
2.6. Süper Alaşımların Kullanılma Yerlerine Göre Seçimi	29

Sayfa

2.7. Yeni Yaklaşımlar.....	30
3. Talaşlı İmalat ve İşlenebilirlik	31
3.1. Talaşlı İmalat Mekanığı ve Talaş Oluşumu	31
3.2. İşlenebilirlikte Esas Alınan Kriterler.....	33
3.3. İşlenebilirlik ve Deney Metotları	34
3.4. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	35
3.5. Mikroyapı'nın Etkisi	35
3.6. Isıl-İşlem.....	35
3.7. Alaşım Elementlerinin Etkisi	35
3.8. Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Etkisi	36
3.9. Nikel Esaslı Süper Alaşımların İşlenebilirliği.....	36
3.10. Nikel Esaslı Süper Alaşımların İşlenmesinde Yüzey Entegrasyonu.....	37
3.11. Takım Ömrü	40
3.12. Kesici Takım Malzemeleri ve Gelişimi.....	41
3.12.1. Kaplamasız karbür takımların gelişimi	41
3.12.2. Kaplamalı sementit karbür kesici takımların gelişimi.....	42
3.12.3. Silikon nitrit esaslı seramik uçlu takımlar (SİYALON)'ın gelişimi ..	44
3.12.4. Whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu takımların ($Al_2O_3+SiC_w$) gelişimi	44
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	46
4.1. Giriş	46
4.2. Inconel 718' in İşlenebilirliğini Ele Alan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları.	47

Sayfa

4.3. Takım Ömrü ve Takım Aşınmasını Değerlendiren Deneysel Literatür Çalışmalarının Sonuçları	65
4.4. Literatür Araştırmasının Genel Değerlendirmesi	76
5. MATERYAL VE METOD	80
5.1. Takım Tezgahları ve Özellikleri.....	80
5.2. Kuvvet Ölçme Sistemi ve Dinamometre.....	81
5.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Takımlar	83
5.3.1. Deney numuneleri	83
5.3.2. Kullanılan kesici takımlar ve özellikleri	89
5.3.3. Deneylerde kullanılan kesici takım katerleri.....	98
5.4. Kesme Parametrelerinin Tayini	98
5.5. Deney Yöntemi.....	99
6. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA	103
6.1. Talaş Kaldırma Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Aşınma Şekilleri, Talaş Oluşumu, Kesme Kuvvetler ve Yüzey Pürüzlülük Değerleri	103
6.1.1. Sementit karbür takımlar ile işlemede, oluşan aşınma miktarı, talaş oluşumu, asıl kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük durumu	103
6.1.2. Seramik takımlar ile işlemede, oluşan aşınma şekli, talaş oluşumu, asıl kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük durumu	115
6.2. Inconel 718'in İşlenmesinde Kesici Takımlarda Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Ölçüm Sonuçlarının Grafikler ile Açıklanması	125
6.2.1. Kaplamalı sementit karbür KC 935 SCMT 12 04 12 MF kesici takımın kesme hızı kesme kuvvetleri.....	125
6.2.2. Kaplamalı sementit karbür (KC 9225 12 04 12) takımın kesme hızı kesme kuvvetleri değişimi.....	126
6.2.3. Kaplamalı sementit karbür (SECO 560) kesici takımın kesme hızı-kesme kuvvetleri değişimi	127

Sayfa

6.2.4. Kaplamasız karbür (SECO 883) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi.....	128
6.2.5. Silikon nitrit esaslı (KYON 2100 SNGN 12 07 12 T 010 020) seramik takımın kesme hızı-kesme kuvvetleri değişimi	129
6.2.6. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_W$) seramik (KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi	130
6.2.7. Silikon nitrit esaslı seramik (KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi	131
6.2.8. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_W$) seramik (KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi	132
6.3. Inconel 718'in Farklı Kesici Takımlar İle İşlenmesinde Elde Edilen Optimum Kesme Parametreleri.....	133
6.4. Deney'e Tabi Tutulan Inconel 718 Malzemesi'nin Farklı Kesme Hızlarında İşlenme Süresi ve Kesici Takım Ömürleri	134
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	138
7.1. Sonuçlar.....	138
7.2. Öneriler.....	142
KAYNAKLAR	144
EKLER.....	153
EK-1 KC 935 SCMT 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	154
EK-2 KC 935 SCMT 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	155
EK-3 KC 935 SCMT 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	156
EK-4 KC 935 SCMT 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	157
EK-5 KC 935 SCMT 5. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	158
EK-6 KC 9225 SCMT 1.deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	159
EK-7 KC 9225 SCMT 2.deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	160

Sayfa

EK-8 KC 9225 SCMT 3.deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	161
EK-9 KC 9225 SCMT 4.deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	162
EK-10 KC 9225 SCMT 5.deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	163
EK-11 SECO 560 45 F1 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	164
EK-12 SECO 560 45 F1 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	165
EK-13 SECO 560 45 F1 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	166
EK-14 SECO 560 45 F1 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	167
EK-15 SECO 560 45 F1 5. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	168
EK-16 SECO 883 RCMM 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	169
EK-17 SECO 883 RCMM 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	170
EK-18 SECO 883 RCMM 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	171
EK-19 SECO 883 RCMM 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	172
EK-20 SECO 883 RCMM 5. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	173
EK-21 KYON 2100 SNGN 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	174
EK-22 KYON 2100 SNGN 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	175
EK-23 KYON 2100 SNGN 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	176
EK-24 KYON 2100 SNGN 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	177
EK-25 KYON 4300 SNGN 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	178
EK-26 KYON 4300 SNGN 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	179
EK-27 KYON 4300 SNGN 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	180
EK-28 KYON 4300 SNGN 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	181
EK-29 KYON 2000 RNGN 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	182

Sayfa

EK-30 KYON 2000 RNGN 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	183
EK-31 KYON 2000 RNGN 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	184
EK-32 KYON 2000 RNGN 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	185
EK-33 KYON 4300 RNGN 1. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	186
EK-34 KYON 4300 RNGN 2. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	187
EK-35 KYON 4300 RNGN 3. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	188
EK-36 KYON 4300 RNGN 4. deney parametreleri, talaş oluşumu, aşınma şekli ve kesme kuvvetleri grafiği	189
EK-37 SECO 883 RCMM 120400 kesici takım ile 30 m/min. kesme hızı, 2 mm talaş derinliği, 0,20mm ilerleme ile Inconel 718'in işlenmesinde elde edilen talaş resmi	190
EK-38 KC 935 SCMT 120412 MF sementit karbür takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kuvvet grafikleri	191
EK-39 KC 9225 SCMT 120412 MF sementit karbür takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri	192
EK-40 SECO 560 43 F1-RCMT 120400 sementit karbür takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri	193
EK-41 SECO 883 RCMM 12 04 00 sementit karbür takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri.....	194
EK-42 KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 seramik takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri	195
EK-43 KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 seramik takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri	196
EK-44 KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020 seramik takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri	197
EK-45 KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020 seramik takımın aşınma, talaş oluşumu resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri	198
EK-46 KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 kesici takımın tarayıcı (scanner)' da taranarak elde edilen aşınma resmi	199
EK-47 Kesici takımlarda oluşan aşınma şekilleri ve öneriler	200
EK-48 Inconel 718 alaşım fazının nicel olarak analizi	201
EK-49 Inconel 718' in kaplamasız ve kaplamalı karbür takımlar ile işlenmesinde deneysel parametreler ve sonuçları	202
EK-50 Kesici takım malzemeleri ve iş parçasının mekanik ve termal özellikleri.....	203
EK-51 Sementit karbür takım malzemelerin ana özellikleri.....	204
EK-52 Sementit karbür takım malzemeler ana özellikleri.....	205

Sayfa

EK-53 INCONEL 718 malzeme özellikleri raporu	206
ÖZGEÇMİŞ	207

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması	9
Çizelge 2.2. Nikel esaslı süper alaşımların kimyasal bileşimleri.....	11
Çizelge 2.3. Süper alaşımlardaki bazı elementlerin etkileri.....	17
Çizelge 3.1. Seramik takımlarda Inconel 718 işlendiği zaman yanak aşınma ve yüzey pürüzlülük değerleri	39
Çizelge 3.2. Bazı karbürlerin özellikleri	42
Çizelge 3.3. Kesici takımların optimum kesme hızları	46
Çizelge 5.1. OKUMA LB-45-II CNC Torna tezgahının özellikleri	80
Çizelge 5.2. JOHNFORD T35 CNC Torna Tezgahının Özellikleri	81
Çizelge 5.3. Inconel 718' in kimyasal bileşimleri	87
Çizelge 5.4. Inconel 718' in mekanik özellikleri	87
Çizelge 6.1. Sementit karbür takımlarla Inconel 718' in işlenmesi sonucunda oluşan aşınma şekilleri	114
Çizelge 6.2. Seramik takımlarda Inconel 718 işlenirken oluşan aşınma şekilleri....	124
Çizelge 6.3. Talaş derinliği (2 mm) ve ilerleme (0,2 mm/rev.) sabitken farklı kesme hızlarında Inconel 718'in işlenmesinde elde edilen optimum kesme parametreleri	134
Çizelge 6.4. Taylor denklemi ile hesap sonucunda kullanılan kesme hızlarına göre Karbür takımlarda elde edilen takım ömürleri	135
Çizelge 6.5. Taylor denklemi ile hesap sonucunda kullanılan kesme hızlarına göre seramik takımlarda elde edilen takım ömürleri.....	136

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımları	7
Şekil 3.1. Takım ucu (plaket) seçiminde dikkate alınması gereken faktörler	32
Şekil 3.2. Dik kesmede talaş modeli	32
Şekil 3.3. Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler	33
Şekil 3.4. Tornalama işleminde İşlenebilirlik ve giriş çıkış parametreleri	34
Şekil 4.1. Kaplamalı (GC 3015 TiC + Al ₂ O ₃) ve kaplamasız karbür uçlarda takım ömrü için Taylor'un takım üssü değerleri.....	67
Şekil 4.2. Sabit ilerleme hızı (f=0,20mm/rev.) ve farklı talaş derinliğinde (d=talaş derinliği, 2 mm) kesme hızına bağlı olarak F _c , F _f , F _p kuvvetlerinin değişimi (a) d=0.50mm, (b) d=1.00mm, (c) d=1.50mm.....	68
Şekil 4.3. 0.30 mm/rev. sabit ilerlemede kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetinin değişimi (a) d=0.50 mm, (b) d=1.00 mm, (c) d=1.50mm.....	69
Şekil 4.4. Farklı kesme hızlarında, talaş derinliği ve ilerleme hızlarına bağlı esas (asıl) kesme kuvvetinin değişimi	70
Şekil 4.5. Kaplamalı ve kaplamasız karpit takımlar için kesme zamanına karşı oluşan ortalama yanak aşınma miktarları.....	73
Şekil 4.6. Farklı kesme şartlarında takım malzemesine bağlı takım ömrü kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür takım malzemesine bağlı takım ömrü	74
Şekil 5.1. Kesme kuvvetleri ölçüm düzeni ve bir dinamometre ünitesinin şematik görünümü.....	82
Şekil 5.2. Aşınma deneylerinde kullanılan Inconel 718 işlenmemiş parça resmi..... Aşınma deneylerinde kullanılan CNC okuma 45 LB torna tezgahı.....	86
Şekil 5.3. Aşınma deneylerinde kullanılan Inconel 718 işlenmiş parça resmi	86
Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan AMS 5663 Inconel 718' in SEM' de çekilmiş elementar (EDS) analizi	88

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. KC 935 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMETAL) kaplamalı sementit karbür takımının SEM' de çekilmiş elementar analizi	90
Şekil 5.6. KC 9225 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMETAL) kaplamalı sementit karbür takımının SEM' de çekilmiş elementar analizi (EDS)	91
Şekil 5.7. SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00) kaplamalı sementit karbür takımının SEM' de çekilmiş elementar analizi.....	92
Şekil 5.8. SECO 883 RCMM 12 04 00) kaplamasız sementit karbür takımının..... SEM' de çekilmiş elementar analizi.....	93
Şekil 5.9. KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01 020 (KENNAMETAL) silikon nitrit esaslı seramik (SİYALON) takımının SEM' de çekilmiş elementar analizi (EDS)	95
Şekil 5.10. KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 (KENNAMETAL) silikon nitrit esaslı seramik (SİYALON) takımının SEM' de çekilmiş elementar analizi	96
Şekil 5.11. KYON 4300 RNGN 12 07 00 T01 020 (KENNAMETAL) whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takımının ($Al_2O_3+SiC_w$) SEM' de çekilmiş elementar analizi.....	97
Şekil 5.12. KYON 4300 SNGN 12 07 00 T01 020 (KENNAMETAL) whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takımının ($Al_2O_3+SiC_w$) SEM' de çekilmiş elementar analizi.....	98
Şekil 5.13. TS 10329'a göre kesme şartları.....	99
Şekil 6.1. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile ortalama yanak aşınması (V_{BB}) arasındaki ilişki.....	104
Şekil 6.2. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile maksimum yanak aşınması ($V_{BB\ max}$) arasındaki ilişki	105
Şekil 6.3. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı(V) ile yüzey pürüzlülüğü (Ra) arasındaki ilişki.....	111

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile asıl kesme kuvveti (F_c) arasındaki ilişki.....	113
Şekil 6.5. Dört farklı Seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı(V) ile ortalama yanak aşınması (V_{BB}) arasındaki ilişki.....	116
Şekil 6.6. Dört farklı Seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı(V) ile maksimum yanak aşınması ($V_{BB \max}$) arasındaki ilişki.....	117
Şekil 6.7. Dört farklı Seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı ile asıl kesme kuvveti (F_c) arasındaki ilişki	121
Şekil 6.8. Dört farklı Seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasındaki ilişki	123
Şekil 6.9. Kaplamalı sementit karbür (KC 935 SCMT 12 04 12 MF) takımın (KENNAMETAL) sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi	124
Şekil 6.10. Kaplamalı sementit karbür (KC 9225 SCMT 12 04 123) takımın (KENNAMETAL) sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi	127
Şekil 6.11. Kaplamalı sementit karbür (SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00) takımın sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi.....	128
Şekil 6.12. Kaplamasız sementit karbür (SECO 883 SECO RCMM 12 04 00) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi.....	129

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Resim 5.1. Aşınma deneylerinde kullanılan CNC okuma 45 LB torna tezgahı	81
Resim 5.2. Kuvvet ölçme sisteminde kullanılan kistler dinamometre, CNC Johnford T35 torna tezgahı ve PC ünitesi	82
Resim 5.3. Inconel 718'i işlerken oluşan kesme kuvvetlerinin Kistler 9257B dinamometre ile Johnford T35 CNC (10 KW) torna tezgahında ölçme deney düzeneği	83
Resim 5.4. Aşınma deneylerinde kullanılan Inconel 718 malzemesinin uçak motoru içerisindeki yeri	85
Resim 5.5 SEM cihazında çekilmiş Inconel 718 (AMS 5663)'in metalurjik yapısı..	88
Resim 5.6. Kaplamalı sementit karbür kesici takımlar	89
Resim 5.7. Farklı kalite ve geometrideki seramik kesici takımlar	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Enine kesit alanı, mm^2
α	Kesme hızı, m/min .
α	Devir sayısı, rev./min .
A_r	İlerleme miktarı, mm/rev .
A_s	Kayma gerilmesi, MPa
β	Elastikiyet modülü, MPa
β	Akma gerilmesi, MPa
χ	Çekme gerilmesi, MPa
c	Uzama miktarı, %
C_0	İlerleme kuvveti, N
C_e	Sürtünme kuvveti, N
CF	Kayma düzlemine paralel kuvvet, N
C_s	Kayma düzlemine dik kuvvet, N
CT	Sürtünme kuvveti normal bileşeni, N
C_T	Talaş kaldırma bileşke kuvvet, N
d	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri, μm
D	Hesaplanan gerçek yüzey pürüzlülük değeri, μm
d_c	İdeal ölçülen yüzey pürüzlülük değeri, μm
ϵ	Kayma açısı, $^\circ$
F	Talaş derinliği, mm
f	Deformasyon sonrası talaş derinliği, mm
F_n	Talaş açısı, $^\circ$

F_s	Eğim açısı, °
F_t	Kesme kenar açısı, °
G_2	İntermetalik birinci faz
G_T	İntermetalik ikinci faz
η	Takım tezgahının torku, N,m
H	İş parçasının momenti, N,m
H	Kaymada oluşan moment, N,m
I	Kayma düzlemi alanı, mm ²
ϕ	Gerçek temas alanı, mm ²
J	Sürtünme açısı, °
K	Kesici takımda kama açısı, °
k	Sürtünme katsayısı
KF	Talaş oluşum enerjisi, Nm/mm ³
K_{lc}	Elektrik motorunun gücü, kW
KT	Verim, %
λ	Eğilme momenti, Nm
l	Tork, Nm
L	Talaş kaldırmada toplam ısı, J
μ	Takım talaş ara yüzeyinde sıcaklık artışı, °C
M_b	İş parçasının hacimsel özgül ısısı, J/mm ³ -°C
M_T	İş parçasının termal iletkenliği, J/s-mm-°C
M_{tz}	Termal uzama katsayısı, °C ⁻¹
M_x	Kesici takımda serbest açısı, °
n	Malzemenin özgül ısısı, j/kg-°C
N	Takım ucu yarı çapı, mm
n	Taylor denkleminde takım üssü
n	Deneysel gözlem sayısı
n_1	İlerleme miktarı üssü

n_2	Talaş derinliği üssü
$\emptyset$	Geliştirilmiş Taylor denkleminde orantı sabiti
θ	Talaş kırıcı genişliği, mm
Q	Kırılma tokluğu, Mpa $\sqrt{m}$
Q_M	Knoop sertliği
R	Burulma açısı, °
r	İş parçası çapı, mm
R	Takım tutturma uzunluğu, mm
R_1	Takım rijitliği, N/mm
R_2	Atalet momenti, m^4
R_a	Temel gerilme eksenler arasındaki açı, °
ρ_c	Yiv aşınma derinliği, mm
R_i	Aşınma miktarı, mm
R_t	Standart sapma
R_Z	Ortalama bozulma zamanı, min.
S	Ortalama yanak aşınma miktarı genişliği, mm
σ_γ	Maximum yanak aşınma alanı genişliği, mm
σ_κ	Krater uç mesafesi genişliği, mm
τ	Takım ömrü min.
T	Değişme katsayısı
T	Takım malzemeleri için düzeltme faktörü
T	Birinci malzeme için işlenebilirlik değeri
T_c	İkinci malzeme için işlenebilirlik değeri
T_m	Ekonomik kesme hızı, m/min.
T_t	Tezgahın dakikadaki işleme zamanı, min.
U	Takım maliyeti,
U	Bir dakikalık ömrü veren kesme hızı, m/min.
U_T	Takım maliyetinin işleme maliyetine oranı, %
V	Takım işleme boyu, mm
V_{BB}	Yaklaşma uzunluğu, mm
V_{BMAX}	Kesme zamanı, min.

V_N	Toplam işleme zamanı min.
V_T	Uç kesme kenar açısı, °
W	Minimum deforme olmamış talaş derinliği, mm
W_f	Yanak kesme açısı, °
X	Ortalama maksimum profil yüksekliği, μm
γ	Tepe-çukur mesafesi, μm
γ'	SJİ sisteminde hacimsel akma miktarı, mm^3/s
γ''	Standart sapma
γ_1	Varyans

Kısaltmalar	Açıklama
ABJ	Abrasif su jet ile kesme metodu
AlN	Alüminyum nitrür
AISI	Amerikan demir ve çelik enstitüsü
AISI E52100	Rulman çeliği
AL-2014	Al, -% 4,5 Cu alaşımı
Al₂O₃	Seramik kesici takım
Al₂O₃ +SiC_w	Whisker takviyeli seramik kesici takım
AO	Aritmetik ortalama
BN	Boron nitrür
BSD	Malzemenin Brinell sertlik değeri, N/mm^3
BUE	Talaş yapışması ve sıvanması
BZE-Borazan	General elektrik tarafından üretilen bor nitrürlü takım
C	Takım tutturucuya baskılı bağlama türü
CAD	Bilgisayar yardımıyla tasarım
CAM	Bilgisayar yardımıyla üretim
ÇKE	Çok kristalli elmas takım
CLA	Ortalama merkez doğrusu, mm
CNC	Sayısal kontrol

CVD	Kimyasal buharlaştırma metodu
DC	Doğru akım güç kaynağı
DNC	Direkt sayısal kontrollü takım tezgahları
DS	Elementar analiz
E DBC50	Bitirme kaliteli KBN’li takım
EDM	Elektron erozyon tezgahı
EDM_{veya} EEİ	Elektro erozyon işleme metodu
EET	Elektro erozyon taşlama metodu
EKI	Elektro kimyasal işleme metodu
EKT	Elektro kimyasal taşlama metodu
ESR	Elektro cüruf ile yeniden eritme (Elektro slag remelting)
f_{cc}	Yüzey merkezli kübik kafes
G	CNC tezgahında hazırlık fonksiyon
G70	İnce tornalama talaş çevirimi
G71	Boyuna tornalama çevrimi
G315	Sandvik’ in ürettiği karbürü kesici
H13	Sıcak iş takım çeliği
IC20	Iscarın ürettiği sinterlenmiş karbür derecesi
KBN	Kübik bor nitrür esaslı kesici takımı
K2S	Sinterlenmiş karbür türü
K10	Kobalt esaslı tungsten karbürü takım kalitesi
K20	Kobalt esaslı tungsten karbürü takım kalitesi
K68	Kenna Metal’ in ürettiği sinterlenmiş karbürü kesici takım
KY2000	Kenna Metal’ in ürettiği sialon kesici
M	CNC tezgahında yardımcı fonksiyon
MC	Metal karbür formu
MgO	Magnezyum karbür
Mp	Pimli ve baskılı bağlama elemanı
MYKA	Maximum yanak aşınma alanı genişliği, mm
NC	Nümerik kontrol
OYKA	Ortalama yanak aşınma alanı genişliği, mm
P	Takım tutucuya vidalı bağlama türü

PVC	Polivinil klorür
PVD	Fiziksel buharlaştırma metodu
Rc	Malzemenin Rockwell sertlik değeri, N/mm ³
RMS	Ortalama karekök değeri
RT	Maximum tepe-çukur yüksekliği, mm
S	Vidalı bağlama
SAE	Amerikan otomotiv mühendisler birliği
SEM	Elektron tarama mikroskobu
Si₃N₄	Silisyum nitrür esaslı kesici takım
TA	Takım amortismanı
TaC	Tantalyum karbur
TBM	Takım bileme maliyeti, ytl
TCP	Kapalı topolojik faz
TDM	Takım değiştirme maliyeti, ytl
TEM	Tarama elektron mikroskobu
Tel EEİ	Tel ile yapılan elektro erozyon işleme metodu
TiC	Titanyum karbür
TiCN	Titanyum karbon nitrit
TiN	Titantum nitrit
TKM	Talaş kaldırma miktarı mm ³ /min.
TM	Toz metalürjisi tekniği
Tx10	Seco' nun ürettiği kesici takım
V_{BB}	Yanak aşınma alanı genişliği, mm
V_{BBmax}	Maximum yanak aşınma alanı genişliği, mm
VCR	Vakum ark yöntemi ile eritme (Vacum arc remelting)
VIM	Vakum indüksiyon ergitme (vacum induction melting)
VSD	Malzemenin Vickers sertlik değeri, N/mm ³
YHÇ	Yüksek hız çeliği
Y₂O₃	Yitrium oksit
XRAY	X ışınları
WC	Tungsten karbür

WC-Co

Düz karbürlü kesici takım

WJM veya SJK

Su jeti ile kesme metodu

1. GİRİŞ

Süper alaşımlar, diğer alaşımlardan farklı olarak yüksek sıcaklıklarda şiddetli mekanik gerilmelere ve yüzey yapısı değişimlerine karşı üretilmiş ısıl direnci yüksek, demir-nikel, nikel ya da kobalt esaslı alaşımlardır (1).

Nikel esaslı süper alaşımlar, kaliteli bir yüzey elde etmede, işlenebilirliği en zor olarak bilinen malzemelerdendir (2, 3). Bu alaşımlar uçak motorlarında, endüstriyel gaz türbinlerinde, uzay araçlarında, roket motorlarında, nükleer reaktörlerde, deniz altılarda, buhar üretme tesislerinde, petrokimyasal cihazlarda ve diğer ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılmaktadır (4, 5). Motorda, yüksek sıcaklıklarda çalışabilme özelliğinden dolayı, kullanılan süper alaşımların miktarı 1990' lı yıllarda, toplam uçak motor ağırlığının % 60'ına ulaşmış ve devamlı artış göstermektedir (6). Bu alaşımların 650 °C' yi aşan sıcaklıklardaki yüksek oksidasyon dayanımları ve faz sınırlarındaki zorlama dayanımları mükemmeldir. Üretilen süper alaşım miktarının % 45' i dövme ve % 25' i dökme nikel esaslı süper alaşımdır (2, 7). Nikel esaslı süper alaşımlar, en az % 50 nikel ihtiva ederler (8). Nikel ana bileşim elemanıdır. Süper alaşımlar, dövme, döküm ve toz metalürjisi alaşımlarına gruplandırılmaktadır. Inconel 718, uçak ve uzay endüstrisinde, ticari kullanımı olan süper alaşımlar arasında en çok kullanılan malzemedir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde, takım ömrünün kısa oluşu ile iş parçasının yüzey kalitesinin sık sık bozulması araştırılması gereken bir konu olarak görülmektedir. Parça yüzeyinde oluşan artık gerilimler, talaş kaldırma işlemi esnasında, işlenen malzemenin mekanik gerilim ve korozyon özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedirler (3, 4).

Süper alaşımlar, yüzey dengesinin gerektiği ve yüksek gerilmelerin olduğu 650 °C ve üstü sıcaklıklarda kullanılmaktadır. "Süper alaşım" ifadesi demir, nikel, kobalt ve krom kombinasyonları veya demir, nikel ve kobalt esaslı malzeme alaşımları için kullanılabilir. Bu alaşımlar daha düşük miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum ve alüminyum olmak üzere çeşitli demir, nikel, kobalt ve krom elementleri içerirler (9). Sürünme-kırılma (creep-rupture) ömrünü arttırmak için, nikel esaslı süper alaşımlara, düşük miktarlarda bor, zirkonyum ve hafniyum katılabilir. Karbon

bütün nikel ve demir esaslı süper alaşımlarda yaklaşık % 0,03' e kadar bulunur (2). Fakat karbür safhasının kuvvetlendirilmesine neden olmak için kobalt esaslı alaşımlarda daha yüksek miktarlarda bulunabilir. Süper alaşımlar içerisinde, demir esaslı olan krom ve nikel içeren, demir-nikel-krom-kobalt alaşımlar, katı solüsyon takviyeli kobalt esaslı alaşımlar, kobalt esaslı karbür takviyeli alaşımlar, nikel esaslı çökeltme takviyeli alaşımlar ve nikel esaslı oksit dağılım takviyeli alaşımlar bulunmaktadır (2).

Yapılan literatür çalışmalarında Inconel 718 malzemesinin temini, maliyeti ve işlenmesi yönünden ortaya çıkardığı zorluklar dikkate alındığında, Inconel 718 (AMS 5663) süper alaşımının işlenebilirlik parametrelerini değerlendiren, uygulamaya yönelik yapılan çalışmaların az olduğu görülmüştür.

2. SÜPER ALAŞIMLAR

Süper alaşım, şiddetli mekanik gerilmelerin ve yüzey dengesinin sıklıkla gerekli olduğu genellikle Grup VIII B elementlerine dayalı yüksek sıcaklıklarda hizmet vermesi için geliştirilmiş bir alaşımdır. Süper alaşım, yüksek sıcaklıklarda yüksek performans gerektiren uçak türbin motorlarında ve turbo şarjlarda kullanım için geliştirilmiş ve II. Dünya savaşından kısa bir süre sonra kullanılmıştır (6). Bugün kullanılan süper alaşımların temeli, % 80 nikel ile % 20 krom alaşım olan ve 50 yıldan beri elektrikte direnç teli olarak kullanılan malzemeden esinlenerek geliştirilmiştir. Süper alaşım, ilk olarak 1940' larda dikkate değer oksidasyon dayanımı ile sürünme ve kırılma geriliminden (creep rupture strength) ötürü (düşük miktarda titanyum ve alüminyum katılarak) kullanılmaya başlanmıştır (10). İlk üretilen süper alaşım, Nimonic 80' dir. Kısa bir süre sonra bu alaşım geliştirilerek Nimonic 80 A üretildi. Daha sonra bu da geliştirilerek % 20 kobalt ilavesi ile 50 °C' lik bir avantaj sağlayan ve Nimonic 80 A' ya nazaran daha fazla talebi olan ve de türbin motor tasarımcılarının gereksinim duydukları, yüksek sıcaklıklarda hizmet verecek Nimonic 90 üretildi. Taleplerin artmasıyla titanyum ve alüminyuma ilaveten molibden katılarak Nimonic 105 ve 115' in geliştirilmesiyle katı solüsyon gerilimine sahip alaşımlar elde edildi. 1940' ların sonunda Pratt and Whitney Aircraft ve General Electric Company şirketleri tarafından, Waspalloy ve M 252 adında 2 önemli dövme süper alaşım geliştirildi (7). Dövme alaşımlar uçak motorlarında önemli yer tutmaktadır. Bu alaşımları takiben molibdenin katılımıyla katı solüsyon ve karbür formu daha da güçlendirildi. Geliştirilen Rene 45 ve 95 yüksek çökeltme takviyeli olup bu alaşımlar sık sık kaynak uygulamalarında kullanıldı (2). Nikel esaslı ve demir kapsamlı Inconel 718 süper alaşımı, yüksek ısı gerilim sağlamakta ve kaynak işlemlerinde çatlamalara iyi dayanım göstermektedir. Incoloy 901 ise bir başka dayanıklı ve rağbet gören süper alaşımdır. Waspalloy ve Astroloy gibi talep edilen bu alaşımların en büyük uygulama alanları türbin diskleridir. Nikel esaslı süper alaşımlardaki programlı ilerleme, sadece bileşimdeki kompozisyonun bir fonksiyonu olarak değil, aynı zamanda eritme metodu, sıcak iş durumu ve ısı işlemlerin optimizasyonu sonucunda elde edildi.

Süper alaşımlar; genellikle demir, nikel, kobalt ve daha az miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum, titanyum ve alüminyum alaşımlarla yapılan çeşitli formülleri içerirler (2). Süper alaşımların en önemli özellikleri; 650 °C' nin üstündeki sıcaklıklara uzun süre dayanmaları ve sıcaklığa bağlı korozyon ve erozyona dayanıklılıklarıdır. Nikel ve kobalt esaslı süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda (1500-1650 °C) yüksek dayanıma sahiptirler. Nikel esaslı süper alaşımlardan Rene 95, 760 °C' de 1100 Mpa ve Udimet 700, 870 °C' de 635 Mpa akma dayanımına ayrıca sırasıyla % 15 ve % 27 uzama oranına sahiptirler. Kobalt esaslı S-816 süper alaşımı ise 870 °C' de 240 Mpa akma dayanımına ve %16 uzama oranına sahiptir. Bundan dolayı süper alaşımlar bir çok alaşım çeşidinin yerine geçmiştir. Bunların arasında krom ve nikel içeren demir esaslı alaşımlar, demir, nikel, krom, kobalt bileşikleri, karbür takviyeli kobalt esaslı alaşımlar, katı solüsyon takviyeli bazı alaşımlar, çökeltme ve dağılım takviyeli nikel esaslı alaşımlar bulunmaktadır. Süper alaşımlar, işleyerek veya döküm yöntemiyle şekillendirilerek kullanılabilir. Genellikle demir esaslı alaşımların, demir, nikel, krom, kobalt bileşiklerin ve nikel esaslı katı solüsyon takviyeli alaşımların 650 °C' nin üstündeki sıcaklıklardaki dayanımları, nikel esaslı ikinci safha takviyeli ve kobalt esaslı alaşımlardan önemli derecede daha düşüktür. %16 Cr, %25 Ni ve % 6 Mo içeren 16-25-6 alaşımı gibi ilk demir esaslı süper alaşımlar ve küçük miktarlarda tungsten ile molibden içeren demir, nikel, krom, kobalt alaşımları (Fe - 20Ni - 20Cr - 20Co) esasen katı solüsyon takviyelidir. Düşük miktarlarda (%2 ile %3) alüminyum ve titanyum içeren demir esaslı alaşımlar, bir alüminyum-titanyum mukavemet kazandırma safhasının çökertilmesi yoluyla yüksek sıcaklıklara daha fazla dayanım gösterirler. Ergime noktası üstünlüğünden ötürü kobalt alaşımlar genellikle 1100 °C' den yüksek sıcaklıklarda nikel esaslı alaşımlardan daha fazla dayanım gösterirler. Karbür bileşikleri içeren ve bir yüzey merkezli kübik (fcc) katı solüsyon matris ile nitelendirilen döküm kobalt esaslı alaşımlar, gaz türbin motorlarında hava folyoları olarak kullanılmaktadır. Dağılımla kuvvetlendirilmiş nikel esaslı alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda, yüksek dayanıma sahiptirler. Fakat orta sıcaklıklarda orta dayanım gösterirler. İkinci safha, ergime gerçekleşinceye kadar katı bir sertleştirme mekanizması görevinde bu alaşımların yapısında bulunur. Aksine, çökeltme ile kuvvetlendirilmiş alaşımlar, ergime noktasının altındaki sıcaklıklarda katı solüsyon

olarak dayanım kaybederler. Dağılımla kuvvetlendirilmiş alaşımlar bazı gaz türbinli motorların yanma uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (6).

İkinci çökeltme aşaması ile kuvvetlendirilen nikel esaslı süper alaşımlar en karışık ve bütün süper alaşımlar içersinde en çok dikkati çekenidir. Bu alaşımların fiziksel metalürjisinin çözümü zor ve karışık olmasına rağmen iyi anlaşılmıştır. Yapı ilk mukavemet kazandırma aşamasında bir çökeltmiş nikel-alüminyum-titanyum bileşiği ile bir yüzey merkezli-kübik (f_{cc}) austenitik matristen oluşur (2). Alaşım bileşiğine ve sıcaklık işlemine bağlı olarak çeşitli karbürler ikinci çökeltme aşamasında ortaya çıkarlar. Bu alaşımlar gaz türbinli motorlardaki gerilme ve sıcaklığa ilişkin yerlerde kullanılmaktadır (6).

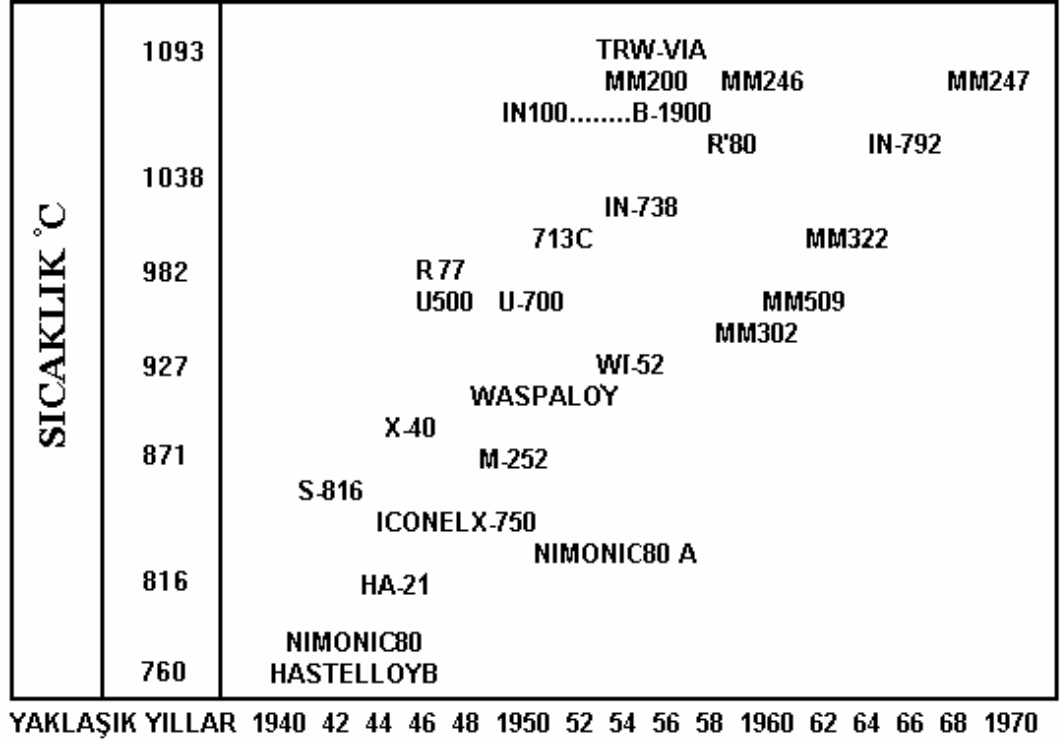
2.1. Süper Alaşımların Gelişim Süreci

İlk süper alaşım Nimonic' ten sonra geliştirilen Nimonic 80 A, 1940' lı yıllarda yüksek frekanslı eritme kullanılarak havada eritildi (9). O yıllarda, sertleştirme elementlerinin ergitmede katılmasıyla üretilen alaşıma bir güçlendirme sağlanıyordu. Fakat bu, hava ortamındaki eritmede pek yeterli değildi. 1950' lerde nikel esaslı süper alaşımların gelişiminde önemli bir ilerleme oldu ve vakum altında eritme ve inceltme yöntemi kullanılmaya başlandı. Bu yöntemle reaktif sert elementlerin oksidasyonu engelleniyordu, böylece daha çok titanyum ve alüminyum katılmasına olanak tanınıyordu. Üretim işlemlerinde çökeltme işlemi için vakum ile inceltme yöntemi aynı zamanda uçucu olan diğer elementlerin uzaklaşmasını sağlıyordu (bizmut, teleryum gibi). Ham metallerde bulunan ve sürünme gerilimini ters etkileyen ve nikel esaslı süper alaşımların dövülme işlemini kolaylaştıran katkı elementlerinin miktarının azalmasının bir faydası da, sıcak işlenebilirlikte önemli ilerleme kaydedilmesidir. Böylece vakum ile eritme yöntemiyle inceltme sağlandı ve daha iyi dövülebilen güçlü süper alaşımlar, Nimonic 115 ve Udimet 700 gibi malzemeler geliştirildi (7).

1950' lerin sonlarından beri, türbin sıcak işleme bıçakları, dövme alaşımlardan büyük zorluklarla dövülerek elde ediliyordu. Bunlar o zamanlar rağbet gören

alaşımlardı ancak var olan metotlarla dövme işlemi çok zordu (9). Başlangıçta döküm süper alaşımlar, 1950' lerin sonunda döküm teknikleri gelişip vakum ile eritme işlemi bulununcaya kadar genişçe bir kabul görmedi. İlk vakum ile eritilen alaşım Inco 713 C idi. Bu alaşım yüksek karbonlu içeriği ile aşırı derecede karbür oluşturunuyordu ve düşük sıcaklıklarda zayıf akışa sebep oluyordu. Bu da disk bıçaklarının dökülmesine bir problem oluşturunuyordu. Düşük karbon versiyonu ile bu problem aşıldı ve malzeme türbin bıçaklarında kullanılmaya başlandı (7).

Dövme alaşımlar gibi daha güçlü döküm alaşımlara talep, başlangıçta titanyum ve alüminyum miktarının artırılması ile karşılandı ve IN 100 geliştirildi. 1960' ların ortalarında General Electric Rene 77' yi üretti. Daha sonra benzer titanyum ve alüminyum miktarları ile Rene 77' den daha yüksek sürünme gerilimi ve korozyon dayanımına sahip Rene 80' i geliştirdi. Gelişmeler sonucunda titanyum ve alüminyumun miktar olarak artırılması ile malzeme geriliminde bir artış sağladığı görüşü, 1960' ların sonunda ifade edilen bir yaklaşımdı (9). Titanyumun azlığı, döküm olayını elverişli kılıyordu. Bu da B-1900 gibi döküm olan süper alaşımı doğurdu. Titanyum ve alüminyum miktarları düşük tutularak daha büyük miktarda molibden ve tantalum katılarak katı solüsyon gerilimi artırıldı. Martin Metals firması, Mar-M 200 süper alaşımında molibden yerine tungsten kullanarak piyasaya sürdü, ancak sıcak sürünme ve dökülme işlemlerinde bir problem ortaya çıktı. 1969' larda Martin Metals firması bu problemi aşan bir metot ile patent aldı. Bu gelişme % 2 hafniyumun metal kompozisyonuna katılımından oluşuyordu ve bütün bir döküm boyunca hafniyumun belirgin bir etkisi görülmekteydi. Inco 713 LC, B1900, IN 792 ve Mar-M 432 alaşımları, güçlerini, mükemmel sıcak korozyonu ile Udimet 500' deki yüksek krom kapsamında değişiklik yapılarak titanyum ve alüminyum oranının yükseltilmesi ile refraktör metallerin kullanımı sonucunda mükemmel olan IN100 süper alaşımında birleştirdi (7). Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık yönünden dayanımları Şekil 2.1.' de gösterilmiştir



Şekil 2.1. Süper alaşımların gelişimi ve sıcaklık dayanımları (6)

2.2. Süper Alaşımların Metalürjisi

Süper alaşımlar, yüzey dengesinin gerektiği ve yüksek gerilmelerin olduğu 650 °C ve üstü sıcaklıklarda kullanılmaktadır. “Süper alaşım” ifadesi demir, nikel, kobalt ve krom kombinasyonları veya demir, nikel ve kobalt esaslı malzeme alaşımları için kullanılabilir. Bu alaşımlar daha düşük miktarlarda tungsten, molibden, tantal, niyobyum ve alüminyum olmak üzere çeşitli demir, nikel, kobalt ve krom oluşumları içerirler (9). Nikel esaslı süper alaşımlar, sürünme-kırılma ömrünü arttırmak için küçük miktarlarda bor, zirkonyum ve hafniyum içerebilir. Karbon bütün alaşımlarda, genellikle nikel ve demir esaslı süper alaşımlarda yaklaşık % 0,03’ e kadar bulunur (2). Fakat karbür safhasının kuvvetlendirilmesine neden olmak için kobalt esaslı alaşımlarda daha yüksek miktarlarda bulunabilir. Çeşitli süper alaşım tipleri arasında demir esaslı krom ve nikel içeren, demir-nikel-krom-kobalt bileşikleri, katı solüsyon takviyeli kobalt esaslı alaşımlar, kobalt esaslı karbür takviyeli alaşımlar, nikel esaslı

çökeltme takviyeli alaşımlar ve nikel esaslı oksit dağılım takviyeli alaşımlar bulunmaktadır (2).

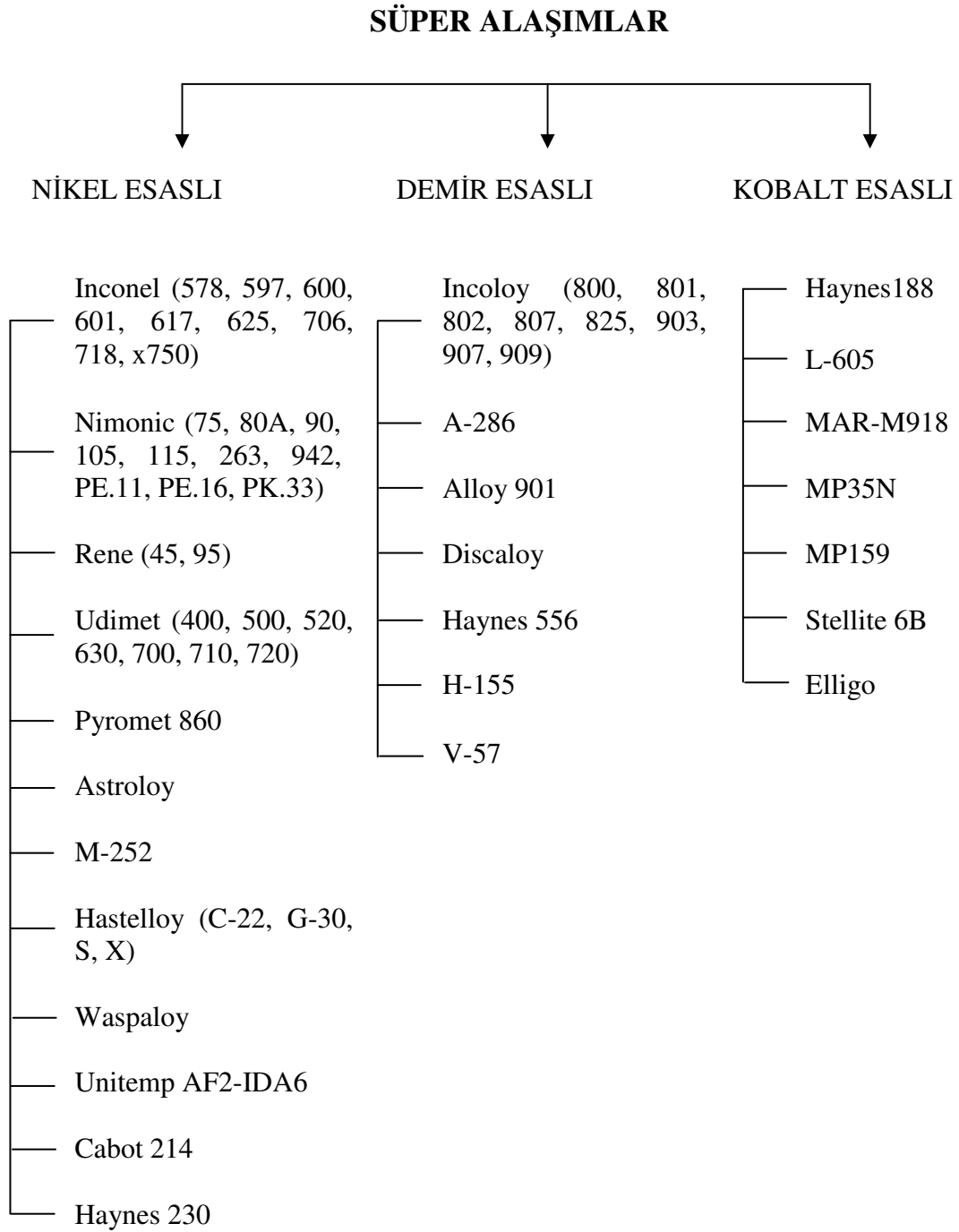
Bazı örneklerde, demir-nikel oranları, alaşımların nikel esaslı olarak adlandırılmasını gerektirmektedir. Bunun örnekleri % 16 Fe ve % 49 Ni içeren katı solüsyon takviyeli Hastelloy X ve % 28 Fe ve % 52 Ni takviyeli y' takviyeli Inconel 718' dir. Bu iki örnekte, alaşımlar bir alaşım katkısı olarak demir içeren nikel esaslı süper alaşımlar olarak sınıflandırılmışlardır. Bu tip diğer alaşımlar tam olarak tanımlanmamıştır. Örneğin y' takviyeli INCOLOY 901 süper alaşımı % 42 Ni ve % 36 Fe içerir. Bu alaşım nikel esaslı olarak değerlendirilebilir veya demir-nikel-krom kategorisine sokulabilir. Bir karma bileşik katı solüsyon takviyeli alaşıma örnek olarak % 21 Cr, % 20 Ni, % 20 Co, % 32,5 Fe, % 3 Mo, % 2,5 W ve % 1 Nb içeren Multimet verilebilir. Bu sınıfın diğer bir karmaşık alaşımı ise Incoloy 903' dür. Bu alaşım, yüksek dayanım yanında, düşük sabit termal genleşme katsayısı ile istenilen yerlerde kullanılmaktadır (6).

2.3. Süper Alaşımların Sınıflandırılması

Nikel esaslı çökeltme takviyeli süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda gösterdiği dayanım bakımından daha fazla kullanılmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklarda oksit dağılım takviyeli alaşımların ve hatta bazı kobalt alaşımlarının çökeltme takviyeli nikel esaslı süper alaşımlara karşı aşırı dayanım gösterdiği bir gerçektir. Ancak, bu alaşım çeşitlerinin ikisi de daha düşük sıcaklıklarda nikel esaslı süper alaşımlardan çok daha güçsüzdür. Demir esaslı süper alaşımlar ve katı solüsyon takviyeli alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda gösterdikleri düşük dayanım özelliğinden dolayı süper alaşımların en zayıflarıdır (6). Demir esaslı süper alaşımlar, yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda daha az kullanılmıştır. Bu, yaygın olarak kullanılan demir içeren nikel esaslı Inconel 718 alaşımı için geçerli değildir. Demir esaslı süper alaşımların başlıca üstünlüğü kaybolmuştur. Ancak, katı solüsyonlu alaşımlar, dayanımın önemli olmadığı durumlarda kullanılmaya devam etmiştir. Fakat, oksidasyon ve sıcak korozyon dayanımı gereklidir (2). MAR-M 509 gibi kobalt alaşımlar yaygın olarak uçak motor türbin pervane dökümleri için kullanılmıştır ve

kobalt esaslı Haynes 188, popüler bir yanma malzemesidir (6). Süper alaşımlar, yapılarındaki oluşum elementlerine göre farklı isimler alırlar. Bu alaşımların genel sınıflandırılması Çizelge 2.1.' de gösterilmiştir (11).

Çizelge 2.1. Süper alaşımların sınıflandırılması (11)



2.3.1. Nikel esaslı süper alaşımlar

Nikel esaslı süper alaşımlar, başta nikel olmak üzere, önemli miktarlarda krom içeren alaşımlar olarak tanımlanmıştır. Temel alaşım elemanı olarak kobalt, demir, molibden, tungsten ve tantal içerebilirler. Katı solüsyon ve ikinci aşama intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmişlerdir. Alüminyum, titanyum ve niyobyum intermetalik oluşum elementleridir. Nikel esaslı süper alaşımlar % 30 ila % 75 Ni ve % 30' a kadar Cr içerirler. Birçok Inconel, Nimonics ve Hastelloy gibi alaşımlarda demir içeriği, küçük miktarlardan yaklaşık % 35' e kadar değişen oranlarda bulunur. Birçok nikel esaslı alaşım, dayanım veya korozyon direncini arttırmak için küçük miktarlarda alüminyum, titanyum, niyobyum, molibden ve tungsten içerir. Nikel ve krom kombinasyonu, bu alaşımlara önemli derecede oksidasyon dayanımı verir. Nikel esaslı süper alaşımlar özellikle 650 °C' yi geçen sıcaklıklarda mekanik dayanım olarak paslanmaz çeliği geçerler. Nikel esaslı süper alaşımlar; oksidasyon ve korozyona, yüksek dayanım ve direnç gerektiren uygulama alanlarında genişçe kullanılırlar (2).

Inconel 600, Inconel 601, ve RA 333 gibi katı solüsyon alaşımları, fırın parçalarında ve diğer sıcaklıkla ilgili uygulamalarda kullanılırlar. Bu alaşımlar aynı zamanda, hidrokarbon düzenleyicisi gibi yüksek sıcaklık gerektiren kimyasal işleme donanımlarında kullanılmaktadır. Enerji üretimi nikel esaslı süper alaşımların yaygın olarak kullanıldığı diğer bir alandır. Ayrıca nükleer santrallerde, buhar jeneratörü tesisatı ve reaktör yapısal parçalarında kullanılırlar. Bu alaşımlar fosil yakıtlı tesislerde, süper ısıtıcı tesisatında, atık sistemlerinde, gaz depolama ünitelerinde, sıcaklığa veya korozyona dayanım gerektiren parçalarda kullanılmaktadır (6). Nikel esaslı süper alaşımların kimyasal bileşimleri Çizelge 2.2.' de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Nikel esaslı süper alaşımların kimyasal bileşimleri (9)

Alaşım adı	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Cb	Al	Ti	Mn	Si	C	B	Zr
<i>Inconel 718</i>	53	18.3	0.23	3.04		0.005	0.23	0.50	0.9	0.08	0.08	0.04	0.004	
<i>Alaşım 713C</i>	74	12.5	-	4.2	-	-	2.0	0.8	-	-	-	0.12	0.012	0.10
<i>Alaşım 713LC</i>	75	12.0	-	4.5	-	-	2.0	0.6	-	-	-	0.05	0.010	0.10
<i>B-1900</i>	64	8.0	10.0	6.0	-	4.0	-	1.0	-	-	-	0.10	0.015	0.10
<i>FORT 406</i>	60	6.0	10.0	1.0	8.5	6.0	2.0	2.0	-	-	-	0.13	0.018	0.06
<i>IN-100</i>	60	10.0	15.0	3.0	-	-	-	4.7	-	-	-	0.18	0.014	0.06
<i>IN-162</i>	73	10.0	-	4.0	2.0	2.0	1.0	1.0	-	-	-	0.12	0.020	0.10
<i>IN-731</i>	67	9.5	10.0	2.5	-	-	-	4.6	-	-	-	0.18	0.015	0.06
<i>IN-738</i>	61	16.0	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	-	-	-	0.17	0.010	0.10
<i>IN-792</i>	61	12.4	9.0	1.9	3.8	3.9	-	4.5	-	-	-	0.12	0.020	0.10
<i>M22</i>	71	5.7	-	2.0	11.0	3.0	-	-	-	-	-	0.13	-	0.60
<i>MAR-M200</i>	60	9.0	10.0	-	12.0	-	1.0	2.0	-	-	-	0.15	0.15	0.05
<i>MAR-M200(DS)</i>	60	9.0	10.0	-	12.0	-	1.0	2.0	-	-	-	0.13	0.15	0.05
<i>MAR-M246</i>	60	9.0	10.0	2.5	10.0	1.5	-	1.5	-	-	-	0.15	0.15	0.05
<i>MAR-M421</i>	61	15.8	9.5	2.0	3.8	-	2.0	1.8	-	-	-	0.15	0.15	0.05
<i>MAR-M432</i>	50	15.5	20.0	-	3.0	2.0	2.0	4.3	-	-	-	0.15	0.15	0.05
<i>NX188(DS)</i>	74	-	-	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-
<i>Rene'77</i>	58	14.6	15.0	4.2	-	-	-	3.3	-	-	-	0.07	0.016	0.04
<i>Rene'80</i>	60	14.0	9.5	4.0	4.0	-	-	5.0	-	-	-	0.17	0.015	0.03
<i>Rene'100</i>	60	9.5	15.0	3.0	-	-	-	4.2	-	-	-	0.18	0.014	0.06
<i>SEL</i>	51	15.0	22.0	4.5	-	-	-	2.4	-	-	-	0.08	0.015	-
<i>SEL-15</i>	58	11.0	14.5	6.5	1.5	-	0.5	2.5	-	-	-	0.07	0.015	-
<i>TAZ-8A</i>	68	6.0	-	4.0	4.0	8.0	2.5	-	-	-	-	0.12	0.004	1.00
<i>TRW-NAZA VIA</i>	61	6.1	7.5	2.0	5.8	9.0	0.5	1.0	-	-	-	0.13	0.020	0.13
<i>UDIMET 500</i>	52	18.0	19.0	4.2	-	-	-	3.0	-	-	-	0.07	0.007	0.05
<i>WAZ-20(DS)</i>	72	-	-	-	20.0	-	-	-	-	-	-	0.20	-	1.50

Nikel esaslı süper alaşımlar ve özellikleri

Endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan bu alaşımlar şu özelliklere sahiptir (12, 13);

- Yüksek ısıl gerilim
- Yüksek sertlik
- Yüksek kesme kuvvetine gerek duyan işleme gerilmesi ve yüksek iş sertliği
- Yüksek ısılara sebebiyet veren düşük termal iletkenlik
- Yüksek oranda aşındırıcı karbür zerreciklerinin varlığı
- Takım üzerine güçlü kaynama eğilimi ve yığıntı talaş (BUE) oluşumu

yukarıda sayılan bütün bu özellikler, işleme esnasında kesici takımların üzerinde yüksek aşınma oranı ve yüksek kesilme sıcaklığına sebebiyet vererek süper alaşımların aşırı derecede işlenmesini zorlaştırmaktadırlar. Nikel esaslı süper alaşımlar, tungsten-karbür-kobalt sınıfı kaliteler ile 50 m/min.' lik kesme hızının üzerindeki bir hızda işlenebilmektedir (13). Bu hızda talaş kontrolü zayıftır. Talaş tipi sürekli ve aşındırıcı testere dişi kenarlara sahiptir. Yüksek ısıların kombinasyonu yüksek iş parçası gerilimi ve aşındırıcı talaşlar kesme derinliğinde çentik oluşmasına neden olan ana problemdir (14).

Nikel esaslı alaşımlar; tatmin edici ve kaliteli bir yüzey elde etmede işlenebilirliği zayıf malzemelerdir ve bunların işlenebilirliğini zayıflatan bir kaç sebep vardır (7, 10, 14). Bunlar;

- 1- Yüksek sıcaklık dayanımı, özelliğinden dolayı işlenmeleri zorlaşmaktadır.
- 2- İşleme esnasında iş sertliğinin oluşması, talaş derinliğinde çentiğe neden olmakta ve takım aşınmasına sebep olmaktadır.
- 3- Süper alaşımlardaki sert aşındırıcı karbürler, kesilme esnasında kesici takımı önemli derecede etkilemekte ve aşınmayı hızlandırmaktadır.
- 4- Yüksek sıcaklıklarda oluşan kimyasal reaksiyonlar, takım talaş arasında difüzyon aşınmasına neden olmaktadır.
- 5- İşleme esnasında talaş ile kesici takım arasında adhezyon ya da kaynama oluşmakta, kesici takım yüzeyinde bozulmalar ve malzeme kaybına sebep olmaktadır.
- 6- İşleme esnasında çıkan sürekli ve sert talaşların varlığı, kontrolü sağlamayı güçleştirmekte talaşların takım yüzeyinde krater oluşturmaya sebebiyet vermektedir.
- 7- Zayıf termal iletkenliğinden dolayı, nikel esaslı süper alaşımlar, takımın yüzeyinde sık sık yüksek sıcaklıklar oluşturmakta, dolayısıyla kesici takımda yüksek radyal gradientlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Nikel esaslı süper alaşımlarda takım ömrünün kısa oluşu ile iş parçasının yüzey kalitesinin işlemeye karşı çok hassas oluşu dikkat çekicidir (3, 7). Parça yüzeyindeki artık gerilim, işleme esnasında işlenen elemanın mekanik gerilim ve korozyon

özelliklerini olumsuz yönde ters etkileyebilmektedir. İşleme esnasında yüzey dengesini ve kalitesini sağlamak için aşırı dikkat istemektedir. Takım, düşük kesme parametreleri ile işleme durumlarında uzun ömür vermektedir (2). Takım seçimi, takım geometrisi, işleme metodu, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği gibi parametreler, uzun takım ömrü elde etmek için, işleme esnasında sık sık kontrol edilmesi gerekir. Modern uçak motorlarının yüksek sıcaklıklarda çalışması ve kompleks durumların ortaya çıkması ile süper alaşımlar, basit nikel krom matrisinden kurtulmuş ve çok elementli faz sistemine geçiş yapmışlardır. Nikel esaslı süper alaşımlar, krom'a ilaveten alüminyum, titanyum, kobalt, molibden ve diğer elementler, değişik miktarlarda katılarak daha yüksek performanslı alaşımlar elde edilmektedir. Malzemenin bu şekil kompozisyonu ile takım ömrünün kısalığı ve metalürjik hasarlar, iş parçasının işlenmesi esnasında daha çok ortaya çıkan problemlerdir. Nikel esaslı süper alaşımlar, aşırı yüksek sertlikte olmamalarına rağmen (250-350 H. V.) yüksek ısıl gerilmelerinden ve ısıl sertliklerinin etkisiyle işlenmeleri zordur. İş sertliği eğilimleri, yüksek kesme kuvvetlerinin oluşmasına ve yüzey değişimine önemli derecede neden olmaktadır (2).

Nikel esaslı süper alaşımların kuvvetlendirilmesi

Nikel esaslı süper alaşımların mukavemet kazandırma mekanizmaları, katı eriyik ile mukavemet kazandırma, çökeltme ile mukavemet kazandırma ve dağılım ile mukavemet kazandırmadır. Tane sınırlarının özellikleri büyük oranda bu işlemler tarafından kontrol edilir. Karbürlerin şekli, miktarı ve faz yapıları mukavemet kazandırmada önemli rol oynarlar (2).

Katı eriyik ile mukavemet kazandırma

Ticari austenitik süper alaşımlar, daima önemli derecede alaşım ilaveleri kapsarlar. Katı eriyik'te mukavemet kazandırma sağlamak, sürünme ve yüzey bozulmalarına direnç kazandırmak için, ilaveten daha kuvvetli alaşım ve elementler kapsarlar. Uygun ısıl işlem ya da termo-mekanik işlemler sonucu, bu elementler bir intermetalik bileşimde küçük ahenkli zerrecikler şeklinde dağılırlar. Ayrıca tipik

nikel esaslı alaşımlar, bir austenitik nikel-krom-tungsten (ya da molibden) matrisine dönüşürler. Dikkate değer bir katı eriyik mukavemet kazandırma elde etmek için bir alaşım elementinin aşağıdaki talepleri sağlaması gerekir (7).

- 1) Matris içerisinde geniş bir yelpazede katı erime kabiliyetine sahip olması,
- 2) Matrisle atomik boyutta büyük bir farklılık olması,
- 3) Yüksek erime noktasına sahip olması, gerekir.

Katı eriyik elementleri muhtemelen alüminyum, krom, demir, titanyum, tungsten, vanadyum, kobalt ve molibden' dir (7). Eriyikte kobaltın atom çapı, nikelin atom çapından + % 1, tungstenin atom çapı ise nikelin atom çapından + % 13 farklılık gösterir.

Çökeltme ile mukavemet kazandırma

Nikel esaslı süper alaşımların çökeltme ile kuvvetlendirilmesi olayı gerçekte çökeltme işlemi ile oluşur. Düşük sıcaklıklarda fazda yer alan az miktardaki borid ve karbürler mukavemet kazandırmaya yardımcı olur, çünkü borid ve karbürlerin düşük kısmi hacimleri, düşük sürünme oranları ve kırılma ömürleri vardır. Nikel esaslı süper alaşımları mukavemet kazandırmada, çökeltme fazı (‘)’ ının bir kaç faktörle ilişkisi vardır (7). Bu faktörler

- (1) Var olan (‘) fazının kısım hacmi,
- (2) (‘) fazının boyutu
- (3) (‘) fazının anti faz sınır enerjisi (anti phase boundary (APB) energy), verilen bir sıcaklıkta var olan (‘) fazının hacmi, var olan toplam mukavemet kazandırma elementlerinin miktarıyla orantılıdır (15). Alüminyum, titanyum ve niyobyum gibi. (‘) fazının hacmi doğrudan yüksek sıcaklıklarda nikel alaşımlarının mukavemet kazandırmasını etkiler.

Bu etki, belkide alaşım tasarımcılarının kullandığı önemli bir dayanaktır. Alaşım mukavemet kazandırmada sağlanan artış, aynı zamanda (‘) fazının tane boyutuyla ilgilidir. Ticari dövme nikel esaslı süper alaşımlar için uygulanan ısıt işlemlerin

amacı, bir (‘) fazının zerrecik boyutunda ve tepe sertliğinde ya da ona yakın bir seviyede benzer özellik elde etmektir (2).

Dağılım ile mukavemet kazandırma

Yüksek sıcaklıklarda, (‘) fazı eriyik içine girer ve esasen matris içinde erimeyen ve metalik olmayan farklı kararlı bir dağılım gösterir. Bu durum mukavemet kazandırmayı sürdürmede en etkili yoldur. Yüksek sıcaklıklarda hizmet vermesi için kullanılan en iyi dağılım malzemeleri, oksitlerdir. Toryum, yitrium ve lantan gibi elementler, yüksek serbest enerjiye sahiptirler. Dağılım fazının boyutu, dağılımı mukavemet kazandırmanın etkileyicisi olarak kendini gösterir. Zerrecikler küçük ve düzenli dağılmış olmalıdırlar. Başarılabılır mukavemet kazandırma seviyesi oksitlerin düşük kısmi hacmi sayesinde sınırlanır (10). Nikel esaslı alaşımlarda oluşan mukavemet kazandırma işlemlerindeki gelişmeler aşağıdaki gibidir (2).

- 1) Katı eriyik mukavemet kazandırma
- 2) (‘) faz hacim oranının artması
- 3) (‘) faz kusur enerjisinin artması
- 4) Katı eriyik ile mukavemet kazandırılmasında Ni_3Nb fazı içerisinde formasyonun azalması
- 5) $M_{23}C_6$ tane sınır filmleri ve hücresel yapıları engellemede karbür şeklinin kontrolü
- 6) Kontrol karbürleri ve kırılma geriliminin artması.

Nikel esaslı süper alaşımlardaki alaşım elementleri

Nikel alaşımların doğasında, yapısındaki kromdan ötürü yüksek ısı oksidasyona dayanım mevcuttur. Oksijen ortamında ısıtıldığında, Cr_2O_3 malzeme yüzeyinde koruyucu bir tabaka gibi yapışır. Nikel krom alaşımında optimum oksidasyon dayanımı, krom miktarının %15-30 arasında tutulduğu zamandır. Krom aynı zamanda krom karbür formu oluşturur. Bu da yüksek sıcaklıklarda malzemenin gerilimini (stress) arttırmada önemli bir rol oynar. Malzemenin gama fazını oluşturması ve gerilimini arttırması için malzemeye alüminyum, titanyum, ve niyobyum katılır ve $Ni_3(Al, Ti)$ oluşturulur. Niyobyum, bir kısım titanyum ve

alüminyumun yerine geçebilir. Ya da niyobyum miktarı % 4' ten fazla ise sert bir faz olan Ni_3Nb oluşturur. Titanyum ve niyobyum, aynı zamanda karbür oluşturur. Oksidasyon mukavemeti üzerinde alüminyumun önemli bir katkısı vardır. Al_2O_3 formu yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadır. Al_2O_3 ya da Cr_2O_3 formu alaşımdaki iki elementin miktarına bağlıdır. Yüksek ısıya dayanıklı alaşımlar geliştirilirken mikro yapıdaki kararlılığın devam etmesi için yapıda daha düşük miktarda krom olması gerekir. Alüminyum, titanyum ve niyobyum gibi elementler sürünme özelliğini arttırmak için eklenir. Oksidasyon dayanımının azalmasını engellemek için daha düşük miktarlardaki krom ve alüminyumun miktarının artırılması ile bu durum telafi edilebilir. Inconel 718 ve Nimonic 901 gibi alaşımlar, %18-36 oranında demir kapsarlar. Demir oranının artması, nikel esaslı alaşımlarda oksidasyon dayanımının azalmasına neden olur (16). Az miktarda kobalt ilavesi artı yönde solüsyon gerilimini, alüminyum ile titanyum ise, nikel-krom austenitik yüzey merkezli kübik yapının içerisinde çözünübilirliği azaltmaktadır. Bu durum ise çözünme sıcaklığını artırır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda gerilimin devam etmesine yardım eder. Kobaltın karbon içindeki çözünürlüğü nikelden daha iyidir. Bu durumda daha çok karbon tolere edilebilir. Molibden, tungsten ve tantalum, katı solüsyon gerilimini yüksek sıcaklıklarda artırır. Kompleks karbür formu ve tantalum, özellikle çözelti içinde bulunurlar. Boron ve zirkonyum sürünme gerilimini ve akmaı artırmak için katılan elementlerdir. Bu elementler, tane sınırlarını ayırmada iyi görev yaparlar. Ancak boron ve zirkonyumun nikel alaşımı içinde bulunmaları tamamen faydalı değildir. Çünkü kaynak yapabilme özelliğini azaltmaktadırlar. Karbon, karbür formu nedeniyle sürünme gerilimini arttırmada sınırlı miktarda eklenebilmektedir. Diğer katık elementler ise işlenebilirliği ve oksidasyon dayanımını arttırmak içindir. Kalsiyum, magnezyum ve yitrium son yıllarda küçük miktarlarda ilave edilmektedir. Döküm alaşımlarda hafniyum başlıca katkı elementidir ve hem akıcılıkta hem de gerilim düşürmede faydalıdır. Hafniyum orta sıcaklıklarda sıcak kırılma dayanımını yükseltmede ve katılaştırmada yönlendirmeye yardımcı olmaktadır (2). Süper alaşımlardaki bazı elementlerin etkileri Çizelge 2.3.' te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Süper alaşımlardaki bazı elementlerin etkileri (6)

Fe ESASLI	Co ESASLI	Ni ESASLI	ETKİ
Cr,Mo	Nb,Cr,Mo	Co,Cr,Fe,Mo	Katı solüsyon güçlendiriciler
	Ni,W,Ta	W,Ta	
C,Ni,Co	Ni	Co	Yüzey merkezli kübik matris stabiller
			Karbür formu
Ti	Ti	W,Ta,Ti,Mo,Nb	MC type
...	Cr	Cr	M ₇ C ₃ type
Cr	Mo,W	Cr,Mo,W	M ₂₃ C ₆ type
Mo		Mo,W	M ₆ C type
			Azotlu karbon
C,N	C,N	C,N	M (CN) type
P	...	...	Karbürlerin genel içeriğinin ilerleyişi
Al,Ti,Ni	...	Al,Ti	Formlar γ^1 Ni ₃ (AL,Tİ),
Al,Zr	...	...	Hexagonal μ (N ₃ Tİ) yavaşlatma formasyonu
...	...	Co	γ^1 'nın yükselen solvus sıcaklığı
...	...	Cr	γ^1 'nın azalan solvus sıcaklığı
Al,Ti,Nb	Al,Mo,Ti,W,Ta	Al,Ti,Nb	Zorlanan ve/veya intermetaliklerin içeriği
Cr	Al,Cr,Ta	Al,Cr,Ta	Paslanma mukavemeti
La,Y	La, Y,Th	La,Th	Sıcak korozyon mukavemetini arttıranlar
Cr	Cr	Cr	Sülfid mukavemeti
B	B,Zr	B,Zr	Sürünme-kopma morfolojisindeki değişikliklerle kanal sınır özelliklerini arttıranlar
...	...	Hf	Orta sıcaklık yumuşaklığını arttıranlar
...	...	B,C,Zr	Sınır ayarlamasına yol açanlar

Nikel esaslı süper alaşımların mikro yapıları

Nikel esaslı süper alaşımların mikro yapısını tanımak, bu alaşımların gelişmesinde yardımcı olmuştur. Nikel esaslı süper alaşımlar, bazı alaşım elementleri tarafından özellikleri geliştirilerek karakterize edilmiştir. Oluşan mikro yapıları ile faz tanımlamaları aşağıda gösterilmiştir (2).

1-Alaşım matrisi: Yüzey merkezli kübik nikel esaslı austenitik faz olan sürekli matris, genelde katı eriyik elementleri olan kobalt- krom- molibden ve tungsteni yüksek oranda içerir.

2-Gama 1. faz: Austenit ile değişmeyen uygun bir çökeltme işlemi olması için yüksek hacimli yüzey merkezli kübik yapının fraksiyonunda, karşılıklı oranlarda alüminyum ve titanyum ilave edilir.

3-Karbür formu: % 2 ile % 5 oranında karbon katılarak oluşan bu formda, karbon sık sık reaktif ve refraktör olan elementler ile ilişki içindedir ve birinci MC karbürleri oluşmaktadır. Isıl işlem esnasında bu durum bozulur ve daha düşük karbürli M₂₃ C₆ ve M₆C formuna dönüşerek tane sınırlarına yerleşir.

4-Tane sınırları fazı (γ). Bir kaç alaşım için sürünme özelliklerini optimize etmek için tane sınırları boyunca (γ) fazının bir filmini oluşturmak için ısıtma işlem teknikleri geliştirilmiştir.

5-Kapalı paket topolojik faz: Belirli durumlar altında düz dairesel tip olan bu faz, düşük sürünme gerilimi ve akma özelliği sunmaktadır

Gama 1. faz; nikel esaslı bir süper alaşımda bir f_{cc} kristali gereklidir. Çökeltmeyi oluşturmak için 1. faz olması gerekir. Ni_3Al normal kompozisyonudur ancak genelde $Ni_3(Al,Ti)$ olarak tanıtılmaktadır. % 65 kadar alüminyumun yerini titanyum almaktadır. Nikel sınırlı miktarda krom, kobalt, molibden ve demir ile yer değiştirebilmektedir (10).

Bazı alaşımlara uygulanan kısmi eritme işlemleri esnasında, ya da nispeten yüksek sıcaklıklarda uygulanan yaşlandırma işlemleri esnasında yüzeyler arasında ikinci faz partikülleri oluşur. (γ) fazı sınırlarda şekillenebilir. Eritme işleminden sonra yaşlandırma işlemi esnasında çekirdekler başlangıçta bir ahenk içerisinde çöker. Kristal merkezli benzer matrisler şeklinde ve küresel biçimde büyüyerek kübik yapısını kaybeder ve bir şekilde ince ve homojen zerrecikler şeklinde gelişir. (Ni_3Al) bir intermetalik fazdır. Birbirini etkileyerek yerinden çıkarma ile antifaz sınırını etkiler ve alaşımın (γ) fazını güçlendirir. Sıcaklık arttıkça faz kuvveti de artar. Ayrıca (γ) fazının tabiatında var olan akıcılığı ve şiddetli karışıklığı engellemeye yardımcı olur. Karbürlerdeki gibi, faz sayesinde daha yüksek sertlik ve apayrı bir mukavemet kazandırma gelişir. (7).

$Ni (Al)$ ' da alüminyumun çoğu titanyum, niyobyum ya da tantalum tarafından yer değiştirebilir. Faz oluşturabilme yeteneğini bırakarak, titanyum (γ) fazı 700 - 900 °C' de hekzagonal kapalı paket yapısına sahip (Ni_3Ti) formuna dönüşebilir. Dönüşüm, düzenli bir şekilden düzensiz bir çökeltme ortaya çıkarır ve titanyumun alüminyuma oranı artar. Ayrıca alaşımın kararlılığı azalır. (γ) faz' ının dönüşümü ile, alaşım dayanımında arzu edilmeyen bir düşme oluşur (2). Inconel 718' de niyobyum oranı % 4' ten fazla olduğu zaman benzer bir dönüşüm olan Ni_3Nb oluşur. Dönüşme işlemleri ' Ni_3Nb ' dir. Tetragonal merkezli bir yapı oluşur. Bu faz çökeltme matrisi ile

uyum içerisinde olan küçük boyutta dairesel ve düzlemsel bir yapı oluşur. Ni_3Nb yapısı bir dik rombik yapıdır. Yapı büyük dairesel ve düzlemsel bir yapı halini alınca, sürünme ve kırılma özelliğine Ni_3Nb partikülleri olumlu katkıda bulunur (2).

Topolojik kapalı paket faz (TCP)

Bu faz belirli alaşımlarda yüksek sıcaklıklarda açığa çıkan gerilmelerin sonucu olarak ortaya çıkar. Bu faz krom nikel esaslı alaşımlarda 650-925 °C' lerde çöktürülebilir. Bu faz intermetalik bir bileşik olup metal geçiş elementleri arasında bir tetragonal yapı sergiler. Çekirdekleşme sonucunda şekillenir ve büyür. Tane sınırlarında borit' lerin ve karbürlerin yüzeyleri arasında iğneler biçiminde ya da düz dairesel tip partiküller halinde kendini gösterir. Mekanik oluşumun ve TCP fazının, alaşım özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır. Bileşiklerin kendileri kırılğan ve serttir. Faz' ın bazen de yüksek sıcaklıklarda sürünme gerilimi üzerinde daha çok etkisi vardır. TCP fazı yüksek miktarda işlenmesi zor elementler içerir ve ayrıca, alaşımların matrisini açarak dayanımda zayıflığa neden olur (2).

Alaşımlardaki karbürler ve etkileri

Süper alaşımlar içerisinde karbürlerin rolü dinamik ve karmaşıktır. Çoğu araştırmacının inancına göre, yüksek sıcaklıklarda sürünme gerilimi üzerinde anlamlı ve faydalı etkileri vardır. İlaveten, karbür morfolojisi akıcılığı etkileyebilir ve aynı zamanda reaktif elementleri matris içerisinde uzaklaştırarak kimyasal kararlılığı etkileyebilir. Nikel esaslı süper alaşımların içerisinde üç tip karbür bulunur. MC, M_{23}C_6 , M_6C ve nadiren de Cr_7C_3 bulunabilir. MC karbürleri Kimyasal etkileşimin olması durumunda daha sonra kullanılmak üzere alaşımlar için karbonun ana kaynağıdır. Doğada en kararlı elemanlar arasında normalde düşünülmesi gereken bir f_{cc} yapısına sahiptirler. Karbürler, katılaşma işleminden sonra ya yüksek sıcaklıklarda ya da sıvı durumundayken şekillenirler. Karbürler, tane sınırları boyunca ya da bir tane bloğu içerisinde ortaya çıkarlar. Titanyum, tantalyum, niyobyum ve hafniyum MC formunun ana elemanlarıdır. Daha az reaktif olan molibden ve tungsten içeren alaşımlar gibi, M_{23}C_6 karbürleri genelde alaşımda yüksek krom içerikleri ile daha

düşük sıcaklıklarda (760-900 °C) şekillenerek alaşıma hakim olurlar. $M_{23}C_6$ karbürleri, MC karbürlerinin bozulmasından ve alaşım matrisi içerisinde kalan çözülebilir karbon sayesinde şekillenirler ve nikel esaslı süper alaşımların özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır ve tane sınırlarında göze çarpan karbürler gibi sürünme gerilimleri üzerinde önemli etkileri vardır. Görünürde tane sınırlarını bırakmayan durum sayesinde özellikleri ters etkilenir. M_6C karbürleri molibden kapsamı yüksek olan alaşımlarda, yüksek sıcaklıklardaki ısıtma işlemleri sonucunda şekillenirler. Bunlar, aynı zamanda MC' nin bozulmasının sonucu olarak'ta ortaya çıkarlar. MC formunda krom, nikel ve kobalt M' nin yerini alabilir. Molibden ve tungsten farklı olup bunlar $M_{23}C_6$ ya uygun düşerler ve kompozisyonları çok geniştir. Yüksek sıcaklıklarda M_6C karbürleri $M_{23}C_6$ ' dan daha karardır ve dövme alaşımlarda tane boyutunu kontrol etmede ve tane sınırlarında çökeltme işleminde daha yararlıdır (2).

Alaşımlardaki bor bileşikleri ve etkileri

Pek çok nikel esaslı süper alaşım, düşük miktarda bor içerir. Normalde bor $M_{23}C_6$ tipi karbürlerle bağdaştırılır. Ancak bor miktarı % 0,01' den daha fazla ise M_3B_2 formu oluşur. M genelde molibdendir. Fakat krom, titanyum ve nikel' de M yerine geçebilir. M_3B_2 formu tetragonal bir kafes sistemine sahiptir ve tane sınırlarında çökeltme eğilimi taşır (2).

Nikel esaslı süper alaşımlara uygulanan ısıtma işlemleri

Gerekli özellikleri kazandırmada uygulanan ısıtma işlemleri üç aşamada değerlendirilir.

Tavlama / yumuşatma işlemleri

Bu tip işlemler sadece iş sertliğine maruz alaşımlar için uygulanır. Bu durumda hem orta, hem son işlemler ile üretim sonunda yumuşak bir akıcılık verilir. Yumuşatma genelde yeniden kristalleşme ile bağdaştırılır. Fakat bazı krom karbidlerinin erimesine sebep olabilir. Tavlama, genelde katı eriyik ile kuvvetlendirilmiş alaşımlar

için gereklidir. Yumuşatma işlemleri, aynı zamanda çökeltme ile kuvvetlendirilebilir alaşımlara üretim esnasında uygulanır. Çökeltilebilir kuvvetlendirilmiş fazları tamamen eritmek bakımından bu işlemlerde kullanılan zaman ve sıcaklığı bilmek çok önemlidir (7).

Eritme işlemleri

Eritme işlemlerinin ana amacı çökeltilebilir fazı eritmektir. Genellikle (‘) fazı ve bazı karbür oluşumlarında, öncelikle yaşlandırma ya da soğutma esnasında çökeltmeyi kontrol etmektir. Eritme işlemleri sıcaklığının seçimi, var olan muhtelif fazların eritme sıcaklıklarına bağlıdır. Tane kabalaşma sıcaklığı, en iyi tane boyutu, en iyi düşük sıcaklık ile en iyi akma ve yorulma özelliklerini verecek sıcaklığı tercih etmek gerekir. Yüksek sıcaklıklarda ki sürünme kırılma özellikleri ve kabalaşmış taneler, yüksek katı eritme işlemleri sayesinde düzeltilebilir (2).

Çökeltme işlemleri

Bu işlemin ana amacı genelde mekanik özellikler geliştirmek için mukavemet kazandırma fazını çökeltmektir. Optimum mukavemet kazandırma işlemleri için mukavemet kazandırma olayı yaklaşık 700 °C’ de 128 saat ya da 650 °C’ de 500 saat’te gerçekleştirilmelidir. Ancak bu süreler ticari olarak yani ekonomik açıdan kabul görmemektedir ve ayrıca maksimum mukavemet kazandırma aranmayabilir. Onun için daha pratik ortamda gerçekleştirilen mukavemet kazandırma işlemleri tercih edilir (19).

Katı solüsyonlu nikel alaşımlar

Bu alaşımlar, genelde, 870 - 980 °C arasındaki sıcaklıklarda, yüksek genleşme ve yorulma dayanımını elde etmek için kullanılırlar. 1120 - 1200 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda 600 °C’ de olduğundan daha yüksek genleşme dayanımı ve sürünme-kopma özellikleri ortaya koyarlar. Başta Hastelloy X, Inconel 601, Inconel 617 ve Inconel 626 olmak üzere bazı katı solüsyonlu nikel alaşımlar, uzay çalışmalarında

kullanılmaktadır. Hastelloy X, Inconel 601 jet motorlarında, gaz türbini parçalarında ve yaygın olarak türbin motorlarında da kullanılırlar. 980 °C' nin üstünde, Inconel 617, yüksek gerilme-kopma dayanımı isteyen uçak gaz türbinlerinin çeşitli parçaları için kullanıma elverişlidir. Inconel 625, ısı kalkanlarında, uçak sistemlerinde, egzoz sistemlerinde, itiş gücü yönelticilerinde, türbin kaplamalarında yakıt ve hidrolik tesisatında kullanılır (6).

Çökeltme takviyeli nikel alaşımlar

Bu alaşımlar uygun sıcak işleme süreci boyunca ikinci safhanın çökertilmesine yardımcı olmak için alüminyum, niyobyum veya titanyum içerirler. Y^I veya Y^{II} olan çökertilmiş safha, alaşımın dayanımını ve sertliğini artırır. Örneğin Inconel 600' ün çökertilmiş versiyonu olan Inconel X-750 alaşımı, 540 °C' de Inconel 600' ün sahip olduğu dayanımın üç katına sahiptir. Çökeltme takviyeli alaşım olan Nimonic 80 A, katı solüsyonlu benzeri olan Nimonic 75' e nazaran 3 kat daha dayanıma sahiptir. Çökeltme takviyeli alaşımlar için sıcaklık işlemleri, genellikle 600 - 815 °C ile daha fazla çökeltme işlemi için ise, bunu takiben 970 - 1175 °C' de bir solüsyon işlemi gerekir. Bu alaşımların çoğuna, Y' intermetalik $Ni_3(Al,Ti)$ fazı oluşturarak çökeltme kuvvetlendirilmesini arttırmak için alüminyum ve titanyum katılır. Inconel 718 gibi niyobyum takviyeli alaşımlarda çökeltme, sertleşme sıcaklıklarına geç tepki gösterirler. Böyle alaşımlar önemli derecede kaynak yapma yeteneğine sahiptirler. Çünkü kaynak sıcaklığı, sertleşmeyi azaltmaz ve kaynak sonrası kırılmaya neden olmaz. Uzay çalışmaları çökeltme takviyeli süper alaşımlar için en yaygın kullanım alanlarının başında gelir. Bu alaşımlar, roket motorlarında ve uçak gaz türbin parçalarında kullanılırlar (1). Diğer uygulamaları, nükleer reaktörlerde cıvata ve yayları kapsar. Çökeltme takviyeli alaşım uygulamaları dövülmüş bileşenleri içerir. Sonuç olarak bu alaşımların dövülmüş ve sıcak işleme durumlarındaki mekanik özellikleri önemlidir. Yüksek sıcaklıklarda dökümlerin dövmelerden daha güçlü olmasından dolayı, döküm süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda çalışmayı gerektiren uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu nedenden ötürü, INCO 713, INCO 100, B-1900, MAR-M 147 ve MAR-M 200 gibi döküm nikel alaşımlar türbin ağızlarında kullanılmaktadır. B-1900, MAR-M 247 ve MAR-M 200 gibi yüksek dayanımlı

döküm alaşımların ortalama çalışma sıcaklığını geliştirmek için küçük miktarda hafniyum eklenmiştir (9). Nikel esaslı süper alaşımlar, hem katı solüsyon hem de çökeltme ile kuvvetlendirilmiştir. %18,5 Fe, %22Cr, %9 Mo, %1,5 Co ve %0,6 W içeren daha düşük dayanımlı nikel esaslı katı solüsyon süper alaşımlara bir örnek olan Hastelloy X, gaz türbinli motorlarda yanma ve tüketim uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (2). Bu alaşımlar mükemmel işlenebilirlik ve kaynak yapabilme özellikleriyle birleşerek yüksek sıcaklık korozyon erozyonuna karşı dayanım gösterirler. Yüksek sıcaklığa dayanım gerektiren uygulamalarda, genellikle çökeltme takviyeli nikel esaslı alaşımlar seçilmektedir. İkinci bir çökeltme safhası ile güçlendirilmiş bu alaşımlar, en karmaşık ve gerçekte bütün süper alaşımlar içerisinde en gözde olanıdır. Bu alaşımların fiziksel metalürjileri iyi bilinmekle beraber mikro yapının özelliklerine bağlı olarak bazen çözümü zor ve karmaşıktır. Bu alaşımlar yüzey merkezli kübik (f_{cc}) austenitik katı solüsyon matrisi veya ilk mukavemet kazandırma aşaması olarak çökertilmiş nikel-alüminyum-titanyum bileşiği ile metal olarak görünürler. “Austenitik”, bir f_{cc} kristalli yapının temel metal ile, ara metalleri veya metalin katı solüsyonuna verilen bir ifadedir. Örneğin, her metal kristali, altı küp yüzeyinin her birinin merkezinin yanında, her köşede bir atomu olan küp biçimindedir. Belirli bir alaşım bileşiğine ve ısı işlemine bağlı olarak çeşitli karbürler ikinci çökelti safhalarında yer alırlar, Şüphesiz Y' takviyeli süper alaşımlar, gaz türbinli motorlarda, gerilme ve sıcaklığa ilişkin birçok uygulamalarda kullanılmaktadır (9). Geliştirilen bu alaşım sisteminin, temel metalin ergime noktasına yakın sınırlarda bile önemli derecede bir dayanıma sahip olduğu ispatlanmıştır. Nikel alaşımlardaki bir diğer güçlendirme mekanizması ise yapıda dağılmış oksit partiküllerinin bulunmasıdır. Bu tip dağılımla kuvvetlendirilmiş alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım gösterirler. Kobalt alaşımlar çok yüksek sıcaklıklarda (1905 °C’ nin üstü) nikel esaslı alaşımlardan daha dayanıklıdır. Nikel esaslı alaşımlar gibi kobalt esaslı süper alaşımlarda bir f_{cc} austenitik katı solüsyon matrisi ile karakterize edilmişlerdir. Kobalt esaslı süper alaşımlar, ikinci safha kuvvetlendiriciler olarak karmaşık karbürler elde etmek için önemli miktarda karbon içerirler (6).

2.3.2. Demir esaslı süper alaşımlar

Genellikle, demir esaslı, demir-nikel-krom-kobalt bileşikleri ve nikel esaslı katı solüsyon takviyeli alaşımların yüksek sıcaklığa dayanımları, 650 °C' nin üstünde nikel esaslı çökeltme takviyeli ve kobalt esaslı karbür safhası takviyeli alaşımlarinkinden daha düşüktür. İlk demir esaslı süper alaşımlar %16 Cr, %25 Ni, %6 Mo ve denge demiri içeren 16-25-6 alaşımı ve % 40 Fe, %20 Ni, %20 Cr, %20 Co ve küçük miktarda tungsten ve molibden içeren Multimet gibi demir-nikel-krom-kobalt alaşımlar esasen katı solüsyon takviyelidir. Katı bir solüsyon, iki veya daha fazla metal veya ara metaller, tamamen ve homojen katı olarak birbirleriyle birleştiğinde ortaya çıkar. Katı bir solüsyon kahvedeki şeker gibi, sıvı bir solüsyon olarak aynı homojen kombinasyondur. Solüsyonlar, her bir parçanın kendi özelliklerini taşıdığı bir kuru un ve şeker karışımı gibi mekanik karışımlardan farklıdır. Kuvvetlenme, bir metalin diğer bir metal içerisinde çözülerek yeni bir metal oluşturmasıyla meydana gelir. Nikel, krom, ve küçük miktarlarda alüminyum ve titanyum içeren demir esaslı alaşımların bir nikel-alüminyum-titanyum mukavemet kazandırma aşamasının çökeltilmesiyle yüksek sıcaklığa karşı dayanımları artmıştır. Yapıda ikinci bir aşamanın varlığı katı solüsyonun kuvvetlenmesinden daha etkindir. İkinci safhanın oluşumu önemlidir, ince ve daha yaygınlaşmış, daha etkin dayanıma sahiptir. Aslında, yüksek sıcaklığa maruz kalma, dayanımın azalmasına neden olur. 540 °C' nin üstündeki uygulama sıcaklıkları için en büyük öneme sahip olan demir esaslı alaşımlar f_{cc} (yüzey merkezli kübik kafes) matrise sahiptir. Çünkü kapalı bir kafes, zamana bağlı deformasyon süreçlerine daha dayanıklıdır. İntermetalik bileşik çökeltmesi ile kuvvetlendirilmiş demir esaslı süper alaşımlar gaz türbinli motorlarda kullanım alanı bulmuştur. Örneğin, bazı gaz türbinli motorlar da, türbin disk ve mafsalları ile türbin yuvaları için A-286 kullanılmaktadır. Demir esaslı süper alaşım kategorisine girmeyen birçok süper alaşım, içerisinde önemli miktarlarda demir bulundurmaz. Çünkü, bileşikler demir, nikel, krom ve muhtemelen kobalt ile daha düşük miktarlarda molibden, tungsten veya duruma göre niyobyum bileşiklerinin karmaşık kombinasyonlarıdır. Bu alaşımlar katı solüsyon veya intermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmiştir.

2.3.3. Kobalt esaslı süper alaşımlar

Kobalt esaslı süper alaşımlar, temel bileşen olarak kobalt ve önemli miktarlarda krom tungsten ve daha az miktarlarda molibden, niyobyum, tantal, titanyum ve duruma göre demir içeren alaşımlardır. Katı solüsyon ve karbür safhaları ile kuvvetlendirilmişlerdir. Karbür safhası kuvvetlendirilmesine bağlı olarak % 0,4 ila % 0,85 karbon içerirler. Kobalt katı solüsyonlu alaşımlar kullanım alanına göre üç alt gruba ayrılırlar. (a) Haynes 25, Haynes 188, UMCö-50 ve S-816 dahil olmak üzere 650 ila 1150 °C arasında kullanılan alaşımlar; (b) 650 °C civarında kullanılan ve MP-35N ve MP-259 bağlayıcı alaşımlar, c) Aşınma dirençli Stellite 6B alaşımlar. Sıcak işlenmiş bütün alaşımlar f_{cc} kristal yapısına sahiptir. Fakat; MP-35N ve MP-159 alaşımları servis uygulamalarından önce tavsiye edilen termo mekanik işleme süresince kapalı hekzagonal yapılar geliştirirler. Kobalt esaslı süper alaşımların hiçbirisi tam bir katı solüsyon alaşımı değildir. Çünkü, hepsi ikinci karbür safhası veya intermetalik bileşikler içerirler. Yaşlanma, genellikle oda sıcaklığında kayba yol açan ilave ikinci safha çökeltmesine neden olur (6).

Haynes 25, yaygın olarak gaz türbinli motorların sıcaklığa maruz kalan kısımlarında, nükleer reaktör parçalarında ve soğuk çalışma şartlarında kullanılabilen işlenebilen kobalt esaslı bir alaşımdır. Haynes 188 ise özellikle gaz türbinlerindeki yaprak tabaka halindeki parçalar için tasarlanmış lantan, silikon, alüminyum ve manganez içeriklerini kontrol edebilen basit oluşumu ile 110 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyon dayanımı olarak mükemmel kalite sunar. MP-35N ve MP-159, özellikle sertleştirilmiş olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve her iki alaşım da, zor çalışma şartlarında yüksek dayanıma sahiptir. MP-35N ve MP-159 daha çok bağlar için kullanılmıştır; MP-159, 650 °C' lik üst çalışma sınırına sahiptir. Yüksek sıcaklığa ait son grup olan, katı solüsyon takviyeli kobalt alaşımlar, Stellite 6B denilen tek bir alaşım içerir. Bu alaşım yüksek sıcaklık sertliği ve oksidasyona nispeten iyi dayanım gösterir. Sıcaklık sertliği, karmaşık karbür oluşumların sayesinde elde edildiği yüksek krom içeriğinden bu özellik türetilmiştir. Stellite 6B, buhar türbinlerinde erozyon kalkanı, gaz türbinlerinde aşınma pedleri, yüksek sıcaklık ve yüksek hızlarda partikül taşıyan tüp sistemlerinde bağlantı parçası olarak

yaygın şekilde kullanılmaktadır. X-40, WI-52, MAR-M 302 ve MAR-N509 gibi karbür safha takviyeli süper alaşımlar, öncelikle, statik pervane uygulamaları olmak üzere yoğun olarak türbin motor hava folyolarında kullanılmaktadır. Bu alaşımlar yeterli derecede yüksek sıcaklık dayanımına, oksidasyon ve kaynakla tamir edilebilme yeteneğine sahiptirler (6).

2.3.4. Dökümler ve dövmelemler

Dökümler, esasen yüksek sıcaklıklarda dövmelemlerden daha dayanıklıdır. İnce dövme taneciklerine kıyasla dökümlerin kaba tanecikleri yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklıdır. Döküm içerikleri yüksek sıcaklıklar için oldukça etkilidir. Örneğin yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım, alüminyum ve titanyum artırılarak nikel esaslı Y^I takviyeli süper alaşımlarda gerçekleştirilebilir. Böylece Y^I hacim yüzdesi artar ve krom içeriği düşer (2).

Krom miktarındaki azalma, sıcak korozyona ve dayanımda azalmaya neden olur, böylelikle %8-12 Cr içeren bu sınıf süper alaşımlar, sıcak korozyon dayanımındaki kaybı karşılamak için çözülmüş alüminyum gibi kaplamaların kullanılmasını gerektirebilir. Küçük miktarlardaki hafniyum ilavesi nikel süper alaşım dökümlerinin ortalama sıcaklıklarda önemli derecede ilerlemesine neden olmuştur. Yüksek sıcaklığa dayanım üstünlüğünden ötürü, birçok uçak gaz türbin motorunda, yüksek sıcaklık uygulamaları için Y^I takviyeli nikel esaslı süper alaşım dökümleri kullanılır. Süper alaşımların karmaşık bileşik kombinasyonları olduğu ve çeşitli elementlerin önemli etkilere sahip olduğu açıktır (6). Süper alaşımlardaki alaşım elementleri (a) sadece matrisi etkileyen katı-solüsyon kuvvetlendiriciler; (b) tanecikler içerisinde veya tanecik sınırları içinde karbürler veya ara metalik bileşikler oluşturan elementler; (c) nikel esaslı alaşımlarda bir Y^I safhası oluşturan elementler ve (d) ortam sıcaklığını geliştirme veya Y^I katı çözünürlük sıcaklığının düşürülmesi veya yükseltilmesi, oksidasyon dayanımının geliştirilmesi gibi muhtelif etkilere sahip elementler olarak sınıflandırılabilir.

Döküm bir ürün ile, işlenebilen ürün arasındaki en büyük yapısal fark, işlenen ürünlerin sıcak işlemekten kaynaklanan daha ince taneciklere sahip olmasıdır. İşlenmiş ürünler oda sıcaklığından 540 °C' lik sıcaklığa kadar, dökümlerden daha iyi dayanıma sahiptirler. İşlenmiş ürünler genellikle ilave olarak dökümlerden daha iyi kırılma ve yorgunluk özelliklerine sahiptir. Çünkü, kusurlar ve büyük tanecikler kırılmıştır ve gözeneklilik sıcak işleme süreçleri boyunca iyileştirilmiştir (6).

2.4. Süper Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Davranışları

Metalik elementlerin yüksek sıcaklık dayanım davranışları ergime özelliklerini izler. Örneğin, ergime noktası yükseldikçe metalin yüksek sıcaklık dayanımı artar. Bu yüzden elementlerin ergime noktaları önemli rol oynar. Titanyum başta olmak üzere bazı elementler farklı bir kavis çizer (6). Ancak bu ilişkinin yakından incelenmesi gerekir. Malzemedeki sürünme /gerilme-kopma ve metalürjik kararsızlık, süper alaşımların yüksek sıcaklıklardaki davranışlarını belirler.

2.4.1. Sürünme /Gerilme -kopma

Yüksek sıcaklıklarda statik veya dinamik yüklemeye maruz kalan bir metal bileşiğin ömrü sınırlıdır. Aksine, düşük sıcaklıklarda ve aşındırıcı bir ortamın olmaması durumunda bir parçanın ömrü, çalışma yüklerinin, metalin dayanımını aşmaması durumunda statik şartlar altında sınırsızdır. Tanımlamak gerekirse, sürünme (creep), zamana bağlı gerilmedir veya yüksek sıcaklık altında oluşan deformasyondur. Bir süre sonra, “gerilme-kopma” denilen kırılma ile yok olur. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığa bağlı hatalar, geniş bir sıcaklık alanında ortaya çıkar. Sürünme, genellikle atomsal yapının zamana bağlı olarak tekrar düzelmesine olanak verir (6).

2.4.2. Metalürjik kararsızlık

Yüksek sıcaklıkta çalışmanın diğer bir özelliği metalürjik kararsızlık içermesidir. Gerginlik, süre, sıcaklık ve çevre; kullanım süresince metalürjik yapıyı değiştirir. Bazı durumlarda dayanımın arttırılabileceğine dikkat edilmelidir. Bu yapısal

değişiklikler veya metalürjik kararsızlıklar, gerilme-kopma özelliklerindeki etkileriyle en iyi şekilde açıklanır. Süper alaşımlarda bir çeşit karbür bulunmuştur. Sıcaklık ve gerilme, hem tanecikler içindeki karbürleri hem de tanecik sınırlarındaki karbürleri etkiler, tanecik sınırlarındaki karbürlere olan etkiler sıklıkla sürünme ve kopma davranışının değişiminde çok daha önemli bir faktördür. Tanecik sınırı morfolojisi aslında yüksek sıcaklık özelliklerine bağlı olarak çok önemlidir. Kuvvetlendirici olan karbürlerin tanecik sınırında varolması optimum sürünme ve kopma ömrü için gereklidir. Fakat, biçim ve kırılmada diğer karbür formlarına olan değişimler kademeleşmeye neden olabilir. Optimum dayanım için tanecik sınırlarında en iyi karbür oluşumu tipi, ayrı blok halindeki partiküllerdir. Tanecik sınırlarındaki sürekli karbür tabakaları gerilme-kopma ömrünü azaltır. Süper alaşımlardaki karbür oluşumları MC, $M_{23}C_6$, M_6C ve Cr_7C_3 olarak sınıflandırılabilir. Bu karbürlerdeki M içeriği genelde titanyumdur. Fakat, molibden, niyobyum, vanadyum, zirkonyum ve tantalyum gibi elementler, dahil edilmiş olabilir. Cr_7C_3 içindeki Cr kromdur. Alaşımı uygun gerilme-kopma özelliklerinde elde etmek için, karbürlerin, uygun işleme, sıcaklık ve tanecik sınırlarında elde edilmesi gereklidir. Optimum nitelikler için sürekli tabaka ve ince hücresel karbürlerden kaçınılmalıdır. Nikel esaslı süper alaşımların, tanecik sınırlarını kuvvetlendirerek sürünme kopma özelliklerini arttırmak için, küçük miktarda bor ve zirkonyum katılması gerekir. Nikel esaslı süper alaşımlarda serbest elementlerin varlığının anlaşılması, süper alaşımların özelliklerinde bileşiğin özelliğini tam olarak yansıtmaması için gereklidir. Bir kararsızlık durumunda bazı elementlerin varlığı özelliklerde önemli azalmalara neden olabilir (6).

2.5. Süper Alaşımların Toz Metalurjisinde Kullanımı

Uçak ve motor parçalarını kimyasal ve metalürjik olarak tek tip yapıdan elde etmek için metal tozlarının kullanımı artmaktadır. Toz temizliğine ilişkin olarak diğer önemli gelişme ise toz üretiminin, toplanmasının ve yoğunlaşmasının etkisiz bir ortamda gerçekleştiği işlemdir. Yüksek dayanımlı nikel esaslı süper alaşımlar; bir külçe halinde kırılmayı sağlayan şiddetli makro ayrılmalara eğilimlidirler. Kavramsal olarak, toz metalürjisi bu problemin üstesinden gelmek için bir yöntem sunar. Çünkü

malzeme homojen bir sıvı olarak küçük damlacıklara bölünmüştür. Maksimum ayrılma mesafesi katılaştırılmış damlacıkların büyüklüğü ile sınırlıdır. Ani katılaştırma teknolojileri kullanılarak süper alaşım tozlarının üretimi temel bir araştırma konusu olmuştur (6).

2.6. Süper Alaşımların Kullanılma Yerlerine Göre Seçimi

Süper alaşımların kullanımı, uçak gaz türbin motorlarından diğer birçok endüstriye yayılmıştır. Ancak, uçak motorları, bu tip uygulamalar için süper alaşım kullanımında en önemli pazar olmaya devam edecektir. İntermetalik çökeltme ile kuvvetlendirilmiş Inconel 718 alaşımı uçak motorlarında temel çalışma malzemesi olmaya devam edecektir. Inconel 718, haricindeki demir içeren nikel esaslı çökeltme takviyeli süper alaşımlar, demirsiz alaşımlar kadar kullanılmamaktadır. Çökeltme takviyeli nikel esaslı ve karmaşık demir-nikel-krom-alaşımlarının kullanımı azalmaktadır. Hastelloy X gibi krom demir ve molibden içeren katı solüsyon takviyeli nikel süper alaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kobalt esaslı süper alaşımların kullanımı azdır. MAR-M 509 gibi kobalt alaşımlar uçak türbini motor hava folyolarında, özellikle statik pervanelerde kullanılmaktadır. Haynes 188 kobalt esaslı alaşım popüler bir yakıcı alaşım olarak kalmaktadır. Kobalt esaslı alaşımlar aynı zamanda medikal alanda kullanılırlar. Oksit dağılım takviyesini içeren Inconel' in mekanik alaşımı olan ürünler, askeri motor türbin pervaneleri için MA754 alaşımını kullanmasıyla biraz önem kazanmıştır. IN-100 alaşımına benzeyen Pratt&Whitney' in MERL 76 alaşımı, yeni alaşım bileşikleri için yeni faaliyetler oluşturmuştur. Pratt&Whitney' in bu alaşımı, karbon, bor, zirkonyum ve hafniyum içermeyen ve % 12 tantal içeren yeni bir tek kristalli alaşımdır (6).

Süper alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda çalışan uçak parçalarında, kimyasal fabrika donatımı ve petro-kimyasal donanımlar gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Süper alaşımların mevcut uygulamaları içerisinde:

- 1- Uçak ve endüstriyel gaz türbinleri: diskler, cıvatalar, yuvalar, bıçaklar, vanalar, yanma odaları,

- 2- Buhar türbinli güç tesisleri: cıvatalar, gaz ısıtıcıları, turbo şarjlar, egzoz valflar, sıcak tapalar, valf-oturma yerleri,
- 3- Tıbbi uygulamalar: dişçilik, prostetik aletler,
- 4- Uzay araçları: aerodinamik olarak ısınan yüzeyler, roket motor parçaları,
- 5- Sıcaklık işleme donanımları: Kaplar, karışımlar, taşıyıcı bantlar,
- 6- Nükleer Güç Sistemleri: kontrol kolu tahrik mekanizmaları, yaylar, kanallar
- 7- Kimyasal ve Petro kimyasal endüstriler: cıvatalar, valflar, borular, pompalar vb. sayılabilir.

Demir esaslı, kobalt esaslı ve nikel esaslı süper alaşımlar, konvansiyonel olarak çubuk, yaprak, şerit kablo ve preslerle dövme olarak üretilirler. Süper alaşımlar , ayrıca çubuk, tabaka, yaprak, şerit tüp, boru vs. gibi şekillerde bulunmaktadır. Yüksek saflık derecesine sahip ön alaşımlı süper alaşım tozları, izotermal dövme, süper elastik biçimlendirme veya sıcak İzostatik baskı parçaları olarak birçok yerde kullanılmaktadır. Döküm süper alaşımlar, yaygın olarak türbin uygulamalarında kullanılmaktadır (2).

2.7. Yeni Yaklaşımlar

Toz metalürjisi ve termo mekanik işlemeyi içeren yeni yaklaşımlar, orta derecedeki sıcaklıklarda malzeme dayanımını önemli derecede geliştirmeyi hedeflemektedir. *Y'* takviyeli süper alaşımlarda, oksit partiküllerini dağıtmada toz metalürjisinin kullanımı, yüksek sıcaklık dayanımını geliştirmiştir. Süper alaşım metalürjisi ile kompozit teknolojisinin kombinasyonu, türbin malzemeleri için gelecek sağlamıştır (6).

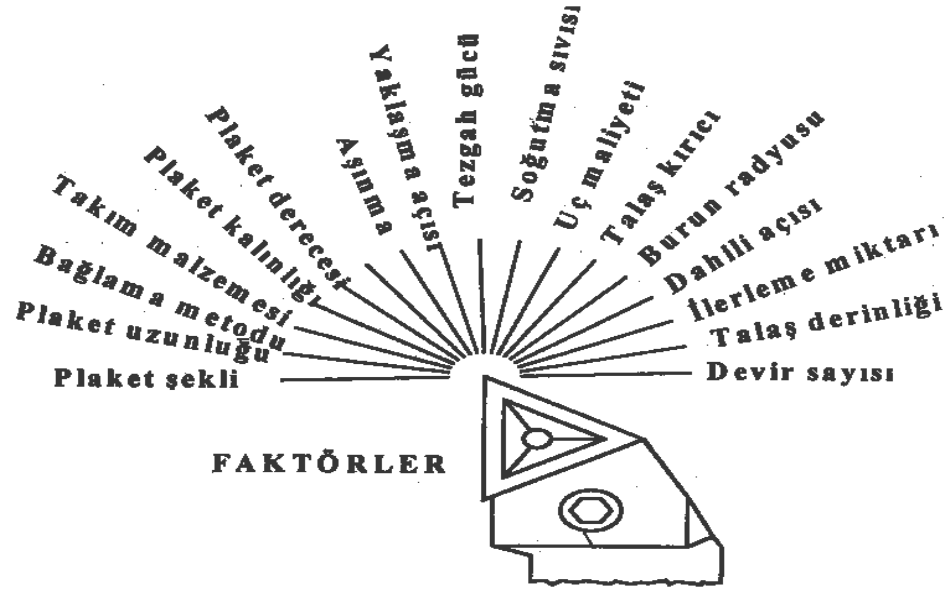
3.TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

3.1. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Döküm, dövme, haddelme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş malzemelerin kullanıma hazır hale getirilmesi için genellikle talaşlı imalat işlemine maruz kalmaları gerekir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı ve kesici takım kullanılarak, talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanmıştır (20).

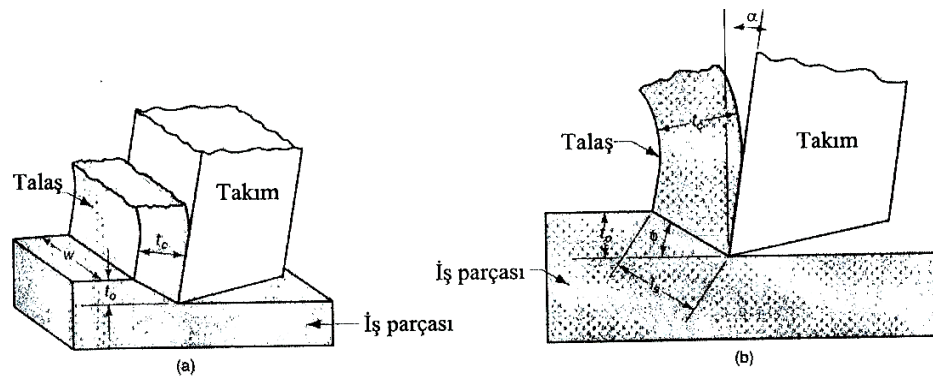
Talaşlı imalat işleminde iş parçası malzemelerinin işlenebilirliğinin ve kesici takımların kesme performanslarının yükseltilmesi çok sayıda bilimsel araştırmanın konusu olmuştur.

İşlenebilirlik, iş parçasının işlenebilme kabiliyetidir, iş parçasının şekillendirmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısı-ışıl işlem özelliği, saflığı vb. bütün bu değişkenler işlenebilirliği etkiler. Pratikte çok değişik işlemler yapıldığında farklı işlenebilirlik kriteri ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir malzeme bir kriter göre iyi işlenebilirlik özelliğine sahipken değişik tür işlemler yapıldığında, kesme şartlarından kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı, kesme sıvıları, soğutma ile işleme tipi, rijitlik, titreşim, takım geometrisi ve takım malzemeleri değiştiği zaman kötü işlenebilirlik özelliği gösterebilmektedir (21). Uygun takım ucu (takım ucu seçiminde dikkate alınması gereken faktörler Şekil 3.1.'de gösterilmiştir) ve kesme parametreleri seçilmediği takdirde işlenebilirlik özelliği düşmekte ve aşırı zorluklar yaşanmaktadır. Kesici takımlarda Mn, Ni, Co, Nb ve W olumlu katkıda bulunurken Pb, S, P ve C olumsuz katkıda bulunmaktadır



Şekil 3.1. Takım ucu (plaket) seçiminde dikkate alınması gereken faktörler (22).

Talaşlı imalat işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller seçilmiştir (23). Ancak metal olmayan malzemeler içinde bu kurallar geçerlidir. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme modeli (orthogonal) kullanılır (Şekil 3.2.). Talaşlı imalat işleminin analizinde iki boyutlu dik kesme modeli önemli rol oynar. Bu modele göre iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla talaş oluşumu gerçekleşir (23).



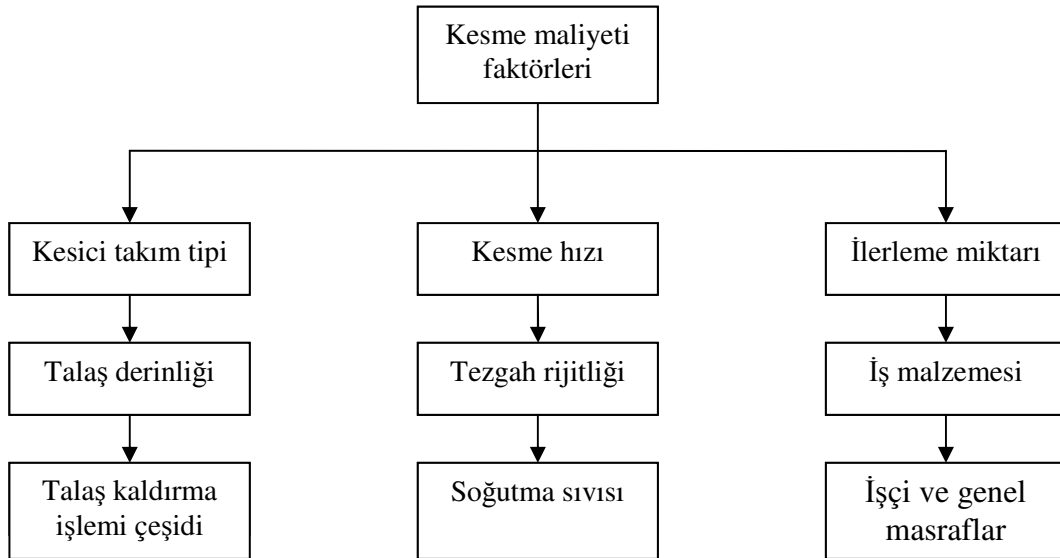
t_0 : deforme olmamış talaş kalınlığı
 t_c : deforme olmuş talaş kalınlığı
 w : iş parçası genişliği

l_s : kayma düzlemi uzunluğu
 ϕ : kayma düzlemi açısı
 α : kesici takım talaş açısı

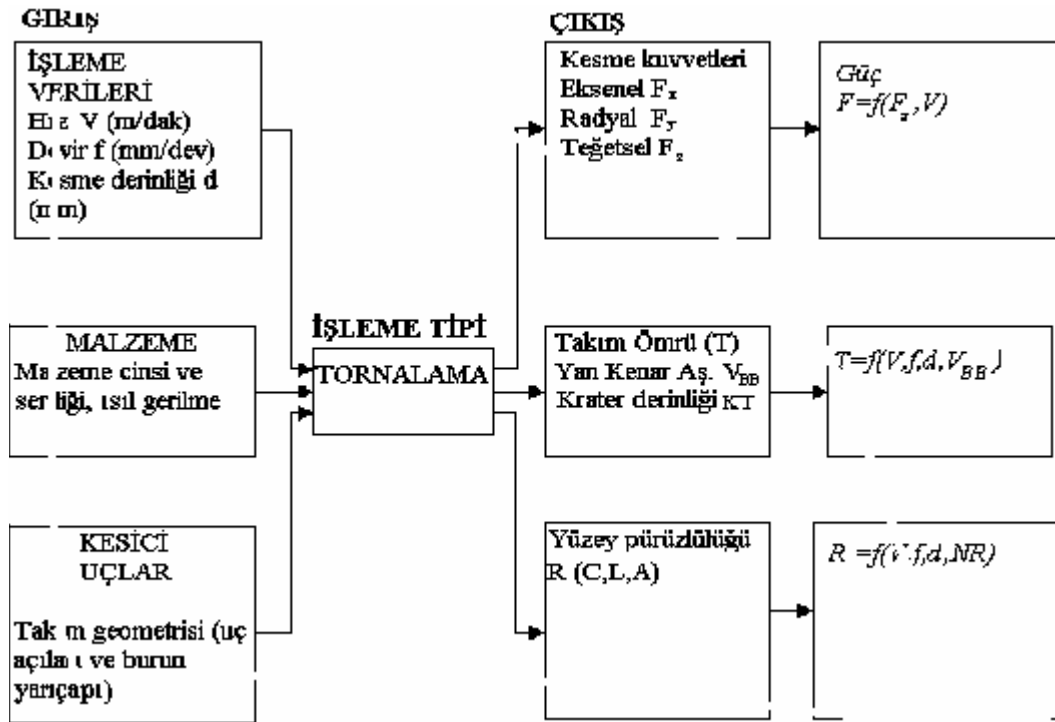
Şekil 3.2. Dik kesmede talaş modeli (23)

3.2. İşlenebilirlikte Esas Alınan Kriterler

Bir malzemenin işlenebilirliği, aşağıdaki kriterlerden biri veya birden fazlasına göre değerlendirilir. Bu kriterler (a) takım ömrü, (b) kesme hızı, (c) talaş kaldırma miktarı, (d) kesme kuvveti ve gücü, (e) yüzey kalitesi ve talaş şeklidir. Bu kriterlerden, örneğin kesme hızının veya takım ömrünün büyük olması, kesme kuvvetinin veya gücün düşük olması, iyi işlenebilirliğin mevcut olduğunu gösterir. Ancak, malzemenin işlenebilirliği, kesme şartları sabit kalmak şartıyla, genellikle, belirli bir takım ömrü için malzemelerin kesme hızlarını karşılaştırmak suretiyle ölçülür (21). Bir iş parçasının işlenebilirliği, her zaman saat başına üretilen parça sayısı, her parça için işleme maliyeti veya üretilen parçanın son yüzey kalitesi olarak ifade edilebilir. Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler Şekil 3.3.' te, tornalama işleminde İşlenebilirlik ile ilgili parametreler Şekil 3.4.' te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler (21)



Şekil 3.4. Tornalama işleminde işlenebilirlik ve giriş- çıkış parametreleri (1)

3.3. İşlenebilirlik ve Deney Metotları

İş parçasının kendisi, takım aşınması, talaş oluşumu ve son bitirme yüzeyi gibi faktörler işlenebilirlik karakteristiklerini belirler. Ancak bu faktörler talaş kaldırma işlemlerine bağlı olarak hayli değişir. Bu faktörler kısaca; aşınma, kesme kuvvetleri, talaş oluşum özellikleri ve son bitirme yüzeyi olup, kullanılan işleme metoduna, kesici takım malzemesine, yardımcı malzemelere ve kesme verileri gibi giriş değişkenlerine bağlıdır. Şekil 3.6' da ele alındığı gibi sadece işlenebilirliği değil, talaş kaldırma işlemi sonuçlarını değiştirmek veya iyileştirmek ya da kötüleştirmek mümkündür. Yukarıda verilen tanımlardan birinin belirli bir mantığı vardır. Kesme hızı arttırılırsa daha iyi talaş akışı meydana gelecek, artırılan kesme hızı takım üzerinde daha yüksek aşınma miktarına yol açacaktır. Bu ise kullanılan iki tanıma bağlı olarak hem iyi işlenebilirlik hem de daha kötü işlenebilirlik aynı zamanda isabet edecektir. Açıkçası, böyle iyi ve kötü işlenebilirlik değerlendirmesi subjektiftir ve daha önemli olarak düşünülen bir kritere bağlıdır. Böylece malzemelerin işlenebilirliği, imalat işlemi ve ısıtıl davranış ile belirlenir. Bu nedenle işlenebilirlik,

talaş kaldırma işlemi ile malzemede mikro-yapısal dönüşümler tarafından da etkilenebilir (22).

3.4. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

Aşağıdaki faktörlerin işlenebilme özelliği üzerine olumlu veya olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu faktörler (22);

- 1- Mikroyapı'nın etkisi
- 2- Isıl işlemin etkisi
- 3- Alaşım elementlerinin etkisi
- 4- Mekanik özelliklerin etkisidir.

3.5. Mikroyapı'nın Etkisi

Bir metalin işlenebilirliği, onun mikro- yapısı ile ilgili olup, yapıda sert parçacıkların mevcut olması, kesici takım ömrünü düşürürken yapıdaki kristaller irileştikçe takım ömrü artmaktadır. (22).

3.6. Isıl-İşlem

Metal veya alaşım, tavlınırsa mikroyapı değişecektir. Metalin kayma dayanımı; tavlama, normalleştirme, gerilim giderme gibi işlemlerle oldukça değişebilir (22).

3.7. Alaşım Elementlerinin Etkisi

Alaşım elementlerinin takım ömrüne etkisi vardır. Örneğin, karbon miktarı azaldıkça işlenebilme özelliği düşer. Çünkü süneklik arttığında, sünek malzeme kesici takıma yapışarak körlenmeyi hızlandırmaktadır (22).

Karbon oranı arttırıldıkça malzemenin sertliği artar, artan sertlik takım aşınmasını arttırır. Malzemenin işlenebilirliğini iyileştirmede amaç:

- a) Takım ömrünün arttırılması,
- b) Daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi,
- c) Talaş kaldırma işlemi için daha düşük güç sarfiyatının elde edilmesidir.

3.8. Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Etkisi

Genelde malzemelerde sertlik ve kopma dayanımı arasında ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve kopma dayanımı arttıkça o malzemenin işlenebilme özelliği o derece azalmaktadır. Örneğin; yüksek alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin işlenebilme özelliği çok düşüktür. Bu durum malzemenin bünyesinde mevcut bulunan Ni, W ve Mn gibi alaşım elementlerinin etkisinden ileri gelmektedir (22).

3.9. Nikel Esaslı Süper Alaşımların İşlenebilirliği

İşlenebilirlikte işleme operasyonlarını etkileyen pek çok değişken vardır. Bunların arasında kullanılacak kesici takımın küçük boyutlu ve nispeten pahalı olmaması en önemli kriterlerdendir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kullanılacak kesici takım malzemelerinde genelde şu özellikler aranır (7).

- 1) iyi aşınma dayanımı, 2) yüksek dayanım ve sertlik, 3) yüksek ısıl sertliği, 4) iyi termal şok özellikleri, 5) yüksek sıcaklıklara uygun kimyasal kararlılık.

Sementit karbür takımlar ile yüksek hız çelikleri (HSS), nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, genelde aralıklı talaş kaldırma işlemlerine uygunken (frezeleme, delik büyütme gibi), sementit karbür takımlar ise sürekli talaş kaldırma işlemlerinde daha çok kullanılmaktadırlar (tornalama, delme gibi). Günümüzde ise, bazı seramik takım malzemeleri ($Al_2O_3 - TiC$), Si_3N_4 silikon nitrit esaslı seramikler ve en son geliştirilen whisker takviyeli alüminyum oksit seramikler (%25 SiC_w whisker kapsarlar), nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde gittikçe artan bir şekilde kullanılmaktadırlar (14). Çok katlı kaplamalı karbür takımlar ($TiN+TiCN$ ve TiN)’ da nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde dikkate değer bir gelişme göstermişlerdir (24, 25). Bu kesici takımlar

PVD ya da CVD kaplama metodu ile kaplanmaktadırlar. Kübik bor nitrit takımlar ise bütün kesici takımlar içerisinde, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde en iyi performansı göstermişlerdir (26). Esas kullanım alanları demir cinsi metaller olmasına rağmen kübik bor nitritler, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde üstün performansa sahiptirler. Ancak çok yüksek bir maliyete sahip olmaları bu takımların kullanımlarını sınırlandırmaktadır.

3.10. Nikel Esaslı Süper Alaşımların İşlenmesinde Yüzey Entegrasyonu

Isıl işlemler sayesinde nikel esaslı süper alaşımların dayanımları artmaktadır (27). Yüzey yapısı, yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım, yüksek akıcılık, iş sertliğine yüksek eğilim ve yüksek gerilmelerin sonucu olarak mikro yapıdaki değişikliğe çok duyarlıdır. İşlenmiş yüzey tabakasında aşağıda sözü edilen önemli durumlar ortaya çıkabilir.

- 1- İşleme esnasında artık gerilimler ortaya çıkabilir.
- 2- İş sertliği sonucu yüzey tabakasının sertliği değişebilir.
- 3- Taşlama işleminde mikro ya da makro çatlaklar oluşabilir.
- 4- İşleme esnasında kesici takım üzerinde şiddetli yanak aşınması, BUE, yırtıklar, katlanmalar ya da çatlaklık gibi kusurlar oluşabilir.
- 5- Soğuk ya da sıcak işleme sonucu plastik deformasyon oluşabilir.
- 6- Yüksek sıcaklığa bağlı olarak metalürjik yapısal değişiklikler oluşabilir.
- 7- İş parçası ile takım arasında difüzyon hareketi ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon gibi kimyasal tepkimeler oluşabilir.

Nikel esaslı süper alaşımların taşlanması esnasında, taşlanan yüzeyde muhtelif miktarlarda artık gerilimler kaldığı görülmüştür (2, 7). Yine deneyler sonucunda işlenmiş parça yüzeyinde farklı gerilim seviyelerinin kaldığı görülmüştür. Farklı talaş kaldırma miktarları ile yüzeydeki artık gerilimler, çekme ya da basma şeklinde olabilir. Tek nokta tornalama işleminde artık gerilimler, pozitif talaş açısı ve keskin takım kullanılarak minimize edilebilir. Bu sayede plastik deformasyon ve iş sertliği düşer (7, 28). Kesici takımın şekli, aynı zamanda işlenmiş yüzeyi etkiler. Düzgün

yüzey işleme ve minimum yüzey hasarı, yuvarlak kesici takımlar ile elde edilebilir. Sürekli işleme, yüzey tabakasının sertliğini artırır ve işlenen yüzeyi bozar (28, 29). Bu durum, iş parçasının taze işlenmiş yüzeyi ve takım ucu bölgesi ile yan kenar alanı arasında oluşan kısmi hareket, şiddetli yanak aşınmasına ve sonuçta kesme kuvvetlerinin artmasına atfedilebilir. kaynaklarda bildirilen bir diğer konu da, nikel esaslı süper alaşımlar işlenirken önemli derecede yırtılmalar ve işlenmiş yüzeyde mikro yapısal değişiklikler oluşmasıdır (25, 28).

Yüksek akma dayanımına sahip süper alaşımlardan Inconel 718, talaş kaldırma işlemi esnasında, yüksek sıcaklıklarda, malzemede hem çekme hem de basma kalıcı gerilmeleri oluşturur. Aşırı yüzey ısı, çekme gerilimi oluştururken, iş parçası üzerinde daha fazla ısıdan dolayıda takımın çekme plastik deformasyonu ile basma gerilmesi oluşur. Geleneksel olmayan talaş kaldırma işlemlerinde yüzey değişimi, genelde yüksek yüzey pürüzlülüğü, iç tanelerin etkileşimi ve yeniden döküm tabakası oluşması ile kendini gösterir. İç tanelerin etkileşimi, yüzey tane sınırlarında oluşan bir korozyon şekli olup genelde keskin çentik şeklinde ortaya çıkar. Malzeme, gerekli özellikleri elde etmek için döküm sonrası ısı-ışılme tabi tutulur. Inconel 718 malzemesi kesilirken sünek yapısından dolayı sürekli ve uzun talaşlar elde edilir(22).

Bütün rombik şekilli seramik uçlu takımlar ile Inconel 718'i işlemede, talaş derinliğinde aşırı çentik nedeni ile 1 dakika talaş kaldırma işlemi yaptıktan sonra takımların bozulduğu görülmüştür (22). Çentik, esas olarak, takım ile iş parçası ara yüzeyinde yüksek basma gerilmelerinin sonucu kaynaklandığı sanılmaktadır. Daha uzun süre talaş kaldırma işlemi yapıldığında iş parçasının yüzey tabakası sertliğinin arttığı ve ana malzeme ortalama sertliğinin (475 Hv) çok üzerine çıktığı, bunda Inconel 718 alaşımının plastik deformasyonu yanında oldukça yüksek miktarda iş sertleşmesi oluşmasından ileri geldiği görülmüştür. SEM ile yapılan incelemede yüzey tabakası üzerinde plastik deformasyon miktarı oluşumu, tane yapısının uzaması ve tane sınırlarının direkt olarak yönlendiği görülmüştür (12). Nikel ve titanyum alaşımlarının ısı-ışılme sertleştiği ve bu alaşımların mikro-yapısal değişikliğe karşı çok hassas olduğu bildirilmektedir. İş parçasının devamlı sürtünmesi, talaş yüzey katmanını sertleştirir ve kesici takımın abrasyon veya

sürünme/yapışma aşınma mekanizması ile takımdan parçacıklar çıkartmasına dolayısı ile de aşırı çentiğe yol açar. Yüksek yanak aşınması ile beraber aşırı çentik oluşmuş rombik şekilli seramik takımla talaş kaldırma işlemi yapıldığında son bitirme yüzeyinin kötüleştiği görülmüştür (22). Seramik uçlu takımlar ile Inconel 718 işlendiği zaman yan kenar aşınma ve yüzey pürüzlülük değeri Çizelge 3.1.' te gösterilmiştir. Yuvarlak seramik uçlu takımlarla daha uzun süre kesme yapıldığında son bitirme yüzeyinin kötüleştiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve yan kenar aşınma miktarı Çizelge 3.1'de görülebilir.

Çizelge 3.1. Seramik uçlu takımlarda Inconel 718 işlendiği zaman yan kenar aşınma ve yüzey pürüzlülük değerleri (22)

Takım cinsi	Kesme zamanı (min.)	Ortalama yanak aşınması OYKA(mm)	Maksimum yanak aşınması MYKA(mm)	Yüzey pürüzlülüğü(μm)
Saf oksitli seramik (CNGN 120412T)	1* 1	0.336 0.248	0.769 0.549	7.94 2.45
Saf oksitli seramik (RNGN 120712T)	2 3	0.283 0.29	0.561 0.671	2.60 3.05
Karışık oksitli seramik (CNGN 120412T)	1** 1	0.203 0.157	0.511 0.404	6.02 1.13
Karışık oksitli seramik (RNGN 120712T)	2 3	0.239 0.229	0.563 0.472	1.20 2.11

OYKA: Ortalama yanak aşınması ve MYKA : Maksimum yanak aşınmasını ve 1* ise 1 dakika kesme yapıldıktan sonra aşırı son çentikleme=2.096 mm, ve 1** de ise 1 dakika kesme yapıldıktan sonra aşırı çentikleme miktarı: 4.125 mm' yi göstermektedir.

Yüksek yanak aşınmasının olduğu yerde takım/iş parçası temas alanının artması nedeni ile daha kaba bir yüzey elde edilmekte, bunun sonucu olarakta boşluk açısı azalmaktadır. Böylece yeni meydana gelen yüzey üzerinde yan kenarın sürtünmesi artar. Bunların yüksek yanak aşınması ve yüzey pürüzlülük değeri vermesinin sebebi, saf oksitli seramiklerin oldukça düşük kırılma tokluğuna ve sıcak sertliğe sahip olmasıdır (22).

3.11. Takım Ömrü

Takım ömrü, genellikle, belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak, takımın iki bileme arasında geçen aktif çalışma zamanı olarak tanımlanır. Takım ömrü esas itibarı ile aşınma olayına bağlı olduğundan aşınmaya etki eden faktörler takım malzemesi ve iş malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, soğutma sıvısı gibi faktörler takım ömrünü de etkilemektedir. Ancak bunlardan en önemli faktör kesme hızıdır (21).

Kesme işleminin optimizasyonu için kesme hızı (V) ve takım ömrü (T) arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir. Bu konuda ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış olup aşağıdaki ampirik formül ile ifade edilmiştir.

$$V.T^n = C = \text{Sabit}$$

Bu eşitlikte n: Takım üssünü göstermekte olup verilen takım malzemesi, iş malzemesi, işleme şartları, ilerleme miktarı veya talaş derinliği gibi faktörlere bağlıdır. Yine burada V: Kesme hızı (m/min.), T : Takım ömrü (min.), ve n üssü olup -1/k değerine eşit alınabilir (21). Formül bu durumda;

$$T.V^k = C = \text{Sabit yazılabilir.}$$

Fakat n değeri daha çok takım malzemesinden etkilenirken C değeri daha çok iş malzemesi ve kesme şartlarına bağlıdır. C, 1 dakikalık ömür için kesme hızını ifade etmektedir. Yani doğrunun apsis eksenini kestiği noktadır. Bu nedenle daha pratik çözüm bulmak için;

$\log C = \log V + n \log T$ ifadesi kullanılır.

(n) eğimi şöyle hesaplanabilir.

$$n = \frac{\log V_1 - \log V_2}{\log T_2 - \log T_1}$$

kesme hızıda şöyle hesaplanabilir:

$$V_2 = V_1 (T_1/T_2)^n$$

3.12. Kesici Takım Malzemeleri ve Gelişimi

Talaşlı imalat esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdırlar:

- a) yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
- b) yüksek tokluk,
- c) iş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
- d) oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık, ısıl şoklara karşı direnç,

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri ve gelişimleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

3.12.1. Kaplamasız karbür takımların gelişimi

Bu malzemeler ilk olarak 1920' li yıllarda Almanya' da elmas kullanımının pahalı olmasından dolayı ve yeterli kalıp malzemesi üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme sınıfından olup, sert karbür parçacıkların yumuşak ve sünek metallerle birleştirilmesiyle üretilmiştir. Önce tungsten karbür ile kobalt bağlayıcı kullanılarak döküm yöntemiyle güçlükle üretilmiştir. Fakat bir çok hatalara sahip bir yapı gözleendiği için kesici takım ve kalıp malzemesi olarak tatmin edici bulunmamıştır. 1923 yılında Fransa' da toz metalürjisi tekniği ile ince tungsten karbür tozlarla az miktarda demir, nikel veya kobalt tozları karıştırılarak preslenmiştir. Sonra yaklaşık 1300 °C' de sinterlemeye tabi tutulmuş ve kobalt en iyi matris olarak ortaya çıkmıştır. O zamandan beri esas

WC-Co esaslı karbürü malzemeler, farklı malzemeler ve kesme operasyonları için değişik tipleri olan karbürler geliştirilmiştir. Bazı karbürlerin özellikleri Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir. Karbür üretiminin % 50'si talaş kaldırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Karbür takımlar 40 m/min.'den 350 m/min.'lik kesme hızına kadar sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden etkili bir şekilde kullanılabilir (21).

Çizelge 3.2. Bazı karbürlerin özellikleri (21)

Karbür çeşitleri	Ergime derecesi, °C	Sertliği, (Hv 30)
Ti C	3200	3200
V ₄ C ₃	2800	2500
N _b C	3500	2400
TaC	3900	1800
WC	2850	2100

Hv 30: Vickers sertliği, ölçüm esnasında 30 kg ağırlık kullanılmıştır

Karbür kesiciler ISO sisteminde; bütün işleme dereceleri üç renkli kodlanmış seriye ayrılmıştır. Bunlar;

P serisi (mavi): Yüksek alaşımlı tungsten karbürü takım, uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

M serisi (sarı): Alaşımlı tungsten karbürü takım olup genellikle titanyum oranı P serisinden daha az olup çelikler ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılır.

K serisi (kırmızı): Tungsten kobalt alaşımlı takım olup kır dökme demir, demir olmayan metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

3.12.2. Kaplamalı sementit karbür kesici takımların gelişimi

Karbür takımlar üzerine çok ince sert bir tabakanın kimyasal buharlaştırma metoduyla kaplanmasına 1980' li yıllarda başlanmıştır. Bu metot ile kaplamalı takımların üzerine 10 µm' den daha az kalınlıkta ince bir tabaka sıkıca bağlanmakta,

kaplama maddesi olarak TiC, TiN, Ti (C, N), Hf N ve Al₂O₃ kullanılmaktadır. Burada TiN, daha düşük sürtünme katsayısı verdiği ve BUE' yi azalttığı için daha ince olduğundan dış tabakada, Al₂O₃ ise yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve abrasiv aşınma direnci sağladığından dolayı ikinci katman olarak kullanılmaktadır. TiC' de ana malzeme üzerinde, dayanım ve aşınma direnci daha iyi olduğu için, ilk katmanı oluşturmaktadır (21, 43).

Araştırmalar TiC, TiN ve Al₂O₃ kaplamaların aşınmaya dirençli olmasının ana sebebi, kesici yüzeyinde yapışmanın olduğu yerde difüzyon aşınmasına karşı direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ancak ani durumlarda yüksek hızda çelik kesilirken kaplamalar yüzeydeki yapışıklığı önleyememekte fakat düşük hızda talaş yığılmasını yok edebilmektedir. Çok katlı kaplamalar takıma her türlü işte kullanılma şansı vermektedir. Çok katlı kaplamalarda fiziksel buharlaştırma yöntemi (PVD) yaygındır. Bu metotla kaplama yapılacak yüzey, öncelikle düşük basınçlı bir bölgede soy gaz iyonuyla temizlenir ve bu bölmedeki basınç azaltılır. Kaplamalarda kullanılacak metal atomları boşluğun içinde buharlaştırılır, iyonlaştırılır ve takım yüzeyine yüksek voltajla yaydırılır. Bu işlemde karbon atomu içeren düşük basınç kullanılır. Kaplamaların takım yüzeyine yapışması, takım üzerine 500 °C ve daha aşağı sıcaklıklarda yapılır. CVD (kimyasal buharlaştırma metodu)' ye göre daha düşük kaplama sıcaklığı daha düşük kalıcı gerilme oluşturur ve enine kırılma dayanımını azaltmaz. Buna ilaveten kaplama tabakasının tane boyutunu incelttiği için PVD işlemi sinterlenmiş karbürler için daha çekicidir (21). Araştırmalar, sinterlenmiş karbür takımların TiC, TiN, Al₂O₃ gibi malzemelerde değişik metotlarla kaplanmasına yöneliktir. Kaplanmış karbür takımlarla daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akışı sağlanmaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcılık görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli yüzey elde edilmek istenildiğinde, kesme esnasında daha yüksek hızların kullanılmasına imkan sağlar. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleme özelliği, talaş kaldırmada oluşan gerilim ve ısı miktarını büyük oranda azaltır, dolayısıyla takım ömrünü hayli arttırmaktadır. Kullan-at tipli takımlardan gerekli üstünlüğü sağlamak için takımların talaş yüzeylerine yaklaşık 0.25 mm kalınlığında ince bir tabaka kaplanarak

üretilmektedir. Bu tabakanın esas görevi termal iletkenliğe sahip tok WC-Co alaşımlarından oluşmaktadır. Toz metalürji teknikleriyle otomatik pres aracılığıyla bu tip kompozit üretimi mümkündür (21).

3.12.3. Silikon nitrit esaslı seramik uçlu takımlar (SİYALON)' ın gelişimi

Siyalonlar, silisyum-alüminyum-oksijen-azot (Si-Al-O-N) bileşiminden oluşan silisyum nitrid esaslı kesici takım malzemeleri olup mükemmel özellikleri nedeniyle 1986 yılından beri araştırılmaktadır. Bunların üretiminde yaklaşık % 88 alüminyum nitrid (AlN) ve % 13 Alumina (Al_2O_3) ile birlikte % 10 yitrium oksit (Y_2O_3) tozları karıştırılarak ve öğütülerek kurutulmaktadır. İstenilen şekil ve boyutta izostatik olarak yaklaşık 1800 °C' de 1 saat süreyle sinterlenerek preslenir. Sinterleme esnasında (Y_2O_3) sinterlemeyi kolaylaştırarak sıvı silis oluşturur (44). Oldukça küçük boyutta (1 μm ' den büyük) taneler arasında bir bağ oluşturarak, hegzagonal yapılu β - Si_3N_4 kristaller meydana gelir. Siyalon kesicilerin yüksek sıcaklıklardaki sertlik değerleri diğer ticari takımlardan daha yüksektir. Siyalon kesici takımlar, değişik yükler altında kesici takımda oluşan küçük parçalar halindeki kopmalara karşı kompozit seramiklere oranla daha dayanımlıdır. Bu türdeki kesiciler ısı şoklarına daha fazla dayanabildiklerinden sulu ortamlarda kullanılabilirler. Siyalon tek bir malzeme olmayıp değişik yapı ve özellikler gösteren bir malzeme grubunun genel adı olduğundan bu malzeme grupları α ve β olmak üzere iki kristalografik gruba ayrılmaktadır. β - Si_3N_4 fiziksel özellikler olarak Si_3N_4 ' e çok benzemektedir ancak kimyasal özellikler göz önüne alındığında ise (Al_2O_3) ile bazı benzerlikler göstermektedir. α - Si_3N_4 oldukça daha yeni bir bileşik olup üzerinde çalışmalar devam etmektedir. α - siyalon seramikler oksitleyici ortamlarda 1850 °C' ye kadar kararlı bir yapı sergilemektedir (21).

3.12.4. Whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu takımların gelişimi

Son yıllarda ortaya çıkan whisker takviyeli ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik kesiciler, (Al_2O_3) matris malzemesi içine gömülen whisker kılcal kristallerinden sıcak presleme tekniği ile üretilmektedir (45). Yapıda whisker kristalleri, hacimce %25-45 arasında olup

0.5-1 μm çapında ve 10-80 μm boyundadır. Tokluk için genel mekanizma kompozit malzemelerin genel davranışlarına dayanır. Seramik matris aracılığıyla çatlak ilerlerken SiC_w ve matris arasındaki bağlar bozulur. Ancak SiC_w 'nin yüksek çekme dayanımı nedeniyle (8 GPa) orijinalliği bozulmadan kalır. Bunun sonucu da whiskerler matristen ayrılarak whisker çekilmesi meydana gelir (46). Whisker-elyaf çekilmesine karşı koyan ara yüzey kayma gerilimi, bu kırılma enerjisinin büyük bir kısmını emer, ve çatlak ilerlemesini engeller. Fakat kırılma tokluğunu iyileştirmek için elyaf-matris arasında kuvvetli bağ oluşması istenmez, çünkü kuvvetli bağ, whiskerlerin matris boyunca kırılmasına sebep olur (47, 48, 49). Bu takımlarda kırılma tokluk direnci düz aluminadan yaklaşık 3 kat daha fazladır. Yüksek sıcaklıklara ve ısıl uzamalara karşı whiskerlerle takviyelendirilmiş kesici takımlardan düz alumina'ya göre daha iyi özellikler elde edilir. Bu kesiciler nikel esaslı alaşımların sulu ortamda işlenmesinde genellikle tercih edilmektedir. Nikel esaslı alaşımların işlenmesinde karbürülü takımlara oranla 10 kat daha yüksek kesme hızları ve düz alumina kesicilere göre de 8 kat daha büyük takım ömrü elde edilmektedir. Farklı kalitelere sahip kesici takımların optimum kesme hızları Çizelge 3.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kesici takımların optimum kesme hızları (34)

Kalite	Talaş açısı (°)	Optimum kesme hızı (m/min)
KC7310	16	67
KC935	18	45
KY2000	- 7	133
KY2100 (R)	- 8	125
KY2100 (S)	+ 5	116
	- 7	98
	- 15	102
KY3000	+ 5	117
	- 7	105

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Giriş

Gelişen teknolojiye paralel olarak imalat ve malzeme teknolojisi de, hızlı bir gelişme sürecinde olup “üretimde kalite ve ekonomi” ön planda yer almaktadır. Bu nedenle endüstriyel uygulamalarda imalatta mümkün olan bütün seçenekleri ve üretim aracı olan her türlü malzemeyi kullanarak amaca ulaşma söz konusudur. Metalürjik ve mekanik özellikler göz önünde bulundurulduğunda, kullanılan malzemenin çeşitliliği, değişik işleme metodlarının kullanılmasını gerektirmektedir. Ne var ki her malzemeye göre bir işleme tekniği veya mevcut işleme imkanlarına göre üretimde kullanılacak malzemenin belirlenmesi, üretimdeki kaliteyi olumsuz etkilemektedir. İşleme metoduna bağlı olarak işlenen yüzey ve çevresindeki bölgelerde meydana gelecek yapısal bozulmalar, üretim kalitesini ve işleme ekonomisini etkileyen bir başka faktördür. Bu sebeple, bir bütünü oluşturan malzeme ve işlenmesinde kullanılan imalat yöntemi, günümüzdeki araştırmaların temel konusu olmuştur ve olmayada devam edecektir.

Yüksek hızda talaşlı imalat, havacılık/uzay sanayi, otomotiv ve kalıpcılık konularında CNC tezgahlarda parça işleyen firmalarda kullanılmaya başlanan yeni bir işleme yöntemidir. Bu yöntem genel anlamda yüksek devir ve ilerlemelerde, düşük kesme pasosu ile küçük takımlar kullanılarak yapılan kesme işlemidir.

Bu işlem, az sayıda paso ve büyük takımlar ile yavaş ve daha fazla talaş kaldırılarak yapılan kesme işlemi ile yer değiştirmeye başlamıştır. Yüksek hızda talaşlı imalat teknolojisinde kaldırılan talaş miktarı, az olmasına rağmen genel ortalama parçanın işleme süresi % 30 daha az olmakta ve hatta bazı durumlarda polisaj işlemine bile gerek kalmadan CNC tezgahtan çıkan parça, kullanıma hazır hale gelmektedir.

Yüksek hızda talaşlı imalatta kesici takımlar, normal kesme işlemlerine göre daha hızlı aşınacaktır. Bu tip aşınmaların ölçü hassasiyeti üzerinde yapacağı olumsuz etkilerden dolayı yüksek hızda işlemlerde kesici takım seçerken 40 RC nin altındaki

malzemelerde TiN (titanyum-nitrit) ve TiCN (titanyum-karbon-nitrit) ve 40 RC üzerindeki sertlikte olan malzemelerde TiAlN (titanyum-alüminyum-nitrit) kaplanmış kesici takımların kullanılması tavsiye edilmektedir (113).

Inconel 718, düşük kesme hızlarında (30-50 m/min.), daha ucuz olan sementit karbür takımlar ile işlenebilirken daha yüksek kesme hızlarında (150-250 m/min.) daha pahalı olan whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu takımlarla işlenebilmektedir (2, 50). Bu nedenle araştırmacılar bu konuda farklı kesici takım malzemeleri ve farklı kesme parametrelerini deneyerek en uygun kesme şartlarını belirlemeye çalışmışlardır.

Ancak Inconel 718 malzemesi ile ilgili ülkemizde bu konuda yapılmış çalışma son derece azdır. Literatür araştırması sonucunda, bu konuda yapılmış çalışmalar, izlenen yöntemler ve elde edilen sonuçlar bu bölümde ayrıntıları ile incelenmiştir.

4.2. Inconel 718' in İşlenebilirliğini Ele Alan Çalışmalar ve Sonuçları

N. Richards ve D. Aspinwall tarafından (1989) yapılan çalışma ile (14), whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ile nikel esaslı süper alaşımlardan Inconel 718 ve Incoloy 901 malzemesi kullanılarak pek çok kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda takım ömrü ve aşınma değerleri değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Sonuçta bazı nikel esaslı alaşımların whisker takviyeli silikon karbür takım ile 750 m/min.' lik kesme hızına ulaşabildiği görülmüştür. Nikel esaslı süper alaşımlar, kaplamasız tungsten karbür takımlar ile genelde (10-30 m/min.)'lik kesme hızlarında işlenmiştir. Bu kesme hızlarında talaş kontrolü zayıftır ve testere dişlere sahip sürekli talaşlar elde edilmiştir. Yüksek ısı, yüksek iş parçası sertliği kombinasyonu ve abrasiv talaşlar, talaş derinliğinde çentik oluşturmuştur. Özellikle titanyum ve alüminyum kapsayan süper alaşımların işlenmeleri zor olmuştur. Bu alaşımlar $Ni_3 (Ti,Al)$ tipi γ' fazının çökeltme işlemine tabi tutulmasıyla sertleştirilmiştir. Titanyum ve alüminyum interaktif (karşılıklı yer değiştirebilen) elementlerdir. Genelde γ' fazı, titanyum ve alüminyum miktarının artmasıyla arttığı, bu durumda takım aşınmasını hızlandırdığı şeklinde ifade

edilmiştir. Çalışmalarında Baker' e atıfta bulunarak "Incoloy 901'in 230 m/min.' lik kesme hızlarında oluşan çentiğin, silikon nitrit esaslı seramikler de, karışık alüminyum oksitli seramiklerden % 70 daha az olduğu ayrıca yaptıkları deneyler ile $V=150$ m/min.'lik kesme hızının ve $f=0.125$ mm/rev. ilerleme hızının üzerindeki hızlarda Inconel 718'in karışık oksitli seramikler ile işlemesine elverişli olmadığı bildirilmiştir. Incoloy 901 için tavsiye edilen parametreler (Kennametal KYON 2000), kesme hızı 120-145 m/min., ilerleme hızı 0,2 mm/rev. ve talaş derinliği 2 mm dir". Ancak 0,30 mm/rev.'in üzerindeki ilerleme hızlarının siyalon (Kennametal KYON 2000) takımlar için mümkün olduğu, Inconel 718 için $V=210$ m/min.'lik kesme hızı ve $f=0,25$ mm/rev.'de oluşan çentiğin, $f=0,175$ mm/rev.'de oluşan çentik'ten daha az olduğu bildirilmiştir. İfadelerinde 30 m/min.'lik kesme hızlarının üzerindeki hızlarda kobalt fazındaki termal yumuşamadan dolayı karbür takımların bozulduğu, kesici uç geometrisine göre, uç'ta oluşan ısıların farklı geliştiği bildirilmiştir. Dikkat çekilen bir diğer ifade, $V=10$ m/min.'lik kesme hızında aynı şartlarda dökme demir ile işlemede, kesici uç'ta oluşan sıcaklık 320°C iken, bu durum Nimonic 75 için 820°C 'ye kadar yükseldiği görülmüştür. Inconel 718'in işlenmesinde kullanımı önerilen güncel whisker takviyeli kesici takım malzemelerinin bir kısmı şunlardır. Carboloy (Cer Max 490); Greenleaf (WG300); GTE Valenite (Quantum10); Hertel (MC-3) Kennametal (KYON 2500) ve Sandvik (CC670).

1993 yılında A. Gatto ve Liuliano (56) tarafından yapılan çalışma ile Inconel 718 malzemesinin %20 silikon takviyeli Al_2O_3 takım CrN ve (Ti,Al)N PVD kaplı takım ile yine aynı malzemenin kaplamasız takım ile işlenmesinde elde edilen aşınma şekilleri ve miktarları (SEM) elektron tarama mikroskobu altında incelenmiştir. Kesme esnasında takım temas noktası boyunca oluşan farklı aşınma mekanizmaları ve sebepleri araştırılmıştır.

Çalışmalarında takım ömrü ve aşınma miktarı açısından % 20 SiC_w (Al_2O_3) üzerine yapılan CrN ve (Ti,Al) N kaplamanın, kaplamasız uca göre ısı etkilerini minimize ettiğini, Ti(C,N) ve TiN kaplamalı aynı takımlara göre ise bir kat'tan daha uzun takım ömrü elde ettikleri görülmüştür (56).

Çalışmalarında, CrN ve TiN kaplamalı seramik takımların benzer sürtünme katsayılarına sahip oldukları ve bu takımların (Ti,Al)N kaplamalı seramik takımlara göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip oldukları görülmüştür.

Geleneksel işlemede, ısıya dayanıklı bir malzeme işlenirken kesme hızı ve ilerleme durumu takım malzemesinin tipi ile yakından ilgilidir. Hatta yüksek kesme hızına sahip pahalı whisker takımlar bile kısa takım ömrüne sahiptirler. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi esnasında kullanılan işleme parametreleri oluşan yüksek ısı ile doğrudan ilgilidirler. Bu yüksek ısılar SiC_w whisker takviyeli Al₂O₃ kompozit malzemenin kırılma dayanıklılığını etkileyen başlıca nedenlerdir. Yine aynı yazarların bir önceki çalışmalarında, SiC_w (Al₂O₃) takım ile 1000 m/min.' lik bir kesme hızı ile % 0,4 karbonlu bir çeliğin işlenmesinde oluşan çentik aşınması ile çatlamlar aynı takım ile düşük kesme hızlarında işlenen Inconel 718 malzemesi ile benzer aşınma gösterdiği görülmüştür.

1993 yılında A. Gatto ve L. Iuliano (57) tarafından yapılan başka bir çalışmada Inconel 718 süper alaşımının işlenmesi esnasında takım kırılmasına sebebiyet veren durumlar araştırılmış ve daha güvenli kesme parametreleri belirlenmiştir. Bir başka çalışmada kesme esnasında oluşan ısının aşınma miktarı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan malzeme Inconel 718' dir. Kullanılan takım ise %20 SiC_w whisker takviyeli seramik Sandvik CC670 SNGN 120712 T 01020 kare şekilli takım olup (58), bu takım kesme esnasında yan kenar, iş parçası ile 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Talaş açısı -6°, eğim açısı 0° dir. İşleme esnasında kesme hızı V=300 ile 530 m/min. ve ilerleme f=0,08 ile 0,22 mm/rev. arasında değişken, talaş derinliği ise sabit (d=1,5mm) tutulmuştur. En düşük kesme hızı ve orta ilerleme (V=300 m/min., f=0,12 mm/rev.) hızlarında ciddi boyutta çatlamlar oluşurken, aynı kesme hızı ve yüksek ilerleme (V=300 m/min., f=0,22 mm/rev.) hızlarında ise çatlamlar görülmemiştir. Daha yüksek kesme hızlarında ise (V=400 m/min., f=0,22 mm/rev.) oluşan çatlamların kesici kenarı tahrip ettikleri görülmüştür. Çalışmalarında ideal parametrelere öneri getirilmezken farklı deneysel durumların değerlendirilmesi şu şekilde yapılmıştır.

Çalışmaları sonucunda, değişen deformasyon enerjisi sonucunda takım talaş temas noktası boyunca, takımda farklı aşınma mekanizmalarının oluştuğu, yüksek kesme hızları sonucunda yüksek sıcaklıklarda, whisker kılcal damarlarının kesici takım malzemesinden koparıldığı görülmüştür (57, 59). Deneysel çalışmalarda kesme kuvvetleri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır (57).

1996’ da Liao ve Shiue tarafından yapılan çalışma (115) ile iki farklı sementit karbür (K20 ve P20) takım ile Inconel 718’in tornalanması esnasında oluşan aşınma mekanizmaları analiz edilmiştir. Yaptıkları çalışma ile ($f=0.1$ mm/rev. ilerleme, $d=1,5$ mm talaş derinliği ve kesme hızı $V=35$ m/min.) sementit karbür takımın aşınan yüzeyi üzerinde kesici kenarın çok yakınında yapışmış bir BUE tabakası ve kesici kenar üzerinde çitlamalar olduğu gözlenmiştir. Aynı kesme şartları P20 kalitesindeki karbür takım için uygulandığında benzer durum ile karşılaşmıştır. İki kesici takım arasında yapılan karşılaştırma sonucu P20 kalitesindeki kesici takımda oluşan aşınma daha düzensiz, yan kenar aşınma boyu daha büyük ve krater daha derin görülmüştür. Elektron mikro analiz EPMA (elektron probe micro analyser) cihazını kullanarak kesici takımın talaş yüzeyi üzerinde oluşan tabakadaki elementler, analiz edilmiş ve 35 m/min.’lik kesme hızında takım elementlerinde bir farklılık görülmemiştir. Fakat iş malzemesinden, nikel ve demir, her iki kesici takım yüzeyine difüzyon aracılığıyla yayılmıştır. Bunun sebebi de kesici takımın ucunda 1000°C ‘lik sıcaklığın üzerinde oluşan ısı olduğu düşünülmüştür.

1997’de Rahman ve ark. tarafından (69) yapılan çalışma ile farklı takım geometrisi ve farklı değerlerdeki kesme parametreleri kullanılarak Inconel 718 malzemesi soğutmasız ortamda tornada talaş kaldırma deneylerine tabi tutulmuştur. Kullanılan parametreler 30, 40, ve 50 m/min.’lik kesme hızları, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/rev. ilerleme ve 2 mm sabit talaş derinliğidir. Kesici takımda oluşan yanak aşınması, iş parçası yüzey pürüzlülük durumu ve kesme kuvvet elemanları takım ömrü için performans belirleyicisi olarak görülmüştür. Deneylerde İki farklı kalitede kesici takım (K tipi PVD TiN kaplı karbür ile çok katlı Al_2O_3 CVD kaplı sementit karbür) kullanılarak yan kenar kesme açısının etkileri çalışılmıştır. Her iki kesici takım için yan kenar kesme açısının -5° ‘den 45° ’ye yükseltilmesi ile takım ömrünün arttığı görülmüştür.

Örneğin yan kenar kesme açısının büyümesi ile takım talaş ara yüzeyinde oluşan ve talaş kalınlığının şekillenmesinde etkili olan ısının azaldığı, üstelik daha büyük yan kenar kesme açısı üzerinde oluşan ısının daha geniş alana dağılmasına olanak tanımış. Bu da ısının kesme esnasında kesici kenardan uzaklaşmasına yardımcı olmuştur. Büyük yan kenar kesme açısı, aynı zamanda kesme kuvvetlerinin daha geniş kesici kenar üzerinde dağılmasına olanak tanımış aynı zamanda çentiği de azaltarak takım ömrü üzerinde olumlu katkıda bulunduğu görülmüştür. Deneyler süresince PVD TiN kaplı karbür takım 15° ve 45° 'lik yaklaşma açılarında mükemmel aşınma dayanımı göstermiştir. Aynı kesici takım, 50 m/min.'in üzerindeki kesme hızlarında bile 0,4 mm/rev. ilerleme ve 45° 'lik yaklaşma açısında tatmin edici bir performans göstermiştir. Her iki kesici takım, 30 m/min. kesme hızında, 0,2 mm/rev. İlerlemede 45° 'lik yaklaşma açısı ile en iyi performansı ortaya koymuşlardır. Yapılan talaş kaldırma deneylerinde, Al_2O_3 CVD kaplamalı sementit karbür takımın denenmesi sonucunda, şiddetli çentik görülmüş ve denendiği bütün yaklaşma açılarındaki talaş kaldırma işlemlerinde Inconel 718 için uygun görülmemiştir.

Çalışmalarında kullanılan takımlar iki farklı kaplamalı karbür takımdır. Bunlardan biri EH20-Z-UP (TiN PVD kaplamalı sementit karbür takım) diğeri ise AC25 (TiN CVD kaplamalı sementit karbür takım) takımdır. Talaş kaldırma deneyleri sonucunda farklı kesme parametrelerini kullanarak farklı kesme durumlarında farklı yüzeyler ile farklı aşınma şekilleri incelenmiştir. Elde ettikleri sonuçlar şunlardır:

1) kesici takımın yaklaşma açısının -5° den 15° ye ve daha sonra 45° ye çıkarılması ile takım ömründe önemli bir artış görülmüştür. Bu kesici takım malzemelerinden EH20-Z-UP, yaklaşma açısının 45° den -5° ye indirilmesi esnasında takım ömründe % 64,3 oranında azalma olduğu görülmüştür.

2) Inconel 718 malzemesi için, müsaade edilebilen kesme hızı ve ilerleme değerleri, diğer malzemelere göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. Kesme hızı değeri artırıldıkça takım ömrünün azaldığı, bu durumun, genelde oluşan yüksek kesme

kuvvetleri sonucu, malzemedeki düşük termal iletkenlik, aşındırma özelliği ve iş sertliği özelliğinden kaynaklandığı kabul edilmiştir.

EH20-Z-UP kesici takımın takım ömrünü, daha çok oluşan yanak aşınması belirlemiş oldu, oysa AC 25 kesici takımda talaş derinliğinin, takım ömründe daha çok belirleyici olduğu görülmüştür. EH20-Z-UP kesici takımını 15° ve 45° lik yaklaşma açılarında talaş derinliğinde çentik aşınmaya karşı mükemmel dayanım gösterdiği ve sonuçta AC 25 kesici takımın Inconel 718 için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

1998’ de A. Chouldhury ve M. A. El-Baradie tarafından yapılan çalışma ile (1) Inconel 718’ in kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlar ile kesilmesinde, kesme kuvvetleri ve takım ömrü üzerindeki kesme değişkenlerinin (kesme hızı, kesme kuvveti ve talaş derinliği) etkileri tanımlanmıştır (62, 63). Kullandıkları karbür takımların şekli 80° rhombik şekilli olup talaş kırıcsızdır. Bu kesiciler farklı kesme durumları için kullanılmış olup, işleme parametreleri, kesme kuvvetlerinin ölçülmesi ile optimize edilmiştir. Yanak aşınması takım ömrü için bir kriter olarak kabul edilmiş, kaplamalı ve kaplamasız takım ömrü elemanlarından kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta kaplamalı karbür takımların ömrü kaplamasız karbür takımların ömründen daha iyi olmadığı ortaya çıkmıştır. Yaptıkları çalışma ile aşağıdaki pek çok nedeni gözlemlemek için talaş kaldırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

- 1) Kesme kuvvetlerinin ölçülmesiyle optimum kesme durumlarının tayini,
- 2) Takım ömrü üzerinde kesme değişkenlerinin etkisinin saptanması ve kaplamalı takımlar ile kaplamasız takımların karşılaştırılması,
- 3) Genişletilmiş Taylor takım ömrü denkleminin elemanlarını ve takım ömrü sabitelerinin belirlenmesi.

Çalışmaları sonucunda Inconel 718’ in sementit karbür takımlar ile önerilen kesme hızlarında işlenmesi esnasında aşırı yanak aşınması tespit edilmiştir (14, 64, 65).

Çalışmalarında tamamen ısıtıl işlem görmüş 55 mm. çapında ve 1 m. uzunluğundaki aynı özelliklere sahip 2 farklı Inconel 718 malzemesinden bir yığın malzeme

kullanılmıştır (1). Malzemeler, ısıtma işlemi için 980 °C’ de 2 saatlik bir çözelti işlemine tabi tutulduktan sonra yağ giderme için 8 saat 720 °C’ de bir dinlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra hava ile soğutma işlemine tabi tutulmuş ve sonra 8 saat 620 santigrat derecede ocak sıcaklığında tutulmak suretiyle bir işlem gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneyleri için kullanılan kesici takımlar kaplamalı ve kaplamasız sementit tungsten karbür takımlardır. Bu takımlar Sandvik koromat firması tarafından 80° rhombik şekilli ve H 13 A kalitesine sahip CNMA 12 04 04 ISO tanımlı kaplamasız takımlardır (66). Kaplamalı takımlar için ise GC 30 15 sınıfı takımlar kullanılmıştır. Kullanılan kater ISO tanımlı PCLNR 25 25 M12’ dir. Takım ve kater kombinasyonu 95° yaklaşma açısı sağlamaktadır. Kesici kenarın açıları şunlardır. Talaş açısı -6° , yan kenar açısı -6° ve boşluk açısı 0° ’ dir. GC 30 15 kalitesi kaplamalı olup titanyum karbür tabakasının üzerinde kalın bir alüminyum oksit tabakası mevcuttur ve kaplama kalınlığı toplam 10 mikrometredir. Kesme kuvvetlerinin ölçümü için torna tezgahı yük yükselticisi ile irtibatı sağlanmış 3 adet piezo-elektrik dinamometre ile donatılmıştır. Kesme kuvvetlerinin elde edilmesi bir dijital-analog konvertör ve bilgisayar tarafından gerçekleştirilmiştir. Bilgisayardan elde edilen sonuçlar ile bir ultraviyole kaydedici ile kuvvet sinyalleri kaydedilerek karşılaştırılmıştır. Torna tezgahının ve kuvvet ölçme sisteminin özellikleri ve ayrıntıları aşağıdaki gibidir (1).

- 1- Torna tipi ve adı: Colchester M 1600, 10 beygir gücünde maksimum dönme hızı 1600 rev./min. İlerleme alanı 0,06-1,0 mm/rev. arasında.
- 2- 3 elemanlı kistler dinamometre, tipi 92 625 A1, kalibrasyon alanı $F_f = 0 - 15000$ N (Newton), $F_p = 0 - 15000$ N ve $F_c = 30000$ N ile 3 adet kistler yük yükselticisi tip 5000 11 ve bir adet ultraviyole kaydedici, tipi M12 150 A
- 3- Takım aşınmasını ölçen mikroskop (mitutoyo TM 300 takım mikroskobu).

Kesme kuvvetleri sadece H13A kaplamasız karbür takımlar için saptanmıştır. İşleme operasyonları 3 farklı ilerleme hızında sürekli tornalama işlemlerini kapsamıştır. (0.12, 0.20, 0.30 mm/rev.) ve üç farklı kesme derinliğinde (0.5, 1.0, 1.5 mm) kesme hızları 8 m/min.’ den 69 m/min.’ e kadar değiştirilmiştir. Her bir kesme deneyi için yeni bir kesici kenar kullanılmıştır. Her bir durum için 3 veri noktası dikkate alınmıştır.

Deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Kaplamasız sementit karbür kesici takım malzemeleri, farklı kesme hızı ve farklı ilerleme bakımından kaplamalı karbür takımlara nazaran daha iyi performans ortaya koydukları görülmüştür.

26-48 m/min' lik kesme hızlarında hem kaplamalı hem kaplamasız sementit karbür takımlar için takım ömrü bakımından belirli bir farklılık görülmemiştir. Daha yüksek kesme hızlarında, yüksek kırılma geriliminden dolayı $V=50$ m/min ile $f=0,30$ mm/rev ilerlemede kesme kuvvetlerinin artış gösterdiği görülmüştür.

- 2) Kaplamalı takımların kullanışlılığı sadece, talaş derinliği 1 mm' yi geçtiği durumlarda görülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda Taylor' un takım ömrü denkleminde talaş derinliği elemanı, kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara nazaran daha etkin olduğu görülmüştür.

- 3) Kaplamalı takımlarda, kesme hızının takım ömrü üzerindeki etkisi, ilerleme ve talaş derinliğine nazaran daha çok dikkat çektiği görülmüştür. Kaplamasız takımlarda bu durum, takım aşınması yönünden etkisi, önce kesme hızı sırasıyla talaş derinliği ve ilerleme olarak görülmüştür.

- 4) Yapmış oldukları deneylerde takım ömrü yönünden takım aşınması 0,30 mm' yi geçtiği durumlarda kaplamalı takımların kaplamasız takımlara göre daha kısa takım ömrü verdikleri görülmüştür.

- 5) Inconel 718' in sementit karbür uçlarla işlenmesinde önerilen işleme durumu, kesme hızı 20-25 m/min., ilerleme 0,15 mm/rev. ve talaş derinliği 1 mm' nin üzerindeki değerlerde seçilmiş olması gerektiği ifade edilmiştir.

Çentik aşınması da, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesi esnasında takım ömrünü kısaltan bir problem olarak kaynaklarda bildirilmektedir (36). Bazı araştırmacılar düşük kesme hızlarında Inconel 718' in işlenmesi esnasında kesici kenarın ısısının

çok yükseldiğini bildirmektedirler. Seramik uçlu takımların ortaya çıkması ile yüksek kesme hızlarında yüksek talaş hacmi kaldırılarak Inconel 718 işlenebilmektedir. Alınan işleme değerleri 120 ile 300 m/min.'lik kesme hızları değerleri arasındadır. Bu şekilde sementit karbür takımların üzerinde 10 katlık bir işleme kapasitesi elde edilmiştir (25, 67). Whisker takviyeli alüminyum oksit seramik kesici takımlar, kesme hızı alanı 200 ile 700 m/min. ve ilerleme hızı 0.37 mm/rev. iş malzemesinin sertliğine bağlı olarak bu durum değişir) ile çalışabilmektedirler (14). Ancak bu durum SANDVİK firmasının ürettiği whisker takviyeli alüminyum oksit esaslı seramik uçlu takımlar için söz konusudur. Yine Amerika Birleşik devletlerinde halen genişçe kullanılan ve KENNAMETAL tarafından üretilen siyalon malzemeler, Inconel 718' in işlenmesinde ana kesici olarak kullanılmaktadır. KENNAMETAL firması ABD' nin pazarlarında pek çok siyalon çeşidi ile hizmet vermektedir.

A. Couldhury ve M. A EI-Baradie' nin 1998 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada (64) Inconel 718 malzemesi ile farklı kesici takımlar ile talaş kaldırma deneyleri gerçekleştirilmiş ve takım aşınma şekilleri değerlendirilmiştir. 400 m/min.'lik kesme hızının üzerindeki işlemlerde ya da yüksek ilerlemelerde TiC kaplı seramik uçlu takımlar, Inconel 718 malzemesi için en uygun görülmüştür (68). Ancak orta kesme hızlarında ve düşük ilerlemelerde (100 ile 400 m/min. arası) whisker takviyeli alüminyum seramik uçlu takımlar, kaplamasız karbür takımlara göre daha iyi performans ve takım ömrü gösterdikleri görülmüştür.

Ancak bu kesiciler ile işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmemiştir. Inconel 718' in seramik uçlu takımlar ile işlenmesinde iş parçasından takıma transfer olan ve etkisini gösteren adhezyon aşınmasının sonucu olarak kesme derinliğinde çentik aşınması görülmüştür. Çentik aşınmasına gösterilen dayanım, hem siyalon hem de whisker takviyeli silikon karbür takımlar için eşit görülmüştür. Yine yanak aşınması, whisker takviyeli takımlar ile siyalon takımlarda bir difüzyon aşınma gibi kendini göstermiştir, Bunun da iş parçası ile takım malzemesinin kimyasal etkileşimi sonucu meydana geldiği görülmüştür.

Arunachalan, R. Mannan, M. A. tarafından 1998 Yılında (61) yapılan çalışmada, son 15 yılda Inconel 718 malzemesinin işlenmesinde kullanılan kesici takımlar konusunda gösterilen ilerleme ve görülen işleme zorlukları üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, verimliliğin artmasında, yüksek kesme hızı ile işleme, ümit verici olarak görülmüş, ayrıca kesici geometrisinin doğru seçiminin işleme verimliliği üzerinde önemli olduğu saptanmıştır.

E. O. Ezugwua, Z. M. Wanga ve A. R. Machadob' un 1999' da yapmış oldukları çalışma (2) ile nikel esaslı süper alaşımlara ticari anlamda bazı özellikler kazandırmak için eklenen alaşım elementlerinin gelişimi ve süper alaşımların kullanımı ile ilgili genel ve ayrıntılı bir bilgi sunulmuştur. Nikel esaslı süper alaşımlarda ortak problem, takım ömrünü kısaltan takım aşınması ile takımı başarısızlığa sürükleyen işleme mekanizmaları bu çalışma ile karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. İşlenebilirlikte takım ömrü ve yüzey kalitesi en önemli faktörlerdir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kesici takımda talaş derinliğinde çentik oluşması, yanak aşınması, çatlama, kırılma ya da tek başına veya birleşik difüzyon, krater, abrasyon aşınma, termal ve mekanik yorulma çatlakları gibi takımı olumsuz yönde etkileyen pek çok durumun, zengin oksijen ortamı ya da soğutma sıvısı ortamında en aza indirilebildiği görülmüştür. Yüksek basınçlı soğutmanın kullanımı ile zengin nitrojen ve argon ortamında talaş akışının rahat olması ve işlemedeki kolaylığa rağmen takım ömrünün azalmasına neden olan aşınmayı hızlandırıcı eğiliminde görülmüştür. Takımdaki performansı arttırmak için kesici takımın burun açısını arttırarak kesme kenarının gücünün arttırılması sonucu, takım talaş temas alanını genişletmek ve yaklaşma açısını azaltmak gerektiği ifade edilmiştir. Son zamanlarda geliştirilen whisker takviyeli seramik uçlu takımlar ile siyalon seramikler ve çok katlı sementit karbürler ile geleneksel karbür takımları geride bırakarak, yüksek kesme hızlarında üstün işleme performansları ortaya konulduğuna (54, 55) dikkat çekilmiştir.

1999' da Jindal ve Ark. tarafından yapılan çalışmada (43), sementit karbür takımlardaki PVD TiN, TiCN ve TiAlN kaplamalı karbür takımların, Inconel 718'in 46 ve 76 m/min.'lik kesme hızlarında, ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak

soğutma sıvısı ortamında tornalanması ile olan etkileri incelenmiştir. Her iki kesme hızında TiAlN ve TiCN kaplamalı karbür takımlar, TiN kaplamalı karbür takımlara nazaran daha performans gösterdikleri görülmüştür. Deneyler esnasında her üç takımın takım ömründe etkili olan yan kenar ve burun aşınmaları takım ömrü sona erinceye kadar ölçülmüştür. Deneyler sonucunda 46 m/min.'lik kesme hızında TiAlN kaplamalı karbür takım ile mükemmel performans kaydedilmiştir. 5 dakikalık kesme işleminden sonra maksimum yanak aşınması yaklaşık 0,15 mm olmuştur. Ayrıca TiAlN kaplamalı karbür kesici takımlar, TiCN ve TiN kaplamalı karbür takımlardan daha düşük burun ve krater aşınması sergiledikleri görülmüştür. Alt katman malzemesi bütün kaplamalı takımlar için aynı olmasına rağmen, ortaya çıkan farklı aşınma durumları kaplama malzemesinin çeşidine atfedilmiştir. Ortaya çıkan sonuca göre kaplama tabakası, aşınma direncini arttırmış ve kesme kuvvetlerini azaltmıştır. TiAlN kaplama, diğer kaplama türlerine göre daha yüksek sertliğe sahiptir. TiCN ve TiN ' kaplamalı karbür takımlarda 750 °C'nin üstünde yapılan talaş kaldırma deneylerinde abrassiv aşınma dayanımına karşı dirençte artma olmuş ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık görülmüştür. Bu yüksek ısı kararlılığı, TiAlN kaplamanın, Al₂O₃ tabakası tarafından korunması ve işleme esnasında titanyum, alüminyum, oksijen ve nitrojen kapsayan tabakanın varlığı sayesinde olmuştur. Sonuçta test edilen üç kaplama arasında TiAlN kaplamanın termal iletkenliği en düşük görülmüştür. Bu duruma, aynı zamanda talaş tarafından taşınan ısı ile beraber düşük ısı tutan takım tipinin de etkisi vardır. Sonuç olarak TiAlN kaplamanın mükemmel krater direnci sağladığı görülmüştür.

1999'da Itakura ve ark. tarafından yapılan çalışma ile (116) soğutmasız ortamda Inconel 718 malzemesi P20 TiN/TiC kaplı karbür uç ile tornalama işlemine tabi tutularak oluşan aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Sabit talaş derinliği (d=0,25 mm), sabit ilerleme (f=0,2 mm/rev.) ve 30, 100 ve 150 m/min.'lik kesme hızlarında, sürekli ve aralıklı talaş kaldırma deneyleri ile işleme esnasında oluşan ısı termokupl ile ölçülmüştür. Ancak bu metod ile sadece temas noktasında oluşan ısı ölçülebilmıştır. Sürekli talaş kaldırma işlemi esnasında takım talaş yüzeyinde kararlı BUE tabakası oluşmuştur. Oluşan aşınma ise talaş yüzeyinden çok yan kenarda görülmüştür. Yanak aşınmasına Inconel 718'in içerisindeki aşındırıcı zerrecikler

sebebi olmuştur, ilaveten iş parçası malzemesinin takımın talaş yüzeyine nüfuz ettiği görülmüştür. Talaş kaldırma esnasında oluşan ısı 30 m/min. de 713 °C iken 100 m/min. de 1047 °C olmuştur. Bu sıcaklıkta BUE yapışması kararlı görülmemiş ve yanak aşınması, hızlı gelişerek oluşan aşınma, hem talaş yüzeyi üzerinde hemde yan kenar kesme yüzeyinde ilerleme göstermiştir. Bu durum, yüzey oksidasyonuna ve diffüzyona sebep yüksek kesme hızlarında oluşan yüksek sıcaklığın sonucu görülmüştür.

Aralıklı kesme işleminde talaş yüzeyine yapışan BUE'nin ince bir film tabakası halinde oluştuğu ve bu tabakanın tekrar tekrar kalktığı saptanmıştır.

Prengel ve ark. 2001 de sunduğu bir çalışma ile (117) Jinde ve ark.'ının sonuçlarını doğrulayan, bunun yanında çok katlı kaplamalar ile soğutma sıvısı ortamında Inconel 718'i farklı PVD kesici karbür takımlar ile işlemiştir. 61 ve 76 m/min.'den daha yüksek kesme hızlarında ortaya çıkan durum, abrasiv aşınma ile birlikte plastik deformasyon ve çentik olarak gözlemlediklerini ifade etmişlerdir.

Ducros ve ark. 2003'te TiN/AlTiN ve CrN/TiN iki katlı kaplı K20 sementit karbür kaliteleri ile Inconel 718'i kesme hızı 40 m/min., ilerleme 0,2 mm/rev. ve talaş derinliği 1,5 mm. ile soğutma sıvısı ortamında tornada işleyerek deneyler gerçekleştirmiştir (118). İki katlı kaplamalı karbür takımların karşılaştırılması ile kesici kenar üzerinde oluşan abrasiv uç aşınması ve çatlama kesici kenar üzerinde başlıca problem olarak görülmüştür. Talaş derinliğinde çentik, işleme esnasında daha kesilmemiş kısım tarafından etkilendiği görülmüş ve bu arıza modu, başlıca iş malzemesinin işleme esnasında sertleşmesinden kaynaklanmış ve bu olay hem kaplamasız karbür hemde TiN /AlTiN kaplamalı karbür uçlarda ortaya çıkmıştır. Yazara göre abrasiv aşınma Inconel 718' deki sert karbür zerreciklerinin başlıca sonucuydu. TiN /AlTiN çift katlı kaplamanın sertliği 3900 Vickers sertliğinde olması klasik çok katlı ve tek katlı kaplamalarda en iyi abrasiv aşınma dayanımı sağlamış, ilaveten TiN/AlTiN çift katlı kaplama kaynamaya en iyi aşınma dayanımı göstermiştir. Yüksek ısıya dayanım CrN ve TiN kaplamaya nazaran AlTiN kaplamada daha iyi çıkmış ve BUE' ye karşı dayanım daha iyi olmuştur.

1980' de Kramer ve Hartung (51) tarafından yapılan çalışma ile, sementit karbür takım ile Inconel 718 malzemesini işlerken oluşan ısının etkisi ile krater aşınma mekanizmasının, takım ömrünü etkilediği görülmüştür. Ayrıca 30 m/min.' lik kesme hızının yukarısında karbür takımlarda, bağlayıcı faz, kobaltın ve daha sonra kesici takımın plastik deformasyonu ile takımda bir termal yumuşama olduğu görülmüştür.

1983 Yılında S. K. Bhattacharyya, A. Lawaid. M. H. Lewis L. Walbanle (60) tarafından yapılan çalışma ile nikel esaslı süper alaşımlardan Incoloy 901 malzemesi, siyalon bir seramik takım kullanılarak farklı kesme parametrelerinde işlemek suretiyle, oluşan aşınma mekanizmaları ile bunların nedenleri ve istenmeyen işlenme durumunu doğuran kesme parametreleri belirlenmiştir. Çalışmalarında, takım ömrünün, yan kenar ve çentik aşınması tarafından belirlendiği görülmüştür. Çalışmalarında yüksek kesme hızı ve ilerlemede kırılma durumu gözlenmiş, düşük kesme hızlarında çentik aşınmasının egemen, yüksek kesme hızlarında ise yanak aşınması egemen olmuştur. Aşınma mekanizmaları analizinden krater aşınma, difüzyon ve plastik deformasyonun, takım ömrünü belirlediğini, daha düşük kesme hızlarında, krater aşınma olduğunu oysa yüksek kesme hızlarında plastik deformasyondan sonra difüzyon oluştuğu, krater aşınma ise ya tane tane siyalon zerreciklerinin parçadan koparması ile ya da toplu halde ayrılması ile oluştuğu tespit edilmiştir. Oysa difüzyon ile geçiş elementlerinden titanyum ve kromun atomik yer değiştirmesiyle bu aşınmanın meydana geldiği görülmüştür. (60).

Focke ve ark. tarafından yapılmış olan deneyde (36) muhtelif takım malzemelerinin Inconel 718 üzerinde denenmesi sonucunda krater aşınmasının kesici takım ucunun hemen arkasında oluştuğu ancak takımın talaş yüzeyi üzerinde herhangi bir aşınmanın olmadığı görülmüştür.

Wright ve Chow (52) tarafından yapılmış çalışma da, karbür takımın kesici ucunda meydana gelen kırılmaların 1. deformasyon bölgesinde oluşan ısıdan kaynaklandığı görülmüştür. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde, sementit karbür takımın kesme hattı derinliğinde bir çentik ya da <v> şekilli bir oyugu oluşması genel bir

problem olarak görülmüştür. Shaw ve ark. (53) tarafından yapılmış çalışma da, talaş kenarındaki ısıнын talaş merkezinden % 25 daha yüksek olduğu görülmüştür. Whitney ve Vaidyanathan' a göre seramik kesici takım malzemeleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır (70).

- 1) Saf seramik kesici takım malzemeleri ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$)
- 2) Karışık seramikler ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$)
- 3) Siyalon tip seramikler ($\text{Si}_3\text{N}_4 + (\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Y}_2\text{O}_3)$)
- 4) Whisker takviyeli silisyum karbür seramikler ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$)

Özet olarak önemli çalışmalardan görülüyor ki Inconel 718'in işlenmesinde adhezyon ve abrasyon aşınma mekanizmaları daha hakimdir. İş malzemesi kesici kenara yapışarak BUE oluşturmaktadır. Kesme durumlarına bağlı olarak her zaman kararlı BUE oluşmamakta ve bu tabaka bazen tekrar tekrar talaş ile birlikte kalkmaktadır. Talaş derinliğinde çentik, takım burnunda ve kaplama tabakasında oluşan aşınma Inconel 718'in içerisindeki sert zerreciklerin varlığından kaynaklanmakta ve şiddetli yanak aşınmasına sebep olmaktadır. Yanak aşınması ve çentik, takım ömrünü sınırlayan ana faktörler olup aynı zamanda yüksek sıcaklıklar sonucu oksidasyon ve difüzyon oluşmaktadır.

Kesici takım malzemeleri genelde nikel esaslı süper alaşımları işlerken şiddetli mekanik gerilimlere ve termal değişikliklere uğrarlar. Nikel esaslı süper alaşımları işlerken ortaya çıkan gerilimler ve ısılar, büyük oranda kesici takımın körelmesini ve aşınma oranını arttırmaktadır. Sonuçta takım ömrü olumsuz etkilenmektedir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde en çok bilinen takım bozulma şekli talaş derinliğinde oluşan çentiktir. Bu da yüksek ısı, yüksek iş sertliği, iş parçasının yüksek gerilimleri ve aşındırıcı talaşlar kombinasyonu sayesinde oluşur (14, 24, 25, 30, 35). Yan kenar, çıtlama, şiddetli hasarlar nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kesici takımın bozulmasına neden olan diğer sebeplerdir. Pek çok işlenebilirlik çalışması ile, işleme esnasında oluşan çentik şeklini ve bu konudaki pek

çok teoriyi şüphe ederek özel fiziksel durumlar ile aşırı gerilimler ve ısı gradyentleri araştırılmıştır. Sonuçta nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde çentik aşınmasında görülen durum konusunda bir ortak kanı oluşmamıştır. Ancak genel kanı, çentik şeklinin pek çok faktörün kombinasyonu ile oluştuğu yönündedir. Sadece bir noktasal aşınma mekanizması sebep olmamaktadır. Kaynaklarda büyük ısı gradyentlerinin talaş derinliğinde çentik oluşumu üzerinde çok az etkisi olduğu bildirilmektedir (71). Çentik oluşumuna sebep, işleme esnasında oluşan sert yüzey tabakasının var olması gösterilmektedir (29, 30). Çentik oluşumu, talaş ile takım arasında kaynama sonucu talaş derinliğinde takım malzemesinden kopan zerreciklerin bir sonucu olarak görülmektedir (14, 72). İş sertliği tabakası, sık sık işleme esnasında kabuk biçiminde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kabuk oluşmuş bir ortamda işleme esnasında kesici takımın kenarının tamamında kırılmalar meydana gelmektedir (73, 68).

Yüksek kesme hızlarında takım ömrü oldukça sınırlıdır. Talaş derinliğinde oluşan kaynama ve çekip-çıkarma (pull-out) işlemleri sonucu aşırı çentik oluşmaktadır. Incoloy 901' in 300 m/ min' lik kesme hızında karışık seramikler ile (30), yine yüksek kesme hızlarında Inconel 718' in ancak bir başka kalite olan (Al+Zr+W) karışık seramikler ile işlenmesi sonucunda mekanik dayanımlarından ötürü her iki kesici takım için tatmin edici bir takım ömrü elde edilmiştir (75, 76).

Shaw ve ark.'na göre (73), nikel esaslı süper alaşımlardan waspalloy işlenirken kesici kenarda kızıl renkli bir ısı gözlenirken, geride ise merkeze doğru daha karanlık bir bölge oluştuğu görülmüştür. Sonuçta talaş kenarının kısıtlanmadığı bilakis merkezden daha büyük oranda özel enerji aldığı ve takımın kenar kısmından malzeme kopararak kaynamalar ortaya çıktığı görülmüştür. Ancak bu olağanüstü fenomeni Khamsehzadeh tarafından yapılan son çalışmada, böyle bir durum gözlenmemiştir. Khamsehzadeh' nin çalışmasında çentik oluşumu iki aşamada ele alınmıştır (30). Yazarın ifadesine göre, kesme bölgesinin kenarında iş parçası malzemesinin yan kenar plastik akması, talaş ile iş parçası arasındaki işlemler sonucu oluşur. Bu ilk yanal akış sonucunda bir kabuk oluşur. Talaş yüzeyindeki yanal akış dairesel olarak şekillenir.

Lee ve ark.'na göre (27), nikel esaslı süper alaşımlardaki yüksek dayanım, işleme esnasında yüksek ısılara ve gerilimlere neden olur. Takım talaş ara yüzeyinde ve büyük oranda talaş kenarını, iş parçasından büyük oranda yırtarak ayırmaktadır. Takım üzerindeki yorgunluk, iş sertliği tabakası ve iş parçasının yapışma özelliği çentik aşınmasına katkıda bulunmaktadır (30). Çentik aynı zamanda difüzyon-sürtünme aşınma mekanizmasına atfedilmektedir (30, 77).

Düşük kesme hızlarında nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde takım üzerinde aşırı çentik oluşması enteresan görülmüştür. Seramik takımın aşınma oranı, düşük hızlarda daha büyükken (78), yüksek kesme hızı altında zaman zaman o kadar büyük değildir, Bu durum Incoloy 901 (79) üzerinde ispatlanmıştır. Bu durum iş parçasının yumuşaklığına atfedilmiştir. Nikel esaslı süper alaşımların yüksek kesme hızları altındaki üstünlüğü, talaşın kontrol edilebilir olmasıdır. Sert ve sürekli ince talaşlar genelde daha düşük kesme hızlarında ortaya çıkar. Kesme hızı 120 m/min.' i geçtiği durumlarda, talaş şekli küçük parçacıklar haline dönüşme eğilimindedir (80).

Pek çok araştırmada, işleme esnasında oluşan çentik şekli ile ilgili varılan kanılar kesin kabul edilmemesine rağmen, kabul edilen ilkeler genelde birbirine benzerdirler. Talaş derinliğinde çentiğin azaltılmasında takım kenarının çıtlaması ya da kırılması frezelemede talaş derinliği bölgesinde oluşan çentiği minimize etmek için tavsiye edilen durum, kullanılacak kesici takımın yan kenarı, büyük ve negatif açılı olmasıdır. Son zamanlarda yapılan bir araştırma, kesici kenarın kesme kenarı boyunca sürekli değişen talaş derinliği ile kademeli konik tornalama (ramping) teknikleri kullanılarak kesici takım üzerinde oluşan çentiğin nasıl yok edildiğini ya da en aza indirilebildiği gösterilmiştir (25, 31). 30 m/min.' i aşan kesme hızlarında nikel esaslı süper alaşımların, sementit karbür takımlar ile işlenmesinde kobalt fazındaki termal yumuşaklıktan dolayı takımın bozulduğu gözlenmiştir (51). Aşınan kesicinin muayenesiyle kesici kenarda oluşan kraterin altında bozulmuş malzeme tabakası ortaya çıkmıştır (36). Bu tabakada tungsten karbür taneleri orijinal malzemeden daha düşüktür ve daha yuvarlaktır. Maksimum sıcaklığın çıktığı yer ile krater aşınmasının yeri arasında bir bağlantı bu gözlemleri desteklemiştir. Genelde

krater yeri, çelik işlerken kesici kenardan ötede, talaş yüzeyinde ortaya çıkmaktadır. Inconel 718' in üzerindeki farklı takım malzemeleri ile tornalama işlemlerinde görülmüştür ki, krater, kesici kenarın hemen arkasından başlamaktadır (36). Kesme hızı arttıkça, krater profilinde değişmektedir (24, 31). En derin nokta, en yüksek sıcaklığın geliştiği yerde, kesici kenara en yakın noktadadır. Inconel 718' i işlerken sementit karbür takımlar ile difüzyon, takım performansını önemli derecede sınırladığı gözlenmiştir (51). Bu görüş Ezugwua ve Ark. tarafından da desteklenmektedir (81, 82).

Literatür bulgularında, “Nikel esaslı süper alaşımların seramik uçlu takımlar ile işlenmesinde difüzyon aşınması gözlenmiştir (30, 83). Aşınma oranı, büyük oranda kesici takım ile iş parçasının kimyasal kompozisyonu ve kesme sıcaklığına bağlı görülmüştür. Literatürde yüksek sıcaklıklardan ötürü yüksek kesme hızlarında işleme difüzyon işlemlerini hızlandırır” denilmektedir.

Bhattacharyya ve Jawaid (32), difüzyon aşınma mekanizmasının, Incoloy 901' in siyalon takımlar ile işlenmesinde iş parçasından, titanyum, krom, nikel ve demir, kesici takım malzemesinden alüminyum, silikon ve yitrium ile tepkimeye girdiklerini bildirmektedirler. Çalışmalarında titanyum ve kromun, nikel ve demirden daha kuvvetli etkileri olduğunu iddia etmektedirler. Bu elementler, takım matrisinin glassy (ilk) fazında yayılmakta ve dayanımı düşürmektedir. Kesici takımı bozan sebeplerden krater ve yanak aşınmasının, kısmen difüzyon aşınma mekanizması sonucunda oluştuğu ifade edilmektedir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde çatlama ya da kesici kenarda oluşan kırılmalar, hakim olan durumlardır (Inconel 718 ve Nimonic 75). Yüksek sıcaklıklarda görülen krater ve termal çatlaklar, takımda oluşan kırılmaların müsebbibi olarak görülmüştür (29, 81).

İş malzemesi tarafından takım malzemesinden tane tane ya da toplu halde metal tanelerinin koparılmasıyla krater oluştuğu, daha sonra kendisini kaba bir alana bıraktığı, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde oluşan bu tip aşınma şekli, pek çok araştırmacı tarafından kaynaklarda bildirilmektedir (30, 83). Krater aşınması takımın kesici kenarı üzerinde, iş malzemesinin düzensiz temasına atfedilmiştir.

Yorulma, testere dişli talaş tarafından oluşur, çatlaklar ise termal ya da mekanik yorulmaların sonucudur. Kesici takım kırılması daha yüksek gerilimlere veya kesici kenarın hemen arkasında oluşan yüksek gerilmelere atfedilmiştir (84). Çünkü takım yüzeyindeki normal gerilimler nikel esaslı süper alaşımlar için, kesme parametrelerinin aynı kullanıldığı ortamda çelik işlemeye nazaran iki kat daha yüksek olduğu görülmüştür (85). Kesici kenarda gerilim yoğunlaşması, plastik olarak kesici kenarın şekil değiştirmesine eğilim gösterir. Böylece takım aşınması hızlanır, çatlamlar görülür. Bu durum özellikle aralıklı kesmelerde daha dikkat çekicidir. (28). Literatürde nikel esaslı süper alaşımların seramik uçlu takımlar ile işlenmesinde abrasyon aşınmasına dikkat çekilmektedir (30, 32). Takım yüzeyinden zerreciklerin kopması ve sert abrasiv karbür taneciklerinin nikel esaslı süper alaşımların içerisinde bulunması abrasyon aşınmasını ortaya çıkarmaktadır. Bu durum yan kenar ve krater aşınmasını difüzyon aşınma mekanizması ile birleşerek hızlandırdığı ifade edilmektedir (30, 32).

Saf oksit ($Al_2O_3 + ZrO_2$) seramik uçlu takımların, iyi bir kimyasal kararlılık, yüksek ısıl sertlik ve yüksek aşınma dayanımları olmasına rağmen, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde etkili değildirler (87, 88). Saf oksit seramiklerin zayıf performans göstermelerinin sebebi, yüksek sıcaklıklarda mekanik ve termal şok dayanımlarının zayıflığı ve düşük kırılma sertliğine sahip olmalarıdır (38, 91). Bu takımlar aynı zamanda sertleştirilmiş çelikler ve dökme demirlerin işlenmesinde mükemmel performans göstermişlerdir (60, 86,). Seramik kesici takımların nispeten yüksek sertliği, süper alaşımların, sertleştirilmiş çeliklerin ve dökme demirlerin yüksek kesme hızlarında ve yüksek ilerlemelerde işlenmelerine olanak tanımıştır. (89, 90). Kaynaklarda Incoloy 901' in silikon nitrit esaslı seramik uçlu takımlar ile işlenmesi durumunda oluşan çentiğin %70 oranında azaldığı bildirilmektedir. Bu durum Inconel 718' in yarı bitirme (semi-finish) tornalama işlemlerinde sade karbür takımlar ile karşılaştırıldığında % 57' lik bir maliyet düşüklüğü ortaya çıkmaktadır (38). Incoloy 901' in işlenmesinde siyalon takımların whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu takımlardan daha iyi bir performans gösterdikleri bildirilmektedir (35). Bir diğer öneri de, nikel esaslı süper alaşımlardan waspalloy' un soğutma sıvısı ortamında siyalon seramik kesici takımlar ile daha iyi işlendiğidir.

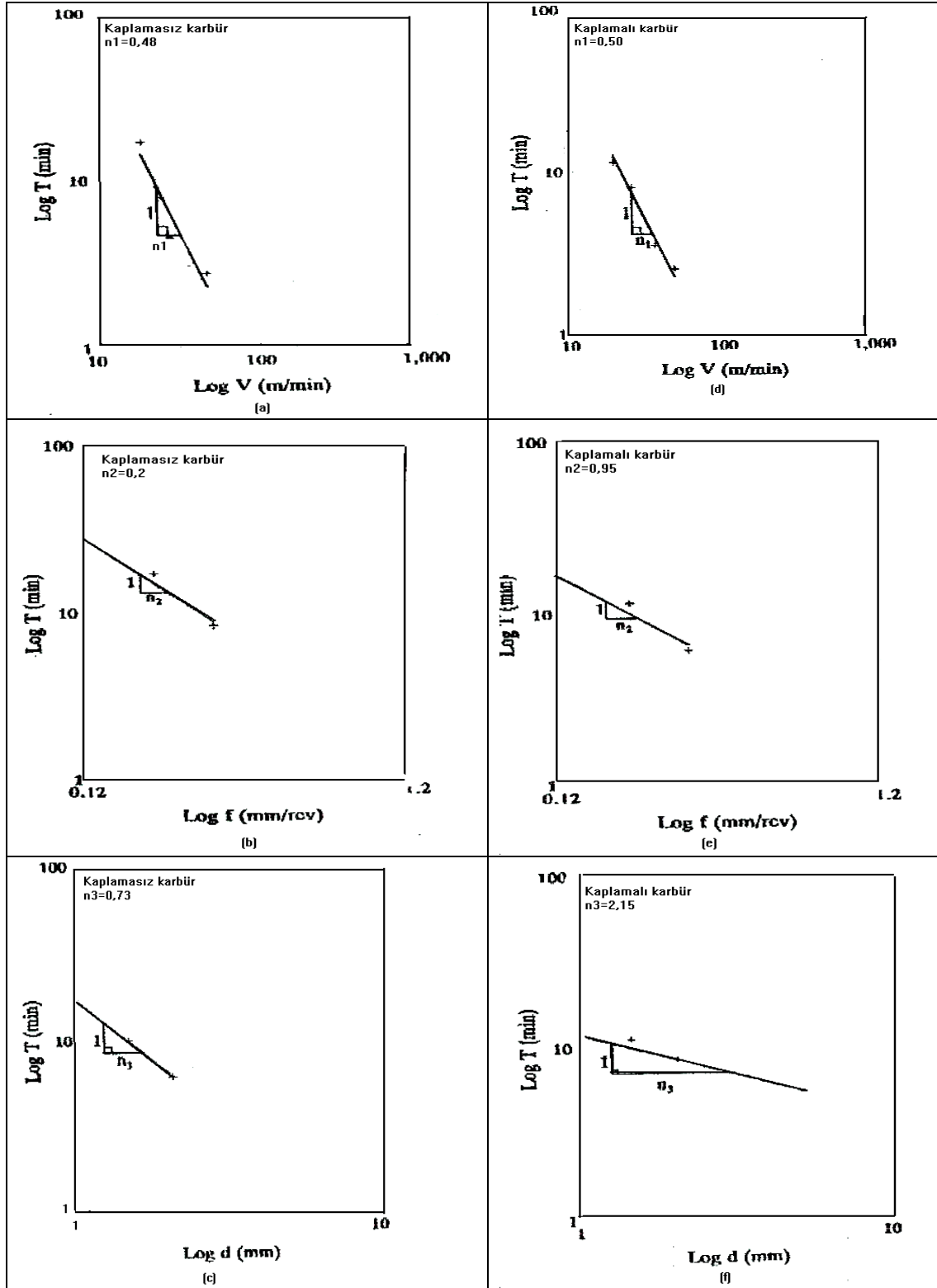
4.3. Takım Ömrü ve Takım Aşınmasını Değerlendiren Literatür Çalışmaları

1998’ de A. Chouldhury ve M. A El-Baradie tarafından yapılan çalışmada (1), Inconel 718’ in işlenmesinde bir CNC torna tezgahı kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız sementit tungsten karbür takımlar ile üç dizi çalışma sonunda takım aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk kesme deney dizisi değişik kesme hızından, sabit ilerleme ($f=0.20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=1,0$ mm) yapılmıştır. İkinci kesme deneyi dizisinde ilerleme değişirken kesme hızı ($V=20$ m/min.) ve talaş derinliği ($d=1$ mm) sabit tutulmuştur. Üçüncü kesme deneyinde talaş derinliği değişmiş, ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve kesme hızı ($V=20$ m/min.) sabit tutulmuştur. Sonuçta takım aşınma değerleri bir mututoyo TM 300 takım mikroskobu kullanılarak kaydedilmiştir. Aşınma kriterlerini değerlendirmede rehber olarak ISO 3685 normu kullanılmıştır. Her bir deney yeni bir kesici kenar ile başlatılmış ve işlem durdurularak farklı zaman aralıklarında takım aşınması ölçülmek suretiyle bir dakikadan iki dakikaya kadar olan sürelerle oluşan aşınma değerleri ölçülmüştür. Ayrıca yan kenar aşınma değerinin (ortalama) $0,3$ mm’yi geçtiği durumlarda tezgah durdurularak kalem ucu yer değiştirilmiştir. Her bir kesme durumu için 3 kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Ortalama yan kenar aşındırma değerleri, takım aşınma değerleri, takım ömrünün belirlenmesinde belirleyici olmuştur. Çalışmalarında genişletilmiş Taylor takım denklemi şu şekilde ifade edilmiştir (1);

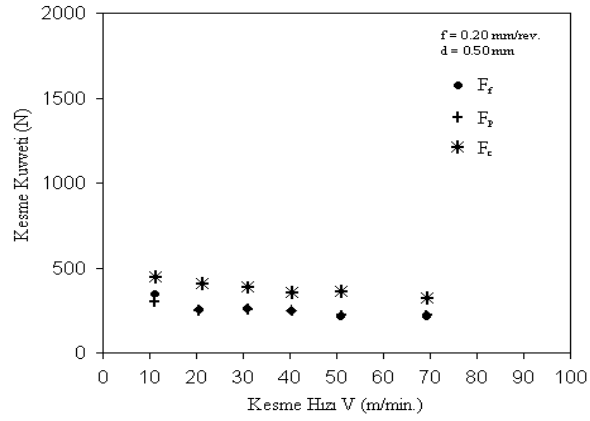
$$T=C.V^{n_1}.f^{n_2}.d^{n_3}$$

burada T takım ömrü dakika, V kesme hızı m/min., F ilerleme mm/rev., d ise kesme derinliği mm, C’ de verilen takım malzemesi kombinasyonunda takım geometrisi için bir sabitedir. n_1 , n_2 , n_3 elemanları sırasıyla hız, ilerleme, ve talaş derinliği elemanlarıdır. Bu elemanlar kesme değişkenlerinin (hız ilerleme, talaş derinliği) takım ömrü üzerindeki etkilerini tanımlamaktadır. Yaptıkları çalışmada takım ömrü deneyleri ile hem kaplamalı hem kaplamasız sementit karbür takımlar için n_1 , n_2 , n_3 elemanlarının değerleri tespit edilmiştir (Şekil 4.1.)

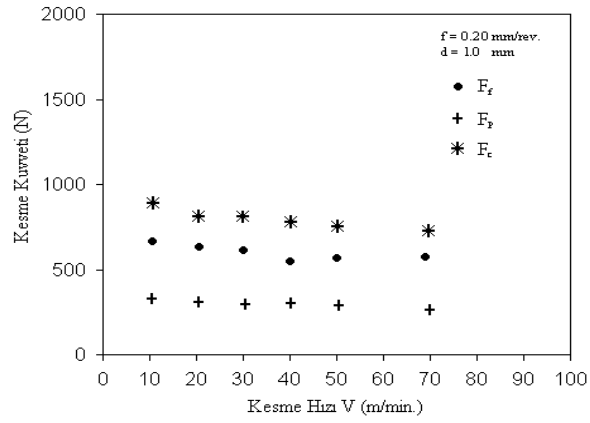
Farklı ilerleme oranlarında kesme hızına bağı olarak asıl kesme kuvvetinin değişimi Şekil 4.2.' de 0.30 mm/rev. sabit ilerlemede kesme hızına bağı olarak kesme kuvvetinin değişimi Şekil 4.3.' te, farklı kesme hızlarında talaş derinliği ve ilerleme oranlarına bağı asıl kesme kuvvetinin değişimi Şekil 4.4.' te gösterilmiştir. Kaplamasız sementit karbür takımların farklı kesme durumları için yan kenar aşınma değerleri Şekil 4.5. a-c de gösterilmiştir. Kaplamalı sementit karbür takımların değerleri ise Şekil 4.5. d-f de gösterilmiştir. Bütün bu takım ömür deneylerinde deneyler üçer kez tekrarlanmış ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Şekil 4.5.' te, sabit kesme derinliği ve sabit ilerlemede 4 farklı kesme hızında elde edilen aşınma değerleri tanımlanmıştır.



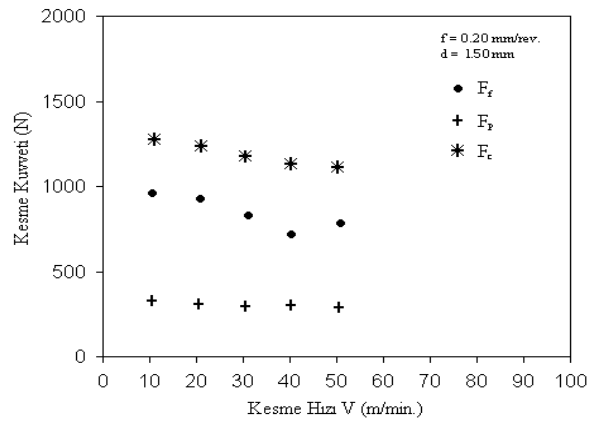
Şekil 4.1. Kaplamalı (GC 3015 TiC + Al₂O₃) ve kaplamasız karbür uçlarda takım ömrü için Taylor'un takım üssü değerleri (n_1 , n_2 , n_3) (1).



(a)

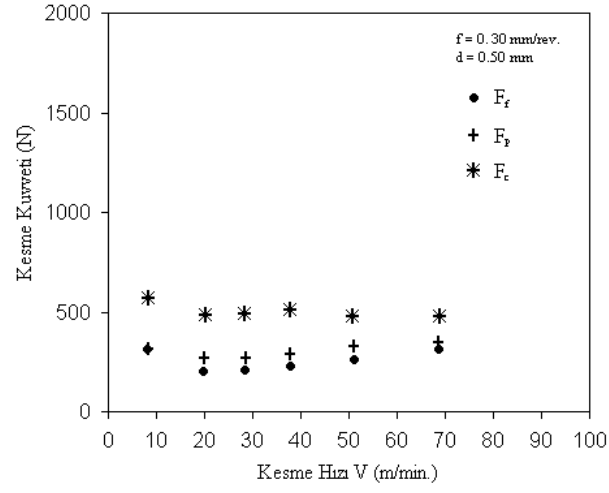


(b)

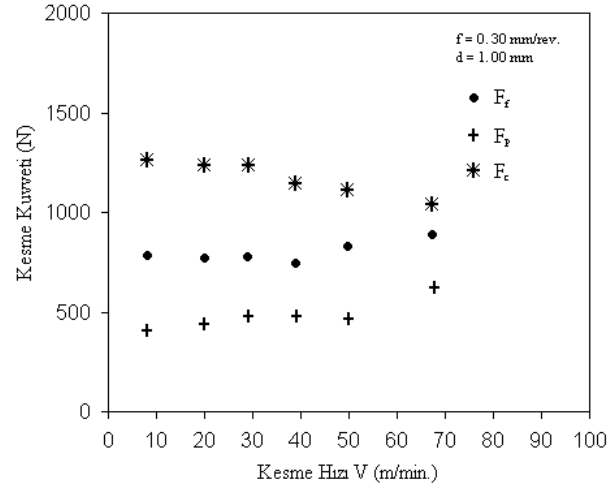


(c)

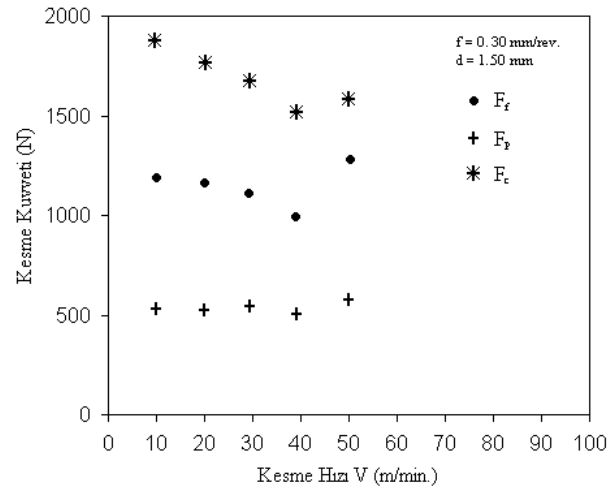
Şekil 4.2 Sabit ilerleme hızı ($f=0.20$ mm/rev.) ve farklı talaş derinliğinde (d =talaş derinliği, 2 mm) kesme hızına bağlı olarak F_c , F_t , F_p kuvvetlerinin değişimi (a) $d=0.50$ mm, (b) $d=1.00$ mm, (c) $d=1.50$ mm(1)



(a)



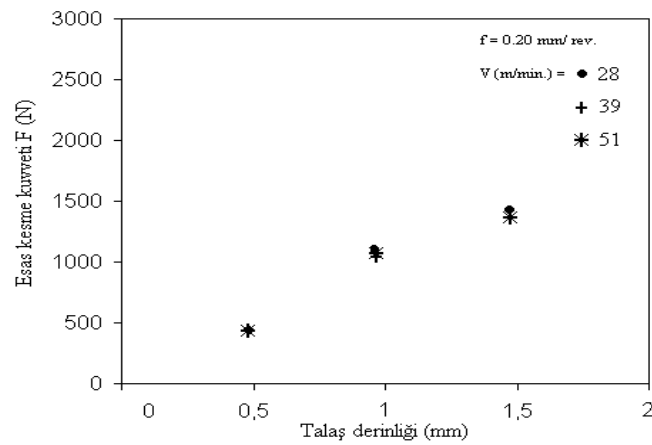
(b)



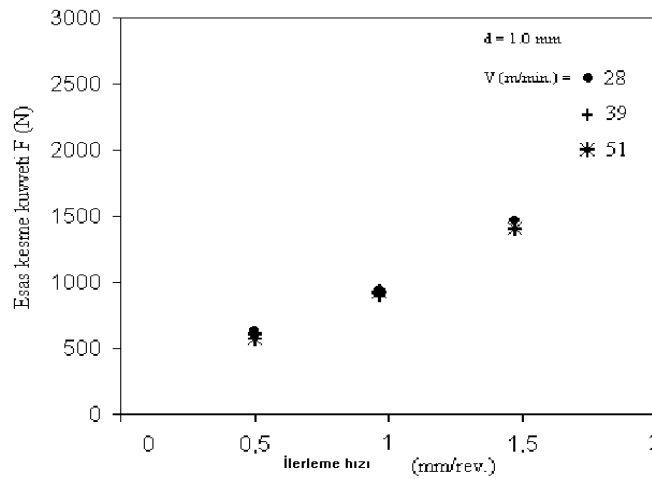
(c)

Şekil 4.3. 0.30 mm/rev. sabit ilerlemede kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetinin değişimi (a) d=0.50 mm, (b) d=1.00 mm, (c) d=1.50mm(1)

Çalışmalarında 36 ve 48 m/min.' lik kesme hızlarında aşınma değerleri hemen hemen doğrusaldır ve hızlıdır, takım ömrü çok kısadır. Yani 5 dakikadan azdır, bu işleme şartlarında talaş kızıl sıcaklıkta ve kırılıgandır. Kesme hızı 20 m/min.'e değişince başlangıç aşınması hızlıdır, daha sonra duran bir aşınma meydana gelmektedir. Arkasından da kötü bir aşınma ve bunun sonucu takımın kullanılamayacağı durumlar oluşmaktadır. Şekil 4.5. b den c ye kadar sırasıyla değişik talaş derinliği ve ilerleme oranları için kaplamasız sementit karbür takımlar için aşınma değerlerini göstermektedir, burada ilerleme hızı arttıkça takım aşınması



(a)



(b)

Şekil 4.4. Farklı kesme hızlarında, talaş derinliği ve ilerleme hızlarına bağlı esas (asıl) kesme kuvvetinin değişimi (1)
 (a) ilerleme hızına karşı esas (asıl) kesme kuvvetinin değişimi
 (b) talaş derinliğine karşı esas (asıl) kesme kuvvetinin değişimi

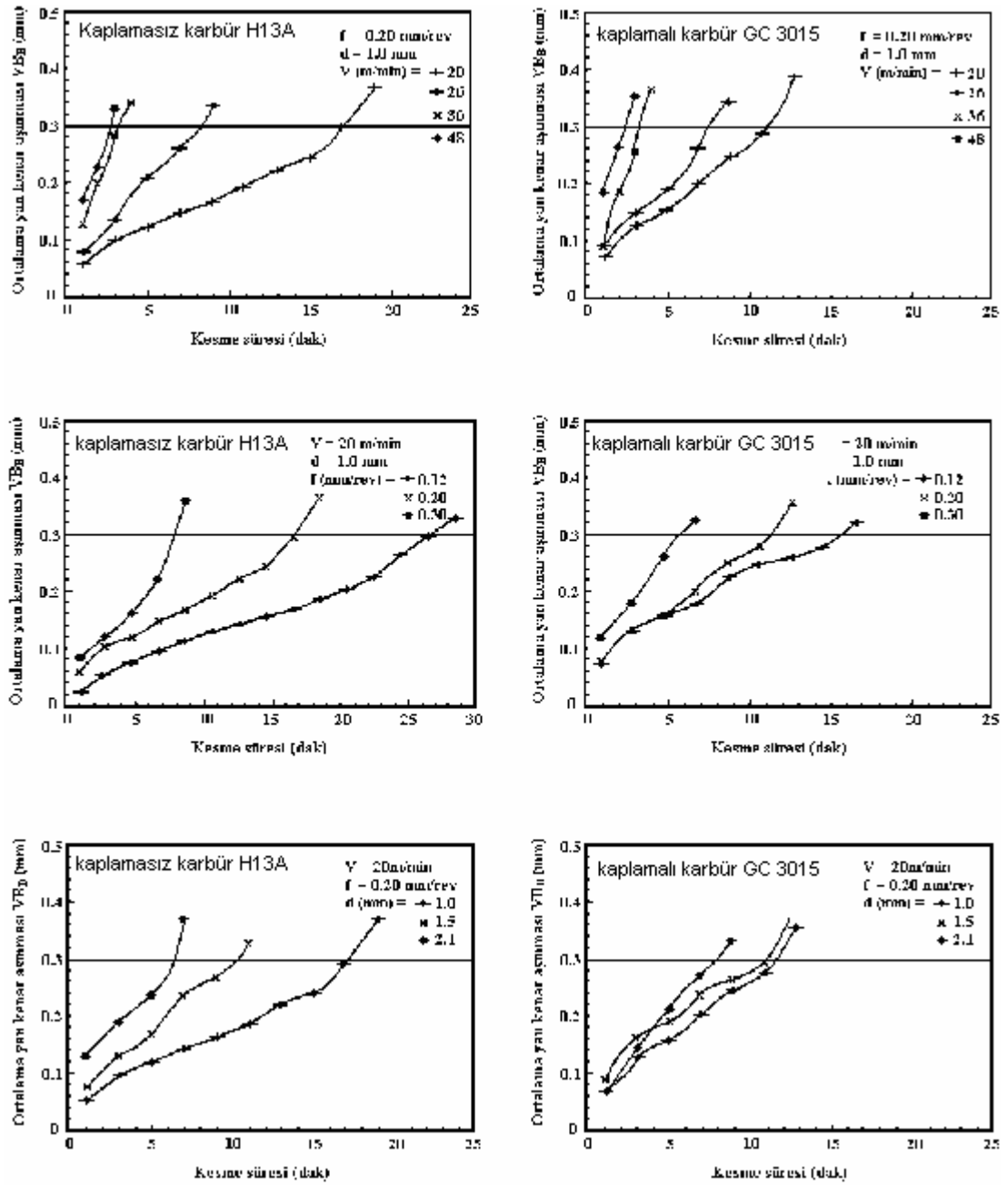
da artmaktadır. Yüksek ilerleme hızlarında ise kırık ve süreksiz talaşlar oluşmuştur. İşleme esnasında farklı ilerleme hızları ile oluşan aşınma (Şekil 4.5. b) bakımından, farklı talaş derinliği (Şekil 4.5. c) ile görülen takım aşınma oranı ile benzer bir durum göstermiştir.

Bu çalışmada bir dizi deneysel çalışmalar ile sementit karbür takımların ömrü araştırılmıştır. Şekil 4.5. a'dan f' ye kadar olan şekiller sırasıyla farklı kesme hızları, farklı ilerlemeler ve farklı talaş derinlikleri için yan kenar aşınma oranlarını göstermektedir. Deneysel çalışmalardan 8'inde kaplamalı sementit karbür takımların takım ömrü, kaplamasız sementit karbür takımların takım ömründen daha uzunken 4 çalışmada ise kısa olduğu gözlenmiştir (0.30 mm'lik yan kenar aşınma miktarına ulaşıldığında). Takım ömrü bakımından, farklı kesme hızlarında takım malzemesine bağlı olarak muhtelif kesme hızlarında, ilerleme oranlarında ve talaş derinliklerindeki durumları Şekil 4.6. a' dan c' ye kadar olan grafiklerde görülmektedir. Bu takım ömrü değerleri Şekil 4.4. a' dan d' ye kadar olan şekillerden alınmıştır. Şekil 4.5. a' da 20 m/min.' lik kesme hızında kaplamasız sementit karbür takımların performansı kaplamalı sementit karbür takımlardan çok daha kötü olduğu görülmüştür. Kesme hızı arttırıldıkça hem kaplamalı hem kaplamasız takımların takım ömürleri aynı olmaktadır, ilerleme oranları arttırıldığında kaplamasız takımların takım ömürlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak talaş derinliği 1.5 ya da 2.1 mm' ye yükseltilmesi esnasında (Şekil 4.6. c) kaplamalı takımlarda daha uzun takım ömrü gözlenmiştir. Kaplamalı takımlarda hızlı takım aşınmasının nedeni 20 m/min.'lik kesme hızlarında CVD kaplamalı karbür takımlardaki kaplama malzemesinin sahip olduğu özelliklerdir. "Konig" (92), düşük kesme hızlarındaki aşınma olayı, esasen karbür takımlarda sık sık rastlanılan bir durum olduğunu ifade etmektedir.

A. Chouldhury ve M. A El-Baradie' ye göre CVD kaplamalı takımlar, daha yüksek kesme hızlarında daha yüksek aşınma dayanımına sahiptirler. Eğer kaplama malzemesi sertlikte bir azalmaya neden olursa, bu kaplama malzemesinin özelliğindendir. Burada sertlik, takım ömrünün belirlenmesinde etkilidir demektir.

Inconel 718' i işlerken kaplamalı takımların kaplamasız takımlara göre düşük talaş derinliğinde üstünlüğü açık değildir. Düşük kesme hızlarında işleme sonucu hızlı aşınma olduğu görülmüştür (1). Bu çalışmada 8 talaş kaldırma deneyi sonucunda kaplamalı takımlar daha iyi görülürken, 4 talaş kaldırma deneyi sonucunda kaplamalı takımların daha kötü olduğu görülmüştür. Fakat kaplamalı takımlar, talaş derinliğinin 1 mm' yi aştığı durumlarda daha uzun takım ömrü vermişlerdir. Shaw' a göre kaplamalı takımlar genelde yüksek ısıya dayanıklı alaşımlardan nikel ya da kobalt esaslı süper alaşımlar için faydalı değildir. Fakat yazarın gözlemlerine göre sadece düşük talaş derinliğinde daha kötü görülmüşlerdir.

A. Chouldhury ve M. A El-Baradienin bu çalışmada kullandıkları GC 3015' in üzerinde bir TiC kaplamanın üzerinde kalın bir Al_2O_3 tabakası vardır. Toplam kalınlık 10 mikrometredir. Sıcaklığın yükselmesi ile Al_2O_3 ' ün termal iletkenliğinin azaldığı ifade edilmektedir (64). Burada yüksek kesme hızlarında takımın mekanik özelliklerini ve düşük ısı durumunu koruyan Al_2O_3 kaplamadır. Kaplamalı karbürler, temelde hem aşınma dayanımına karşı avantajlıdır hem de sementit karbür takımlara göre daha iyi gerilime sahiptirler. Al_2O_3 ve TiC kaplamanın sementit karbür takımların termal aşınma dayanımlarını arttırdıkları görülmüştür (2). Hem yüksek kesme hızında hem de yüksek ilerlemelerde daha iyi kesme performansı göstermişlerdir. Bu gözlemlerin dışında bir deneyde kesme hızının 36 m/min. olduğu bir durumda ilerleme hızı da dikkate alınarak kaplamalı takımların daha uzun takım ömrü verdikleri gözlenmiştir. Kaplamalı takımlar 1 mm sabit talaş derinliğinde daha iyi ömür vermiş ve kaplamalı karbürlerin performansı daha yüksek talaş derinliğinde daha iyi görülmüştür. Düşük kesme hızlarında kaplamalı takımların daha kısa takım ömrüne sahip olmasında, takımın sertliği, takımın aşınma mekanizmasına olan direncini önemli derecede etkilemektedir. Aşınma mekanizması abrasiv olabilir. Burada sert partiküller süper alaşımdan koparak takım yüzeyi ile iş parçası arasında geçerken mekanik hareket sonucu zerreciklerin kopmasıyla aşınma oluşmuştur. Kaplamalı takımlar 1.5 ve 2.1 mm talaş derinliğinde kaplamasız takımlara göre daha uzun takım ömrü ortaya koymuşlardır. Yanak aşınmasının genelde abrasiv bir aşınma sonucu olduğu kabul edilmektedir



Şekil 4.5. Kaplamalı (GC 3015 TiC + Al₂O₃) ve kaplamasız karbür takımlar için kesme süresine bağlı olarak oluşan ortalama yan kenar aşınma miktarları, V_{BB} (mm) (1)

(a) Değişik kesme hızlarında ortalama V_{BB} değeri (mm)

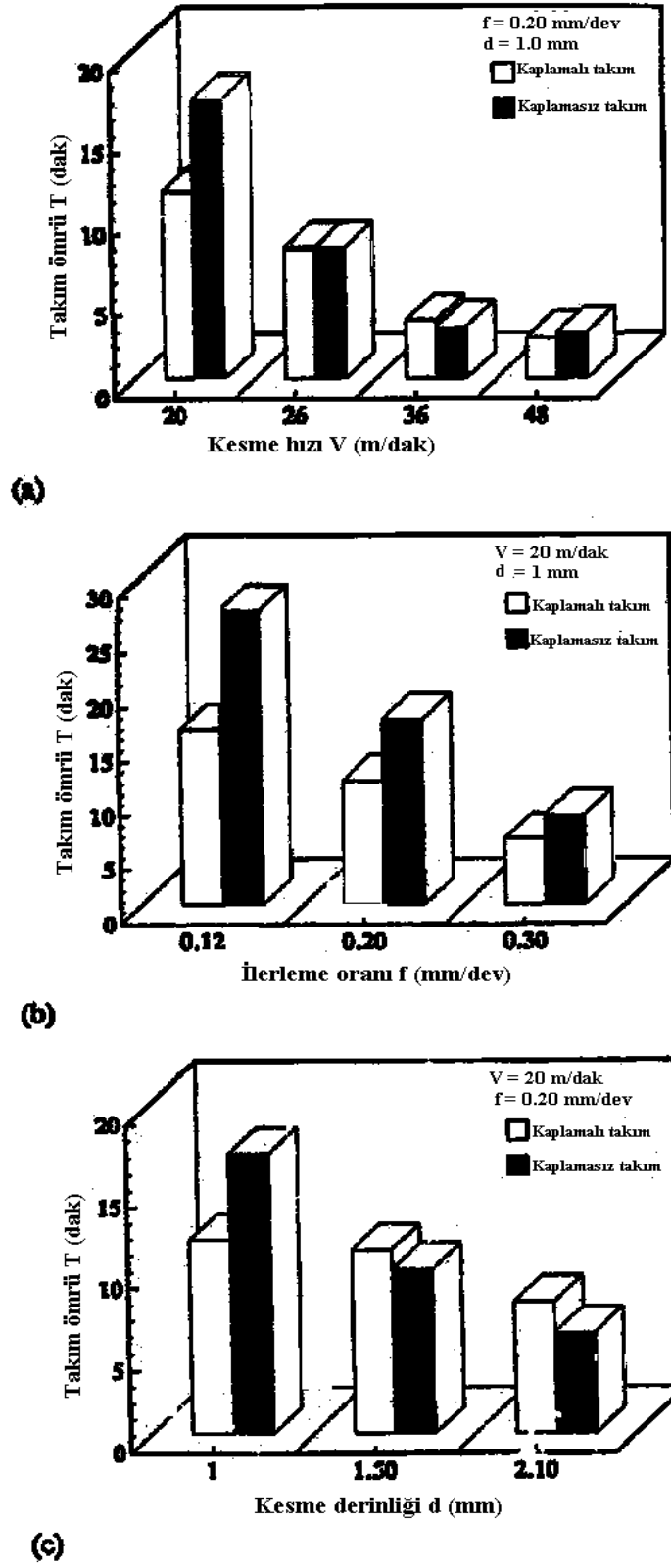
(b) Değişik ilerlemelerde ortalama V_{BB} değeri (mm)

(c) Değişik kesme derinliğinde ortalama V_{BB} değeri (mm) (Kaplamasız karbür takımlar için)

(d) Değişik kesme hızlarında ortalama V_{BB} değeri (mm)

(e) Değişik ilerlemelerde ortalama V_{BB} değeri (mm)

(f) Değişik kesme derinliğinde ortalama V_{BB} değeri (mm)



Şekil 4.6. Farklı kesme şartlarında Kaplamalı (GC 3015 TiC + Al_2O_3) ve kaplamasız sementit karbür takım malzemesine bağlı takım ömrü (1)

Ancak yüksek kesme hızlarında bir difüzyon aşınma olarak ta düşünülebilir. 30 m/min.' lik kesme hızlarının üstündeki hızlarda, karbür takımlar, kobalt fazın termal yumuşaklığından ötürü kullanışsızdırlar (25).

Literatürdeki deneysel çalışmalarda ifade edildiği gibi (1), tornalama operasyonlarında esas kesme hareketi, dönme eksenine paralel takım ilerlemesi ile çevreseldir. Bileşke kuvveti F , 3 yöndeki 3 elemanın çözümlediği kuvvet olarak kesici takım üzerinde hareket eder. Asıl kesme kuvveti F_c , kesme hızının yönünde, dairesel olarak hareket eder. Yani tornalama yüzeyine teğettir. Bu da asıl kesme kuvvetinin ana elemanıdır. Bu kuvvet, sürücü motorunun ana gücünün tespitinde en büyük rolü oynar. Asıl kesme kuvveti, işleme için gerekli olan gücün %99' una tekabül eder. İlerleme kuvveti F_f , takımın ilerlemesi boyuncadır ve bu kuvvet asıl kesme kuvveti F_c ' nin %15-50 arasındadır. Ancak gerekli işleme gücünün çok düşük oranına eşdeğer gelir. İlerleme için gerekli olan güç, ilerleme hızı ile birlikte ilerleme kuvveti tarafından saptanır. Radyal ya da pasif kuvvet F_p ise tornalama yüzeyine diktir. Bu kuvvet yaklaşık ilerleme kuvveti F_f ' in %30-50' si kadardır ve işleme gücüne çok az katkısı vardır çünkü radyal yöndeki hız önemsizdir. Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir. (1)

$$F = \sqrt{(F_f^2 + F_p^2 + F_c^2)}$$

Şekil 4.2. a dan c' ye kadar asıl kesme kuvveti F_c , ilerleme kuvveti F_f , ve radyal kuvvet F_p değişkenlerinin sırasıyla 0.5, 1 ve 1.5 mm talaş derinliğinde ve 0.30 mm/rev. ilerleme hızında kesme hızında ki değişkenleri göstermektedir. Bütün bu şekiller asıl kesme kuvveti elemanının radyal ve eksenel elemanlardan çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Genelde kesme hızı artarken kuvvetler azalmakta ve hemen hemen yüksek hızdaki ilerleme ve talaş derinliği hariç sabit olmaktadır. Daha yüksek ilerleme ve talaş derinliğinde bu 3 kesme kuvveti, kesme hızı 50 m/min. olduğunda artmaktadır. Bu da gösteriyor ki Inconel 718 kesme hızı çok yüksek olduğu durumlarda bile özelliklerini korumaktadır. Çok düşük kesme hızlarında kuvvet daha yüksektir. Daha yüksek kesme derinliğinde farklı

ilerlemelerde aksenal kuvvet daima radyal kuvvetten daha büyüktür (1 ve 1.5 mm talaş derinliğinde). Talaş derinliği düşük iken (0.5 mm) ve ilerleme yüksek iken, ($f=0.30$ mm/rev.) radyal kuvvet ilerleme kuvvetinden daha yüksektir (bkz. Şekil 4.3. a). Bu da gösteriyor ki; talaş akış yönü, düşük kesme derinliğinde aksenal yerine radyal' dır. Talaş derinliğinin artması ile talaş akış yönü radyal' dan eksene doğru değişir ve aksenal yönde bir artış olur. Bütün bu durumlarda asıl kesme kuvveti ilerleme büyüdükçe artmaktadır. Aynı zamanda asıl kesme kuvveti daha hızlı kesme hızlarında ve daha yüksek ilerleme hızında artmaktadır (bkz. Şekil 4.2. c). Şekil 4.4. b' de ise 1 mm sabit kesme derinliğinde farklı 3 kesme hızındaki ilerleme hızı ile asıl kesme kuvvetinin değişimi gösterilmiştir. Genelde görülebilir ki talaş derinliği veya ilerlemenin artışı ile kesme hızındaki artış sonucunda kesme kuvvetleri hemen hemen doğrusal olmaktadır. Daha yüksek ilerleme hızlarında ve talaş derinliğinde kesme kuvvetleri, 50 m/min.' i aşan kesme hızlarında artmaktadır. Düşük kesme hızlarında (10 m/min.) kesme kuvvetleri daha yüksektir. Çünkü bu durumda takım ile iş parçası arasında sürtünme katsayısı daha yüksektir. Kesme hızındaki bir artış, bu bölgede talaş akışının gerilimi artarak, takım talaş yüzeyini artırmaktadır, bu da gösteriyor ki kesme hızı 40 m/min.' e yükselirken kesme kuvveti azalmakta ve kesme düzlemi uzunluğunda bir azalma yine kesme düzlemi açısındaki bir artışın sonucudur. Ne zaman ki kesme hızı 40 m/min.' den 50 m/min.' e yükselirse yüksek ilerlemelerde kesme kuvveti azalmamakta çünkü yüksek iş sertliği oranları, işleme esnasındaki gerilimin sonucu yüksek kesme kuvvetine neden olmaktadır (1).

4.4. Literatür Araştırmasının Genel Değerlendirmesi

Yapılan literatür araştırması sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Nikel esaslı takımların işlenmesinde dikkati çeken faktörler, takım ömrü, sınırlı talaş kaldırma, kesme kuvvetleri, güç tüketimi, yüzey bitirme, işlenen elemanların entegrasyonu, talaş şekli/testere dişli talaş oluşumu, iş malzemesinin yüksek dayanımı ve sertliği gibi faktörlerdir. Bunların hepsi, işlenmiş yüzeyin yapısında ve takım ömründe dikkate alınacak önemli faktörlerdir (2).

- 2- Talaş derinliği bölgesinde oluşan çentik, öncelikle dikkati çeken takım aşınması şeklidir (93). Nikel esaslı süper alaşımların farklı kesici takımlar ile işlenmesinde iş sertliği, talaş- takım kaynaması, kesici takımdan malzeme kopması ve krater aşınması, takım bozulmasına hakim olan durumlardır. Yanak aşınması, çıtlama ve yorulma ile aşınma aynı zamanda takım ömrünü sınırlayan faktörlerdir. Diğer faktörler ise, kesici takım üzerinde tek veya bir kombinasyon içerisinde hareket eden termal ve mekanik yorulma yükleri, krater aşınması, abrasyon aşınması ve adhezyon aşınmasıdır (2).
- 3- Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde farklı atmosferlerin varlığı, takım aşınması üzerinde farklı etkiler oluşturmuştur. Oksijenin olduğu ortamda yapılan talaş kaldırma işlemlerinde çentik azalmıştır. Fakat argon ve nitrojenin olduğu bir ortamda yapılan işlemede daha şiddetli çentik oluşmuştur (2).
- 4- Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde, soğutma sıvısının çok önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Kesici takım üzerinde sıcak talaşın düzensiz teması sonucunda yorulma ile aşınma olayı ortaya çıkmıştır. Kesme bölgesinde oluşan ısıнын düşürülmesi için soğutma sıvısı kullanılmıştır. Ancak yüksek basınçlı soğutma sıvısının kullanılması ile daha düzgün bir talaş elde edilmesine rağmen daha kısa takım ömrü ortaya çıkmıştır. Yüksek basınçlı soğutma sıvısının kullanımı ile, takım talaş arasındaki temas alanı önemli derecede azaltılmış ve sonuçta kesici kenarda bir gerilim artışı oluşmuştur (2).
- 5- Nikel esaslı alaşımlar, işleme esnasında, kesici takım geometrisinden etkilenmektedir, yan kenar açısındaki bir artış ya da takımın takım açısı, takım-talaş temas alanında takımın dayanımında bir artış getirdiği görülmüştür. Kesici takımın yaklaşma açısında bir azalma olduğunda, sonuç olarak daha uzun takım ömrü elde edilmiştir. Yuvarlak ve kare şekilli kesici takımlar ile nikel esaslı alaşımlar işlenirken yuvarlak (rhombik) şekilli takımlardan daha iyi performans elde edilmiştir (2).

- 6- Modern kesici seramik uçlu takımlar (karışık seramikler, siyalon, whisker takviyeli seramikler), çok katlı kaplı karbür takımlar ve kübik bor nitrit takımlar, nikel esaslı alaşımların işlenmesinde iyi bir performans göstermiştir. Maliyet açısından kübik bor nitritler, güncel olarak siyalon ya da whisker takviyeli alüminyum oksit seramiklerden 20 kat daha pahalıdır. Modern seramikler ve son zamanlarda geliştirilen kaplamalı sementit karbür kesici takımlar, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde elverişli görülmüştür. Uygun olmayan seramik uçlu takımların kırılma sertliği ve aşırı çentik oluşumu, değişen talaş derinliğinde konik (taper turning) tornalama teknikleri kullanılarak aşılabilmektedir (2).
- 7- Kaplamalı takımlar için kesme hızının takım ömrü üzerinde etkisi, ilerleme hızı ve talaş derinliğinden daha çoktur. Kaplamasız takımlarda takım aşınması üzerinde kesme hızının etkisi daha çok olup bunu talaş derinliği ve ilerleme hızı takip etmiştir (1).
- 8- Talaş derinliği 1 mm' yi geçtiği durumlarda kullanım yönünden kaplamalı takımlar uygun bulunurken, Taylor' un takım ömrü denkleminde ise talaş derinliği elemanının kaplamalı takımlar üzerindeki etkisi, kaplamasız takımların etkisinden daha çok görülmüştür (1).
- 9- Yapılan bir literatür çalışmasında 8 talaş kaldırma işleminde, takım ömrü 0.20 mm' lik yan kenar aşınma değerine ulaşıldığında kaplamalı ve kaplamasız takımlar ile benzer deneysel durumlar gerçekleştirildiğinde karbürlerin takım ömrü daha uzun bulunurken dört talaş kaldırma işleminde ise daha kısa bulunmuştur. Inconel 718 in işlenmesinde önerilen işleme parametreleri, karbür takımlar için $V=20-25$ m/min.' lik kesme hızı 0.15-0.20 mm/rev.' lik ilerleme hızı ve 1 mm' den daha yüksek talaş derinliği olmuştur (1).
- 10- Kaplamasız takımlar farklı kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında daha iyi performans göstermişlerdir. 26 ile 48 m/min.' lik kesme hızlarında takım ömrü yönünden önemli bir farklılık görülmemiştir. Daha yüksek kesme hızlarında yüksek kesme geriliminden ötürü kesme kuvvetlerinde bir azalma olmamıştır. 50

m/min.' lik kesme hızı ile 0.30 mm/rev.' deki ilerleme ile yapılan işlemede kesme kuvvetleri artış göstermiştir (1)

- 11- Düşük kobalt kapsamı ile ilgili karbür kesici takımın abrasyon direnci artmış, kesme geometrisinin özellikle yan kenar kesme açısının, takım ömrü üzerinde ciddi etkisi görülmüştür. Yüksek termal iletkenlik ve düşük termal büyüme katsayısına sahip K20 kalitesindeki karbür uç için termal şokların azalması sayesinde iyi performans görülmüştür. Inconel 718'in işlenmesinde TiN ve TiCN kaplamaların karşılaştırılması ile PVD(Ti,Al)N kaplama uygun bulunmuş, BUE olayı ve abrassiv aşınma azalmıştır. İnconel 718'in kuru ortamda işlenmesi ile süper oksidasyon dayanımı yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık, yüksek ısıl sertlik ve düşük termal iletkenlik, takım performansının ana belirleyicileri olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışma ile TiN/AlTiN çift kaplı kaplama iyi sonuçlar vermiştir (119).

5. MATERYAL VE METOD

Inconel 718' in işlenebilirliğini değerlendirmek üzere, talaş kaldırma deneyleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada kesici takımlarda oluşan aşınmalar ve yüzey kalitesi ile ilgili çalışma, Eskişehir TUSAŞ atelyelerinde, kesme kuvvetlerinin ölçümü ile ilgili çalışma Gazi Üniversitesi TEF Makina Eğitimi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan tezgah, cihaz, donanım özellikleri ve deney yöntemi aşağıda incelenmiştir.

5.1. Takım Tezgahları ve Özellikleri

TUSAŞ' taki üretim atelyelerinde yapılan talaş kaldırma işlemleri için bir CNC (OKUMA LB-45-II) torna tezgahı kullanılmıştır. Tezgahın özellikleri Çizelge 5.1.' de, tezgahın resmi ise Resim 5.1.' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 OKUMA LB-45-II CNC Torna tezgahının özellikleri

Maksimum işleme çapı	500 mm
Çalışma voltajı	380
Faz adedi	3
Frekansı	50Hz
Yük kapasitesi	60.9 KW
Tam yükte çektiği akım	92.4 A
En yüksek motor akımı	248 A
Normal çalışma kap.	14. KA
Diyagram No:	W6200-031-2
Seri No:	0046
Üretim yeri	Japonya
Ayna	N15 A11
Silindir	Y2050 Re
Max. devir sayısı	2800 dev./min.
Max. basınç	30Kgf/cm ²
Şirketi	OKUMA

Kesme kuvvetlerinin ölçüm işlemleri Gazi Üniversitesi TEF Makina Eğitimi laboratuvarında gerçekleşmiş ve teknik özellikleri Çizelge 5.2.' de ve Resim 5.2. de görülen JOHNFORD T35 CNC torna tezgahı kullanılmıştır.



Resim 5.1. Aşınma deneylerinde kullanılan CNC okuma 45 LB torna tezgahı (TUSAŞ atelyeleri)

Çizelge 5.2. JOHNFORD T 35 CNC torna tezgahının özellikleri

X eksen	350	mm
Z eksen	600	mm
Tezgah Gücü	10	kW
Devir sayısı	4000	rev/min
Hidrolik ayna çapı	350	mm
Hassasiyet	0,001	mm
Taret takım adedi	12	

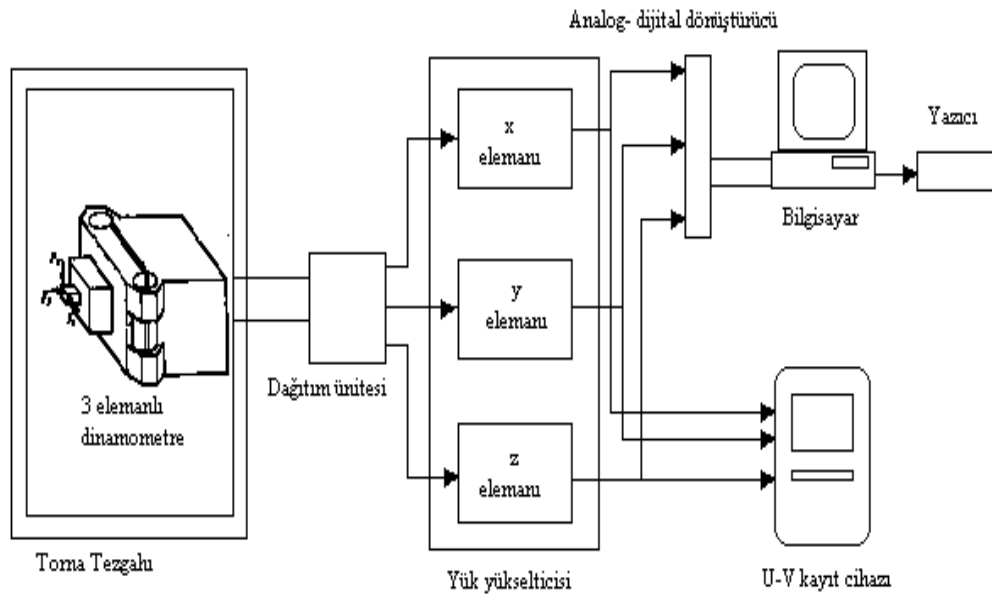
5.2. Kuvvet Ölçme Sistemi ve Dinamometre

Kesme kuvvetlerinin ölçümünde 3 elemanlı Kistler marka dinamometre, tipi 285543 B model, kalibrasyon alanı $F_f = 0 - 15000$ N, $F_p = 0 - 15000$ N ve $F_c = 30000$ N ile

buna bağı 3 adet yük yükselticisi (Charge Amplifier 5019 B130) ve bir bilgisayar (mikro işlemcisi 20 MB HDD, 256 MB DDR, 15" monitör) kullanılmıştır (Resim 5.2.). Inconel 718' i işlerken oluşan kesme kuvvetlerinin bir dinamometre vasıtasıyla ölçülmesinde Johnford T35 CNC torna tezgahı kullanılmış olup verilerin bilgisayara kaydedilmesi için Dynaware programı kullanılmıştır. Kuvvet ölçümünü gösteren şematik diyagram Şekil 5.1.' de, ölçme deney düzeneği Resim 5.3' te gösterilmiştir.



Resim 5.2. Kuvvet ölçme sisteminde kullanılan kistler dinamometre, CNC Johnford T35 torna tezgahı ve PC ünitesi (GÜTEF Mak.Lab.)



Şekil 5.1. Kesme kuvvetleri ölçüm düzeni ve bir dinamometre ünitesinin şematik görünümü



Resim 5.3. Inconel 718' i işlerken oluşan kesme kuvvetlerinin Kistler 9257B (1997) dinamometre ile Johnford T35 CNC (10 KW) torna tezgahında ölçme deney düzeneği (GÜTEF Mak. Lab.)

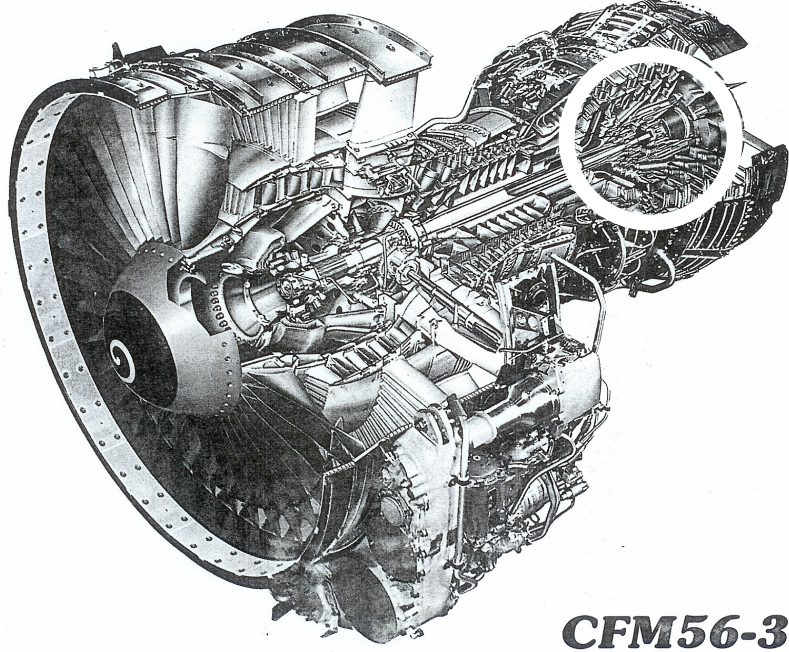
5.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Takımlar

5.3.1. Deney numuneleri

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme, nikel esaslı süper alaşımlardan AMS 5663 spesifikasyonuna sahip Inconel 718 dir. Bu malzeme üretim esnasında 2 kez ısıtılma tabi tutulmuştur. Bu işlemler **VIM**. ((Tüme varım vakum ile eritme (Vacuum induction melting)) + **ESR** ((Elektrik akımı ile yeniden eritme (Elektro slag remelting)) dir. Malzeme 954 °C sıcaklıkta bir saat bekletilerek suda soğutulmuştur. Daha sonra malzeme çökeltme işlemine tabi tutulmuştur. Üretim esnasında çökeltme olayında amaç, sertleştirilebilir bir malzemenin alaşım elementlerinin bazılarının (grain boundary) tane sınırlarına oturması ile malzemeye istenilen mekanik özellikler kazandırılmasıdır. Çökeltme işlemi için 718 °C'de 8 saat

bekletilmiş, ocak 621 °C'ye ininceye kadar 38 °C/saat bekletildikten sonra hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Malzemenin yoğunluğu 8.470 kg/dm³, brinell sertliği 388 HBS' dir. Kaynama noktası 5660 °C, erime noktası 3410 °C, buharlaşma basıncı yok, suda çözülmez katı ve kokusuz bir metaldir. Sağlığa zararlı yanı yoktur.

Talaş kaldırma deneyleri için kullanılan Inconel 718 malzemesinden seçilen parça adı SEAL (hava bekletme tırağı) olup bu malzemenin görevi akışkanın seal aralarında dolaştırılarak uçak motorundan daha fazla verim elde edilmesi içindir. Parçanın uçak motoru içerisindeki yeri Resim 5.4' te gösterilmiştir. İşlenen malzemenin çapı 416 mm, genişliği ise 52,8 mm' dir (Şekil 5.2.-5.3.). İşlendikten sonra malzeme çapı 408 mm, kaldırılan talaş hacmi ise 273 cm³ hesap edilmiştir.



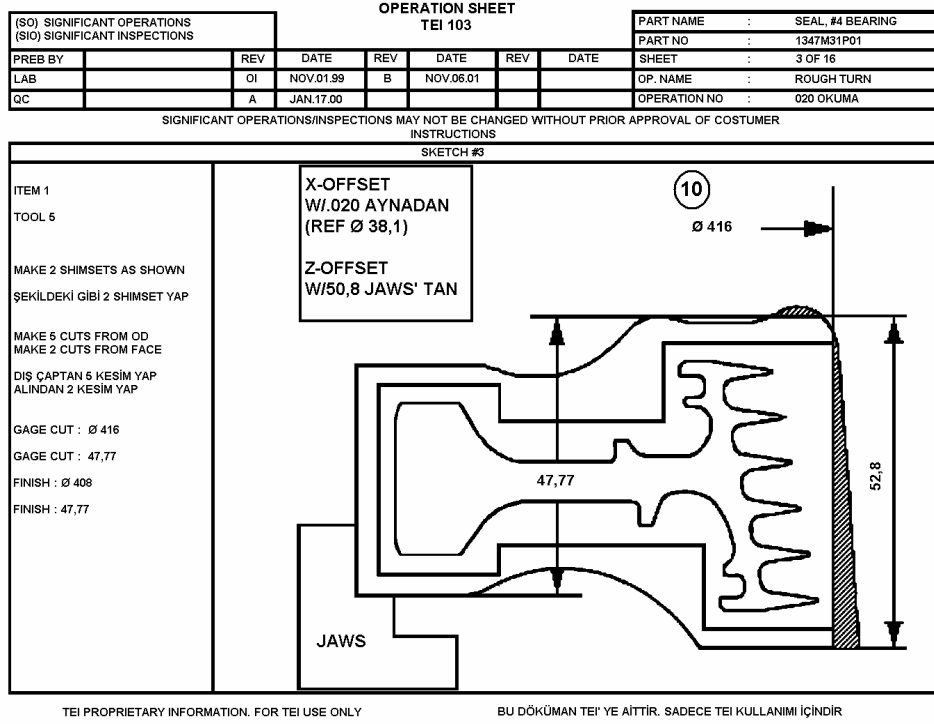
CFM 2140 01 98
SNECMA Design - Printed in France

CFM56-3

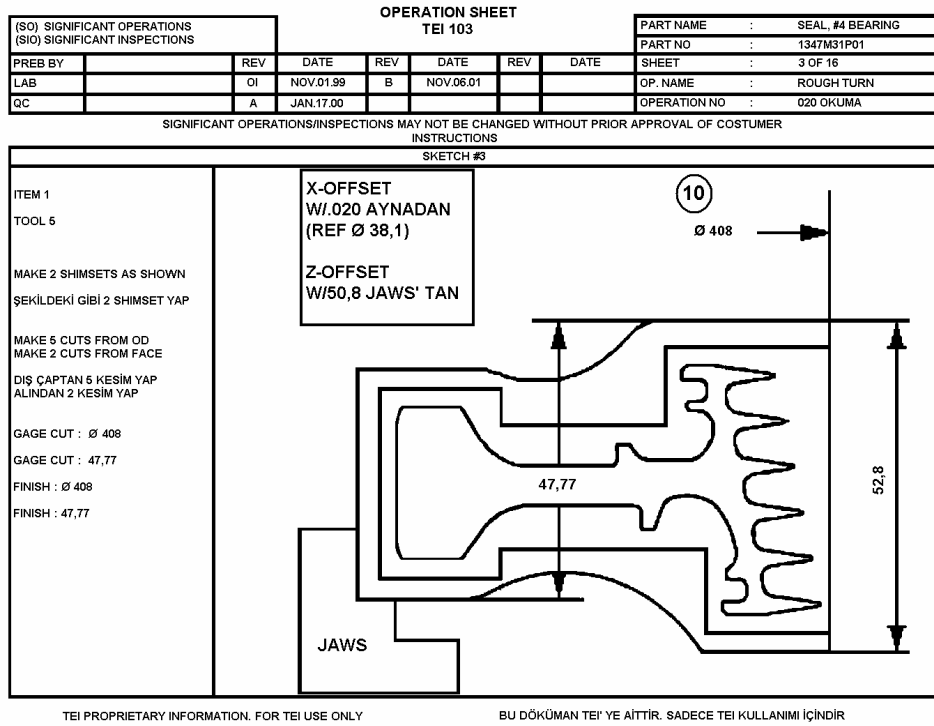


Resim 5.4. Aşınma deneylerinde kullanılan Inconel 718 malzemesinin uçak motoru içerisindeki yeri (102)

Kullanılan malzemeye ait kimyasal bileşim Çizelge 5.2.' de, mekanik özellikler Çizelge 5.3.' te (bu değerler ek 53' te verilen malzeme spesifikasyon raporundan elde edilmiştir), gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Aşınma deneylerinde kullanılan Inconel 718 işlenmemiş parça resmi (95)



Şekil 5.3. Aşınma deneylerinde kullanılan Inconel 718 işlenmiş parça resmi (95)

Malzemeye ait kimyasal bileşim Çizelge 5.3.' de, mekanik özellikler Çizelge 5.4.' te (bu değerler ek 53' te verilen malzeme spesifikasyon raporundan elde edilmiştir), malzemenin SEM (elektron tarama mikroskobu JOEL JSM-6400 model)' de yapılmış elementar analizi ((EDS) (Atatürk Ünv. Müh. Fak. laboratuvarlarında çekildi.)), Şekil 5.4' te ve malzemenin metalürjik yapısını gösteren resim Resim 5.5.' te gösterilmiştir. Malzeme resminden görüleceği gibi yapıda topaklanmalar olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.3. Inconel 718' in kimyasal bileşimi

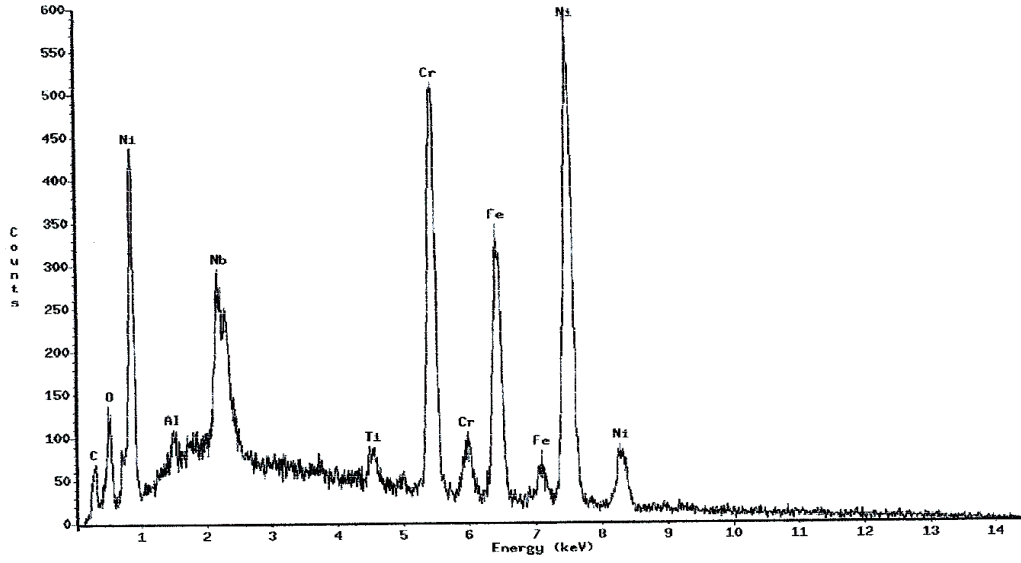
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Co	Mo	Nb+Ta	Ti
0.040	0.08	0.08	<0.015	0.002	18.37	53.37	0.23	3.04	5.34	0.98
Al	B	Ta	Cu	Fe	Ca	Mg	Pb	Bi	Se	Nb
0.50	0.004	0.005	0.04	17.80	<0.01	<0.01	0.0001	.00001	<.0001	5.33

Değerler, malzeme satın alma raporundan alınmıştır. (gr %) (EK. 53)

Çizelge 5.4. Inconel 718' in mekanik özellikleri

Sıcaklık (°C)	Akma ger. Kg/cm ²	Çekme ger. (2%) Kg/cm ²	Gerilim Kg/cm ²	Ömür (saat)	%Uzama	%Daral ma
RT(oda sıcak.)	80,708	67,32			23.3	42.1
648 °C	64,17	55,51			22.2	30.8

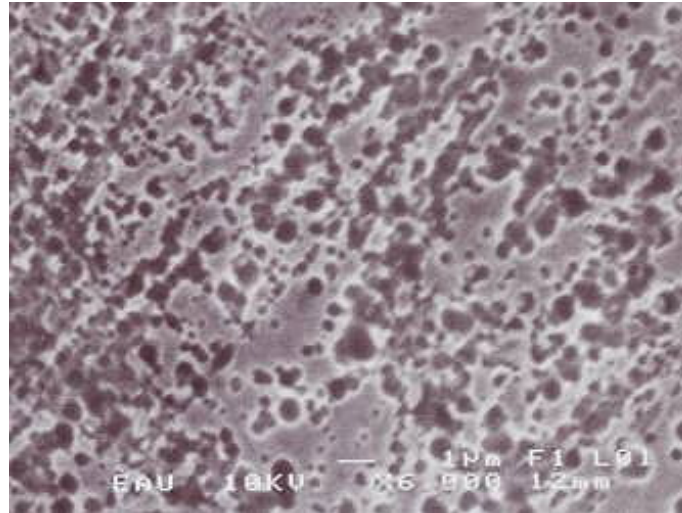
Değerler, malzeme satın alma raporundan alınmıştır. (EK. 53)



Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Mt % Err. (1-Sigma)
Cr-K	0.1889	0.962	20.02	18.17	+/- 0.40
Fe-K	0.1922	0.965	19.02	18.55	+/- 0.61
Nb-L	0.0332	1.464	3.00	4.87	+/- 0.36
Al-K	0.0026	2.540	1.40	0.66	+/- 0.08
Ti-K	0.0090	0.994	1.07	0.89	+/- 0.10
Ni-K	0.5547	1.025	55.49	56.87	+/- 1.26
Total			100.00	100.00	

Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element	Mt % Err. (1-Sigma)
Cr-K	0.1855	0.965	19.84	17.90	+/- 0.23
Fe-K	0.1825	0.965	18.17	17.61	+/- 0.28
Nb-L	0.0475	1.454	4.29	6.91	+/- 0.15
Al-K	0.0034	2.507	1.82	0.85	+/- 0.07
Ti-K	0.0085	0.998	1.04	0.86	+/- 0.08
Ni-K	0.5465	1.022	54.85	55.87	+/- 0.60
Total			100.00	100.00	

Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan AMS 5663 Inconel 718' in SEM' de çekilmiş elementar (EDS) analizi (Atatürk Ün. Lab. çekildi)



Resim 5.5. SEM cihazında çekilmiş Inconel 718 (AMS 5663)' ün metalürjik yapısı (Atatürk Ün. Lab. çekildi)

5.3.2. Kullanılan kesici takımlar ve özellikleri

Inconel 718 süper alaşımını kesebilen malzemelerden üretimde en çok kullanılan iki farklı grupta (seramik ve karbür) ve iki farklı geometride (kare ve yuvarlak) kesici takım seçildi (Resim 5.6). Kullanılan kesici takım malzemeleri şunlardır.

Sementit karbür kesici takımlar:

KC 935 SCMT 12 04 12 MF CVD kaplamalı karbür takım

KC 9225 SCMT 12 04 12 CVD kaplamalı karbür takım

SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00 CVD kaplamalı karbür takım

SECO 883 RCMM 12 04 00 Kaplamasız karbür takım

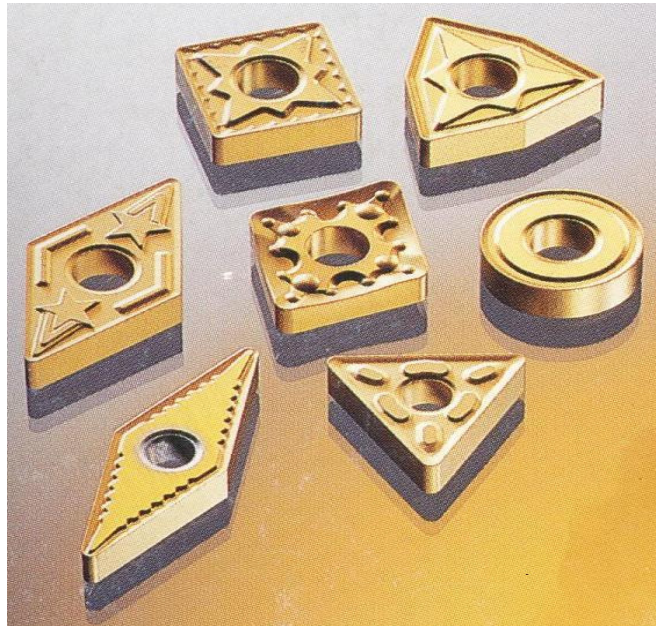
Seramik uçlu kesici takımlar:

KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$)

KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 silikon nitrit esaslı seramik takım

KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020 silikon nitrit esaslı seramik takım

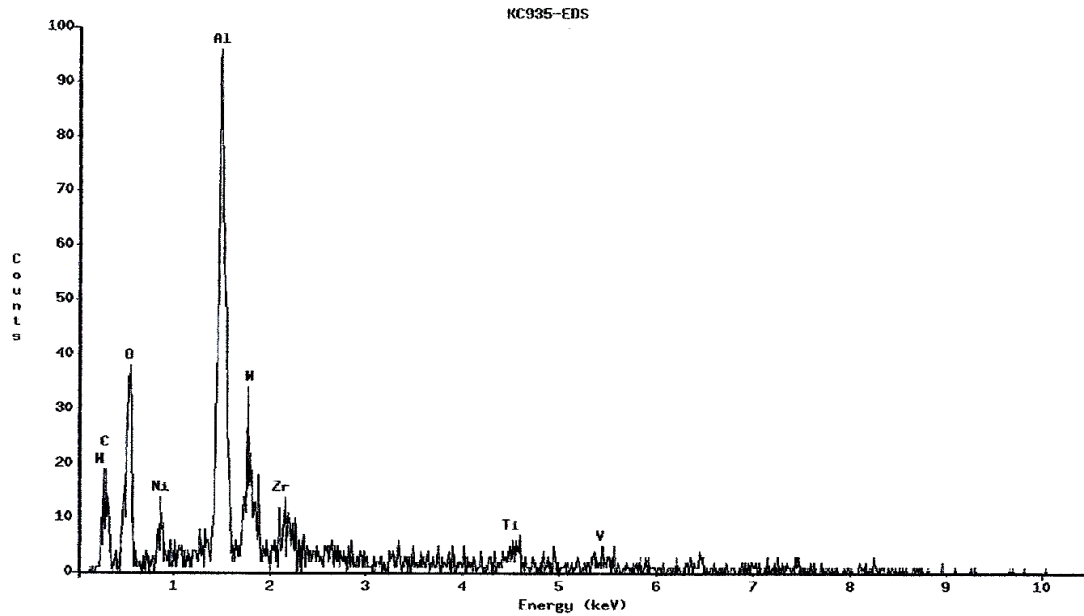
KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020 whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$)



Resim 5.6. Kaplamalı sementit karbür kesici takımlar (97)

CVD kaplamalı KC 935 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMEDAL) Karbür takım

CVD kaplı siyah karbür olan bu takım nikel esaslı süper alaşımların ve paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesine uygundur. Takım, kobalt ile zenginleştirilmiş ve çok katlı kaplamayla kaplanmıştır. En önemli özelliği yığıntı talaş (BUE) eğilimini en aza indirmektir (98). Kaplama düzeni, alt katman WC olmak üzere daha sonra TiCN, TiC ve en üst tabaka Al_2O_3 ' dir. yapılan elementar analizde alüminyum oranının yüksek olduğu görülmüştür. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM' de yapılmış elementar analizi Şekil 5.5.' te gösterilmiştir.



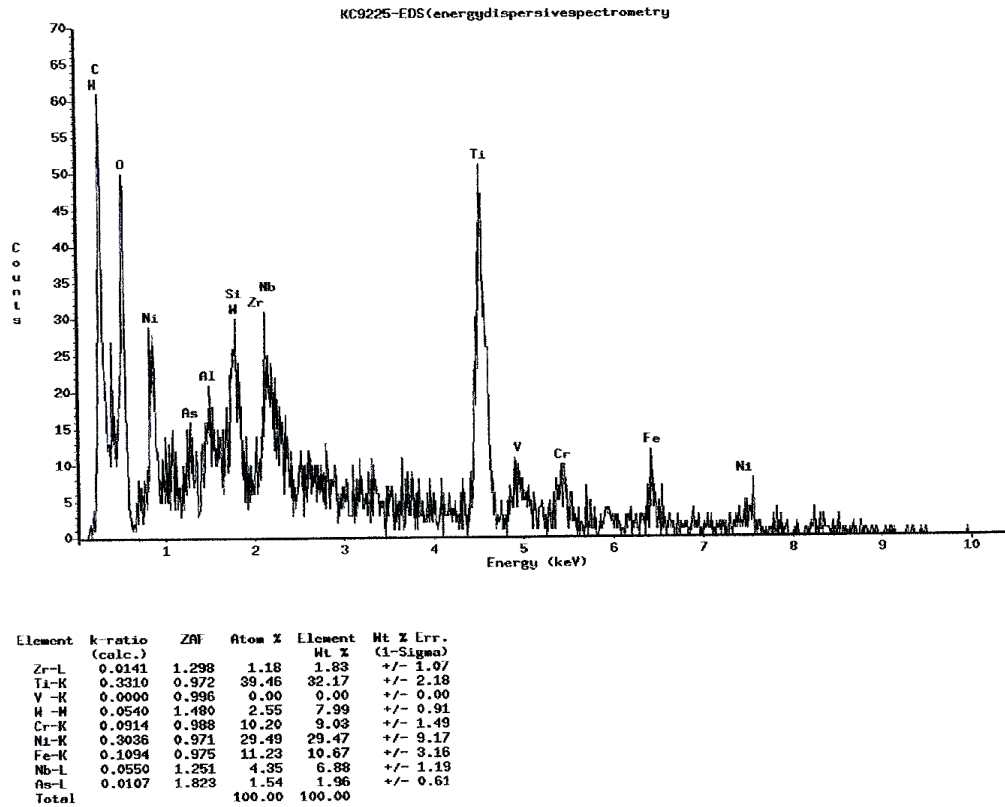
Element	k-ratio (calc.)	ZAF	Atom %	Element Wt %	Wt % Err. (1-Sigma)	Compound Formula	Compound Wt %	No. of Cations
Al-K	0.3117	1.139	36.61	35.51	+/- 1.46	Al ₂ O ₃	67.10	16.000
Zr-L	0.0000	1.565	0.00	0.00	+/- 0.00	Zr	0.00	0.000
Ti-K	0.0536	1.114	3.46	5.97	+/- 1.75	Ti	5.97	1.514
V-K	0.0213	1.130	1.31	2.40	+/- 1.92	V	2.40	0.573
H-M	0.1509	1.626	3.71	24.53	+/- 2.30	H	24.53	1.622
O-K	---	2.259	54.91	31.59	S	---	---	---
Total			100.00	100.00			100.00	19.710

The number of cation results are based upon 24 Oxygen atoms
Table Symbols: S --- Wt.% calculated by Stoichiometry

Şekil 5.5. KC 935 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMEDAL) kaplamalı sementit karbür takımın SEM' de çekilmiş elementar analizi (EDS) (Atatürk Ün. Lab. çekildi)

CVD kaplamalı KC 9225 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMETAL) Sementit karbür takım

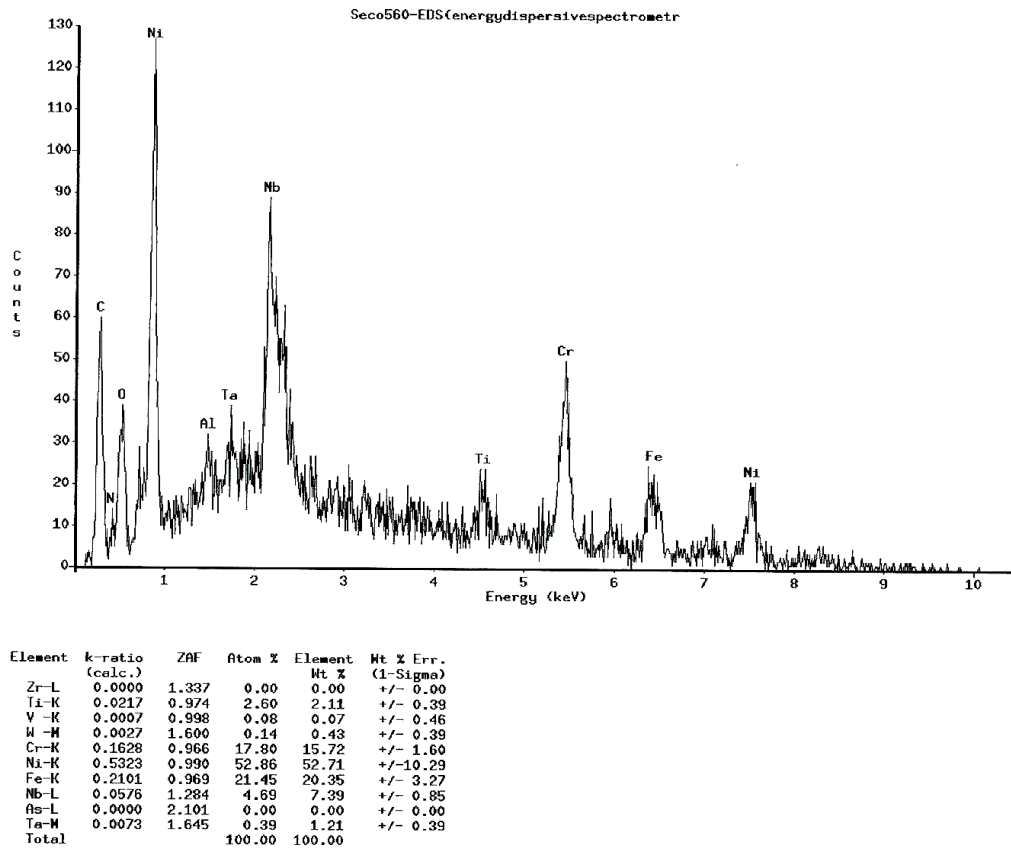
Talaş kaldırma deneylerinde kullanılan CVD kaplamalı sementit karbür takımlardan KC 9225 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMETAL), kobalt ile zenginleştirilmiş olup orta sıcaklıklarda (400-600 °C) kullanılan bir takımdır. Düz ve hafif şekilli kesme yüzeylerinde yığıntı talaş (BUE) ve mikro çatlamlara karşı dayanıklılığını artırmak için yüzeyi mikro kaplamayla kaplanmıştır. Bu takımlar, düşük karbonlu çelikler ve nikel esaslı süper alaşımlara uygundur (98). Malzemenin kaplama düzeni, alt katman WC olmak üzere daha sonra TiN, TiCN, Al₂O₃ ve en üst tabaka TiN' dir. Yapıda tungsten, karbon ve titanyum oranı yüksektir. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren SEM' de yapılmış elementar analizi Şekil 5.6.' da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. KC 9225 SCMT 12 04 12 MF (KENNAMETAL) kaplamalı sementit karbür takımın SEM' de çekilmiş elementar analizi (EDS)

CVD kaplamalı SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00 sementit karbür takım

SECO 560 CVD kaplamalı yuvarlak şekilli karbür takımdır. Nikel esaslı süper alaşımlar ile paslanmaz çeliklerin işlenmesinde iyi performans göstermektedir. Kaplama düzeni alt katman WC olmak üzere daha sonra TiN ile kaplanmıştır (99) . Yapıda nikel ve niyobyum oranı yüksektir. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM’ de yapılmış elementar analiz Şekil 5.7.’de gösterilmiştir.

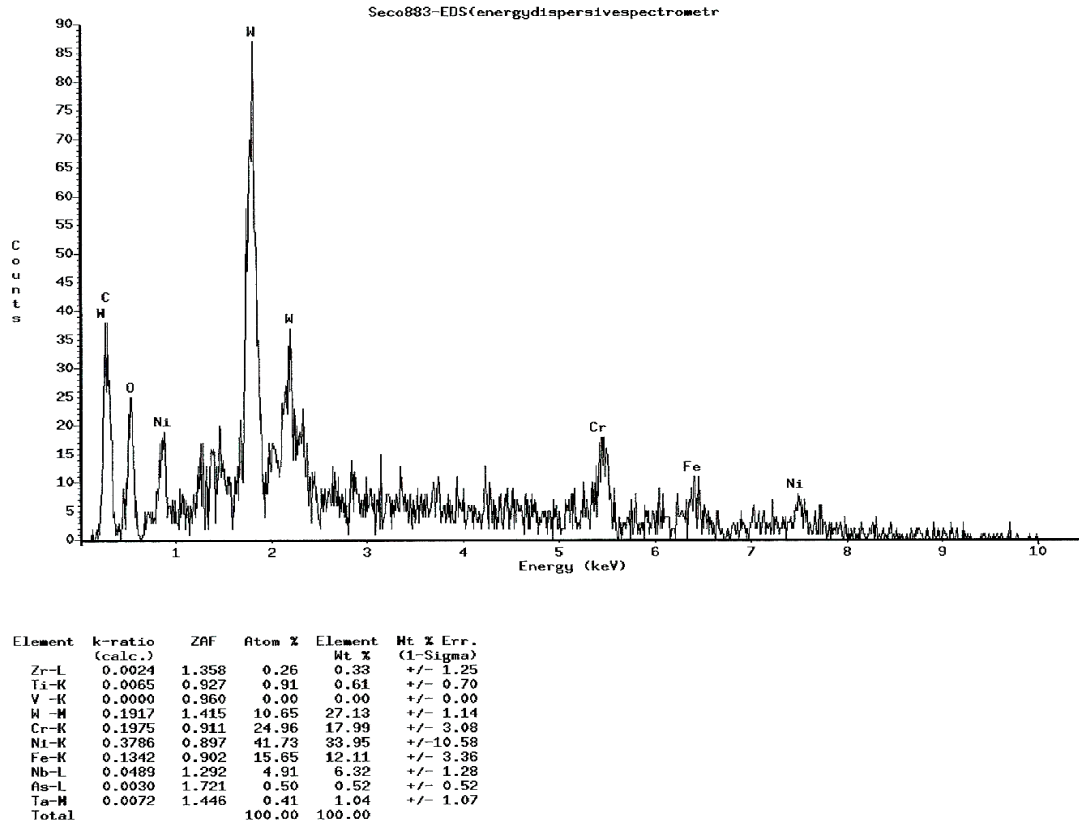


Şekil 5.7. SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00) kaplamalı sementit karbür takımın SEM’ de çekilmiş elementar analizi (EDS)

SECO 883 RCMM 12 04 00 kaplamasız tungsten karbür takım

Kaplamasız tungsten karbür takım olan SECO 883 RCMM, mükemmel sertlik ve abrasiv aşınmaya karşı yüksek dirence sahip olup orta talaş derinliğinden, yüksek talaş derinliğine doğru işlemede mükemmel performansı ile süper alaşımlardan

200/300 serisi, paslanmaz çelikler ve demir cinsi olmayan alaşımlar için uygundur (100). Yapı büyük oranda tungsten karbürden oluşmuştur. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM’ de yapılmış elementar analizi Şekil 5.8.’ de gösterilmiştir.



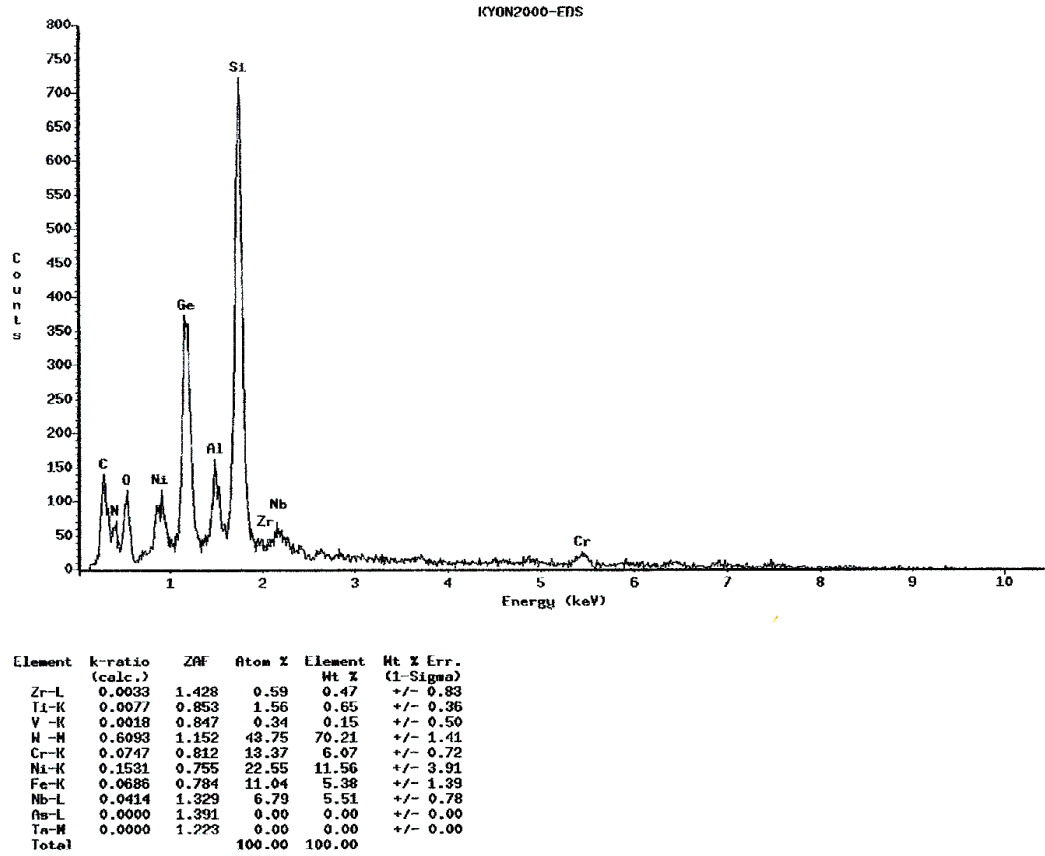
Şekil 5.8. SECO 883 RCMM 12 04 00) kaplamasız sementit karbür takımın SEM’ de çekilmiş elementar analizi (EDS)

KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01 020 silikon nitrit esaslı seramik takım (Siyalon)

KYON 2000 RNGN siyalon esaslı yuvarlak seramik takımdır. Yüksek ısıya dayanıklı olup süper alaşımlarda kaba işlemede etkilidir (98). Yapıda silisyum ve germanyum oranı yüksektir. Farklı kalite ve geometrideki seramik kesici takımlar Resim 5.7’ de, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde önerilen bu takımın malzeme yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM’ de yapılmış elementar analiz Şekil 5.9.’ da gösterilmiştir.



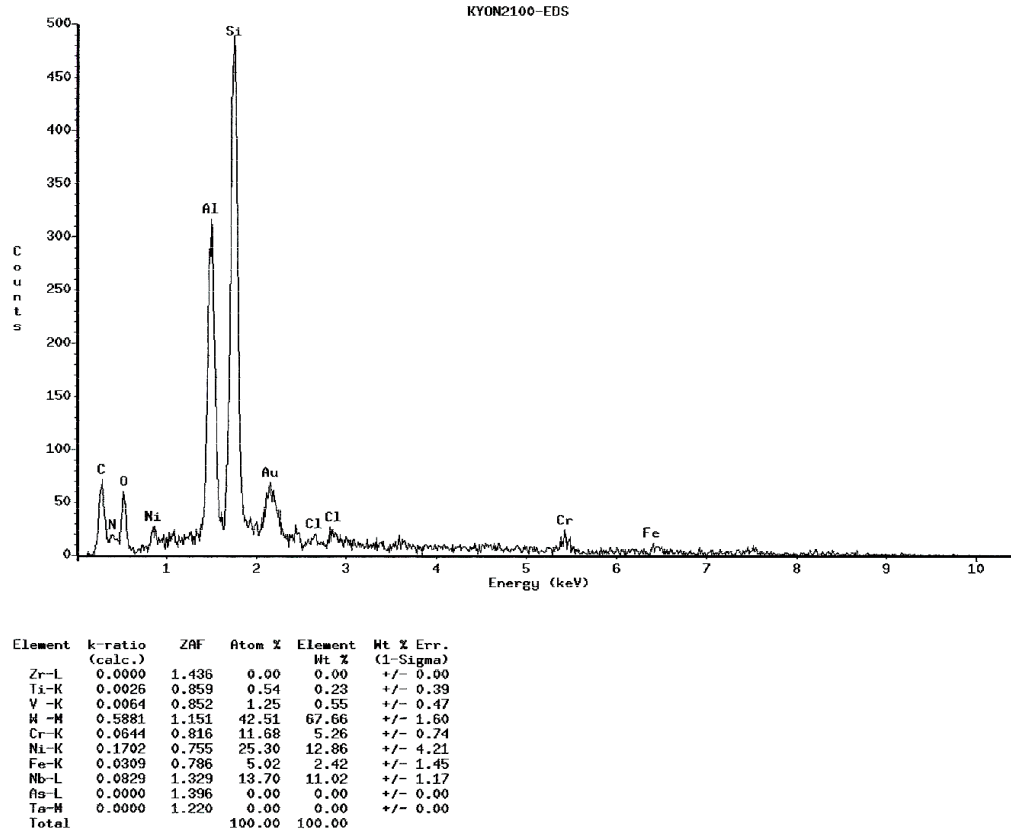
Resim 5.7. Farklı kalite ve geometrideki seramik kesici takımlar(97)



Şekil 5.9. KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01 020 (KENNAMETAL) silikon nitrit esaslı seramik (SİYALON) takımın SEM’ de çekilmiş elementar analizi (EDS)

KYON 2100 SNGN 12 07 00 T01 020 silikon nitrit esaslı seramik takım (Siyalon)

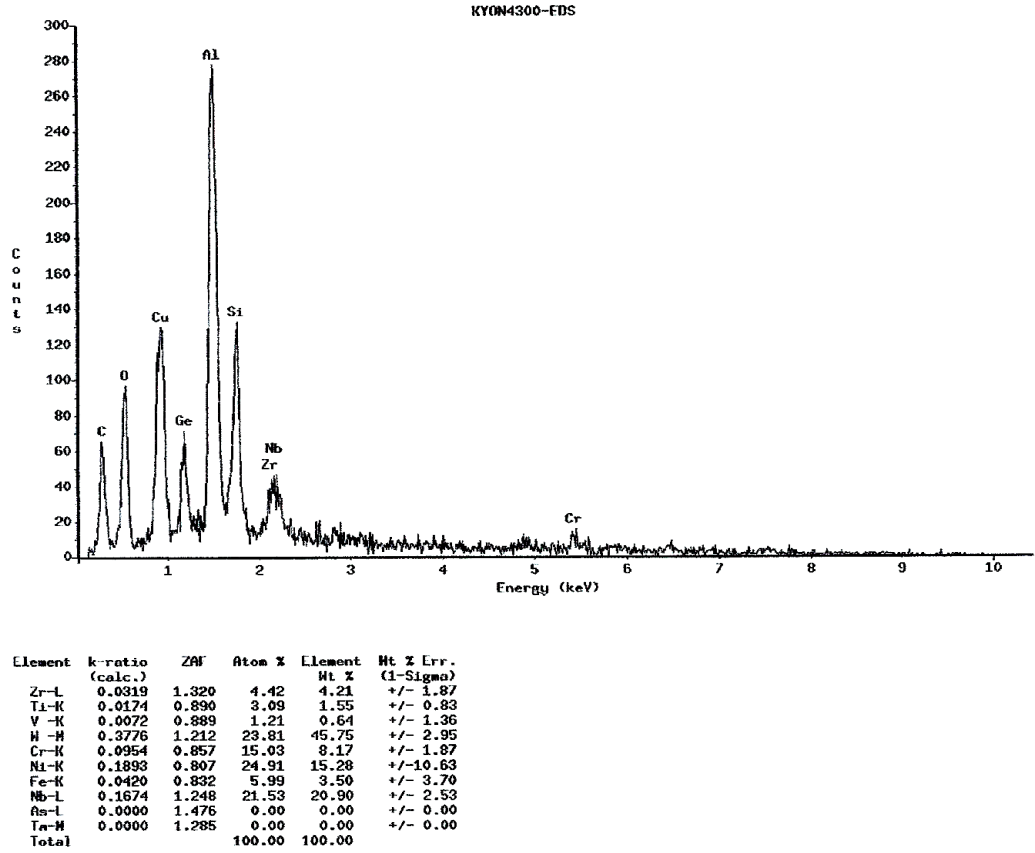
KYON 2100 Siyalon esaslı kare şekilli seramik takım olup mükemmel aşınma dayanımı ile çentik aşınmaya karşı dayanıklıdır. Yüksek ısıya dayanıklı alaşımlara karşı kaba ve son işlemede etkilidir. Nikel esaslı süper alaşımlarda orta işleme ile son yüzey bitirme işlemine uyumludur (98). Yapıda silisyum ve alüminyum oranı yüksektir. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM’ de yapılmış elementar analizi Şekil 5.10.’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 (KENNAMETAL) silikon nitrit esaslı seramik (SİYALON) takımın SEM' de çekilmiş elementar analizi (EDS)

KYON 4300 RNGN 12 07 00 T01 020 whisker takviyeli ($Al_2O_3+SiC_w$) esaslı seramik takım

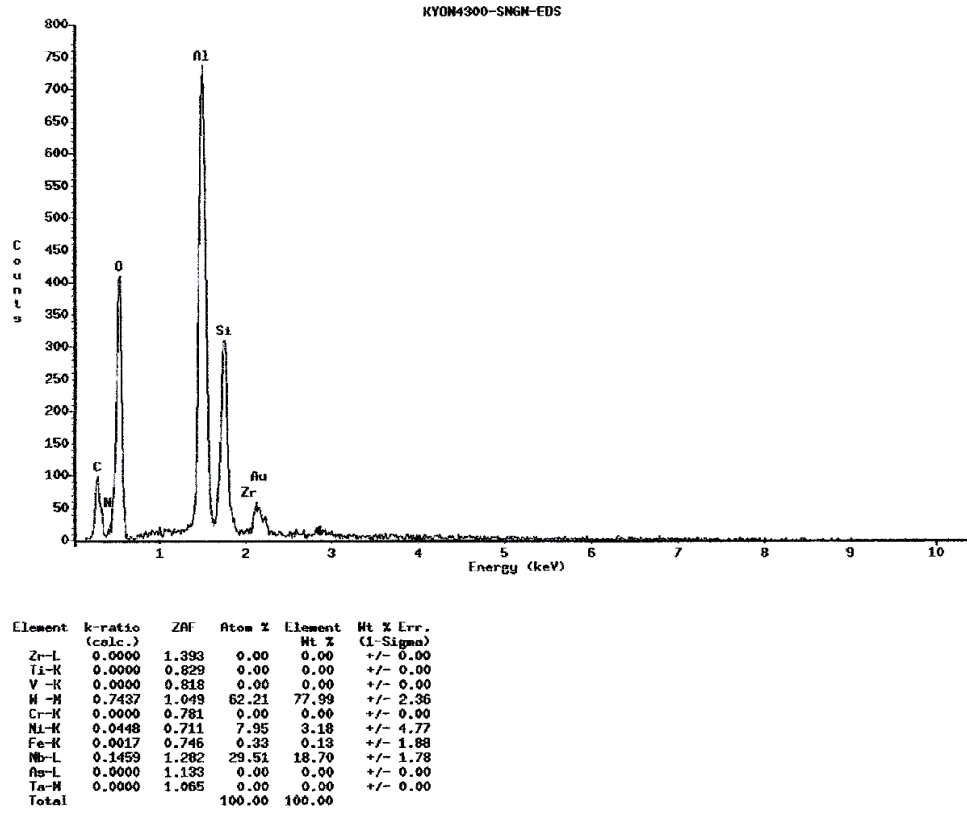
KYON 4300 whisker takviyeli $Al_2O_3+SiC_w$ esaslı seramik olan bu takım, yüksek ısıya dayanıklı süper alaşımlar için mükemmel sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde etkilidir (98). Yapıda Alüminyum ve Silisyum oranı yüksektir. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM' de yapılmış elementar analizi Şekil 5.11.' de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. KYON 4300 RNGN 12 07 00 T01 020 (KENNAMETAL) whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takımın ($Al_2O_3+SiC_w$) SEM' de çekilmiş elementar analizi (EDS))

KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 whisker takviyeli ($Al_2O_3+SiC_w$) esaslı seramik takım

Whisker takviyeli $Al_2O_3+SiC_w$ esaslı seramik takım olan KYON 4300 yüksek ısıya dayanıklı süper alaşımlar için mükemmel sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde etkilidir (98). Kesici takımında alüminyum oranı oldukça yüksek olup kılcal whisker takviyelidir. Bu takımlar daha düşük termal uzama katsayısı ve daha yüksek termal iletkenliğe sahip olup, bu özellikler termal şok direncini arttırmaktadır. Yapıda alüminyum, silisyum ve oksijen oranı hakimdir. Malzemenin yapısında bulunan elementleri gösteren, SEM' de yapılmış elementar analiz Şekil 5.12.' de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 (KENNAMETAL) whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takımın ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$) SEM’ de çekilmiş elementar analizi (EDS)

5.3.3. Deneylerde kullanılan kesici takım katerleri

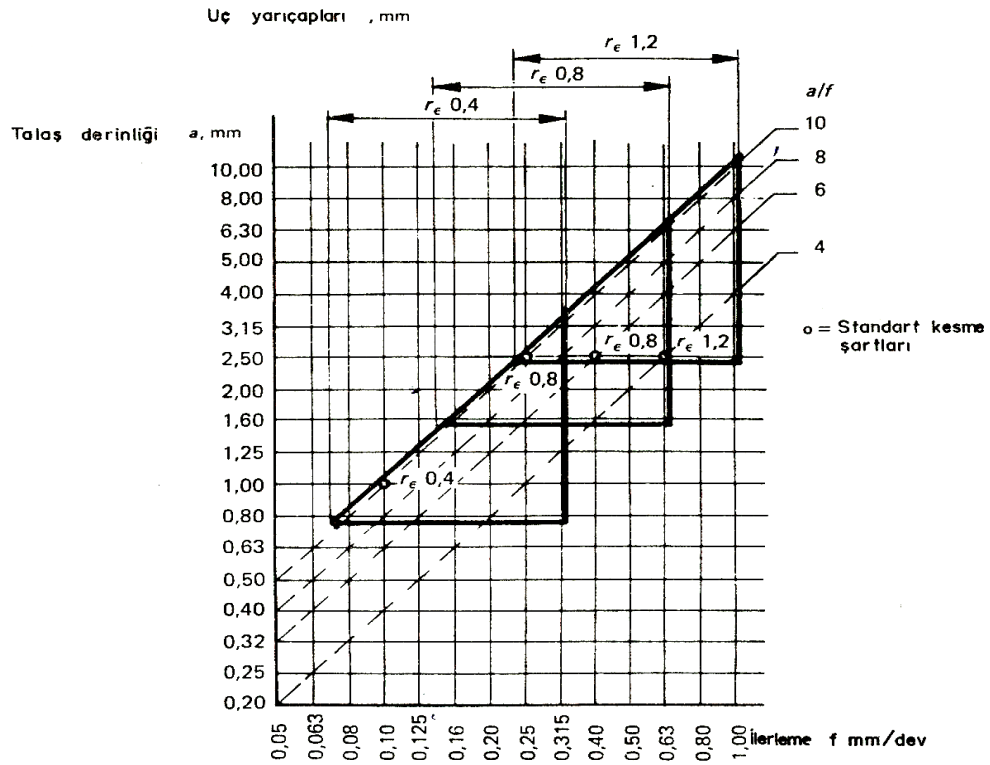
Sementit karbür takımlar ile seramik uçlu takımlar için aşağıda ISO kodu verilen takım bağlama katerleri (TAKSAN) kullanılmıştır. Bunlar;

- 1- CRSN R 2525 M12-MN4 (yuvarlak şekilli seramik takım için, yaklaşma açısı 75^0)
- 2- CRSN R 2525 M12-MX7 (yuvarlak şekilli karbür takım için, yaklaşma açısı 75^0)
- 3- SRDC N 2525 M 12 (kare şekilli karbür takım için, yaklaşma açısı 75^0)
- 4- SSBC R 2525 M 12 (kare şekilli seramik takım için, yaklaşma açısı 75^0)

5.4. Kesme Parametrelerinin Tayini

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri şekil 5.13’ te verilen TS 10329’ a göre belirlenmiştir. Burada talaş derinliği $d=2$ mm ve ilerleme $f=0,20$ mm/rev. (sabit),

kesme hızı ise değişken seçilmiştir. Sementit karbür uçlar için kesme hızları 15, 30, 45, 60, 75 m/min., Seramik uçlar için kesme hızları 150, 200, 250, 300 m/min. seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Parametre seçimi yapılırken, seçilen parametreler şekil. 5.13' te verilen grafikte, kesici takımın uç radüsü değerine göre, parametrelerin kesişim noktaları, üçgen şeklinde verilen sınırların içinde kalması gerektiğinden bu grafiğe göre ilerleme 0,20 mm/rev., talaş derinliği 2 mm seçilmiştir.



Şekil 5.13. TS 10329' a göre kesme şartları (101)

5.5. Deney Yöntemi

Bu çalışmada, Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirlik durumunun değerlendirilmesinde, işlenebilirlik parametrelerinden takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alınmıştır. Talaş kaldırma deneylerinde, silikon nitrit esaslı seramik (KY 2000 RNGN, KY 2100 SNGN), whisker takviyeli ($Al_2O_3+SiC_w$) alüminyum oksit esaslı seramik (KY 4300 RNGN, KY 4300 SNGN), CVD kaplamalı sementit karbür (KC 935 SCMT, KC 9225 SCMT, SECO 560 RCMT) ile kaplamasız tungsten karbür (SECO 883 RCMM) kesici takım kullanılmıştır. Seçilen

parametreler, sabit ilerleme ($f=0,20\text{mm/rev.}$), sabit talaş derinliği ($d=2\text{ mm}$), ve farklı kesme hızlarında (karbürler için $V=15, 30, 45, 60, 75\text{ m/min.}$, seramikler için $V=150, 200, 250, 300\text{ m/min.}$) olmuştur. Kesici takımlarda oluşan aşınma şekilleri ve bunların oluş nedenleri, malzeme kesilirken etki eden kesme kuvvetleri, oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ve talaş şekilleri dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Sonuçta Inconel 718 malzemesi için hem seramik hem de karbür takımlar için optimum işleme şartları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada takım ömrü üzerinde kesme değişkenlerinin etkisinin saptanmasında üç kriter esas alınmıştır. Bunlar;

- 1-Takım aşınması ve takım ömrü
- 2- Kesme kuvvetleri ve kesme gücü
- 3- Yüzey pürüzlülüğü veya işlenen yüzeyin kalitesidir.

Deneyler iki aşamada, Eskişehir TUSAŞ (Türk Uçak Sanayi A. Ş.) ve Gazi üniversitesi TEF Makina Eğitimi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada kesici takımlarda oluşan aşınmaları belirlemek üzere, talaş kaldırma işlemleri için TUSAŞ tesislerinde gerçek imalat esnasında bir CNC OKUMA 45-LB torna tezgahı kullanılmıştır. İşlenmeye tabi tutulan parça ise uçak motoru içerisinde yer alan ve görevi, uçak motoruna giren havayı bekleterek daha fazla verim alınmasını sağlayan seal isimli Inconel 718 malzemesidir. Deneylerde 4 çeşit sementit karbür ve 4 çeşit seramik olmak üzere, 8 farklı kesici takım kullanılmıştır. Kesme parametreleri, kesici takım katalogları referans alınarak (kesici takım malzeme üreticisi KENNAMETAL ve SECO) belirlenmiştir. Karbür takımlarda, her bir kesici takım ile beş talaş kaldırma işlemi, seramik uçlu takımlarda ise, dört talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her yeni talaş kaldırma işleminde yeni bir kesici kenar kullanılmış ve her kesici kenara bir deney kodu verilmiştir. Bu kodlar asetat kalemiyle kesici takımın kesme yüzeyi üzerinde işaretlenmiştir. TUSAŞ' taki aşınma deneylerinde talaş kaldırma işlemi için 273 cm^3 talaş hacmi tespit edilmiş ve bu talaş miktarı kaldırılmıştır. Her bir talaş kaldırma işleminde kaldırılan talaş örneğinden bir örnek alınarak değerlendirilmek üzere ayrı bir kaba konulmuştur. Kesici takımları bağlamak üzere dört farklı kater kullanılmıştır.

Aşınma ve yüzey pürüzlülüğü tespiti için yapılan bütün talaş kaldırma deneylerinde soğutma sıvısı (Simkoll 618 M8) kullanılmıştır.

Talaş kaldırma işlemleri bittikten sonra kesici takım EDS (elektron dispersion energy) elementar analiz grafikleri ve aşınma resimleri JSM JOEL 6400 SEM elektron tarama mikroskobunda Atatürk Üniversitesi Mühendislik fakültesi Makina Bölümü laboratuvarlarında çekilmiştir.

Kesici takım resimlerinin SEM’ de daha net görünmesi ve anlaşılır olması açısından, kesici uçlar, önce özel bir elektroliz cihazında altın paladyum ile kaplanmış daha sonra aşınma resimleri aynı SEM cihazında 30 defa büyütülerek çekilmiştir. Oluşan talaşları değerlendirmek üzere talaş örneklerinden her birisi için büyütülmüş talaş resimleri YYÜ Van MYO Makine laboratuvarlarında HP 2210 tarayıcıda büyütülmüş talaş resimleri çekilmiştir. Çekilen aşınma resimlerinden her bir kesici takımın V_{BB} değeri ile V_{BBMAX} değerlerinin belirlenmesinde 0,01 mm hassasiyetinde Japon yapımı Nikon (Anti-fungus NE Akromat Long Barrel Tip) marka bir optik mikroskop kullanılmış ve bunların kesme hızına bağlı olarak değişim grafikleri Excel programı ile elde edilmiştir. Ölçümü alınan yüzey pürüzlülük değerleri ile aşınma değerlerinin kesme hızına bağlı olarak değişimleri Excelde grafiklere dönüştürülerek değerlendirilmiş ve bu grafikler yorumlanmıştır.

TUSAŞ’ taki talaş kaldırma işlemleri esnasında her bir talaş kaldırma işlemine ait yüzey pürüzlülüğü, markası ve modeli Surtrasonic 3-P, dijital ekranlı, kayıt yapabilen (recorder özelliği), dedektörlü, nikel-kadmiyum pilli ve 220 V AC ile çalışır, R_a , $R_{y_{max}}$ ve R_{TM} değerlerini ölçebilen, filtre aralığı 0,25 mm, cut-off uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu 2,5 mm) olan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak, farklı yerlerden 5 ölçme işlemi yapılmış ve bunların ortalaması dikkate alınmıştır.

Kesme kuvvetleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı laboratuvarında bir CNC (Johnford 45 LB- 45 KW) torna tezgahına monte edilen, bilgisayar bağlantılı 3 elemanlı bir Kistler

dinamometre (tipi 285543 B model), ile ölçülmüştür, Ölçme esnasında her deney için, parça işleme programı kesici takım ucuna göre belirlenmiş ve kesme parametreleri doğrultusunda yeniden yazılmıştır. Gazi Üniversitesindeki kesme kuvvetleri ölçümünde ise sadece kısa süreli (yaklaşık 20 sn) talaş kaldırılmıştır.

Her bir deneyde ölçülen kesme kuvvetleri F_f (İlerleme Kuvveti), F_p (Pasif Kuvvet), F_c (Asıl Kesme Kuvveti)) dinamometreye bağlı bir bilgisayara kaydedilmiş ve grafikler elde edilmiştir. Her bir kuvvetin ölçümü 40.000 satırdan oluşmuştur. Daha sonra bu kuvvet verileri Dynaware programı aracılığıyla bilgisayarda grafiksel olarak görüntülenmiştir. Ölçüm alınan kuvvetlerin oluşturduğu 40.000 satırlık verilerin ortalaması Excel programı aracılığı ile elde edilmiş ve bu ortalama değerler üzerinden grafikler oluşturulmuştur. Bütün bu işlemler sonucunda oluşan aşınma değerleri, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri grafiklere dönüştürülerek literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve bir değerlendirme yapılmıştır. Karşılaşılan problemlerin nedenleri araştırılmış ve çözümler önerilmiştir. Farklı takımların kullanımı ile işlenebilirlik verileri karşılaştırılarak işleme ekonomisi de dikkate alındığında elde edilen sonuçlar, belirtilen şartlar altında malzemenin işlenebilirliği “Deney Bulguları ve Tartışma Bölümü”nde ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

6. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA

6.1. Talaş Kaldırma Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Aşınma Şekilleri, Talaş Oluşumu, Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Inconel 718' in işlenebilirlik durumunun değerlendirilmesinde, kullanılan kesme parametreleri, deneyler sonucunda elde edilen aşınma şekilleri, kaldırılan talaş örnekleri, kesme kuvvetleri grafikleri, yüzey pürüzlülük değerleri birer tablo halinde, Ekler kısmında Ek 1'den Ek 36'ya kadar olan kısımda gösterilmiştir.

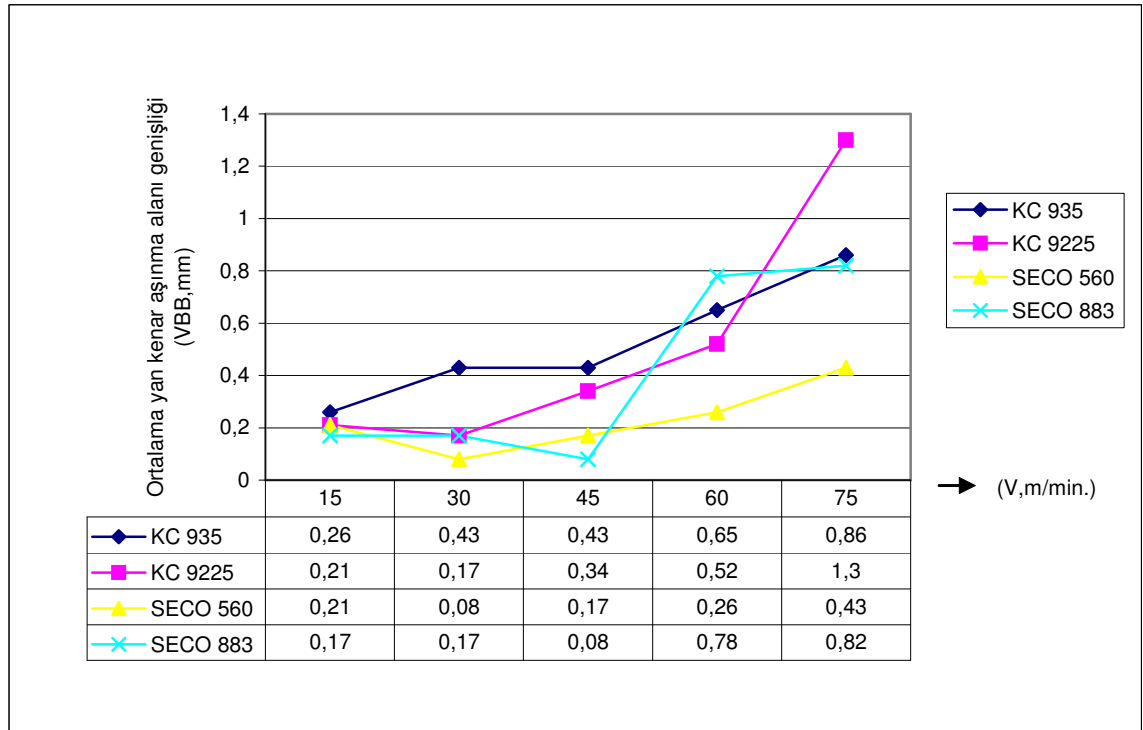
6.1.1. Sementit karbür takımlar ile işlemede, oluşan aşınma miktarı, talaş oluşumu, asıl kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük durumu

Inconel 718' i tornada işleyerek, aşınma yönünden test etmek üzere iki farklı kalitede kaplamalı (KC 935, KC 9225, SECO 560) ve kaplamasız sementit karbür (SECO 883) kesici takım kullanılmıştır. Deneylerde ilerleme ($f=0.20$ mm/rev.) ve talaş derinliği ($d= 2$ mm) sabit, kesme hızı (15, 30, 45, 60 ve 75 m/min) ise değişken tutulmuştur. Her deneyde 273 cm^3 lük talaş hacmi işlenmeye tabi tutulmuş ve aşınan uçların ortalama (V_{BB}) ve maksimum aşınma (V_{BBmax}) değerleri grafiğe dönüştürülerek değerlendirilmiştir.

Talaş kaldırma esnasında, ilk 15 m/min.' lik kesme hızında kullanılan dört karbür kesici takımın, iyi performans gösterdiği görülmüştür. Dört kesici takım, aşınma kriteri olarak kabul edilen, aşınma değeri $V_{BB}=0,3$ mm' den daha az aşınmışlardır. Kaplamalı karbürlerden KC 935' te düşük oranda çentik ve yanak aşınması, KC 9225' te ise çentik ve krater oluşmuştur. Ancak her iki kesici takımda aşınma miktarı düşük kalmıştır. Kaplamalı karbür SECO 560' ta az miktarda yanak aşınması, kaplamasız karbür SECO 883' te ise düşük miktarda kesici kenarda çentikler oluşmuştur. Literatürde, "kesici takımı çentiklerden korumak için, işleme esnasında değişen talaş derinliğinde kademeli olarak konik tornalamak (taper turning) gerektiği, böylece bütün bir takım yüzeyi boyunca çentik aşınması değişecek, bu

durum aynı zamanda kesme kenarı boyunca düzenli bir yanak aşınmasının oluşumuna da sebep olacaktır” (7) denilmektedir.

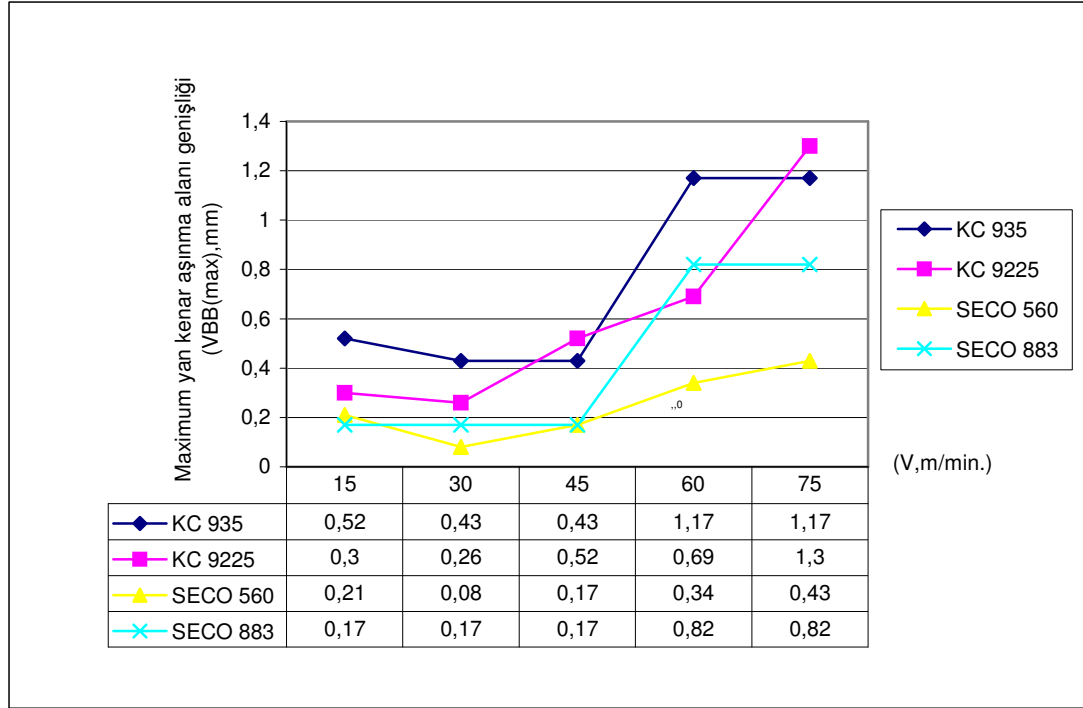
Aşınma durumunu değerlendirmede, sementit karbür takımlar ile yapılan talaş kaldırma deneyleri ile kesme hızına bağlı elde edilen ortalama yanak aşınması değişimi Şekil 6.1.’ de, maksimum yanak aşınması değişimi Şekil 6.2.’ de gösterilmiştir.



CVD kaplamalı karbür takım (KC 935 SCMT, KC9225 SCMT, SECO 560 43 F1- RCMT)

Kaplamasız karbür takım (SECO 883 RCMM 12 04 00)

Şekil 6.1. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718’ in işlenmesinde kesme hızı (V) ile ortalama yanak aşınması (V_{BB}) arasındaki ilişki



CVD kaplamalı karbür takım (KC 935 SCMT, KC9225 SCMT, SECO 560 43 F1- RCMT)

Kaplamasız karbür takım (SECO 883 RCMM 12 04 00)

Şekil 6.2. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.), sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile maksimum yanak aşınması ($V_{BB \max}$) arasındaki ilişki

Kesme hızı 30 m/min' e yükseltildiğinde, kaplamalı karbür KC 935 kesici takım, bu kesme hızına direnç gösterememiştir. Diğer üç kesici takımın performansları bu kesme hızında iyi görülmüştür. Kaplamalı karbürlerden KC 935' te krater, yanak aşınması ve plastik deformasyon, KC 9225' te yanak aşınması ve krater, SECO 560' ta kesici kenarda kopmalar, kaplamasız karbür SECO 883' te termal yorulma çatlakları görülmüştür. Literatürdeki bulgulara, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde önerilen kesme hızları, karbür takımlar için 10-30 m/min' dir (102). Ancak bu durum, yapılan bu çalışmada farklılık arz etmiş ve bazı kesici takımların (kaplamalı karbür SECO 560 ve kaplamasız karbür SECO 883) 30 m/min.' lik kesme hızlarının üzerinde iyi performans gösterdikleri görülmüştür, bu durum literatürde ifade edilen "kaplama teknolojisindeki son gelişmeler, çok katlı kaplamalı sementit karbür takımlar ile 50 m/min.' lik kesme hızlarına ulaşılabilmiştir" (82 103, 104) Saptamasını doğrulamaktadır. Literatür bulgularında, 30 m/min.' i aşan kesme

hızlarında nikel esaslı süper alaşımların, sementit karbür takımlar ile işlenmesinde kobalt fazındaki termal yumuşaklıktan dolayı takımın bozulduğu (51), aşınan kesicinin muayenesiyle, kesici kenarda oluşan kraterin altında bozulmuş malzeme tabakası ortaya çıktığı ifade edilmektedir (36). Literatür bulgularında bu tabakada tungsten karbür taneleri daha düşük ve orijinal malzemeden daha yuvarlaktır. Genelde krater yeri, çelik işlerken kesici kenardan ötede, talaş yüzeyinde ortaya çıktığı görülmüştür. Literatür bulgularında, Inconel 718' in üzerindeki farklı takım malzemeleri ile tornalama işlemlerinde kraterin, kesici kenarın hemen arkasından başladığı (36), kesme hızı arttıkça, krater profilinin de değiştiği ifade edilmektedir. En derin krater, kesici kenara en yakın ve sıcaklığın en yüksek geliştiği yerde görülmüştür. Inconel 718' i işlerken sementit karbür takımlarda oluşan difüzyonun, takım performansını önemli derecede sınırladığı gözlenmiştir (51). Bu görüş Ezugwua ve ark. tarafından da desteklenmiştir (24, 31, 81, 82).

Kesme hızı 15 m/min.' den 30 m/min.' e çıkarıldığında Al_2O_3 kaplamalı sementit karbür takımın (KC 935) hızlı aşındığı, bunun da nedeni CVD kaplamalı karbür uçlardaki Al_2O_3 kaplama malzemesinin aşınmaya karşı gösterdiği zayıf direnç olduğu düşünülmektedir. Literatürdeki bulgulara, "Konig", düşük kesme hızlarında oluşan aşınmanın, esasen karbür uçlarda görülen bir durum olduğunu ve karbürün yapısından kaynaklandığını ifade etmektedir. Yine bu kaynakta CVD kaplamalı takımların daha yüksek kesme hızlarında, daha yüksek aşınma dayanımına sahip olduğu ifade edilmektedir (1).

Kesme hızı 45 m/min.' e yükseltildiğinde, kaplamalı karbürlerden KC 935 ve KC 9225'in bu kesme hızına direnç gösteremediği, kaplamalı karbür SECO 560 ve kaplamasız karbür SECO 883' ün ise kesme performanslarını iyi korudukları görülmüştür. Kaplamalı karbürlerden KC 935' te yanak aşınması, çentik ve krater aşınması, KC 9225' te yanak aşınması, krater, plastik deformasyon ve çentik aşınması, SECO 560' ta yanak aşınması ve kesici kenarda küçük çatlaklar, kaplamasız karbür SECO 883' te ise yan kenar ve çentik görülmüştür. Literatüre göre de sementit karbür takımlar ile işlemede en çok karşılaşılan aşınma şekli, şiddetli yanak aşınması ile talaş derinliğinde çentik oluşumudur (24, 25, 81).

Kesme hızı 60 m/min.' e yükseltildiğinde, kaplamalı karbür SECO 560 kesme performansını iyi korurken diğer üç kesici takım bu kesme hızına direnç gösterememiştir. Kare şekilli karbür takımlarda KC 9225 ve KC 935'te yan kenar, çentik, krater ve plastik deformasyon daha hakim iken, yuvarlak şekilli karbür takımlardan SECO 883 ve CVD kaplı karbür takım SECO 560'ta çatlama daha hakim görülmüştür. Literatür bulgularında, “yüksek kesme hızlarında talaş kaldırma işlemi, karbür takımlarda çentik oluşumunu hızla arttırmaktadır. Bu durum çoğu zaman bütün takım kenarı boyunca çatlamalara neden olmaktadır” denilmektedir (31).

Kesme hızı 75 m/min.'e yükseltildiğinde, her dört kesici takımın bu kesme hızına direnç gösteremediği, bunun yanında kesici takımlarda yanak aşınması ve plastik deformasyonun hakim olduğu görülmüştür. Literatürde, “sementit karbür takımlar, kesme bölgesinde oluşan aşırı yüksek sıcaklık ve gerilimlerden ötürü, nikel esaslı süper alaşımların yüksek kesme hızlarında işlenmeye uygun olmadıkları” ifade edilmektedir (31).

Kaplamalı karbür takımlardan SECO 560 45-F1 RCMT, 75 m/min.' lik kesme hızının dışında diğer dört kesme hızında takım performansını koruması Şekil 6.1' de verilen grafikte, olumlu görülmüştür.

Şekil 6.1' de verilen grafikte, çarpıcı sonuçlardan biride ve 30, 45 m/min.' lik kesme hızlarında yan kenar aşınma değerlerinin kaplamalı (SECO 560) ve kaplamasız karbür (SECO 883) takımlarda hemen hemen doğrusal olduğudur. Bu durum literatürdeki bulgularla paralellik arz etmektedir (1). 30 m/min.' lik kesme hızında kaplamalı karbür takım, SECO 560 aşınma yönünden en iyi performansı gösterirken, 45 m/min.' lik kesme hızında kaplamasız takım SECO 883, en iyi aşınma dayanımı ile dikkat çekmiştir. 30 m/min.' lik kesme hızında, kaplamalı karbür SECO 560 ile kaplamasız karbür SECO 883, 15 m/min.' lik kesme hızına göre daha az aşındıkları görülmüştür. Literatür bulgularında, “İşleme esnasında iş parçası ile takım talaş yüzeyi arasında adhezyonla aşınma oluşur. Yüksek sıcaklık, termal ve mekanik şok

gerilmelerin kombinasyonu sonucunda kesici kenarın kırılması ya da çitlamaların oluşması karbür takımlarda hakim olan durumdur” denilmektedir (82, 103, 104).

Chouldhury ve M. A. El-Baradie 1998’ de Inconel 718’ in işlenebilirliği ile ilgili hem kaplamalı hem kaplamasız takımlar ile yapmış oldukları çalışmada, 36 ve 48 m/min.’ lik kesme hızlarında aşınma değerlerinin hemen hemen doğrusal olduğunu ifade etmektedirler (1). Bu görüşe paralel olarak, yapılan bu çalışmada, kesme hızı arttırıldıkça aşınma hızlanmakta ve takım ömrü azalmaktadır. Şekil 6.1’ den de görüleceği gibi 45 m/min.’ lik kesme hızının üzerindeki kesme hızlarında aşınmanın her dört kesici takım için hızla arttığıdır. Kesme hızı 45 m/min.’ e çıkarıldığında Al_2O_3 kaplamalı karbür KC 935, bu kesme hızına daha iyi direnç göstermiştir ve aşınma miktarı değişmemiştir. Yine bu kesme hızında yuvarlak kesici takımların, kare takımlara göre aşınmaya karşı daha dirençli oldukları dikkat çekmiştir. Bunun nedeni, kesme esnasında temas alanının daha geniş olması, kesici uçta yüksek ısıların ve gerilmelerin daha geniş bir alana yayılmasına dolayısıyla malzemenin daha geç aşınmasına sebeptir. KC 935’ in üzerinde bulunan TiC kaplamanın üzerinde kalın bir Al_2O_3 tabakası vardır. Literatüre göre “sıcaklığın yükselmesi ile Al_2O_3 ’ ün termal iletkenliğinin azaldığı” ifade edilmektedir (1). Burada yüksek kesme hızlarında takımın mekanik özelliklerini ve düşük ısı durumunu koruyan Al_2O_3 kaplamadır. Literatüre göre “kaplamalı karbürler, temelde hem aşınma dayanımına karşı avantajlıdır hem de sementit karbür uçlara göre iyi gerilime sahiptirler. Al_2O_3 ve TiC kaplamanın sementit karbür uçların termal aşınma dayanımlarını arttırdıkları” ifade edilmektedir (1).

Kesme hızı 60 m/min.’ e çıkarıldığında, diğer üç kesici takım şiddetli aşınmaya maruz kalırken TiN kaplamalı yuvarlak kesici takım SECO 560, mükemmel dayanım göstermiştir. Atatürk Üniversitesinde yapılan EDS analizleri sonucunda SECO 560’ ın yapısında yüksek oranda Ni, Nb ve C dikkat çekmektedir. Bu dayanımı sağlayan, kesici takımın yapısındaki bu elementlerin oluşturduğu Ni_3Nb fazının neden olduğu düşünülmektedir. Diğer 3 kesici takımda görülen şiddetli aşınma yüksek sıcaklıklarda kobalt fazının termal yumuşaklığından kaynaklanmaktadır. Literatür bulgularında, “yanak aşınmasının genelde abrasiv bir aşınma sonucu oluştuğu”

Ancak “yüksek kesme hızlarında bir difüzyon aşınma olarak ta düşünülebilir” denilmektedir (1). Bu çalışma ile 60 m/min.’ lik kesme hızlarının üstündeki hızlarda, sementit karbür takımların, kobalt fazın termal yumuşaklığından ötürü kullanışsız oldukları görülmüştür. Daha sonra, bunu, kesme kenarlarındaki plastik deformasyon takip etmiştir. Bu durum literatürdeki bulgularla paralellik arz etmektedir.

Kesme hızı 75 m/min.’ e çıkarıldığında, kaplamalı karbür SECO 560’ da az bir aşınma artışı gözlenirken diğer üç kesici takımda şiddetli yanak aşınması dikkat çekmiştir. Inconel 718’ in işlenmesinde ortaya çıkan talaşlar değerlendirildiğinde kaplamasız karbür SECO 883’ ün ortaya çıkardığı talaş kalitesi, diğer üç takımın çıkardığı talaş şekline göre daha kaliteli ve sürekli olduğu görülmüştür. Ancak çıkan talaşların testere ağızlı olması çentik aşınmasına bir sebep olup, kesici takım için bir dezavantaj oluşturmuştur. Kaplamalı karbür SECO 560 takımı ile, kaplamasız karbür SECO 883 kalitesine yakın bir talaş ortaya çıkmıştır. Kaplamalı karbür SECO 560 ile yapılan kesmede, çıkan talaşlar, oluşturduğu testere ağız yönünden, kaplamasız karbür SECO 883’ e göre daha az testere dişlere sahip olmuştur. Bu iki takımın ardından kaplamalı karbür KC 9225, daha küçük çaplı ve zorlanarak kesilen bir talaş ortaya koymuştur. Dört takım içerisinde KC 935, en düşük talaş kalitesi ile daha çok zorlanarak kesildiği görülmüştür.

Düşük kesme hızlarında TiN kaplama aşınmaya karşı daha az dirençlidir. İşleme esnasında iş parçası ile takım talaş yüzeyi arasında adhezyonla aşınma oluşur. Yüksek sıcaklık, termal, mekanik şok ve gerilmelerin kombinasyonu sonucunda kesici kenarın kırılması ya da çitlamaların oluşması, karbür takımlarda hakim olmuştur. Karbür takımlarda yanak aşınması, krater ve talaş derinliğinde çentik oluşumu dikkat çekmiştir. Özellikle çıkan talaşların testere ağızlı olması, çentik oluşmasına katkıda bulunmuştur.

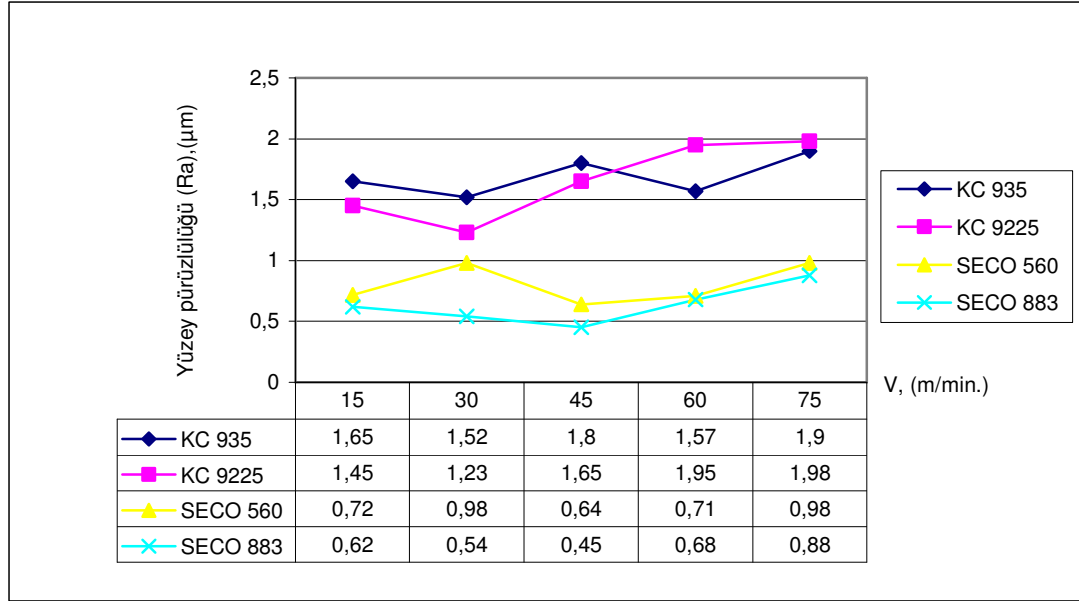
İşleme deneyleri sonucunda ortaya çıkan yüzey kalitesinden kaplamasız takımın kaplamalı takımlara göre daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. Literatür bulgularında bu durum için “kaplamalı takımların, kaplamasız takımlardan daha iyi olmadıkları görülmüştür” diye ifade edilmektedir (1). Bu durum literatür bulguları ile

paralellik arz etmektedir. TUSAŞ ta yapılan araştırmalarda kaplamasız takım SECO 883'ün Inconel 718' in işlenmesinde ideal görüldüğü ve üretim uzmanları tarafından önerildiği görülmüştür. Kaplamasız karbür takımdan sonra, yüzey kalitesi yönünden, sırasıyla kaplamalı karbür takımlardan SECO 560, KC 9225 ve daha sonra KC 935 olmuştur.

Kaplamalı karbür kesici takımlar ile kaplamasız karbür kesici takımlar, aşınma yönünden kıyaslandığında kaplamalı karbür kesici takımlarda çentik, yanak aşınması ve krater (SECO 560 hariç), kaplamasız karbür kesici takımlarda ise çatlama ve yan kenar daha hakim görülmüştür. SECO 560' ta ise daha çok termal çatlak ve kesici kenarda kırılmalar dikkati çekmiştir. Sementit karbür takımlar geometrik açıdan karşılaştırıldığında kare şekilli kesici takımlarda krater ve yanak aşınması daha hakim iken yuvarlak şekilli kesici takımlarda yanak aşınması, çentik ve termal çatlaklar daha hakim olmuştur.

Yüzey pürüzlülüğü değerlendirildiğinde ise SECO 560 hariç, diğer üç kesici takımda $V=15$ m/min.' den 30 m/min.' e artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. $V=45$ m/min ile çalışıldığında ise SECO 560 ve SECO 883' te R_a pürüzlülük değeri azalırken kare kesici takımlardan KC 935 ve KC 9225' te artış görülmüştür. $V=60$ m/min.' lik kesme hızında KC 935 hariç her üç kesici takımda yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Burada dikkati çeken SECO 883 ve SECO 560 yuvarlak kesici takımların kare şekilli kesici takımlara göre daha doğrusal bir çizgide yüzey pürüzlülük değeri vermeleridir. Kare şekilli kesici takımlar, aynı kesme şartlarında hem zig zaglı hem de daha kaba bir yüzey kalitesi ortaya koymuşlardır.

Şekil 6.3.' te sementit karbür takımlarda sabit ilerleme, sabit talaş derinliğinde ($f=0,20$ mm/rev., $d=2$ mm) ve değişken kesme hızlarında kesme hızına bağlı (R_a) yüzey pürüzlülüğü değişimi grafiği gösterilmiştir.



CVD kaplamalı karbür takım (KC 935 SCMT, KC9225 SCMT, SECO 560 43 F1- RCMT)

Kaplamasız karbür takım (SECO 883 RCMM 12 04 00)

Şekil 6.3. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasındaki ilişki

Dört kesici takım için asıl kesme kuvveti F_c yönünden bir değerlendirme yapıldığında, genelde kesme hızı arttıkça asıl kesme kuvveti F_c değişmiştir. Yapılan talaş kaldırma deneylerinde kaplamalı karbür takımlardan KC 935 ve KC 9225' te asıl kesme kuvveti ölçülürken bazı parametrelerde F_c ' de az bir yükselme görülmüş ancak genelde düşme eğilimi hakim görülmüştür. Kaplamalı karbür SECO 560 ve kaplamasız karbür SECO 883, farklı kesme parametrelerinde zikzaklar çizmiş ve asıl kesme kuvveti için bazen düşme bazen yükselme görülmüştür. Bu da gösteriyor ki Inconel 718 ile talaş kaldırılırken kararlı bir kesme olayı gerçekleşmemiş, takımın ve işleme şartlarının o anki durumuna göre performans değişmiştir. Kesme kuvvetleri açısından hem kaplamalı hem kaplamasız karbürler de, kesme hızı 15 m/min.'den 75 m/min.'e çıkarıldığında her dört kesici takımda kuvvetler 15 m/min.'e göre azalmıştır.

Kesme kuvvetleri genelde dar adımlı zigzaglar çizmiştir. Kesme kuvvetlerinin dar adımlı zigzaglar şeklinde olması, bu kuvvetlerin bir dizi (aralık) içerisinde değiştiğini gösterir. Bunun sebebi de malzemeden, kesici takımdan v.b durumlardan

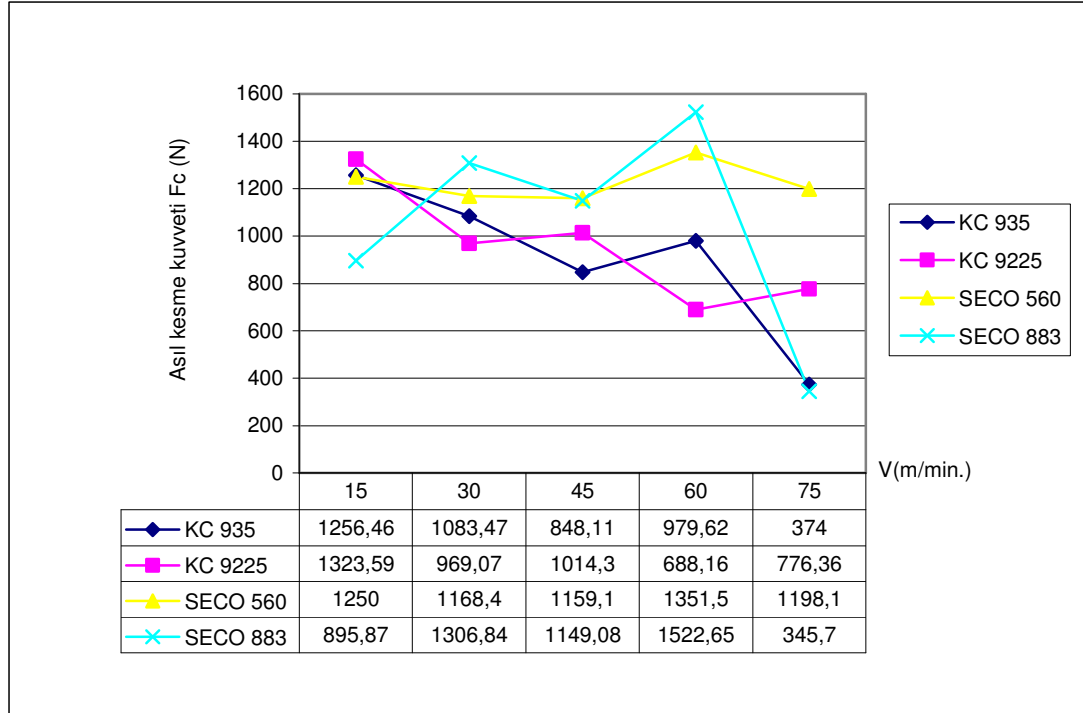
kaynaklanabilir. Bu kötü bir durum değildir, çünkü aralık daha geniş adımlı olsaydı o zaman kötüydü.

Kaplamalı sementit karbür kesici takımlarda, kesme hızı $V=15$ m/min.' den 45 m/min.' e arttırıldığında asıl kesme kuvveti F_c azalırken, kaplamasız karbür SECO 883 kesici takımında artış göstermiştir. Kesme hızı $V=60$ m/min.' de KC 9225'in dışındaki her üç takımında asıl kesme kuvveti F_c artmış, $V=75$ m/min.' e arttırıldığında ise asıl kesme kuvveti F_c 'nin her dört kesici takımında azaldığı görülmüştür. Her dört kesici takımında kesme hızı $V=15$ m/min.' den 75 m/min.' e arttırıldığında $V=15$ m/min.'e göre F_c 'de azalma görülmüştür. Bu durumda kesme hızı arttıkça asıl kesme kuvveti F_c düzenli olmasa bile kısmen azaldığı görülmüştür

Bu çalışmada, kaplamalı ile kaplamasız sementit karbür takımlar hem kalite hem de geometrik açıdan karşılaştırılmıştır. Sonuçta yuvarlak şekilli sementit karbür takımlar da, kare şekilli takımlara göre daha iyi performans görülmüştür. Deneyler sonucunda kaplamalı karbürlerde çentik, yanak aşınması ve krater, kaplamasız karbürlerde çatlama ve yanak aşınması hakim olmuştur. Sabit talaş derinliği (2 mm), sabit ilerleme (0,20 mm/rev.) ve düşük kesme hızlarında (45 m/min.) SECO 883 RCMM kaplamasız karbür uç, yüzey kalitesi ve takım ömrü yönünden ($V_{BB}=0,08$ mm, $F_c=1149$ N, $R_a=0,45$ μ m) daha uygun bulunmuştur. TiN kaplı SECO 560, kaplamasız karbür SECO 883' e çok yakın performans göstermiştir. Karbür uçlardan her ikisi de Inconel 718 için önerilebilir. En düşük asıl kesme kuvveti $F_c=345$ N ile, 75 m/min.' de kaplamasız karbür SECO 883' te görülmüştür. Ancak bu kesme hızında takım kesme ömrü çok düşük görülmüştür.

Şekil 6.4.' te sementit karbür takımlarda sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.), sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) ve çeşitli kesme hızlarında, kesme hızı (V) – asıl kesme kuvveti (F_c) ilişkisi grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.1.' de Sementit karbür takımlarla Inconel 718 işlenmesi sonucunda oluşan aşınma şekilleri gösterilmiştir.



CVD kaplamalı karbür takım (KC 935 SCMT, KC9225 SCMT, SECO 560 43 F1- RCMT)

Kaplamasız karbür takım (SECO 883 RCMM 12 04 00)

Şekil 6.4. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm), Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile asıl kesme kuvveti (F_c) arasındaki ilişki

Çizelge 6.1. Sementit karbür takımlarla Inconel 718' in işlenmesi sonucunda oluşan aşınma şekilleri

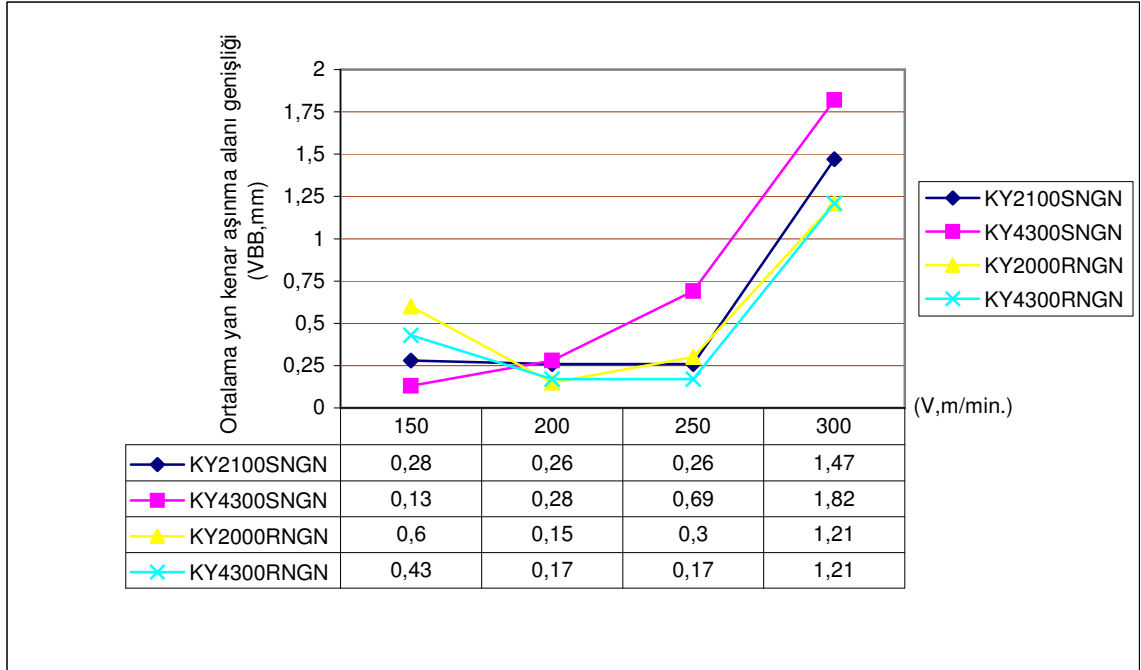
Kesici adı:		KC 935 SCMT 12 04 12 MF Kaplamalı karbür takım (CVD)	
Kesme hızı, V, m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
15	0,20	2	Yanak aşınması, çentik.
30	0,20	2	Yanak aşınması krater aşınma ve plastik deformasyon.
45	0,20	2	Yanak aşınması, krater aşınma, çentik.
60	0,20	2	Yanak aşınması, plastik deformasyon.
75	0,20	2	Yanak aşınması ve krater aşınma.
Kesici adı:		KC 9225 SCMT12 04 12 Kaplamalı karbür takım (CVD)	
Kesme hızı, V, m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
15	0,20	2	Çentik, krater aşınma.
30	0,20	2	Yanak aşınması, krater aşınma, çentik
45	0,20	2	Krater aşınma, yanak aşınması, çentik ve plastik deformasyon
60	0,20	2	Yan kenar, plastik deformasyon.
75	0,20	2	Krater aşınma, plastik deformasyon
Kesici adı:		SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00 Kaplamalı karbür takım (CVD kaplamalı)	
Kesme hızı, V, m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
15	0,20	2	Yanak aşınması
30	0,20	2	Çıtlama.
45	0,20	2	Çıtlama.
60	0,20	2	Yanak aşınması, çıtlama. Çentik
75	0,20	2	Yanak aşınması, krater aşınma, plastik deforme
Kesici adı:		SECO 883 RCMM 12 04 00 (Kaplamasız karbür takım	
Kesme hızı, V, m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
15	0,20	2	Termal çatlaklar. Çıtlama.
30	0,20	2	Termal çatlaklar. Çıtlama.
45	0,20	2	Yanak aşınması. Çıtlama.
60	0,20	2	Yanak aşınması, plastik deformasyon.
75	0,20	2	Yan kenar aşınma, krater ve plastik deformasyon.

6.1.2. Seramik uçlu takımlar ile işlemede, oluşan aşınma şekli, talaş oluşumu, asıl kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük durumu

Inconel 718' i tornada işleyerek, aşınma yönünden test etmek üzere silikon nitrit esaslı seramik uçlu takımlardan KYON 2100 SNGN ile KYON 2000 RNGN, whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3 + SiC_w$) takımlardan ise KYON 4300 SNGN ve KYON 4300 RNGN kullanılmıştır. Bu dört farklı seramik takım, sabit ilerleme ($f=0.20$ mm/rev.), sabit talaş derinliği ($d=2$ mm) ve farklı kesme hızlarında (150, 200, 250, 300 m/min.), talaş kaldırma deneylerine tabi tutulmuştur.

Talaş kaldırma deneyleri için her deneyde 273 cm^3 ' lük talaş hacmi işlenmeye tabi tutulmuş ve elde edilen ortalama aşınma değerleri grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 6.5.).

Aşınma kriteri olarak, aşınma alanı genişliği $V_{BB}=0.3$ mm esas alınmıştır. Grafiğe göre ilk 150 m/min. kesme hızında sadece whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN ve silikon nitrit esaslı seramik KYON 2100 SNGN takım aşınmaya direnç göstermişlerdir. Her iki kesici takımdaki aşınma miktarı $V_{BB}=0.3$ mm' nin altında kalmıştır. Diğer iki takım, aşınmaya direnç gösterememişlerdir. Hatta silikon nitrit esaslı seramik KYON 2000 RNGN kesici takım, bu hızda çok yüksek oranda aşınmıştır. silikon nitrit esaslı seramik KYON 2100 SNGN' de adhezyon ve yanak aşınması, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN' de yanak aşınması ve çentik, silikon nitrit esaslı seramik KYON 2000 RNGN' de yan kenar ve termal çatlaklar, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 RNGN' de yan kenar, termal çatlaklar ve krater hakim görülmüştür.

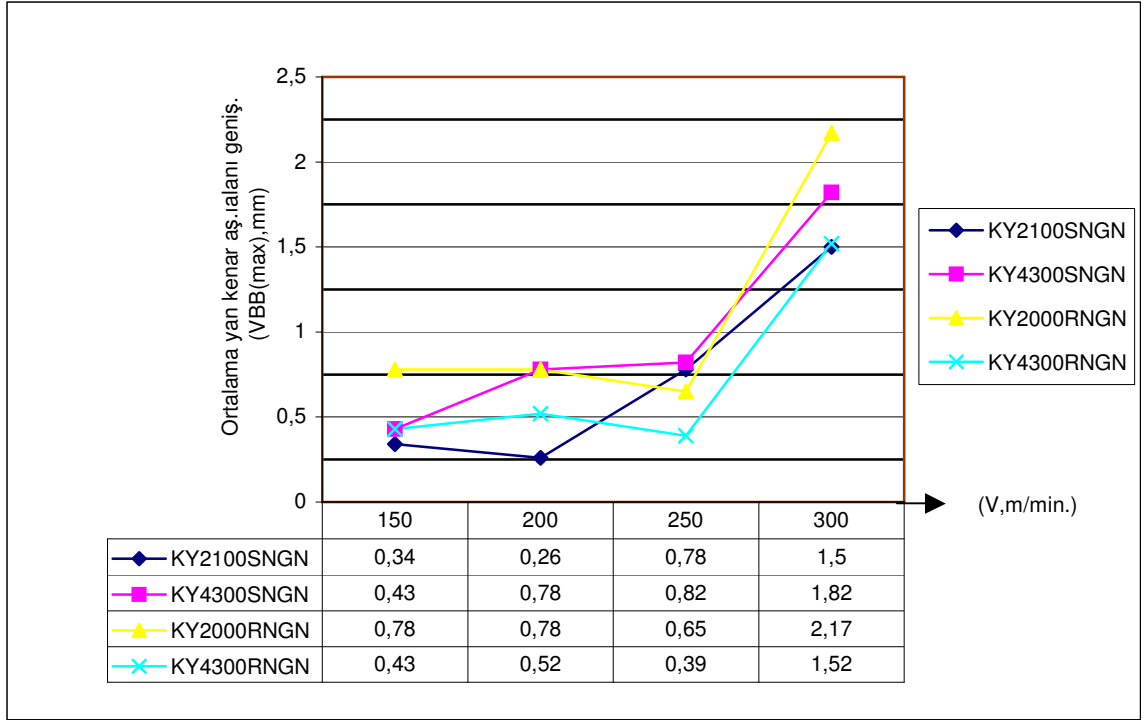


Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3 + SiC_w$) (KY 4300 RNGN-KY 4300 SNGN)
 Silikon nitrit esaslı seramik (Si-Al-O-N) (KY 2000 RNGN-KY 2100 SNGN)

Şekil 6.5. Dört farklı Seramik takım ile sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile ortalama yanak aşınması (V_{BB}) arasındaki ilişki

Grafikte dikkati çeken durum, yuvarlak şekilli seramik uçlu takımların daha düşük kesme hızlarında daha çabuk aşındıklarıdır. Bu durum kesici ucun geometrisine atfedilmiştir. Çünkü aynı durum kare şekilli takımlarda kendini daha az göstermiştir. Kesme hızının arttırılması ile bu olumsuz durum ortadan kalkmış ve aşınma miktarı düşmüştür. Literatür bulgularında, “düşük kesme hızlarında nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde takım üzerinde aşırı çentik oluşması enteresandır. Seramik takımın aşınma oranı, düşük hızlarda daha fazlayken, yüksek kesme hızı altında zaman zaman o kadar fazla değildir.” denilmektedir (78).

Şekil 6.6.' da seramik uçlu takımlarda sabit ilerleme, sabit talaş derinliğinde ($f=0,20$ mm/rev., $d=2$ mm) ve farklı kesme hızlarında kesme hızına bağlı maksimum yan kenar aşınma alanı genişliği değişimi gösterilmiştir.



Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3 + SiC_w$) (KY 4300 RNGN-KY 4300 SNGN)
 Silikon nitrit esaslı seramik (Si-Al-O-N) (KY 2000 RNGN-KY 2100 SNGN)

Şekil 6.6. Dört farklı Seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı (V) ile maksimum yanak aşınması ($V_{BB \max}$) arasındaki ilişki

Literatürde, “whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu takımlar ile nikel esaslı süper alaşımlar, 200-750 m/min.’ lik yüksek kesme hızlarında ve yüksek ilerleme oranlarında başarılı bir şekilde kullanıldığı (14, 30), nikel esaslı süper alaşımlar üzerinde yapılan işlenebilirlik çalışmalarında, whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu takımların, Inconel 718’ in kuru ya da soğutma sıvısı ortamında işlenmesine fevkalade uygun oldukları” (30, 60, 105) ifade edilmektedir. Literatür bulgularında, “Kesici takım malzemeleri genelde nikel esaslı süper alaşımları işlerken şiddetli mekanik gerilmelere ve termal değişikliklere uğrarlar. Nikel esaslı süper alaşımları işlerken ortaya çıkan gerilimler ve ısılar büyük oranda kesici takımın körelmesini ve aşınma oranını arttırdığı” ifade edilmektedir. Sonuçta bu durum takım ömrünü olumsuz etkilemektedir. Nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde en çok bilinen takım bozulma şekli talaş derinliğinde oluşan çentiktir. Bu da yüksek ısı kombinasyonu, yüksek iş sertliği, iş parçasının yüksek gerilimleri ve aşındırıcı talaşlar sayesinde oluşmaktadır. (14, 24, 25, 30, 35). Yan kenar, çıtlama, şiddetli

hasarlar nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kesici takımın bozulmasına neden olan diğer nedenlerdir. Burada karşılaşılan aşınma ve işleme durumu literatürdeki tespitlere paralellik arz etmektedir.

Kesme hızı 200 m/min.' e yükseltildiğinde whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN' nin dışındaki diğer üç takımda düşüş gözlenmiştir, ancak her dört takımda bu kesme hızına dayanım göstererek takım ömürlerini doldurmamışlardır. Bu kesme hızında KYON 2100 SNGN' de adhezyon ve yanak aşınması, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN' de yanak aşınması, krater ve burun deformasyonu, silikon nitrit esaslı seramik KYON 2000 RNGN' de çentik ve mekanik yorulma çatlakları, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 RNGN' de çentik aşınması görülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda, “tornalama deneyleri ile, karışık (Al_2O_3+TiC) seramiklerin daha iyi performansla sahip oldukları, karışık seramiklerin kullanımına ilk olarak 1970' lerde başlandığı, bu takımlar ile 120-240 m/min.' lik kesme hızına ulaşılabilirdiği ve karbür takımlardan çok daha fazla performans gösterdikleri (106), whisker takviyeli alüminyum oksit seramik uçlu ($Al_2O_3 + SiC_w$) takımların, özellikle nikel esaslı süper alaşımlar için geliştirildikleri” (107) ifade edilmektedir. Burada elde edilen sonuçlar literatür'deki tespitlere paralellik arz etmiştir.

Kesme hızı 250 m/min.' e arttırıldığında ise whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN' nin aşırı aşındığı, diğer üç kesici takımın bu kesme hızında takım ömürlerini doldurmadıkları görülmüştür. Silikon nitrit esaslı seramik KYON 2100 SNGN' de krater ve yanak aşınması, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN' de krater, yanak aşınması, termal çatlaklar ve burun deformasyonu, silikon nitrit esaslı seramik KYON 2000 RNGN' de yan kenar ve çentik, whisker takviyeli alüminyum oksit takım KYON 4300 RNGN' de yan kenar ve çentik görülmüştür.

Kesme hızı 300 m/min.' e arttırıldığında ise bütün takımların aşırı aşındığı ve aşınma kriterinin üstüne çıktıkları gözlenmiştir. Silikon nitrit esaslı seramik KYON 2100

SNGN' de çentik, yan kenar ve adhezyon aşınması, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN' de plastik deformasyon sonucu burun kırılması, silikon nitrit esaslı seramik KYON 2000 RNGN' de yanak aşınması ve yoğun bir burun deformasyonu, whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 RNGN' de yanak aşınması ve talaş yüzeyinde parça kopması gözlenmiştir.

Literatür bulgularında, “nikel esaslı süper alaşımların yüksek kesme hızları altındaki üstünlüğü, talaşın kontrol edilebilir olmasıdır. Sert ve sürekli ince talaşlar genelde daha düşük kesme hızlarında ortaya çıkar. Kesme hızı 120 m/min.' i geçtiği durumlarda, talaş şekli küçük parçacıklar halinde dönüşme eğilimindedir” (80). denilmektedir. Talaş derinliği bölgesinde oluşan çentiği minimize etmek için önerilen durum, kullanılacak kesici takımın yan kenarı, büyük ve negatif açılı olmasıdır. Son zamanlarda yapılan bir araştırma, kesici kenarın kesme kenarı boyunca sürekli değişen talaş derinliği ile konik tornalama (ramping) teknikleri kullanılarak kesici takım üzerinde oluşan çentiğin nasıl yok edildiğini ya da en aza indirilebildiğini göstermiştir (25, 31). Literatürde, nikel esaslı süper alaşımların işlenmesinde kullanılan kesici takımda dağılan ısı, araştırma konusu olarak çalışılmıştır (31).

Burada Sonuç olarak, aşınma ve takım ömrü yönünden whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN sadece 150 ve 200 m/min.' lik kesme hızlarında dayanım göstermiştir, 200 m/min.' de her dört takımda iyi performans göstermiştir. Whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN dışındaki diğer üç takım 250 m/ min.' lik kesme hızında iyi performans göstermişlerdir. 300 m/min.' lik kesme hızında ise bu talaş hacmi takım ömrü yönünden fazla gelmiş ve takımlar dayanım gösterememişlerdir.

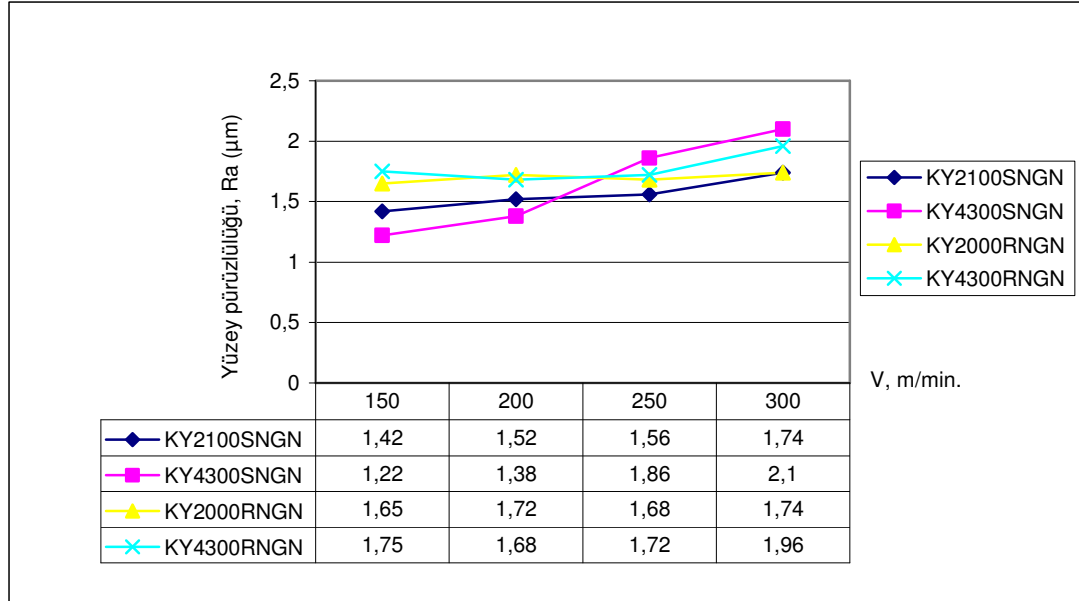
Asıl kesme kuvveti yönünden dört kesici takımın değerlendirilmesinde genel sonuç şu olmuştur. Kesme hızı arttıkça asıl kesme kuvveti F_c farklı kesici takımlar için farklı oranlarda azalma göstermiştir. Ancak whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 RNGN takımında 300 m/min.' lik kesme hızında bir

yükselme görülmüştür. Bunun da sebebinin kesici kenar üzerinde yığıntı talaş meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Nitekim yapılan talaş kaldırma deneylerinde silikon nitrit esaslı seramik takımlardan KYON 2000 RNGN ve KYON 2100 SNGN' nin asıl kesme kuvveti ölçülürken bazı parametrelerde F_c ' de biraz yükselme görülse dahi genelde düşme eğilimi hakimdir. Ancak whisker takviyeli alüminyum oksit takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN asıl kesme kuvveti yönünden başlangıçtaki değere göre az da olsa hep artış göstermiştir. Bu duruma yığıntı talaşın sebep olduğu düşünülmüştür. Bu da gösteriyor ki Inconel 718 kesilirken kararlı bir kesme olayı gerçekleşmemiş ve takımın o anki durumuna göre performans değişmiştir.

Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3 + SiC_w$) KY 4300 RNGN ve silikon nitrit esaslı seramik takım KYON 2100 SNGN, benzer kesme hızı 150 m/min.'den 300 m/min.'e arttırıldığında asıl kesme kuvveti F_c , az da olsa artma eğilimi göstermiş, KY 4300 RNGN 'de kuvvet azalmıştır. KYON 2000 SNGN' de kuvvet önce artmış sonra azalmıştır. Ancak KYON 4300 RNGN hariç, diğer kuvvetler benzer özellik göstermiştir. En düşük asıl kesme kuvveti F_c , KYON 2000 RNGN' de 577 N, en yüksek asıl kesme kuvveti F_c , KYON 4300 RNGN ile 1466 N olmuştur.

Bu çalışmada, iki farklı geometrideki takımlar karşılaştırıldı, kare şekilli seramik uçlu takımlar, yuvarlak şekilli seramik takımlara göre daha iyi performans ortaya koymuşlardır. Hem silikon nitrit esaslı seramik uçların hem de whisker takviyeli ($Al_2O_3 + SiC_w$) seramik uçlu takımların aynı anda aşınma, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi birlikte değerlendirilmiştir. Bu üç kriter aynı anda bir malzemenin işlenebilirliğini ortaya koymak için gerekli kriterlerdir.

Şekil 6.7.' de ise seramik uçlu takımlarda sabit ilerleme($f=0,20\text{mm/rev.}$), sabit talaş derinliği. ($d=2\text{mm}$) ve değişken kesme hızlarında kesme hızına bağlı (R_a) yüzey pürüzlülüğü değişimi gösterilmiştir.



Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3 + SiC_w$) (KY 4300 RNGN-KY 4300 SNGN)
Silikon nitrit esaslı seramik (Si-Al-O-N) (KY 2000 RNGN-KY 2100 SNGN)

Şekil 6.7. Dört farklı Seramik takım ile sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasındaki ilişki

Inconel 718' in işlenmesinde ortaya çıkan talaşlar değerlendirildiğinde whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 takım $V=150$ m/min.'de talaş yönünden daha iyi kalitede talaş çıkarmıştır. Ancak bu takım ile $V=200, 250, 300$ m/min.'lik kesme hızlarında çıkan talaşlar kırılğan yapıda olup süreksiz görülmüştür. Talaş şekilleri ve çıkan talaşların yorumu ayrıntılı olarak ek 21' den ek 36 ya kadar olan tablolarda gösterilmiştir.

Inconel 718' in seramik uçlu takımlarla yapılan kesme deneylerinde iki farklı kesici kalitesi ile iki farklı kesici geometrisi kullanılmıştır. Kullanılan kaliteler ve elde edilen yüzey kaliteleri Şekil 6.15.' te verilen grafikte görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi, whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($Al_2O_3 + SiC_w$) KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020, yüzey kalitesi yönünden en az pürüzlülük değeri $R_a=1,22$ μm ile dört seramik takım içerisinde kesme hızı $V=150$ m/min.' de en iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun arkasından en düşük yüzey pürüzlülüğü ile $V=150$ m/min.' de $R_a=1,42$ μm ile silikon nitrit esaslı seramik takım KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020' de görülmüştür. Daha sonra whisker takviyeli alüminyum

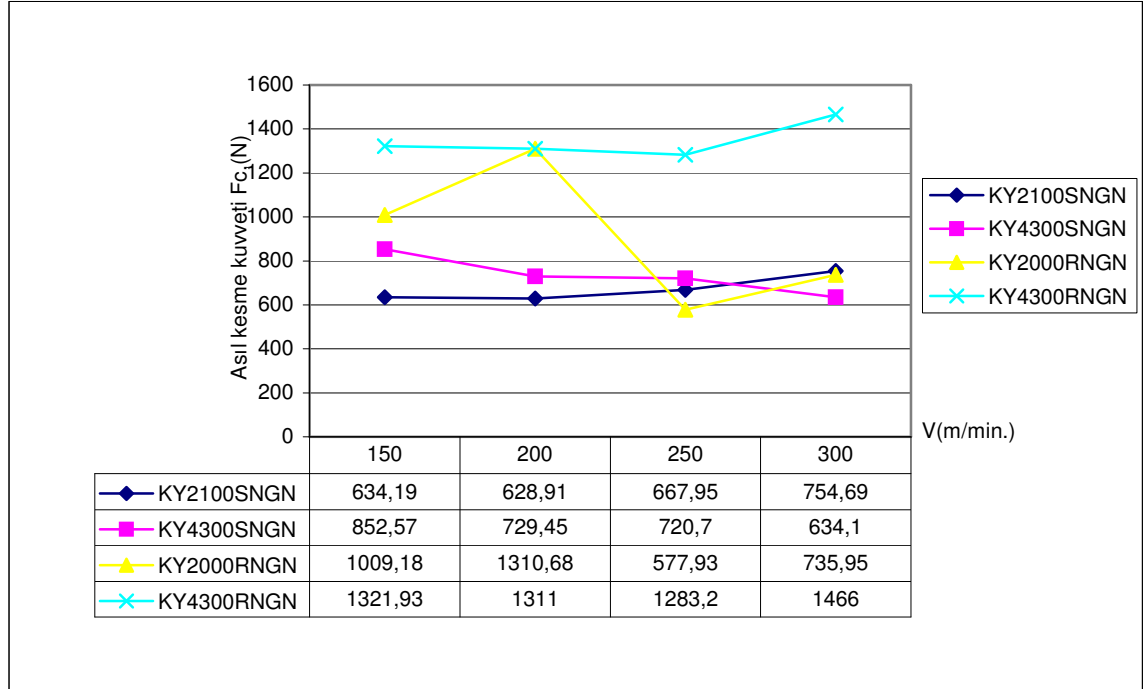
oksit seramik takım ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$ KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020 $R_a=1,65\mu\text{m}$) üçüncü sırayı alırken silikon nitrit esaslı seramik KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020, $V=200 \text{ m/min.}$ 'de $R_a=1,65 \mu\text{m}$ ile dördüncü sırayı almıştır.

Seramik kesici takımlarda genelde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve ortalama yan kenar aşınma miktarı artmış, asıl kesme kuvveti ise whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$) KYON 4300 RNGN hariç diğer üç kesici takımında azalmıştır. KYON 4300 RNGN' de ise $V=200$ ve 250 m/min. ' de azalırken $V=300 \text{ m/min.}$ ' de artma göstermiştir.

Yüzey pürüzlülüğü açısından seramik kesici takımlar karşılaştırıldığında her dört kesici takımın kesme hızı arttırıldığında $V=150 \text{ m/min.}$ ' lik kesme hızına göre yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri $V = 150 \text{ m/min.}$ ' lik kesme hızında whisker takviyeli seramik uçlu takım KYON 4300 SNGN' de ($R_a= 1,22 \mu\text{m}$) elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri yine whisker takviyeli seramik uçlu takım KYON 4300 SNGN kesici takımında ($R_a=2,1 \mu\text{m}$) elde edilmiştir.

Seramik uçlu takımlardan, kare şekilli takımlar, yüzey kalitesi ve aşınma yönünden yuvarlak şekilli takımlara göre daha iyi performans gösterirken asıl kesme kuvveti yönünden yuvarlak şekilli silikon nitrit esaslı seramik takım KYON 2000 RNGN, $V=250 \text{ m/min.}$ ' de en düşük asıl kesme kuvveti ($F_c= 577 \text{ N}$) ile dikkat çekmiştir. $V=150\text{m/min.}$ 'lik kesme hızında whisker takviyeli ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$) seramik uç KYON 4300 SNGN, ($F_c=852 \text{ N}$, $R_a=1,22 \mu\text{m}$, $V_{BB}=0,13 \text{ mm}$) yüzey kalitesi ve takım ömrü yönünden Inconel 718' in işlenmesinde daha uygun olduğu görülmüştür. Kaba talaş işlemlerinde, whisker takviyeli seramik uçlu takım KYON 4300 RNGN kesici takım12 07 12 T01020 ($V=250 \text{ m/min.}$ ' de $V_{BB}=0,17 \text{ mm}$ $F_c=1283 \text{ N}$, $R_a=1,72 \mu\text{m}$) en az aşınma değeri ile önerilecek takımıdır. Farklı kesme hızlarında her dört kesici takım yüzey pürüzlülüğü bakımından birbirlerine yakın olmayan değerler göstermişlerdir ($R_a=1,22-2,1 \mu\text{m}$). Seramik uçlu takımlarda Inconel 718 işlenirken oluşan aşınma çeşitleri Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir. Şekil 6.8.' de Seramik uçlu takımlarda sabit ilerleme ($f=0,20 \text{ mm/rev.}$), sabit talaş derinliği ($d=2\text{mm}$) ve

değişken kesme hızlarında asıl kesme kuvveti (F_c)– Kesme hızı (V) ilişkisi grafiği gösterilmiştir.



Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3 + SiC_w$) (KY 4300 RNGN-KY 4300 SNGN)
Silikon nitrit esaslı seramik (Si-Al-O-N) (KY 2000 RNGN-KY 2100 SNGN)

Şekil 6.8. Dört farklı Seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) Inconel 718' in işlenmesinde kesme hızı ile asıl kesme kuvveti (F_c) arasındaki ilişki

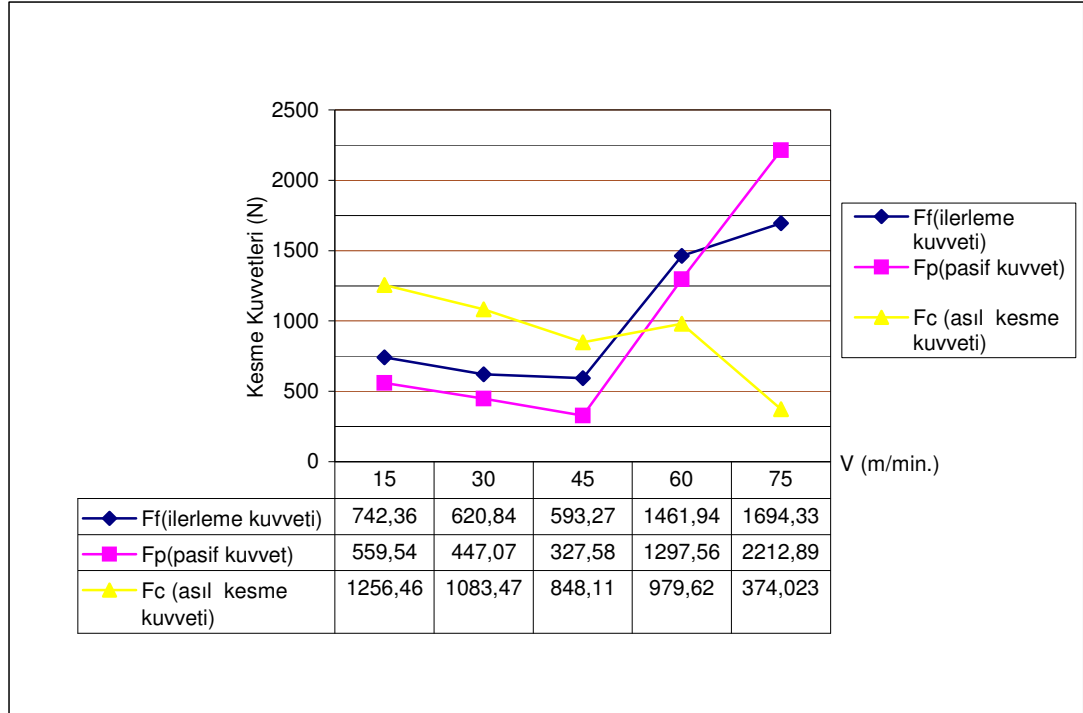
Çizelge 6.2. Seramik uçlu takımlarda Inconel 718 işlenirken oluşan aşınma çeşitleri

Kesici adı:		KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 silikon nitrit esaslı seramik takım	
Kesme hızı, V m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
150	0,20	2	BUE (yığıntı) ve yanak aşınması
200	0,20	2	Yanak aşınması ve BUE
250	0,20	2	Üst yüzeyde krater aşınma ve az miktarda yanak aşınması
300	0,20	2	Çentik, yanak aşınması, BUE (yığıntı)
Kesici adı:		KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($Al_2O_3+SiC_w$)	
Kesme hızı, V m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
150	0,20	2	Çentik aşınması, yanak aşınması ve oksidasyon
200	0,20	2	Krater aşınma, yanak aşınması ve burun deformasyonu.
250	0,20	2	Krater aşınma, yanak aşınması, burunda deformasyon, kesici kenarda termal çatlaklar.
300	0,20	2	Plastik deformasyon sonucu burun kırılması
Kesici adı:		KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020 Silikon nitrit esaslı seramik takım	
Kesme hızı, V m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
150	0,20	2	Yanak aşınması, termal çatlaklar
200	0,20	2	Çentik, mekanik yorulma çatlakları, kısmi oksidasyon
250	0,20	2	Yanak aşınması, talaş derinliğinde çentik.
300	0,20	2	Yanak aşınması ve yoğun bir burun deformasyonu
Kesici adı:		KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020 whisker takviyeli alüminyum oksit seramik takım ($Al_2O_3+SiC_w$)	
Kesme hızı, V m/min.	İlerleme, f,(mm/rev.)	Talaş derinliği, d, (mm)	Oluşan aşınma şekilleri
150	0,20	2	Yan kenar ve krater aşınması, termal çatlaklar.
200	0,20	2	Çentik
250	0,20	2	Yanak aşınması, çentik
300	0,20	2	Yanak aşınması, talaş yüzeyinde parça kopması.

6.2. Inconel 718' in İşlenmesinde Kesici Takımlarda Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Ölçüm Sonuçlarının Grafikler ile Açıklanması

6.2.1. Kaplamalı sementit karbür KC 935 SCMT 12 04 12 MF kesici takımın kesme hızı kesme kuvvetleri

Kaplamalı sementit karbür takım (KC 935 SCMT) ile yapılan işlemede 15 m/min.'lik kesme hızında kesme kuvvetleri ortalama olarak, $F_f = 742,36$ N, $F_p = 559,54$ N ve $F_c = 1256,46$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 30 ve 45 m/min.'e yükseltildiğinde her üç kuvvetin azaldığı, ancak 60 m/min.'lik kesme hızında F_f ve F_p kuvvetinin hızla yükseldiği F_c 'nin ise kısmen düştüğü görülmüştür. Kesme hızı 75 m/min.'lik hızla çıktığında ise F_c 'nin azaldığı diğer iki kuvvetin ise hızla yükseldiği görülmüştür. Sonuçta kesme hızı $V = 45$ m/min.'e arttırıldıkça her üç kuvvetin de $V = 15$ m/min.'e göre azaldığı, F_f ilerleme kuvveti ile F_p pasif kuvvet ise 45 m/min. den sonraki kesme hızlarında hızla yükseldikleri görülmüştür. 45 m/min' den sonraki kesme hızlarında kesici kenar üzerinde oluşan yığıntı talaştan dolayı takım hızla aşınınca, kesici takım, kesmede zorlanmış ve kesme kuvvetleri buna bağlı olarak artmıştır. Kaplamalı sementit karbür (KC 935 SCMT 12 04 12 MF) takımın kesme hızı kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.9.' da gösterilmiştir.

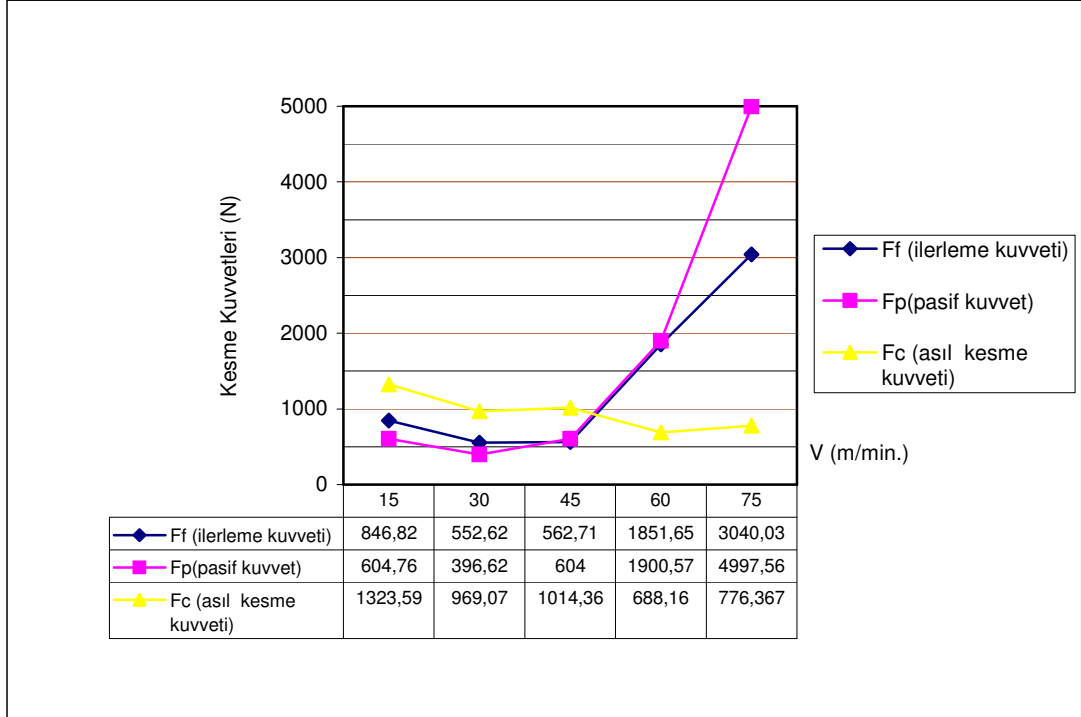


Şekil 6.9. Kaplamalı sementit karbür (KC 935 SCMT 12 04 12 MF) takımın (KENNAMETAL) sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.2. Kaplamalı sementit karbür (KC 9225 12 04 12) takımın kesme hızı kesme kuvvetleri değişimi

Kaplamalı sementit karbür olan bu kesici takım ile yapılan kesme deneylerinde ilk 15 m/min.'lik kesme hızında ortalama olarak, $F_f = 846,82$ N, $F_p = 604,76$ N ve $F_c = 1323,59$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı $V=30$ ve m/min.' e yükseltince her üç kuvvetin azaldığı ancak 45 m/min. kesme hızında ise F_f ve F_c nin azaldığı F_p nin ise arttığı görülmüştür. 60 m/min.'lik kesme hızında ise F_c azalırken diğer iki kuvvetin arttığı görülmüştür. 75 m/min.' lik kesme hızında F_c asıl kesme kuvvetinin arttığı, en düşük değerini ise $V=60$ m/min.'lik kesme hızında alırken (688 N), F_p 'nin $V=75$ m/min.'de en yüksek değere (4997 N) yükseldiği görülmüştür. Sonuçta kesme hızı artırıldıkça F_c asıl kesme kuvveti, başlangıçtaki değerine göre azalmış, F_f ilerleme kuvveti ile F_p pasif kuvvet, 45 m/min. den sonraki kesme hızlarında hızla yükselmiştir. Kesme hızı arttıkça asıl kesme kuvveti F_c düşmüştür. 45 m/min' den sonraki kesme hızlarında kesici uç üzerinde oluşan yığıntı talaştan dolayı takım hızla

aşınınca, kesme kuvvetleri kısmen artmıştır. Sementit karbür (KC 9225 SCMT) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.10.' da gösterilmiştir.

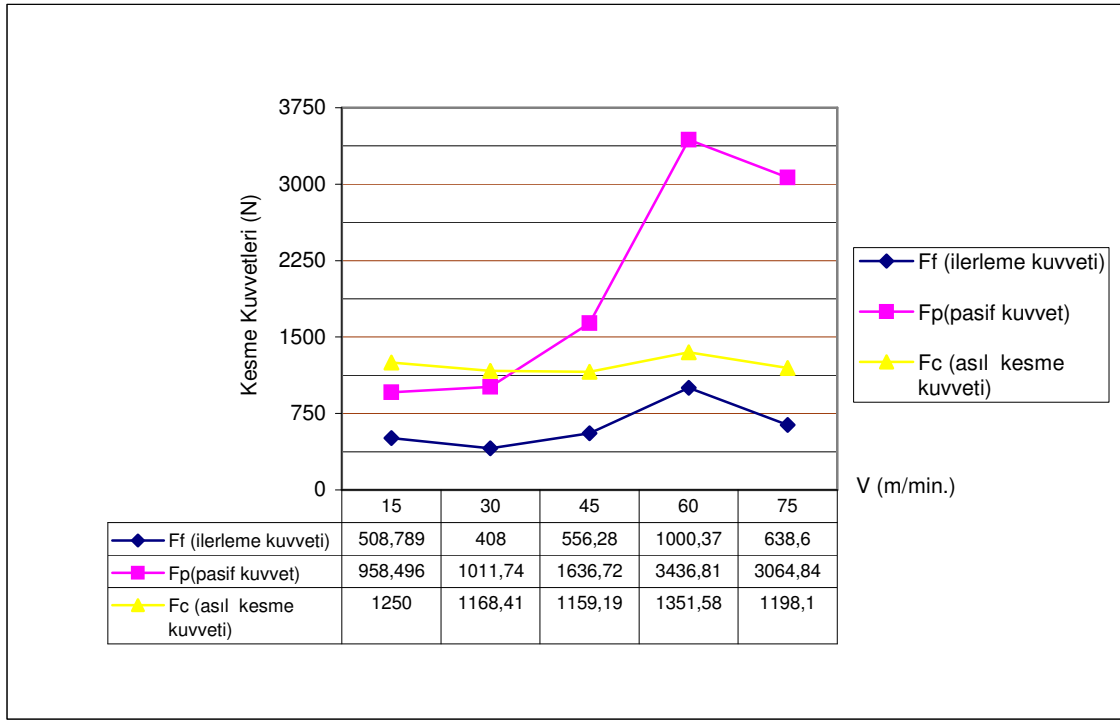


Şekil 6.10 Kaplamalı sementit karbür (KC 9225 SCMT 12 04 123) takımın (KENNAMETAL) sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.3. Kaplamalı sementit karbür (SECO 560) kesici takımın kesme hızı-kesme kuvvetleri değişimi

Kaplamalı sementit karbür takım olan bu kesici ile yapılan kesme deneylerinde ilk 15 m/min.' lik kesme hızında ortalama olarak, $F_f = 508,789$ N, $F_p = 958,496$ N ve $F_c = 1250$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı $V=30$ ve m/min.' e yükseltince F_p ' de artış, diğer iki kuvvet' te bir düşme görülmüştür. Kesme hızı 45 m/min.' e çıkarıldığında, F_p ve F_f ' de bir artış, F_c ' de ise az bir düşme görülmüştür. Kesme hızı 60 m/min.' e çıkıldığında her üç kuvvette de bir yükselme görülmüştür. Bununda nedeni kesici takım üzerine biriken talaş yığıntısı ve oluşan aşınmadır. Kesme hızı 75 m/min.' e çıkıldığında her üç kuvvet'te bir düşüş gözlenmiştir. Sonuçta asıl kesme kuvveti F_c , kesme hızı arttıkça başlangıçtaki değere göre kesicinin kesme direncine

bağlı olarak düşük değerlerde pozitif ve negatif değişimler göstermiştir. Kaplamalı sementit karbür (SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.11.' de gösterilmiştir.

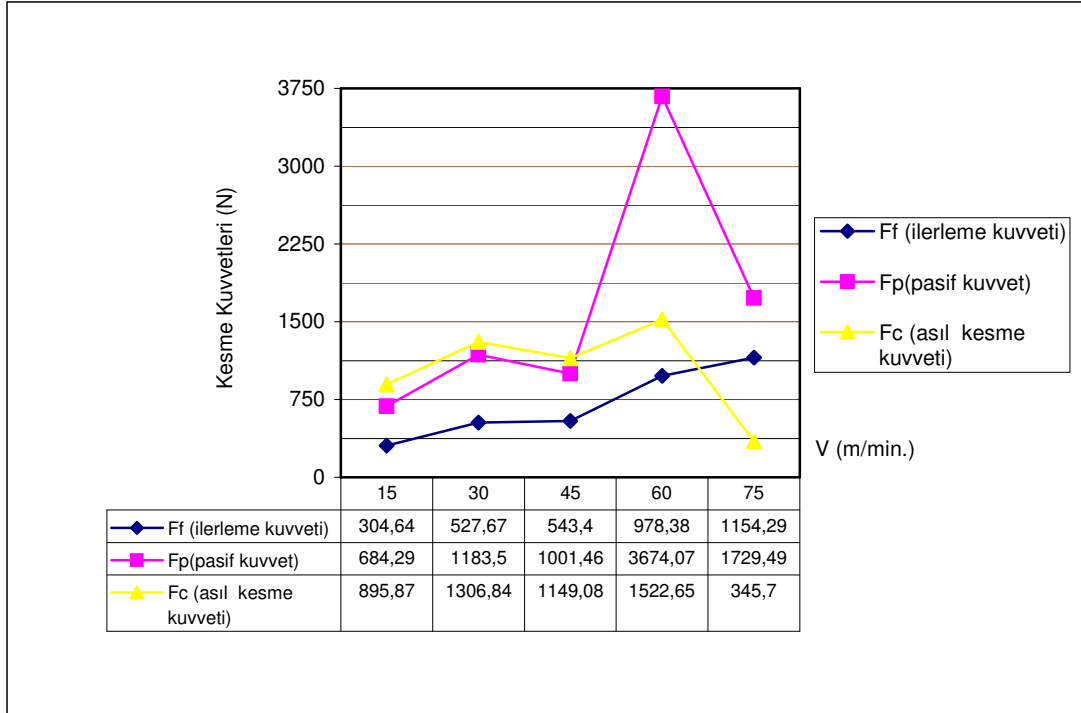


Şekil 6.11.Kaplamalı sementit karbür (SECO 560 43 F1- RCMT 12 04 00) takımın sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.4. Kaplamasız karbür (SECO 883) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

Kaplamasız sementit karbür takım olan bu kesici ile yapılan kesme deneylerinde ilk 15 m/min. kesme hızında ortalama olarak, $F_f = 304,64$ N, $F_p = 684,29$ N ve $F_c = 895,87$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı $V=30$ ve m/min.' e yükseltince her üç kuvvette bir artış gözlenmiştir. Kesme hızı 45 m/min.' e yükseltildiğinde F_f ' de bir artış, diğer iki kuvvette bir düşme görülmüştür, ancak 60 m/min.' e çıkıldığında ise her üç kuvvet hızla artmıştır. Bu duruma, kesici talaş yüzeyine yapışan talaş ile kesici kenarda meydana gelen aşınma neden olmaktadır. 75 m/min.' e çıkıldığında F_f ' de bir artış, diğer iki kuvvette bir düşme görülmüştür. Sonuçta kesme hızı arttıkça F_f

ilerleme kuvveti artmış, F_p pasif kuvvet ile F_c asıl kesme kuvveti artı ve eksi yönde değişimler göstermiştir. Kesme hızı 75 m/min.' de asıl kesme kuvveti F_c başlangıçtaki değerden daha düşük ölçülmüştür. Kaplamasız sementit karbür (SECO 883 SECO RCMM 12 04 00) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.12.' de gösterilmiştir.



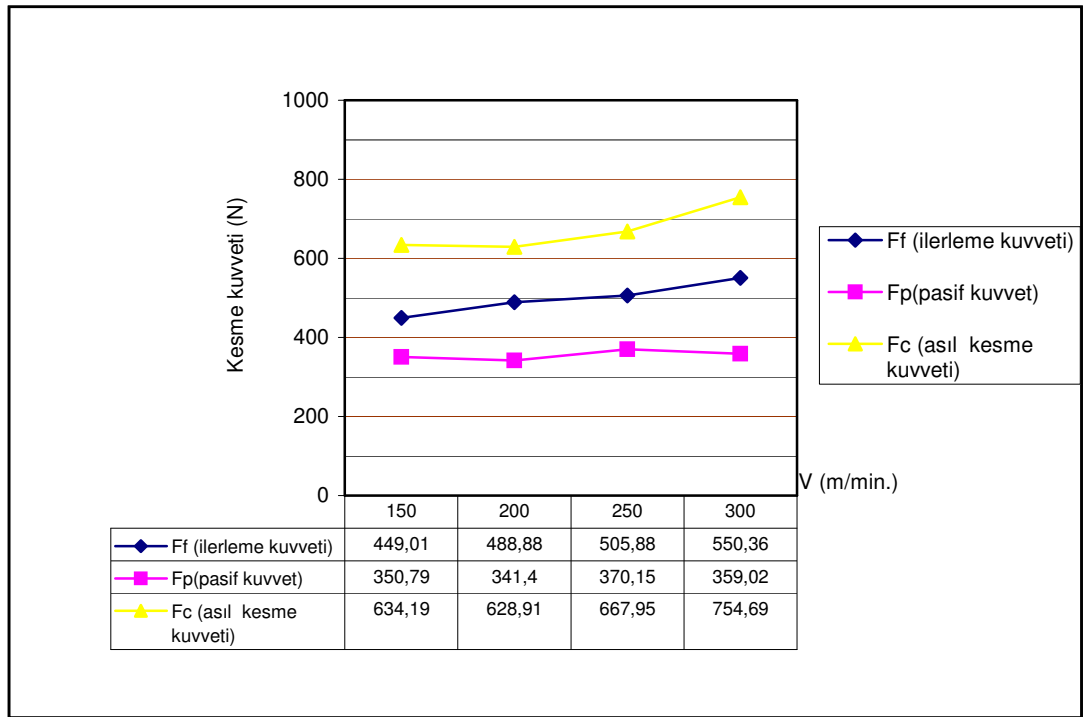
Şekil 6.12. Kaplamasız sementit karbür (SECO 883 SECO RCMM 12 04 00) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.5. Silikon nitrit esaslı (KYON 2100 SNGN 12 07 12 T 010 020) seramik takımın kesme hızı-kesme kuvvetleri değişimi

Seramik takım olan bu kesici ile yapılan kesme deneylerinde ilk $V=150$ m/min.' lik kesme hızında ortalama olarak, $F_f=449,01$ N, $F_p=350,79$ N ve $F_c=634,19$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 200 m/min.' e arttırıldığında F_f ' de bir artış görülürken F_p ve F_c ' de bir azalma görülmüştür. Kesme hızı 250 m/min.' e yükseltildiğinde ise her üç kuvvette artış göstermiştir. Bu duruma sebep, oluşan aşınma ile talaş yüzeyinde kesicinin üzerinde biriken talaş yığıntısıdır. Ancak 300 m/min.' lik kesme hızına çıkıldığında F_p ' de bir düşüş, diğer iki kuvvette ise bir artış görülmüştür. Sonuçta

kesme hızı arttıkça F_p pasif kuvvette pek bir değişim olmazken F_f ve F_c ’ de bir artış gözlenmiştir.

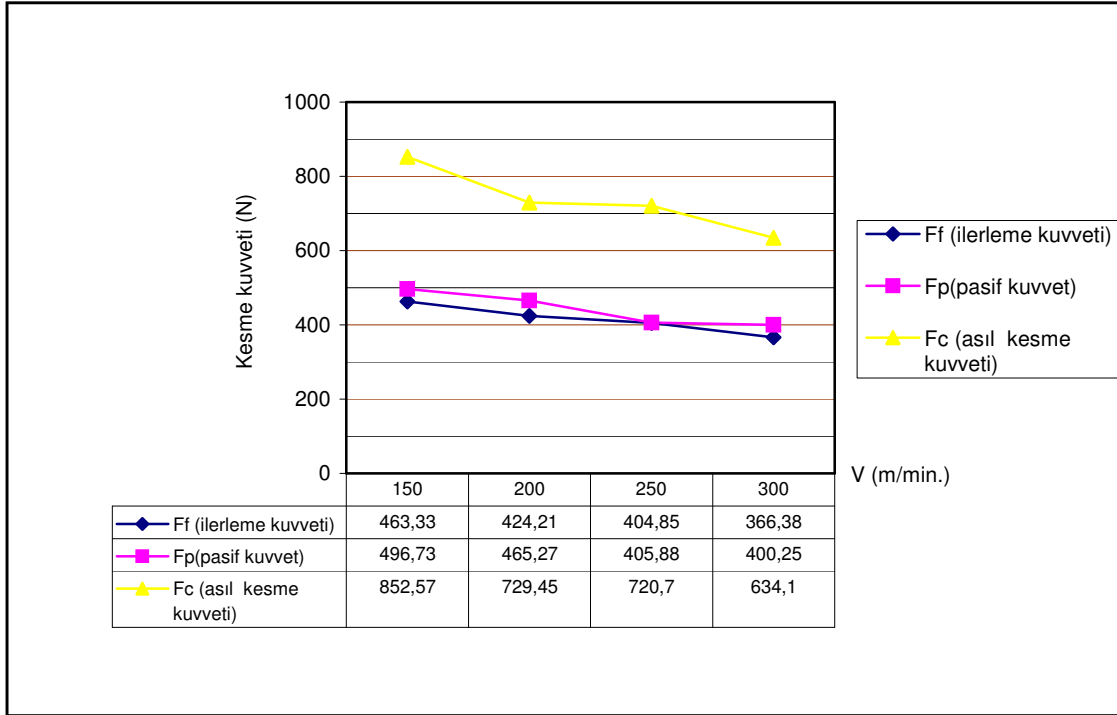
Silikon nitrit esaslı seramik (KYON 2100 SNGN 12 07 12 T 010 020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.13.’ te gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Silikon nitrit esaslı seramik (KYON 2100 SNGN 12 07 12 T 010 020) takımın sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.6. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik (KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

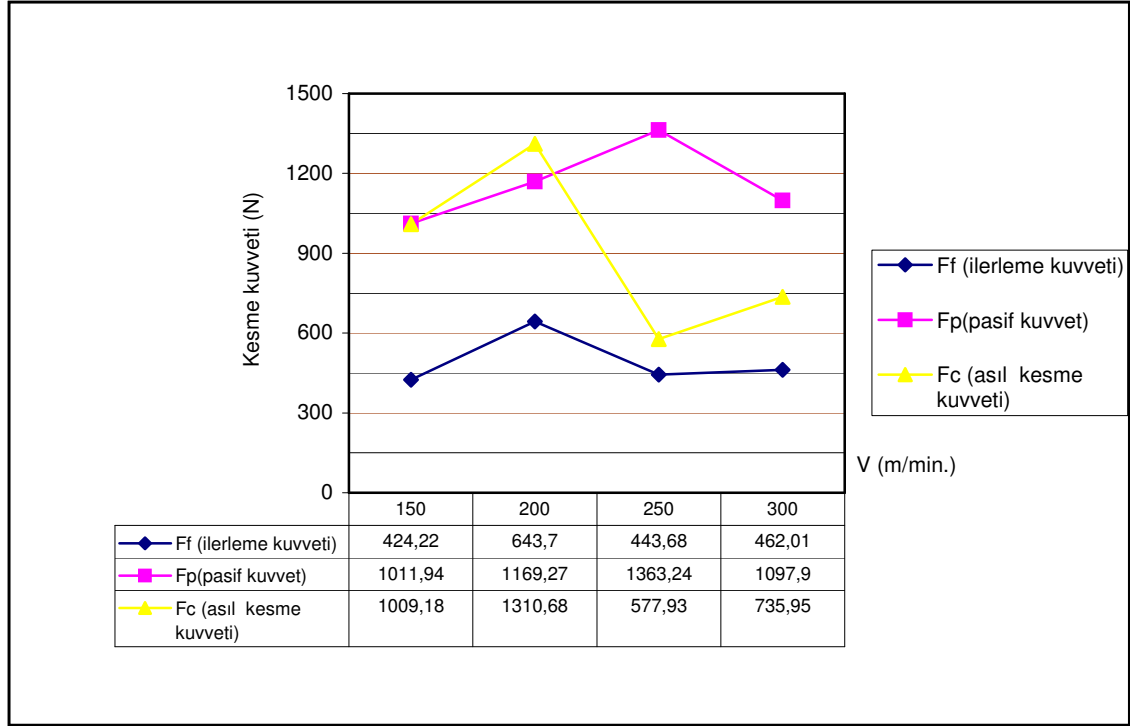
Seramik takım olan bu kesici ile yapılan kesme deneylerinde ilk $V=150$ m/min.’ lik kesme hızında ortalama olarak, $F_f =463,33$ $F_p =496,73$ N ve $F_c =852,57$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı arttıkça (200, 250, 300 m/min’ e) her üç kuvvetin azaldığı görülmüştür. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik (KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.14.’ te gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik (KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020) takımın sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.7. Silikon nitrit esaslı seramik (KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

Seramik takım olan bu kesici ile yapılan kesme deneylerinde ilk $V=150$ m/min.' lik kesme hızında ortalama olarak, $F_f = 424.22$ N, $F_p = 1011.94$ N ve $F_c = 1009.18$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 200 m/min.' e arttırıldığında her üç kuvvette de bir artış, kesme hızı 250 m/min.' de F_p ' de bir artış diğer iki kuvvette ise bir düşüş görülmüştür. Bu duruma kesici kenar üzerinde biriken talaş yığıntısının ve oluşan aşınmanın sebep olduğu düşünülmüştür. Kesme hızı 300 m/min.' de F_c ve F_f de bir düşüş olurken diğer kuvvet artmıştır. Silikon nitrit esaslı (KY 2000 RNGN 12 07 12 T01020) seramik takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.15.' te gösterilmiştir.

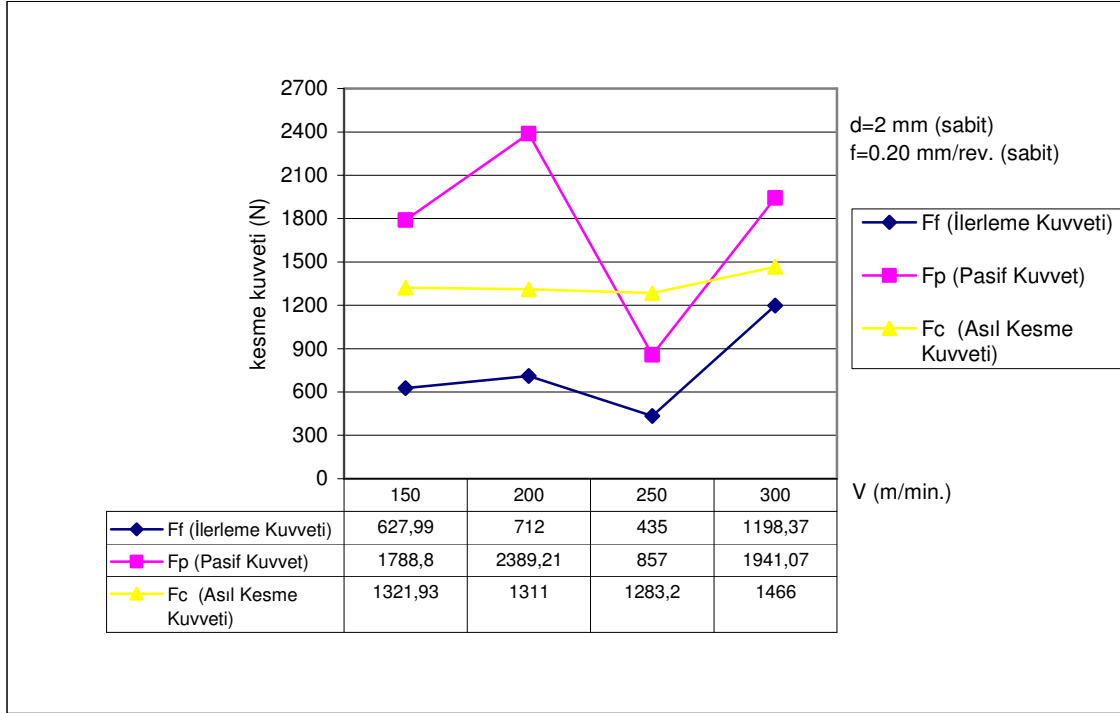


Şekil 6.15. Silikon nitrit esaslı (KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020) seramik takımın sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.2.8. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik (KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

Seramik takım olan bu kesici ile yapılan kesme deneylerinde ilk $V=150$ m/min.' lik kesme hızında ortalama olarak, $F_f=627,99$ N, $F_p=1788,8$ N, $F_c=1321,93$ N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 200 m/min.' e arttırıldığında F_c ' de bir düşüş diğer iki kuvvette ise bir yükselme gözlenmiştir. Ancak kesme hızı 250 m/min.' e arttırıldığında her üç kuvvetinde düştüğü ve bu değerlerin başlangıçtaki kesme kuvvetlerinin altına indiği görülmüştür. Kesme hızı 150 m/min.' den 250 m/min.' e arttırıldığında her üç kuvvetin de düştüğü, hız 300 m/min.' e çıkarıldığında ise her üç kuvvetinde arttığı görülmüştür. Bu duruma sebep olarak kesici kenarın aşınması ve kesici kenar üzerinde oluşan talaş yığıntısı olmuştur. Sonuçta kesme hızı arttıkça asıl kesme kuvveti F_c ile diğer iki kuvvetin artan kesme hızında zig zag'lar çizdikleri görülmüştür. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik (KYON

4300 RNGN 12 07 12 T01020) takımın kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi grafiği Şekil 6.16' da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik (KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020) takımın sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) kesme hızı- kesme kuvvetleri değişimi

6.3. Inconel 718'in Farklı Kesici Takımlar İle İşlenmesinde Elde Edilen Optimum Kesme Parametreleri

Talaş kaldırma deneyleri ile Inconel 718'in işlenmesinde elde edilen veriler değerlendirilmiş ve optimum kesme parametreleri bulunmuştur. Elde edilen optimum kesme parametreleri Çizelge 6.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 6. 3. Talaş derinliği (2 mm) ve ilerleme (0,2 mm/rev.) sabitken farklı kesme hızlarında Inconel 718'in işlenmesinde elde edilen optimum kesme parametreleri

Kesici takımın adı	Aşınma değerlerine göre optimum kesme hızı, V, (m/min.)	Yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre optimum kesme hızı, V, (m/min.)	Asıl kesme kuvveti değerine göre optimum kesme hızı, V, (m/min.)
Kaplamalı karbür (KC 935 SCMT)	15	30	75
Kaplamalı karbür (KC 9225 SCMT)	30	30	60
Kaplamalı karbür (SECO 560 RCMT)	30	45	45
Kaplamasız karbür (SECO 883 RCMM)	45	45	75
Silikon nitrit esas. seramik. (KYON 2100 SNGN)	200	150	200
Whisker takviyeli seramik (KYON 4300 SNGN)	150	150	300
Silikon nitrit esaslı ser. KYON 2000 RNGN	200	150	250
Whisker takviyeli seramik (KYON 4300 RNGN)	200	200	250

6.4. Deney'e Tabi Tutulan Inconel 718 Malzemesi' nin Farklı Kesme Hızlarında İşlenme Süresi ve Kesici Takım Ömürleri

Deneyler esnasında talaş kaldırma işlemine tabi tutulan seal isimli Inconel 718 malzemesinin karbür ve seramik kesici takımlar ile işlenme süresi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (110). Buna göre kesme hızına bağlı olarak işlenme süreleri farklı çıkmıştır.

$$T_b: \pi \cdot ((d_1 + d_2)/2) l \cdot i / 1000 V \cdot f$$

T_b : boyuna tornalama süresi, dak.

d_1 : ilk dış çap, mm

d_2 : son dış çap, mm

l : tornalama boyu, mm

V : kesme hızı, m/ min.

F: ilerleme, mm/rev.

İ: paso sayısı

Şekil 6.17.'de dört farklı karbür takımla, Şekil 6.18'de ise dört farklı seramik takımla Inconel 718' in işlenmesinde 273 cm^3 'lük talaş hacmi işleme sürelerinin kesme hızı ile olan ilişkisi grafik olarak gösterilmiştir.

Deneylerde kullanılan kesici takımların 273 cm^3 'lük talaş kaldırma süreleri içerisinde takım ömürleri, 15 m/min. 'lik kesme hızında $V_{BB}=0,3 \text{ mm}$ kriterine göre kesici takımlar ortalama 86 dakika dayanmıştır. Genişletilmiş Taylor takım ömrü ($V.T^n . f^{n1} . d^{n2} = C_0$) denkleminde göre kaplamasız karbür takımlarda n değeri karbür uçlarda genel kullanımda, $n = 0,25$, $n1=0,77$, $n2=0,37$ alınarak hesaplama yapılmıştır (21). Çizelge 6.4.' te karbür takımlarda, Çizelge 6.5.' te ise seramik takımlarda kullanılan kesme hızlarına göre Taylor denklemi ile hesap sonucunda elde edilen takım ömürleri gösterilmiştir.

$$V.T^n . f^{n1} . d^{n2} = C_0 = \text{Sabit}$$

$$15. 86^{0,25} . 0,2^{0,77} . 2^{0,37} = 17,09$$

$V=30 \text{ m/min.}$ için;

$$30 . T^{0,25} . 0,2^{0,77} . 2^{0,37} = 17,09$$

$$T=8,13 \text{ dak.}$$

Çizelge 6.4. Taylor denklemi ile hesap sonucunda kullanılan kesme hızlarına göre Karbür takımlarda elde edilen takım ömürleri

V, m/min.	15	30	45	60	75
T, dak.	86	8,13	1,07	0,34	0,16

Seramik kesici takımlarda $V=150 \text{ m/min.}$ 'lik kesme hızında $V_{BB}=0,3 \text{ mm}$ kriterine göre kesici takımlar ortalama 3 dakika dayanmıştır. Genişletilmiş Taylor takım ömrü ($V.T^n . f^{n1} . d^{n2} = C_0$) denkleminde göre seramik takımlarda n değeri genel kullanımda, $n = 0,4$, $n1=0,77$, $n2=0,37$ alınarak hesaplama yapılmıştır (21).

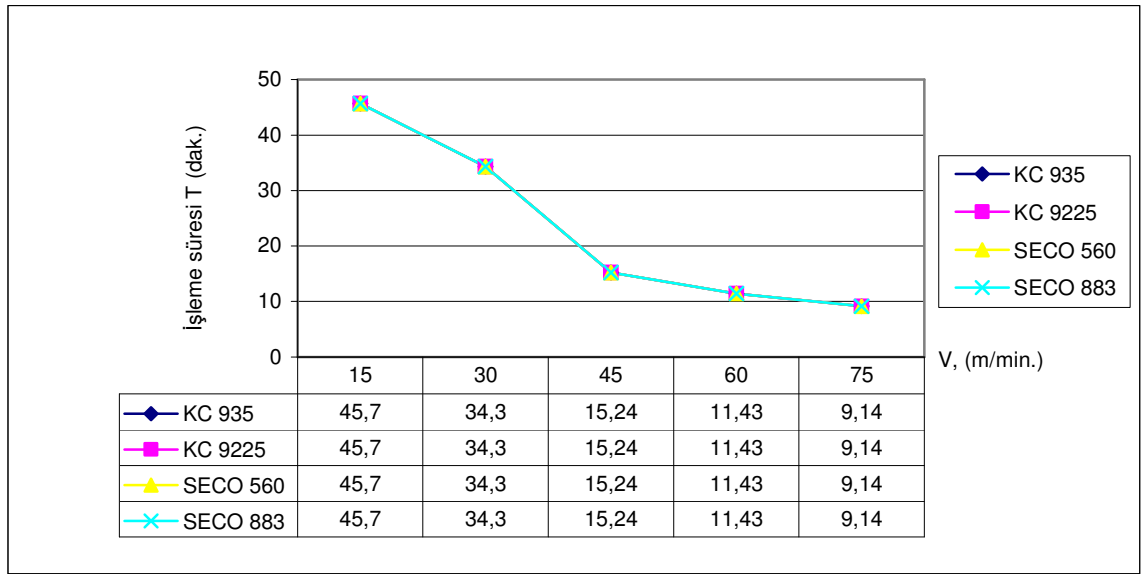
$$V.T^n . f^{n1} . d^{n2} = C_0 = \text{Sabit}$$

$$150 \cdot 3^{0,4} \cdot 0,2^{0,77} \cdot 2^{0,37} = 87,11$$

V=300 m/min. için

$$300 \cdot T^{0,4} \cdot 0,2^{0,77} \cdot 2^{0,37} = 87,11$$

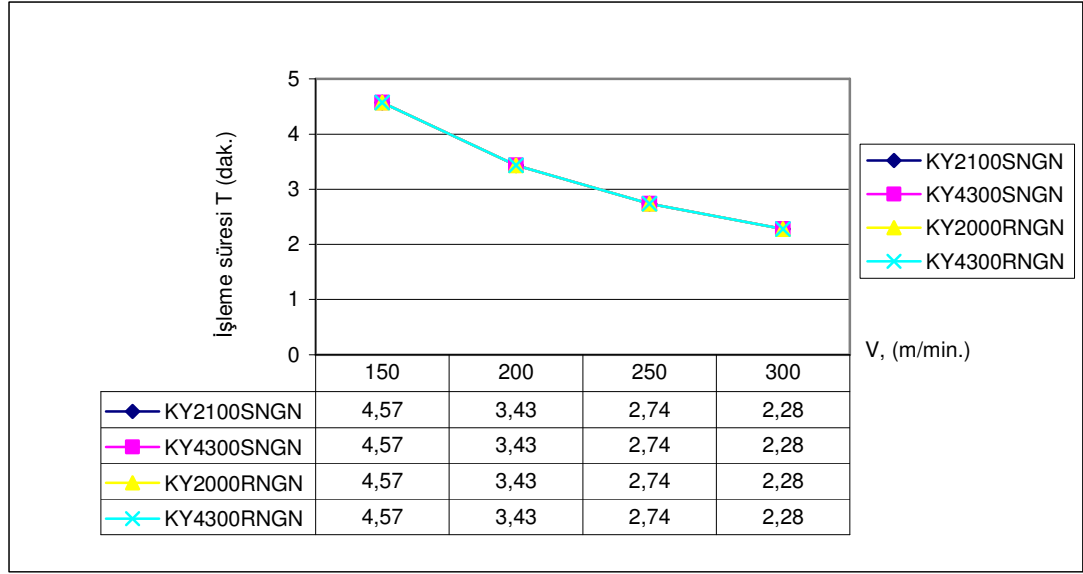
T=0,52 min.



Şekil 6.17. Dört farklı sementit karbür takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) deney malzemesi Inconel 718' in işlenmesinde 273 cm^3 'lük talaş hacmi işleme sürelerinin kesme hızı ile olan ilişkisi

Çizelge 6.5. Taylor denklemi ile hesap sonucunda kullanılan kesme hızlarına göre seramik takımlarda elde edilen takım ömürleri

V, (m/min.)	150	200	250	300
T, (dak.)	3	1,46	0,84	0,52



Whisker takviyeli alüminyum oksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$) (KY 4300 RNGN-KY 4300 SNGN)
 Silikon nitrit esaslı seramik (Si-Al-O-N) (KY 2000 RNGN-KY 2100 SNGN)

Şekil 6.18. Dört farklı seramik takımla sabit ilerleme ($f=0,20$ mm/rev.) ve sabit talaş derinliğinde ($d=2$ mm) deney malzemesi Inconel 718' in işlenmesinde 273 cm^3 'lük talaş hacmi işleme sürelerinin kesme hızı ile olan ilişkisi

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Yapılan 36 adet talaş kaldırma deneyinde $d=2$ mm talaş derinliği ve $f=0,20$ mm/rev. İlerleme hızı sabit tutulmuştur. Kesme hızı, karbür takımlarda $V=15, 30, 45, 60, 75$ m/min., seramik takımlarda $V=150, 200, 250, 300$ m/min. esas alınmıştır. Hem karbür hem de seramik takımlarda iki farklı geometri (kare ve yuvarlak) kullanılmıştır. Takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü yönünden yapılan değerlendirmede aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Takım ömrü ve yüzey kalitesi yönünden, dört farklı sementit karbür kesici takım içerisinde, $V=45$ m/min.'lik kesme hızında kaplamasız karbür SECO 883, $V_{BB}=0,08$ mm, $F_c=1149$ N, $R_a=0,45$ μ m ile $T_c=15,24$ dakika'lık talaş kaldırma süresi ve 273 cm³ 'lük talaş kaldırma hacmi ile inconel 718'in işlenmesinde en uygun bulunmuştur. Dört farklı sementit karbür kesici takım içerisinde en düşük ortalama yan kenar aşınma alanı genişliği, $V=45$ m/min.'de $V_{BB}=0.08$ mm, en düşük pürüzlülük değeri, $V=45$ m/min.'lik kesme hızında, $R_a=0,45$ μ m, en düşük asıl kesme kuvveti, $V=75$ m/min.'lik kesme hızında, 345 N kaplamasız karbür SECO 883 ile elde edilmiştir. Yüzey kalitesi esas alınarak yapılacak işlemede SECO 883 daha uygun bulunurken, yüzey kalitesinin ikinci planda düşünüldüğü kaba tornalama işlemlerinde SECO 560, $V=60$ m/min.'lik kesme hızında inconel 718'in işlenmesinde performansı daha iyi görülmüştür.

2- Inconel 718'in işlenmesi ile kaplamalı karbürlerde yanak aşınması, çentik ve plastik deformasyon, kaplamasız karbürlerde ise yanak aşınması ve çatlama daha hakim görülmüştür. Aşınmaya karşı $V=15$ m/min'de her dört karbür kesici takım dayanım göstermiştir. Kesme hızı $V=30$ m/min'de kaplamalı karbür KC 935'in dışındaki 3 karbür takım iyi performans göstermişlerdir. 45 m/min.'de kaplamalı karbür SECO 560 ile SECO 883, aşınmaya karşı dayanıklı görülmüş ancak diğer iki kesici takım yetersiz kalmışlardır. 60 m/min'de sadece SECO 560 aşınmaya

karşı dayanabilmiş diğer üç kesici takım yetersiz görülmüştür. 75 m/min.'de ise her dört kesici takımın hızla aşındıkları görülmüştür.

- 3- Yüzey pürüzlülüğü yuvarlak şekilli karbür takımlarda, $R_a=0,45-0,98 \mu\text{m}$, kare şekilli karbür takımlarda, $R_a=1,23-1,98 \mu\text{m}$ arasında olmuştur. Kaplamalı karbür (SECO 560), $V=30 \text{ m/min.}$ 'lik kesme hızının dışındaki diğer kesme hızlarında yüzey kalitesi bakımından kaplamasız karbür (SECO 883)'e yakın bir performans göstermiştir. Kaplamalı karbür KC 9225 ve KC 935 ise, iyi olmayan yüzey kaliteleri ile performansları daha zayıf görülmüştür. Kaplamasız karbür (SECO 883) ile sadece 45 m/min'de düşük yüzey pürüzlülüğü görülmüş ancak diğer kesme hızlarında artış görülmüştür. Dört farklı kesici takım içerisinde SECO 883 en düşük yüzey pürüzlülüğü ile $V=45 \text{ m/min.}$ 'de daha uygun olduğu görülmüştür.
- 4- Kesme hızı, karbür kesiciler ile yapılan deneylerde başlangıç değeri 15 m/min.'den 75 m/min.'e arttırıldığında, asıl kesme kuvveti F_c , her dört kesici takımda azalmıştır. 30, 45 ve 60 m/min.'lik kesme hızlarında asıl kesme kuvveti F_c , zigzaglar çizmiş, asıl kesme kuvvetinde bazen artış bazen de düşme görülmüştür. Kesme hızı arttıkça kaplamalı karbür kesici takımlarda asıl kesme kuvveti F_c azalmıştır. Kaplamasız karbür SECO 883'te ise $V=30, 45$ ve 60 m/min. 'lik kesme hızlarında asıl kesme kuvveti F_c artış göstermiş, 75 m/min.'lik kesme hızında en alt seviye olan 345 N' a düşmüştür. Kesme hızı başlangıç değerine göre % 500 arttırıldığında, asıl kesme kuvveti F_c de, KC 935 'te % 70,3, KC 9225'te % 41,4, SECO 560'ta %90,5, SECO 883'te % 61,5 azalma olmuştur.
- 5- Yuvarlak şekilli karbür uç'lar ile talaş kaldırma sırasında karbür ucun yuvarlak formundan ötürü denendiği kesme deneylerinin çoğunda titreşim oluşmuş ve radyal kuvvet F_p , hemen hemen F_c asıl kesme kuvvetine yakın ya da daha yüksek değerler almıştır.

- 6- Yuvarlak şekilli karbür kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, kare şekilli karbür kesici takımlara göre daha kaliteli yüzey elde edilmiştir. Deneylerde talaş kırıcılı kesici takımlar kullanılmasına rağmen, talaşlar uzun ve sürekli çıkmıştır. Talaş, oldukça zor kopan bir talaş olup, kesicilerdeki talaş kırıcılar, talaşı koparmada yetersiz kalmışlardır.
- 7- Karbür uçlardan SECO 560 ve SECO 883 yüzey kalitesi ve takım ömrü bakımından, $V=30$ ve 45 m/min.'lik kesme hızlarında Inconel 718 için uygun bulunmuştur. Kaplamalı olan diğer iki kare şekilli kesici takım KC 935 ve KC 9225, Inconel 718'in işlenmesinde temas alanının dar olması sonucunda kesici uçta oluşan yüksek sıcaklık, kaplama malzemesi altında bulunan ana malzemede kobalt fazında termal gevşemeye neden olmuştur. Bunun sonucu olarak kaplama malzemesinin plastik deformasyonundan dolayı bu iki kesici takım (KC 935 ve KC 9225) çabuk aşınmış ve uygun görülmemiştir.
- 8- Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik takım (KYON 4300 SNGN), $V=150$ m/min.'lik kesme hızında $V_{BB}=0.13$ mm, $R_a=1,22$ μm ve $F_c = 852,52$ N, $T_c = 4,57$ dakika'lık kesme süresi ve 273 cm³'lük talaş kaldırma hacmi ile dört seramik takım içerisinde en uygun görülmüştür. Silikon nitrit esaslı seramik takım KYON 2100 SNGN, $V=150$ m/min.'de $R_a=1,42$ μm ile ikinci, whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik takım KYON 4300 RNGN üçüncü, silikon nitrit esaslı seramik takım KYON 2000 RNGN dördüncü sırada yer almıştır. Kare şekilli seramik uçlu takımlar, yuvarlak şekilli seramik uçlu takımlara göre yüzey kalitesi yönünden daha iyi performans ortaya koymuşlardır. Kesme hızı arttıkça, her dört kesici takımında yüzey pürüzlülüğü artmıştır. En yüksek R_a değeri KYON 4300 SNGN ile $V=300$ m/min.'de $R_a=2.1$ μm olmuştur. Kare şekilli seramik takımlarda ortalama pürüzlülük değeri R_a , $1,22-2,1\mu m$ arasındayken yuvarlak şekilli seramik takımlarda R_a , $1,65-1,96$ μm arasında olmuştur.
- 9- Dört farklı seramik kesici takım içerisinde en düşük ortalama yan kenar aşınma alanı genişliği, $V=150$ m/min.'de whisker takviyeli alüminyum oksit

($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$) KYON 4300 SNGN ile $V_{BB}=0.13$ mm, en düşük yüzey pürüzlülük değeri, $V=150$ m/min.'lik kesme hızında, whisker takviyeli alüminyum oksit ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$) KYON 4300 SNGN ile $R_a=1,22$ μm , en düşük asıl kesme kuvveti, F_c , $V=250$ m/min.'lik kesme hızında KYON 2000 RNGN ile 577 N elde edilmiştir.

10- Seramik uçlu takımlarda genelde yan kenar, krater, çentik ve plastik deformasyon aşınmaları oluşmuştur. RNGN yuvarlak takımlarda, talaş derinliğinde çentik daha hakim iken, SNGN kare takımlarda, daha çok yan kenar ve krater aşınması hakim olmuştur. Ortalama yanak aşınması bakımından 150 m/min.'de sadece kare şekilli seramik takımlar dayanıklı görülürken, 200 m/min.'lik kesme hızında her dört kesici takım iyi performans göstermişlerdir. KYON 4300 SNGN hariç, diğer üç seramik takım, ($V=250$ m/min.) kesme hızında aşınma kriteri, $V_{BB}=0.3$ mm'nin altında kalarak iyi performans göstermişlerdir. Takımların hepsi $V=300$ m/min.'lik kesme hızında aşınmaya karşı dayanıksız görülmüştür.

11- Kesme hızı arttıkça KYON 2100 SNGN hariç, diğer üç kesici takımda asıl kesme kuvveti F_c azalmıştır. Kare şekilli kesici takımlarda, asıl kesme kuvveti daha düşük ve daha kararlı bir seyir izlerken, yuvarlak şekilli seramiklerde daha büyük ve daha düzensiz oluşmuştur. whisker takviyeli alüminyum oksit ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$) seramik takım (KYON 4300 SNGN), silikon nitrit esaslı seramik takım (KYON 2100 SNGN) ile benzer durum göstermiş ve asıl kesme kuvveti 634 ile 852 N arasında kalmıştır. Diğer iki RNGN seramik takım ise, daha yüksek kesme kuvvetlerine gereksinim duymuşlardır (577-1466 N). Kesme hızı ilk başlangıç değerine göre % 500 artırıldığında, KYON 2100 SNGN'de asıl kesme kuvveti F_c 'de % 11,9 artma olmuştur. Geri kalan diğer üç kesici takımda ise, asıl kesme kuvveti F_c , KYON 4300 SNGN'de, % 23,2, KYON 2000 RNGN'de, % 27,1 ve KYON 4300 RNGN'de, % 88,92 azalma olmuştur.

12- İşlenebilirlik değerlendirmesi yapılırken, işlenen malzemenin ortaya koyduğu yüzey kalitesi, kullanılan kesici takımın performansını ortaya koymada esas

kriter olarak alınmıştır. Örneğin yüzey kalitesi esas alınarak işleme yapılacaksa whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik takımında (KYON 4300 SNGN), takım ömrü daha az olmasına rağmen 150 m/min.'lik kesme hızında daha kaliteli yüzey oluşmuştur. Bunun aksine yüzey kalitesinin ikinci planda düşünüldüğü durumlarda whisker takviyeli alüminyum oksit ($Al_2O_3+SiC_w$) seramik takım (KYON 4300 RNGN) ile $V=250$ m/ min. kesme hızında daha uzun takım ömrü görülmüştür.

7.2. Öneriler

- 1-Kesme şartları belirlenirken, TS 10329 rehber alınarak uygulanan kesme parametreleri, Inconel 718 için pek çok kesme operasyonunda ağır gelmiş ve bu şartlara kesici takımlar uygun düşmemiştir, kesme şartları kısmen sementit karbür takımlara uygun düşerken, çoğu seramik kesici takımında bu kesme parametreleri ağır gelmiştir. Daha düşük talaş derinliği ile daha düşük ilerleme hızı tercih edilmelidir. Özellikle talaş derinliği 2 mm' den 1,5 mm' ye, ilerleme hızı 0,20 mm/rev.'den 0,12 mm/rev.'e indirilmesi, kesici takımın kesme performansını arttıracak ve daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.
- 2- Seramik uçlu takımlar ile Inconel 718' in CNC torna tezgahında işlenmesinde 250 m/ min.'lik kesme hızlarının üzerindeki kesme hızları ile $f=0,20$ mm/rev. ve $d=2$ mm' nin üzerindeki parametre değerleri, takım ömrü bakımından fazla denenmemelidir. Çünkü Kesici takımlar Inconel 718' i işlerken kırılmalara karşı son derece hassastırlar. Hassas ve pahalı olan bu takımlar, daha yüksek kesme hızlarında hemen aşınmakta ya da kırılabilmektedir.
- 3- Sementit karbür kesici takımlar ile Inconel 718 işlenirken yuvarlak şekilli takımlar tercih edilmeli, ancak seramik kesici takımlar ile işlemede kaliteli bir yüzey elde etmede kare şekilli seramik kesici takımlar, kaba tornalamada ise yuvarlak şekilli seramik kesici takımlar tercih edilmelidir.

4-Literatür bulgularında dikkat çekilen, ancak bu çalışmada ele alınmayan ve çalışılması önerilen araştırma konuları şunlardır:

-Çentik oluşumunun azaltılması ile ilgili bir çalışma yapılması, farklı talaş derinliğinde talaş kaldırmanın çentik oluşumuna katkısı,

-İşleme esnasında yüksek basınçlı soğutma sıvısı ile normal basınçlı soğutma sıvısının talaş kaldırmadaki etkileri,

-Zengin oksijen ortamında Inconel 718' in işlenmesi esnasında oluşan çentik ile zengin azot ve argon ortamında oluşan çentik durumunun karşılaştırılması,

-30 m/min.' i aşan kesme hızlarında nikel esaslı süper alaşımların, sementit karbür takımlar ile işlenmesinde kobalt fazındaki termal yumuşaklıktan dolayı takımın bozulmasını engelleyen kaplama türlerinin belirlenmesi,

-Seramik ve karbür kesici takımlar ile işlemede kesici takımın yaklaşma açısının takım ömrüne etkisi gibi konular araştırılmasında yarar görülen konulardır.

KAYNAKLAR

1. Chouldhury, I. A., El-Baradie, M. A., "Machining nickel base superalloys: inconel 718", *Proc Instn Mech Engrs*, Vol 212, Part B, 195-205 (1997).
2. Ezugwu, E. O., Wanga, Z. M., Machadop A. R., "The machinability of nickel-based alloys: a review", *Journal of materials Processing Technology*, Volume 86, Issues 1-3, 1-16 (1998).
3. Field, M., "Machining aerospace alloys", *Iron and Steel Institute, Special Report 94*, 151-160 (1968).
4. Warbuton, P., "Problems of Machining Nickel-Based Alloys", *Iron and Steel Institute, Special Report 94*, 151-160 (1967).
5. Chouldhury, I. A, El-Baradie, M. A., Machinability assessment of nickel based alloys: tool life in turning Inconel 718, *In Proceedings of the Sixth Cario University International MDP Conference*, 233-240, Cario, Egypt (1996).
6. Bartlay, E., "Super Alloys a Technical Guide", (1988).
7. Sims, C.T., Hagel, W.C., *The Superalloys Wiley*, New York p 25 (1972).
8. Loria, E. A., "Recent development in the progress of super alloy 718", *J. Maler, Sci*, 44 (6), 33-36 (1992).
9. Ezugwu, E. O., Bonney, J., Yamane, Y., "An overview of the machinability of aeroengine alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 134, 233-253 (2003).
10. White, C. H., "Nickel Base Alloys", *Wiggin Alloy*.p 12 (1986)
11. "Metals Handbook, 10th edition", *ASM international*, USA p 56 (1990).
12. Chouldhury, I. A., "Machinability studies of high strength materials and the development of a data base system", PhD thesis, *Dublin City University* (1995).
13. Brandt, G., Gerendas, A., Mikus, M.W., "Car mechanics of ceramic cutting tools when machining ferrous and non-ferrous alloys", *J. European Ceramic Soc.*, 6 (5), 273-290 (1990).
14. Richards, N., Aspinwall, D., "Use of ceramic tools for machining nickel-based alloys", *Int. J. Mach. tools Manuf.*, 294, 575-588 (1989).

15. Li, R. B., Yao, M., Liu, W. C., He X. C., "Isolation and determination for δ , γ' and γ'' phases in Inconel 718 alloy", *Scripta Materialia*, 46, 635-638 (2002).
16. Arunachalam, R., Mannan, M. A., "Machinability of nickel-based high temperature alloys", *Machining Science and Technology*, Vol 4, Issue 1, 127-168 (2000).
17. Drozda, T. J., "Ceramic tools find new applications", *Manuf. Eng.* 87, pp. 34-39 (1985).
18. Hunn, J. D., Lee, E. H., Byun, T. S., Mansur, L. K., "Ion-irradiation-induced hardening in Inconel 718", *Journal of Nuclear Materials*, 296, 203-209 (2001).
19. Goessler, F.W., "High-speed machining of aircraft engine alloys, Proc." *Int. Conf. on High Productivity Machining Materials and Processing*, New Orleans, Louisiana, 7-9, 57-67 (May 1985).
20. Shaw, M. C., "Metal cutting principles", *Oxford University Press*, pp102,103(1989).
21. Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", *Nobel Yayın Dağıtım* pp45,46(2000).
22. Şahin, Y., "Talaş kaldırma prensipleri 2", *Nobel Yayın Dağıtım* pp58,59(2001).
23. Groover, M. P., "Fundamentals of modern manufacturing- Materials, processes and systems", *Prentice Hall Inc.*, pp65,66(1996).
24. Ezugwu, E. O., Wang, Z. M., "Performance of PVD and CVD coated tools when nickel-based machining Inconel 718 alloy". IN: N.Narutaki et al. *Progress of Cutting and Grinding III*, 102-107 (1996).
25. Wang, Z. M., Ph.D Thesis, *South Bank University*, London, pp78,79(1997).
26. Shintani, K., Kato, H., Maeda, T., Fujimera, Y., Yamamoto, A., "Cutting performance of CBN tools in machining of nickel-based superalloy", *J. Precis, Eng.* 58 10, 63-68 (1992).
27. Niemi, R.M., "Integrity prediction", *SME Technical Paper*, Dearbon, Michigan, pp46 (1971).
28. Ezugwu, E. O., Tang, S. H., "Surface abuse when machining cast iron and nickel base superalloy (Inconel 718) with ceramic tools", *Proc. 9th Irish Manuf. Conf.*, Dublin, Sept., 436-450 (1992).

29. Ezugwu, E. O., Pashby, I. R., "High speed milling of nickel-based superalloys". ***J.Mater Proc.technol.*** 3 , 429-437 (1992).
30. Khamsehazadeh, H., "Behaviour of ceramic cutting tools when machining superalloys", PhD Thesis, pp125 (1991).
31. Ezugwu, E. O., Machado, A. R., Pashby, I. R., Wallbank , J., "The effect of high-pressure coolant supply". ***Lub. Eng.***, 47 9, 751-757 (1990).
32. Bhattacharya, S. K., Jawaid, A., "Tool life and wear mechanism of sialon ceramic tools when machining nickel-based materials", ***Proc. 5th Int. Conf. on Prod. En***, 203-208 (1984).
33. Akkurt, M, "Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları", İstanbul pp36 (1981).
34. Li, L., He, N., Wang, M., Wang, Z. G., "High speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts", ***Journal of Materials processing Technology***, 129, 127-130 (2002).
35. Bhattacharya, S. K., Pashby, I. R., Ezugwu, E. O., "Machining of INCO 718 and INCO 901 superalloys with Sic-whisker reinforced Al₂O₃ composite ceramic tools", ***Prod. Eng***, Osaka, 176-181 (1987).
36. Focke, A. E., Westermann, F. E., Eemi, A., Yavelak, J., Hoch, M., "Failure mechanism of superhard materials when cutting superalloys", ***Proc. 4th Int.-Am.Conf.***, China, A 268-296 (April 1991).
37. Amstead, B. H., Ostwald, P. F., Begeman, M.L., "Manufacturing processes", Eighth Edition, ***John Wiley & Sons***, (1987).
38. Baker, R. D., "Kyon 2000: A new world of high and performance", ***Carbide Tool J.12***, pp. 10-18 (May 1982).
39. Brecht, M. P, "Dynamics of the metal cutting process", ***ASME Journal of Engineering for Industry***, Vol. 87, 21-441 (1965).
40. Boothroyd, G., "**Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools**" pp 49 (1982).
41. Burtekin, M., Kılıç, S.E., "The Measurement of Dynamic Cutting Force Data and its Application to the Prediction of Chatter", ***Journal of Engineering Science***, Vol. .139-145 (1982).
42. De Garmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A., "Materials and processes in manufacturing", ***Prentice-Hall Inc.***, (1997).

43. Jindal, P. C., Santhanam, A. T., Schleinkofer, U., Shuster, A. F., "Performance of PVD TiN, TiCN, and TiAlN coated cemented carbide tools in turning", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 17, 163-170 (1999).
44. Narutaki, N., Yamane, Y., Hayashi, K., Kitagawa, T., Uehara, K., "High Speed machining of Inconel 718 with ceramics tool", *Ann. CIRP*, 42(1), 103-106 (1993).
45. Bhattacharyya, S. K., Pashby, I. R., Ezugwu, E., Khamseh-zadeh, H., "Machining Inco 718 and Inco 901 super alloys with SiC_w whisker reinforced Al₂O₃ composite ceramic tools", *In Proceedings of the Sixth International Conference on Production Engineering*, Osaka, Japan, 176-181 (1987).
46. Wei, G. C., Becher, P. F., "Development of SiC whiskers reinforced ceramics", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 64, 298. (1985).
47. Ezugwu, E. O., Tang, S. H., "Surface abuse when machining cast iron (G-17) and nickel-base super alloy (Inconel 718) with ceramic tools", *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 55, Issue 2, 63-69 (1995).
48. Lu, M. C., Hsueh, C. H., "Effects of friction in ceramic coating / fibre composites", *L Compos. Mater.* 24, 132. (1990).
49. Wei, G. C., Becher, P. F., "Development of SiC_w whiskers reinforced ceramics", *Am. Ceram. Soc. Bull.* 64, 298. (1985).
50. Gatto, A., Iuliano, L., "Advanced coated ceramic tools for machining superalloys", *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, vol. 37 No.5, 591-605 (1997).
51. Kramer, B. M., Hartung, P. D., *Proc. Int. Conf. Of Cutting Tool Mat*, Fort Mitchell, KY, 57-74 (1980).
52. Wright, P. K., Chow, J. G., "Deformation characteristics of nickel alloys during machining". *Trans. ASME, J. Engng. Mater. Technol.*, 104, 85-93 (1982).
53. Shaw, M. C., "Metal Cutting Principles", *Oxford University Press*, New York pp 45 (1986).
54. Wardany, T. I. El., Mohammed, E., Elbestawi, M. A., "Cutting temperature and wear of ceramic tools in high speed machining of difficult-to-cut materials", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 36, Issues 5, 611-634 (1996).
55. Liao, Y. S., Shiue, R. H., "Carbide tool wear mechanism in turning of Inconel 718 superalloy", *Wear*, Volume 193, Issue 1, 16-24 (1996).

56. Gatto, A., Iuliano, L., "High Speed machining of nickel- base superalloys, tool wear pattern and chip features", **Report to CIRP STC 'C'** (1993).
57. Felloni, L., Gatto, A., Lppolito, R., Iuliano , L., "Wear mechanisms of a SiCw whiskers reinforced ceramic tool in high speed machining of Inconel 718 and C 40 steel", **1 st AITEM Congress**, Ancona, p 21(1993).
58. Coromant Turning Tools 93/94, **AB Sandvik Coromant**, Catalog. p 45
59. Gatto, A., Iuliano, L., "Performances of coated ceramic tools for high speed machining of nickel base super-alloys", **Report to CIRP STC 'C'** (1994).
60. Bhattacharya, S. K., Jawid, A., Lewis, M. H., "Behaviour of sialon ceramic tools when machining cast iron", **Proc. 12th North A.m Manuf. res. Conf**, 265-270 (1984).
61. Arunachalam, R., Mannan, M. A., "Machinability of nickel-based high temperature alloys", **Machining Science and Technology**, Vol. 4, Issue 1, 127-168 (2000).
62. Choudhury, I. A., El-Baradie, M. A., "Journal of Materials Processing Technology, 95, 30-39, turning research by response surface methodology", **Int. J. Prod. Res.** 13(4) (1975) 265-290 (1999).
63. Alauddin, M., El- Baradie, M. A., Hashmi, M.S.J., End milling machinability of Inconel 718", **J. Eng Manuf.** 210, 11-23 (1996).
64. Chouldhury, I. A., El- Baradie, M. A., "Machinability assessment of Inconel 718 by factorial design of experiment coupled with response surface methodology", **Journal of materials Processing Technology**, Volume 95, Issues 1-3, 30-39 (1999).
65. Chouldhury, I. A., El-Baradie, M. A., "Machinability of nickel-base super alloys : a general review", **Journal of materials Processing Technology**, Volume 77, Issues 1-3, 278-284 (1998).
66. Sandvik, "Modern Metal Cutting", **Sandvik Coromant**, Sweden, Catalog 85 (1994).
67. Recht, R. F., "A dynamic analysis of high speed machining", **Journal of engineering For Industry**, Vol.107, 309-315 (1985).
68. Choudhury, I. A., El-Baradie, M. A., "Machinability of nickel base super alloys: a general review", **Proc. Advances in Materials and Processing Technologies AMPT'95**, Dublin, Ireland, vol. III, 1405-1413 (1995).

69. Rahman, M., Seah, W. K. H., Teo, T. T. , “The Machinability of Inconel 718”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 63 Issues 1-3, 199-204 (1997).
70. Whitney, E. D., Vaidyanathan, P. N., “Engineered ceramics for high speed machining”, *Proc. of Advances in Tool Material for in High Speed Machining*, Scottsdale, 77-82 (1987).
71. Moltrecht, K. H., “Tool failure when turning nickel base high temperature alloys”, *ASME Technical Paper series no. 637*, Presented at Annual Meeting, Detroit, 1-31 (April 1964).
72. Lee, M., Horne, J. G., Tabor, D., “The mechanism of notch formation at dept of cut line of ceramic tools machining nickel-base superalloys”, *Proc. 2nd Int Conf*, Wear Materials Dearborn, MI, 460-464 (1979).
73. Shaw, M. C., Thurman, A. L., Ahlgren, H. J., “A plasticity problem improving plain strain and plain stress simultaneously: Groove formation in the machining of high temperature alloys”, *Trans. ASME (series B), J. Eng. Ind.*, 88-2, 142-146 (1966).
74. Baker, R. D., “Ceramics cutting tools: Application guidelines”, *Carbide Tool J.* 13, 28-35 (Sept. 1981).
75. Suh, N. P., “New theories of wear and their implications for tools materials”, *Wear*, vol. 62, 1-20, Abstract INSPEC/ Abstract-FLUIDEX (1980).
76. Anon, “Cutting Tool Innovations from Carboloy Systems”, *Metal Powder Report No. 39*, 411-412 (July 1984).
77. Bhattacharya, S. K., Jawaid, A., Lewis, M. H., Wallbank, J., “Wear mechanism of sialon ceramic tools when machining nickel based materials”, *Metals Techno.* 10, 71-74 (Dec. 1983).
78. Chow, C. B., Liu, Y. H., Miao, H. C., Lo, Z. P., “Investigation on the cutting performance of silicon nitride ceramic tools”, *Int. Conf. on Manu. Eng*, Melbourne, Australia, 71-74 (Aug. 1980).
79. Reckling, K. S., “New cutting tool tames tough metals”, *Tooling Prod.*, 47, 74-79 (1981).
80. Baker, R. D., “High-velocity cutting tools: Application guidelines”, *Proc. Biennial Int. Mach. Tool Tech. Con*, McLean, VA, 487-529 (Sept 1982).
81. Ezugwu, E. O., Machado, A. R., “Face milling of aerospace materials.” *Proceedings of the 1st Int. Conf. on Behaviour of Materials in Machining*, Stratford-Upon-Avon, England, 3.1-3.11 (1988).

82. Al-Tornachi, M. J. K., Dugdale, D. S., *Proc. 18th MTDR Conf*, 523-528 (1977).
83. Ezugwu, E. O., Jawaïd, A., "The effect of coatings on the performance of carbide cutting tools when machining nickel base, Inconel 718, Superalloy", *Proc. 5th Int. Manuf. Conf.*, China, A.268-A.296
84. Aucote, J., Foster, S. R., "Performance of sialon cutting tools when machining nickel-base aerospace alloy", *Mater. Sci. Technol.* 2 2 700-708 (July 1986).
85. Wright, P. K., Chow, J. G., "Deformation characteristics of nickel alloy during machining", *J. Eng. Mater. Technol. Trans. ASME* 104, 85-93 (April 1982).
86. Worsley, R., "A new generation of turning tools", *Metalworking Prod.* 131, 76-80 (June 1986).
87. Wu, D. W., Liu, C. R., "An Analytical Model of Cutting Dynamics. Part 2: verification", *Journal of Engineering For Industry*, Vol. 107, 112-118 (1985).
88. Narutaki, N., Yamane, Y., Hayashi, K., Kitagawa, T., Uehara, K., "High-speed machining of Inconel 718 with ceramic tools", *Ann. CIRP*, 42(1), 103-106 (1993).
89. Anon, "Sialon ceramics will cut nickel steels at speed", *Prod, Eng.* 18 (Feb.1984).
90. Tonshoff, H. K., Bartsch, S., "Machining of steel cast iron using silicon nitride tools", *Can. Metall.Q.* 284, 353-359 (1989).
91. Ezugwu, E. O., "The performance of Modern Ceramic Cutting Tools in the machining of Cast Iron", *PhD Thesis, University of Warwick*, (1986).
92. König, W., Gerschwiler, K., "Machining nickel-based super alloys with PCBN and ceramic tools", *Report to CIRP STC "C"*(1994).
93. Focke, A. E., Westerman, F. E., Tentseher, P. E., Kemphaus, L., Shih, W. T., Hoch, M., "Growing on flank of cemented carbide tools when cutting Inconel 718". *In Fourth North American Metalwork Research Conference*, 464-468 (1976).
94. Inconel 718 malzeme satın alma raporu (10.02.2001).
95. TEİ üretim dokümanları Alfa yayınevi(2002).
96. TEİ Kataloğu Alfa yayınevi(1994).

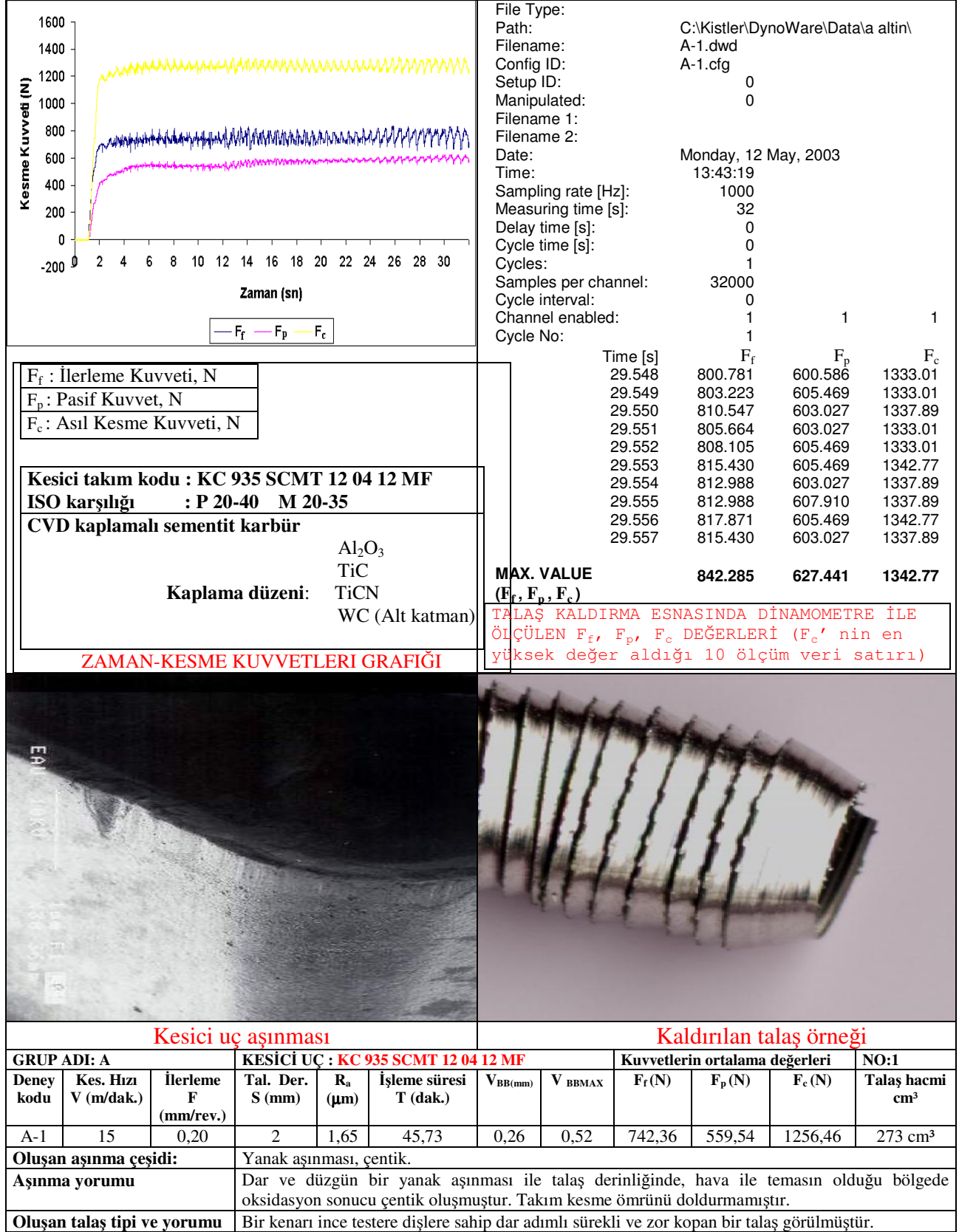
97. Kenna metal kataloğu Turning 501.00 GB Beta yayınevi(1996)
98. Kenna metal kataloğu Turning applications Workbook Beta yayınevi(1998).
99. SECO kataloğu Beta yayınevi(1998).
100. Focke, A. E., Westerman, F. E., Ermi, A., Yavelak, I., Hoch, M., “Failure mechanisms of superhard materials when cutting superalloys”. *In Proceedings of the Fourth International American Conference on Materials Technology*, 488-497, Caracas, Venezuela (1975).
101. TSE 10329/ Torna kalemleri ömür deneyi Alfa yayınevi(Haziran 1992).
102. Mfield, “Machining Aerascope Alloys, Iron and Steel Institute”, *Special Report 94*, pp. 15_1-160 (1968).
103. Eldem, S., Barrow, G., *1st J.Technol.* 14, p. 172 (1976).
104. Bhatia, S.M., Pandey, P.C., Shaw, H.S., *Precis. Eng.* 1 3, pp.148-152 (1979).
105. Mekrota, P. K., Billman, E. R., “Tool wear mechanism on Ni-base superalloys”, *Technical Paper TE89- 127*, Soc. of Manu., One SME Drive, 1-21(1989).
106. Anon, “Ceramics make a comeback in the USA”, *Mach. Prod. Eng.* 25 27 (oct. 1979).
107. Wei, G. C., Becher, P. F., “Development of SiC-reinforce ceramics”. *Ceram.Bull.* 64 2, 298-304 (1985).
108. Li, R. B., Yao, M., Liu, W. C., He X. C., “Isolation and determination for δ , γ' and γ'' phases in Inconel 718 alloy”, *Scripta Materialia*, 46, 635-638 (2002).
109. Chouldhury, I. A., El- Baradie, M. A., “Machinability assesment of Inconel 718 by factorial design of experiment coupled with response surface methodology”, *Journal of materials Processing Technology*, Volume 95, Issues 1-3, 30-39 (1999)
110. Maekawa, K. T., Kitagawa, T., Kubo, A., “Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of Inconel 718 and Ti 6Al- 6V-2Sn”, *Wear*, Volume 202, Issue 2, 142-148 (1997).
111. Şen, Z., Çilingiroğlu, N., *Teknik resim* Cilt 1, İstanbul, Beta yayınevi(1994).
112. Özkara, H., *Tesviyecilik, atelye ve teknoloji II*, Tarhan ofset, Ankara (1985).

113. Kalaycıoğlu, B., “CNC tezgahlarda yüksek hızda işleme”, *Turk CAD/CAM Net*
114. Ashinov V, Alexseev G., “Metal cutting Theory and Cutting tool Design”, *Mir Publishers*, Moscow, (1979).
115. Liao, Y. S., Shiue, R. H., “Carbide tool wear mechanism in turning of Inconel 718 superalloy 718”, *Journal of Materials Processing Technology* 55, 321-330 (1995).
116. Itakura, M., Kuroda, H., Omokawa, H., Itani, K., Yamamoto, Y., Ariura, “Wear mechanism of coated cemented carbide tool in coated in cutting of Inconel 718 super heat resisting alloy”, *International Journal of Japanese Society for Precision Engineering* 334, 326-333 (December 1999).
117. Prengel, H. G., Jindal, P. C., Wendt, K. H., Santhanam, A. T., Hedge, P. L., Penich, R.M., “A new class of high performance PVD coatings for carbide cutting tools”. *Surface and Coatings Technology* 139, 25-34 (2001).
118. Ducros, C., Benevent, V., Sanchette, F., “Deposition, characterization and machining performance of multi layer PVD coatings on cemented carbide cutting tools”. *Surface and Coatings Technology* 163-164, 681-688 (2003).
119. Dudzinski, D., Devillez, A., Moufki, A., Larroqere, D., Zerrouki, V., Vigneau, J., “A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 44, Issue 4, 439-456 (March 2004).

EKLER

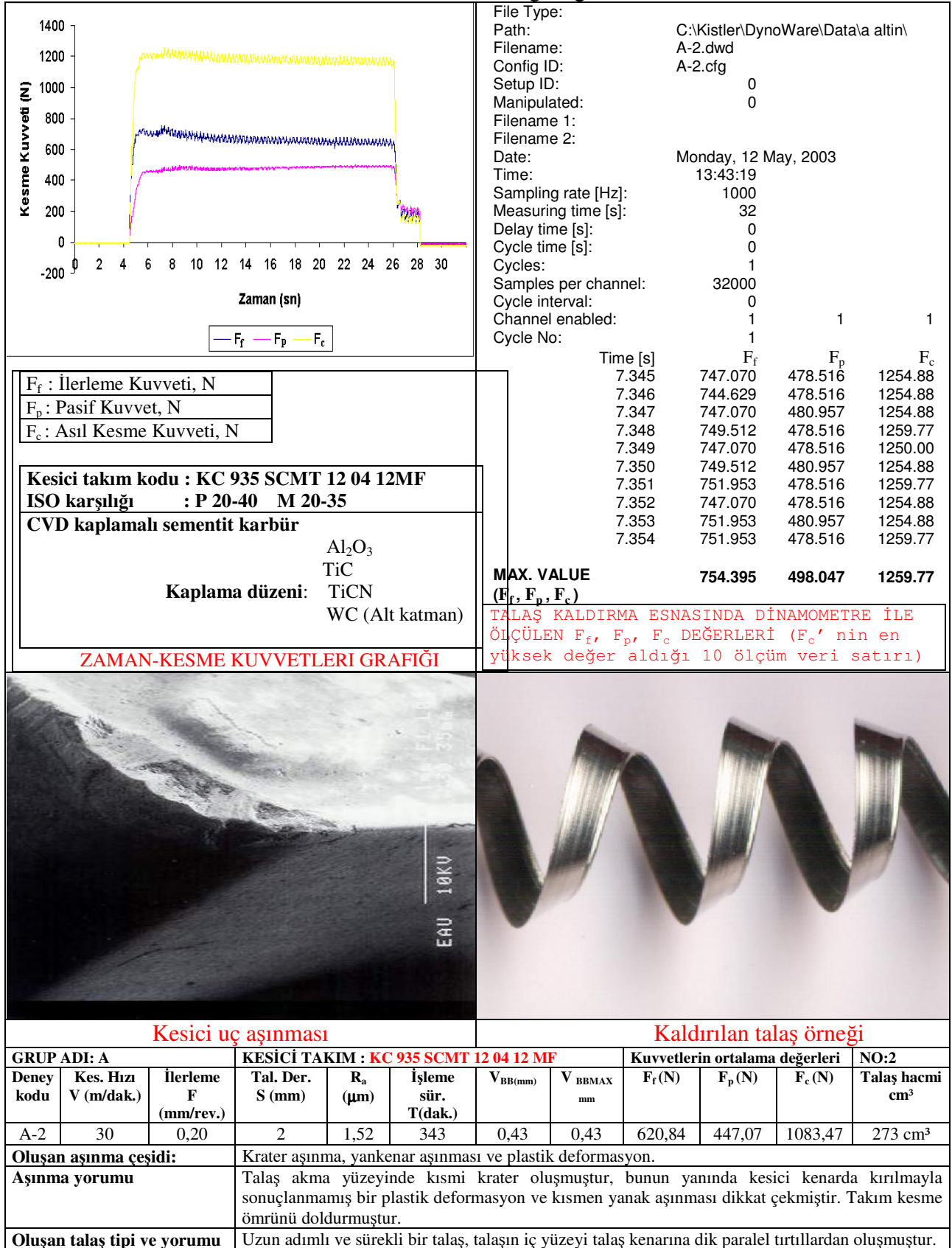
EK-1

KC 935 SCMT 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



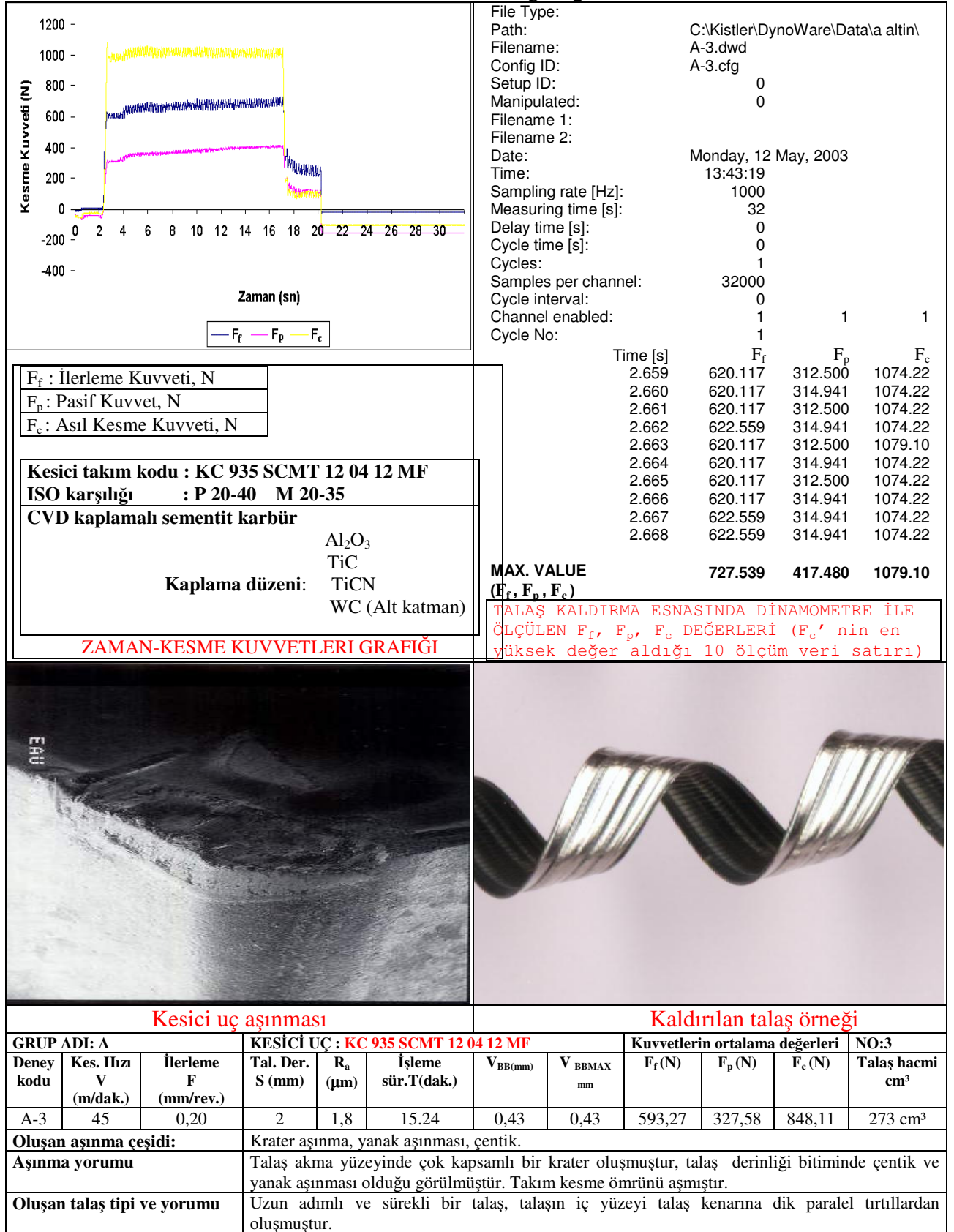
EK-2

KC 935 SCMT 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



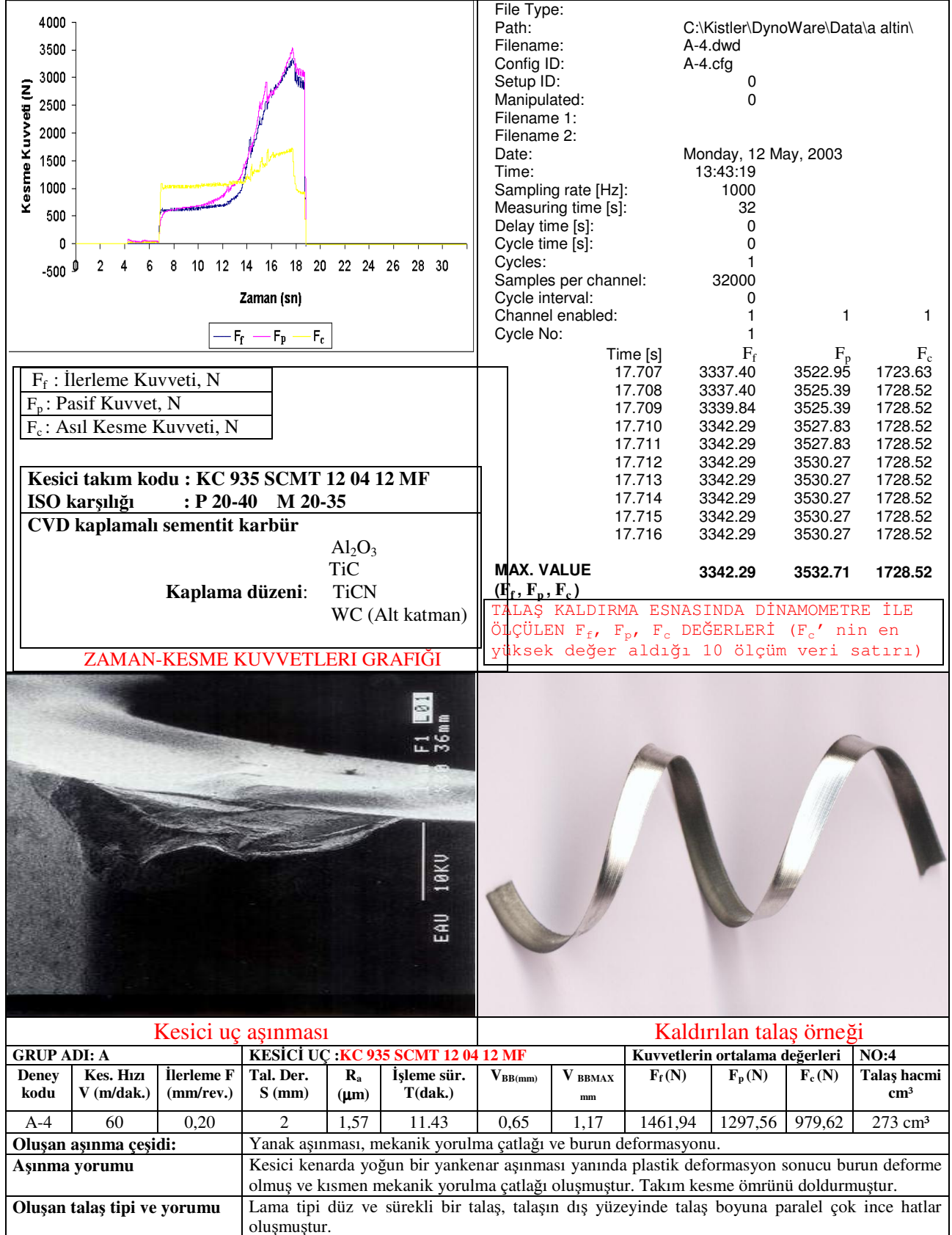
EK-3

KC 935 SCMT 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



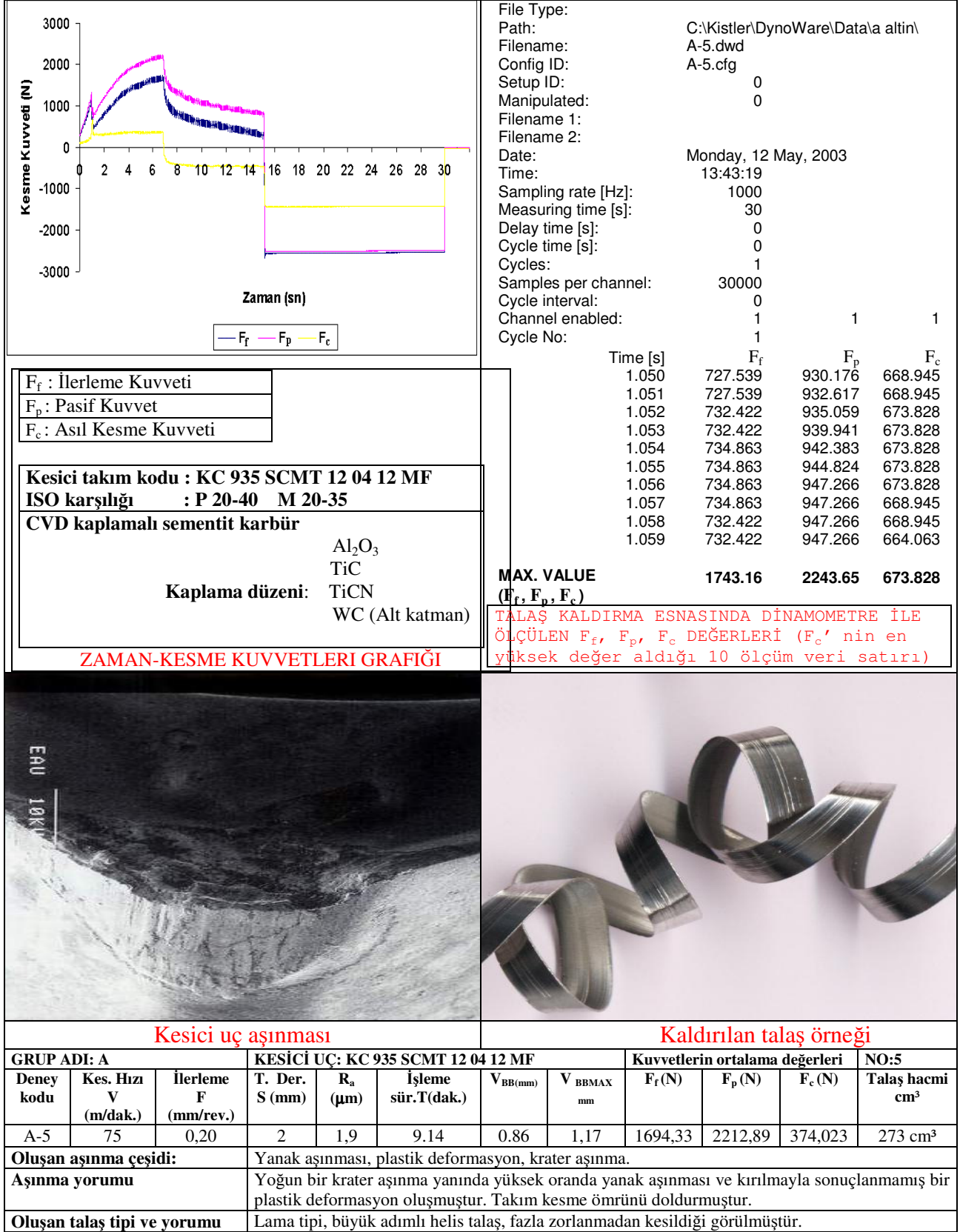
EK-4

KC 935 SCMT. 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



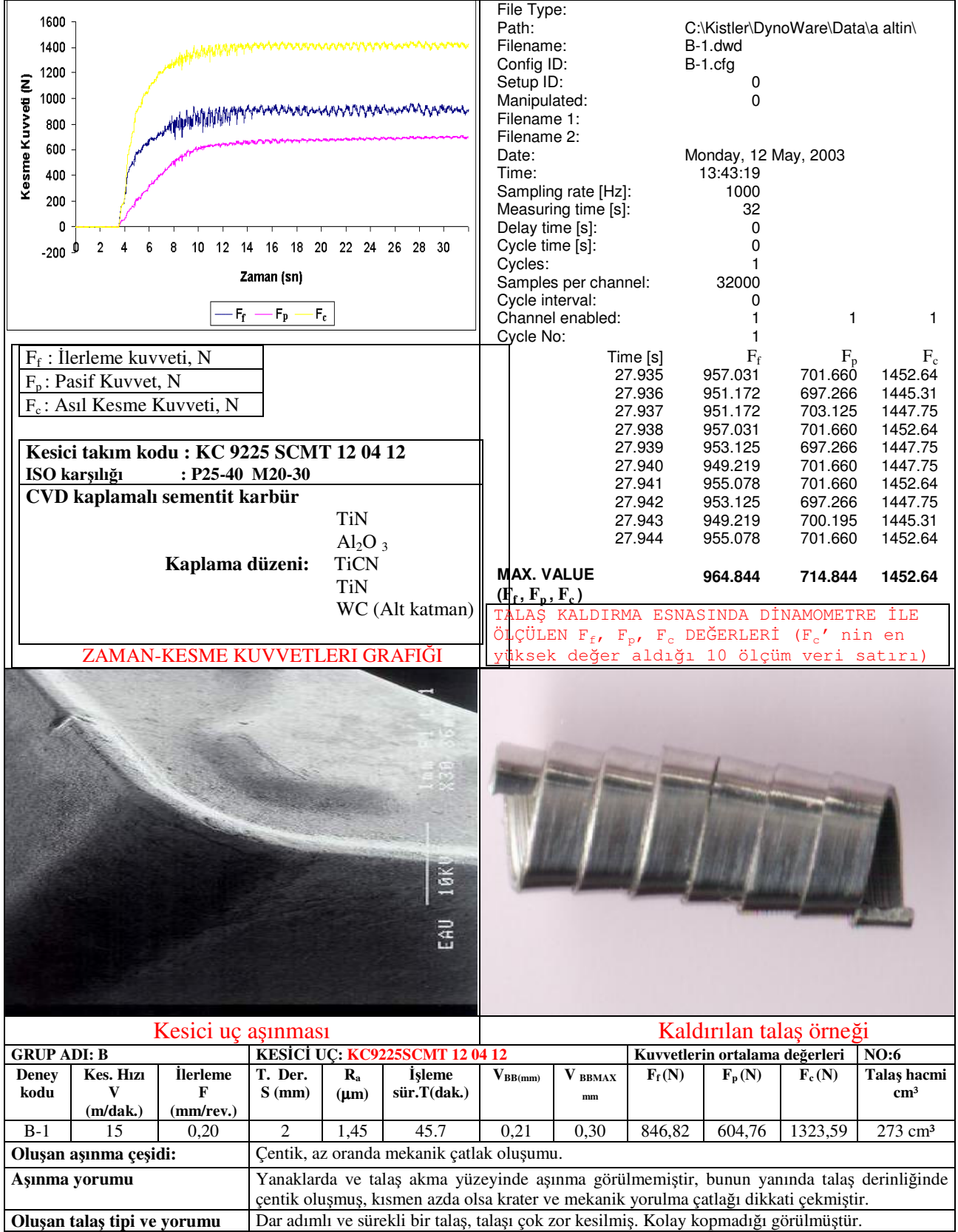
EK-5

KC 935 SCMT. 5. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



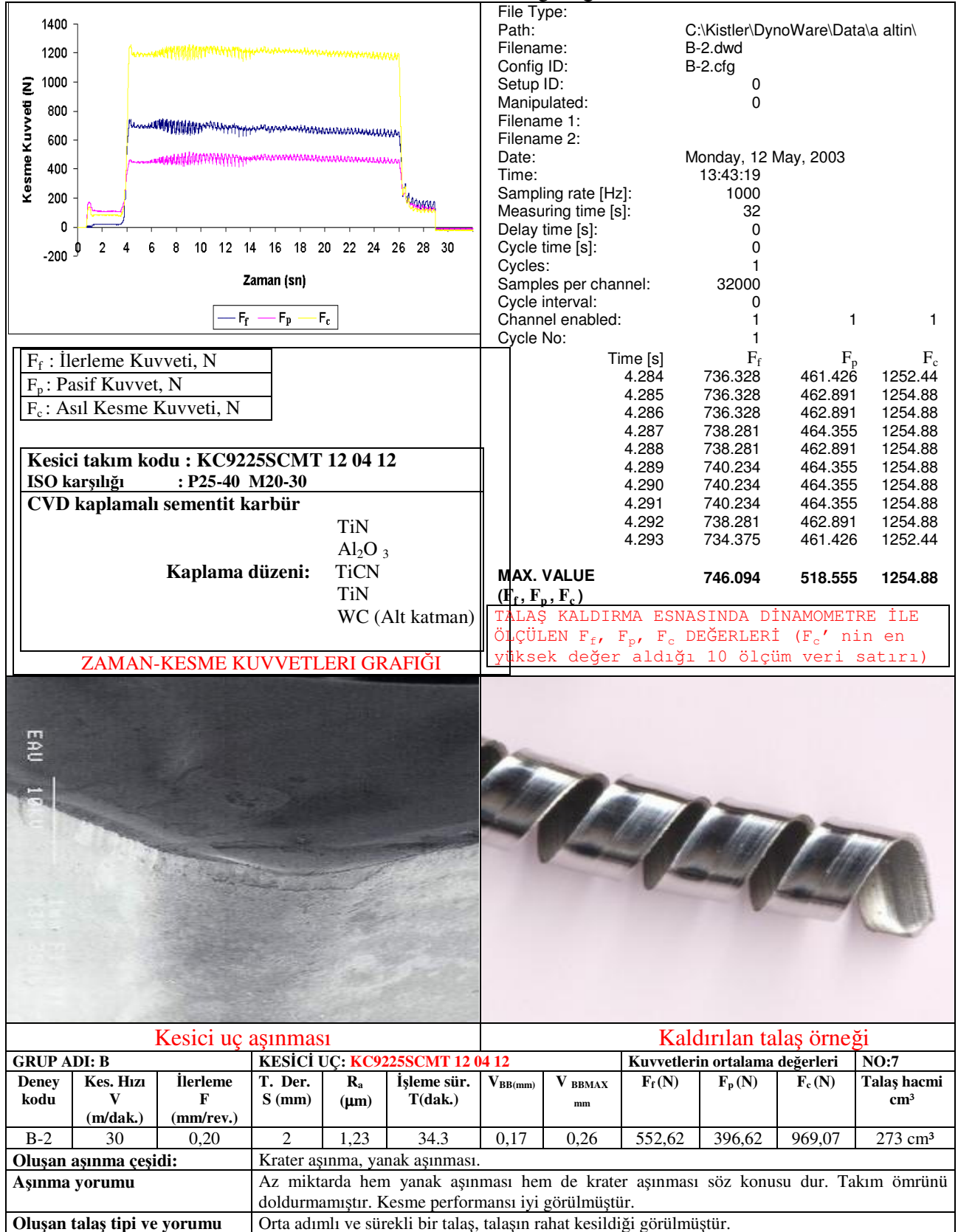
EK-6

KC 9225 SCMT. 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



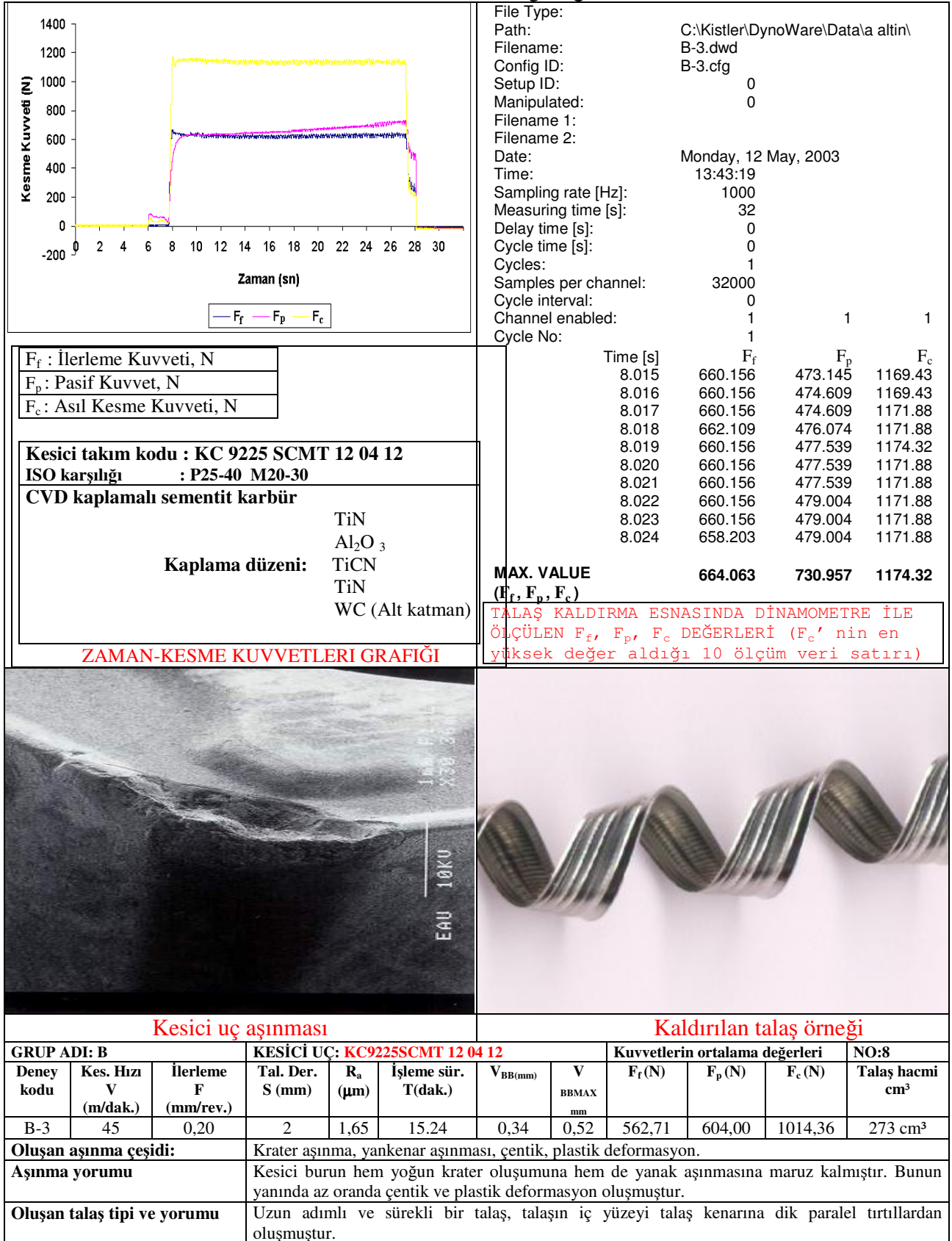
EK-7

KC 9225 SCMT 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



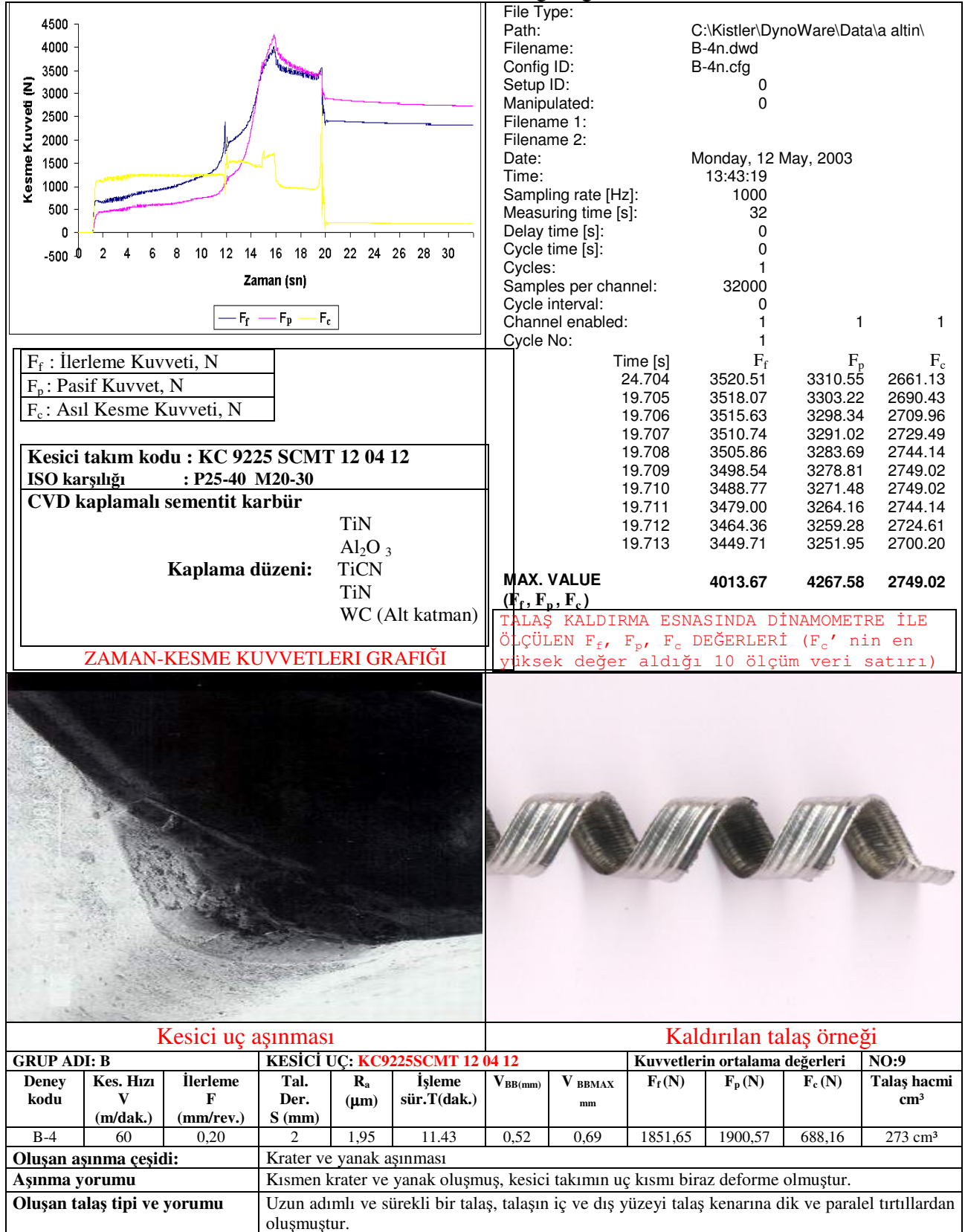
EK-8

KC 9225 SCMT 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



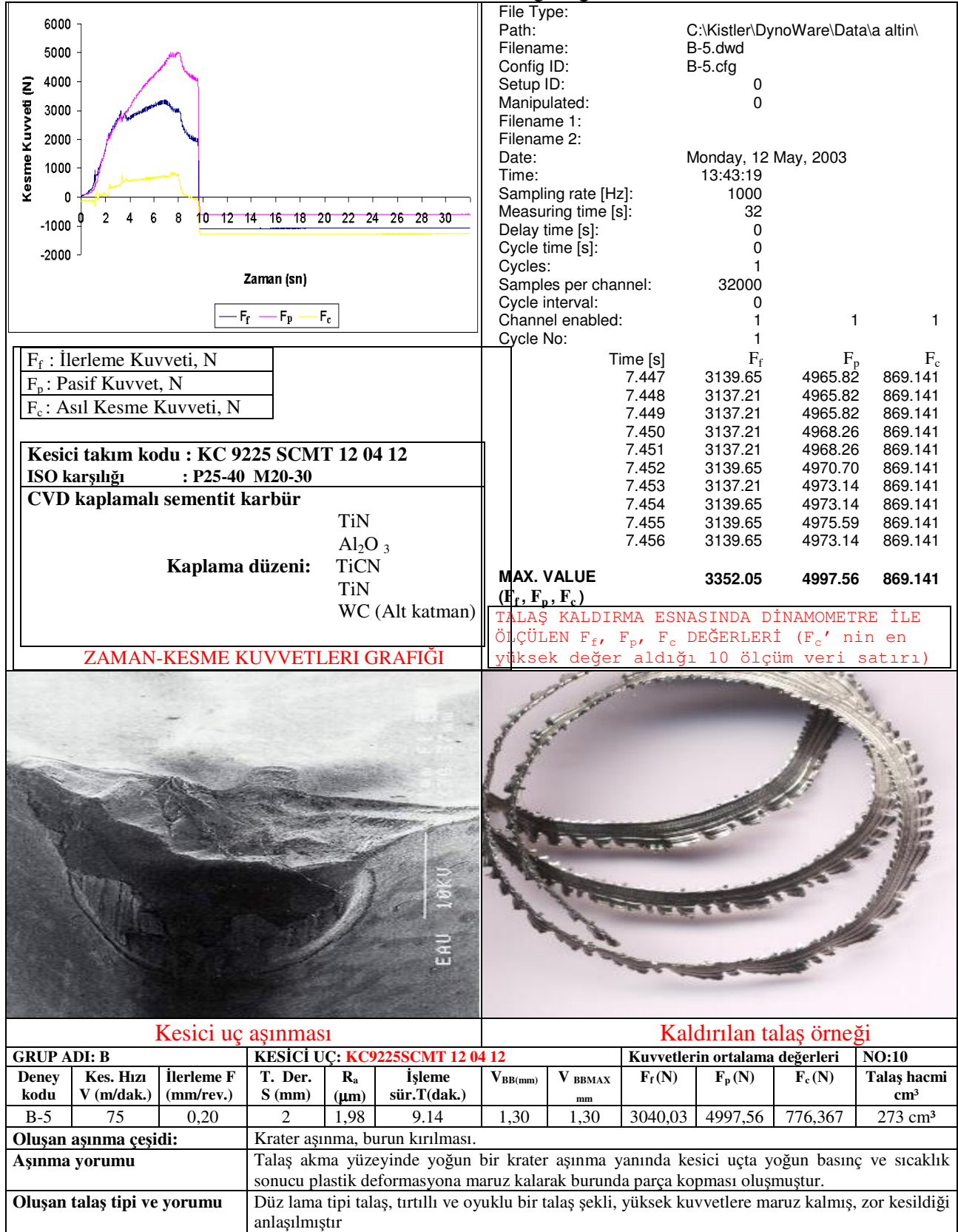
EK-9

KC 9225 SCMT 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



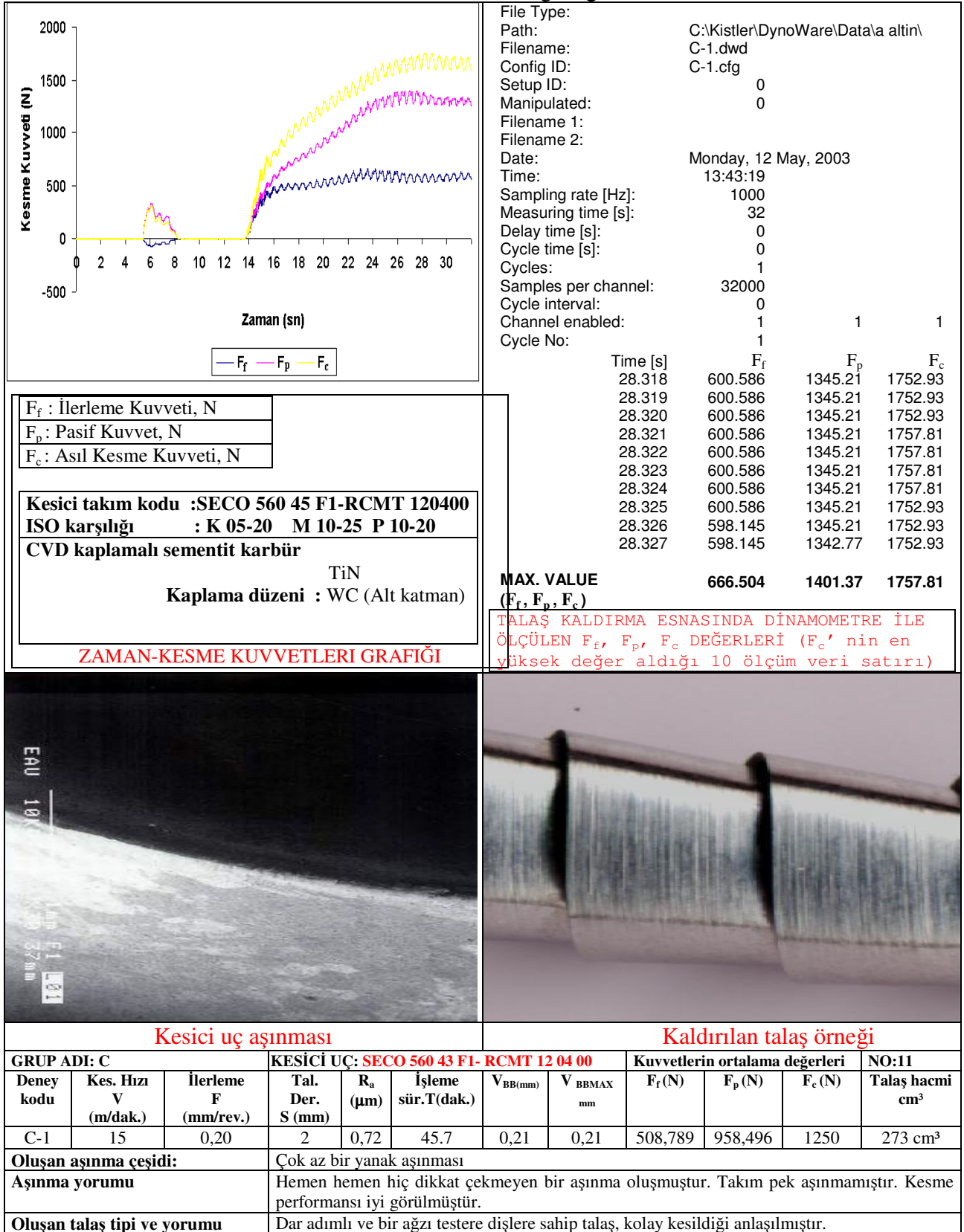
EK-10

KC 9225 SCMT 5. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



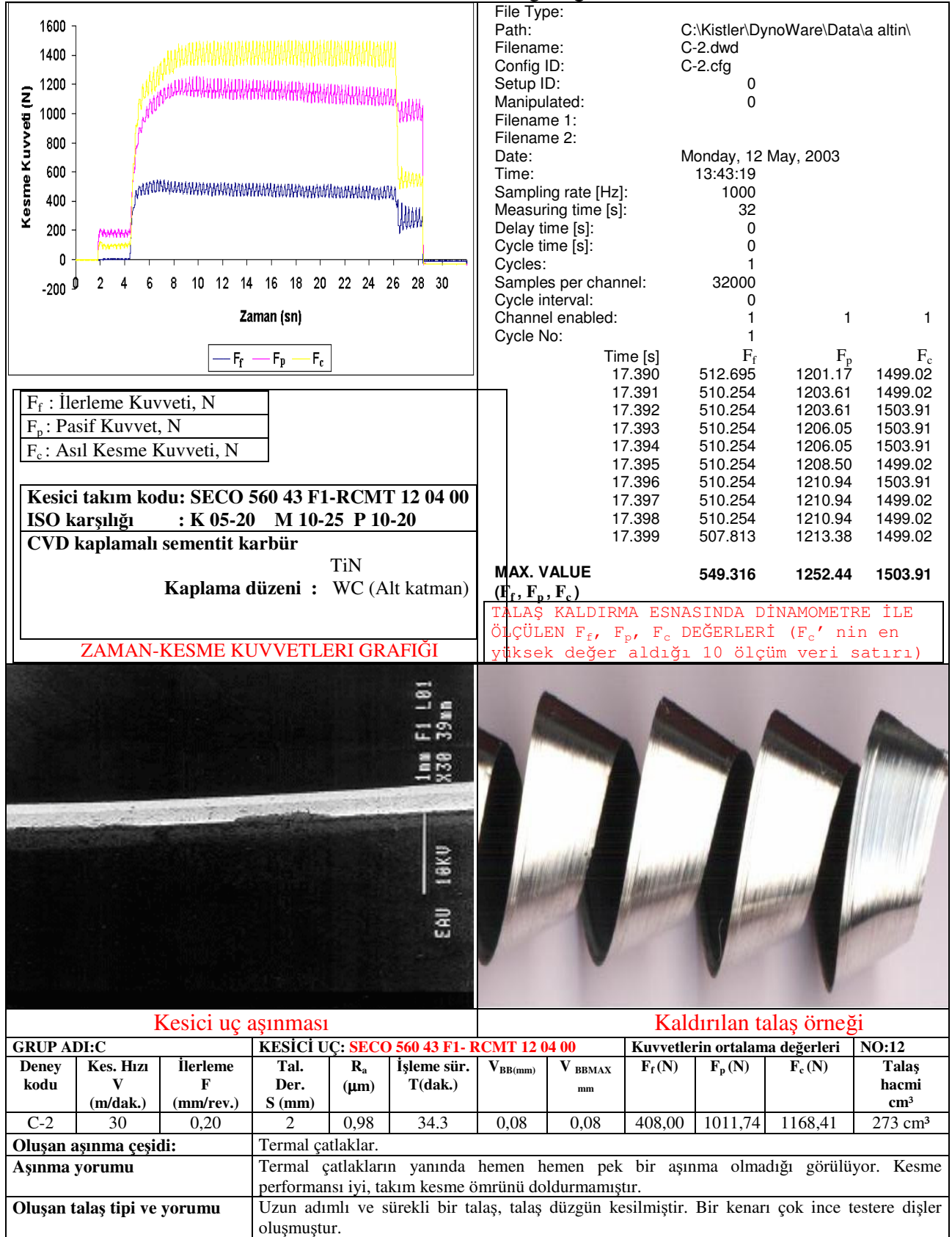
EK-11

SECO 560 45 F1 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



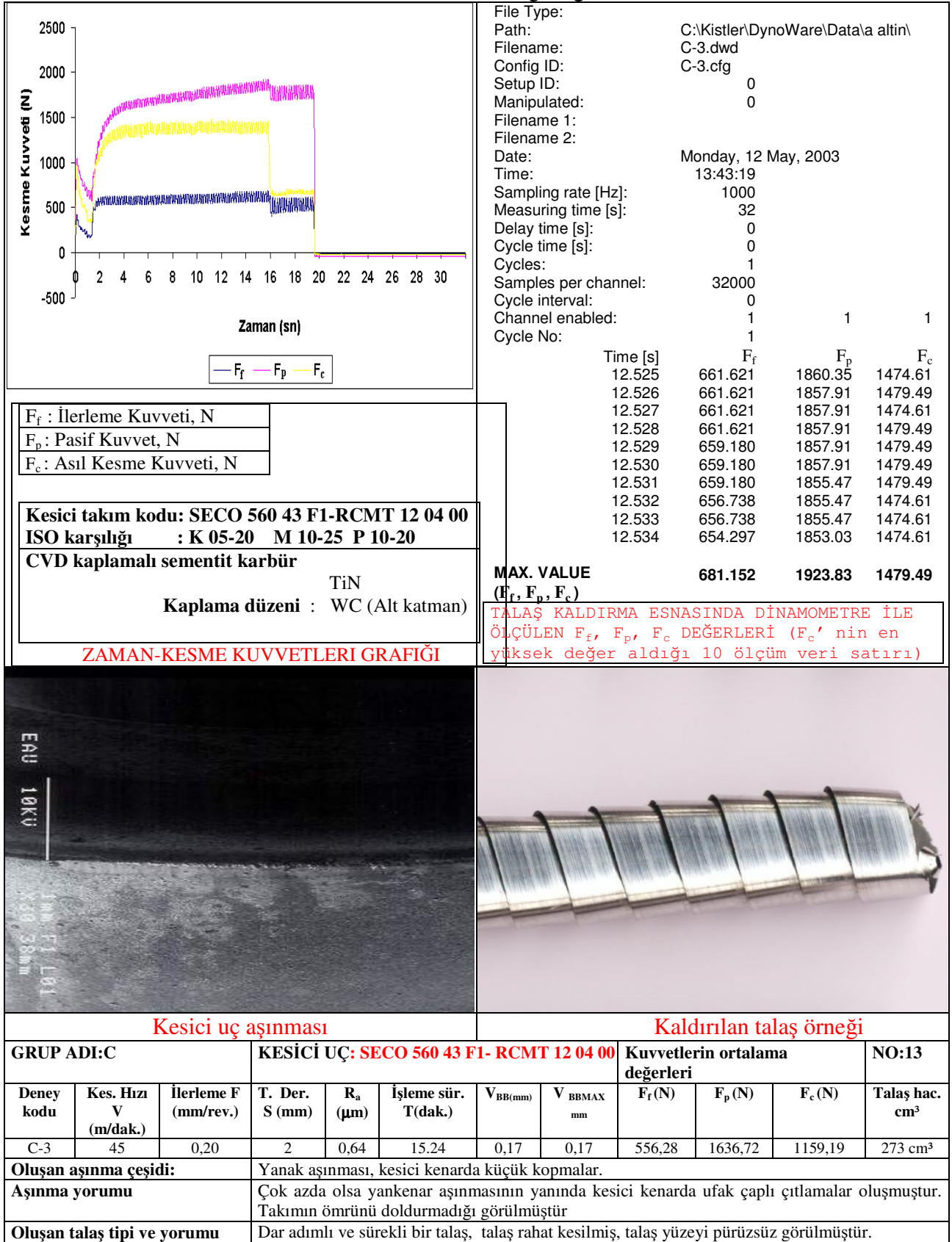
EK-12

SECO 560 45 F1 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



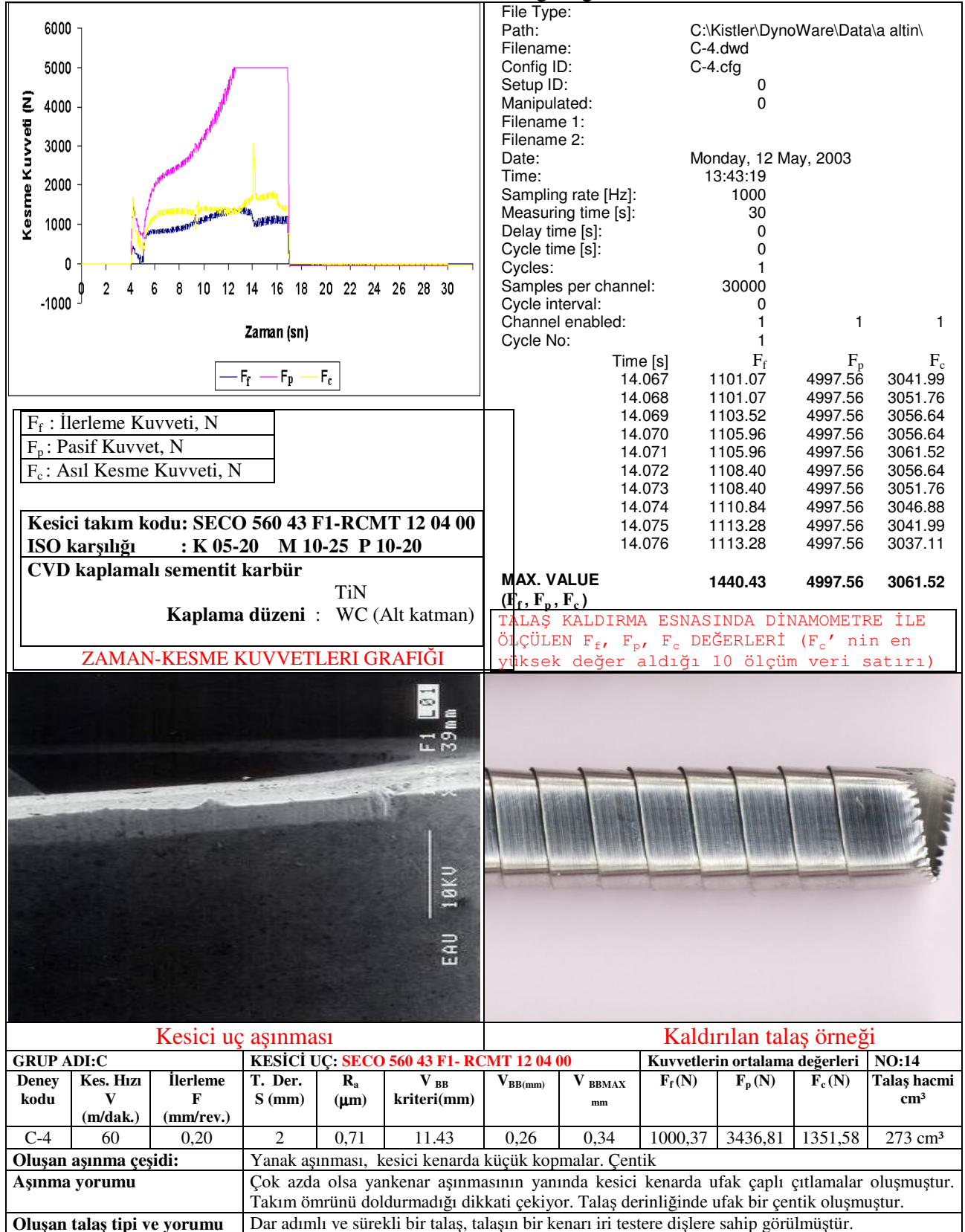
EK-13

SECO 560 43 F1. 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



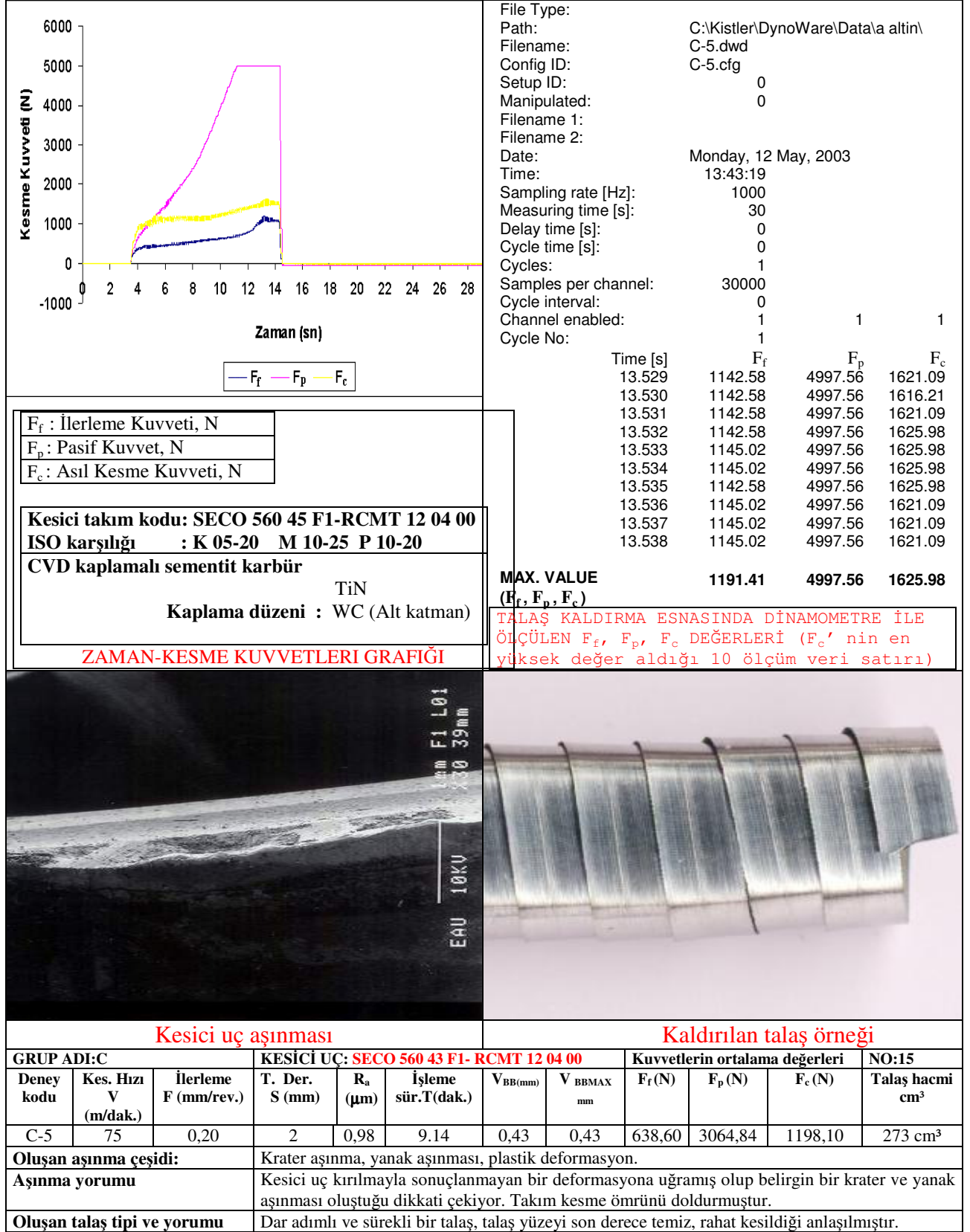
EK-14

SECO 560 43 F1. 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



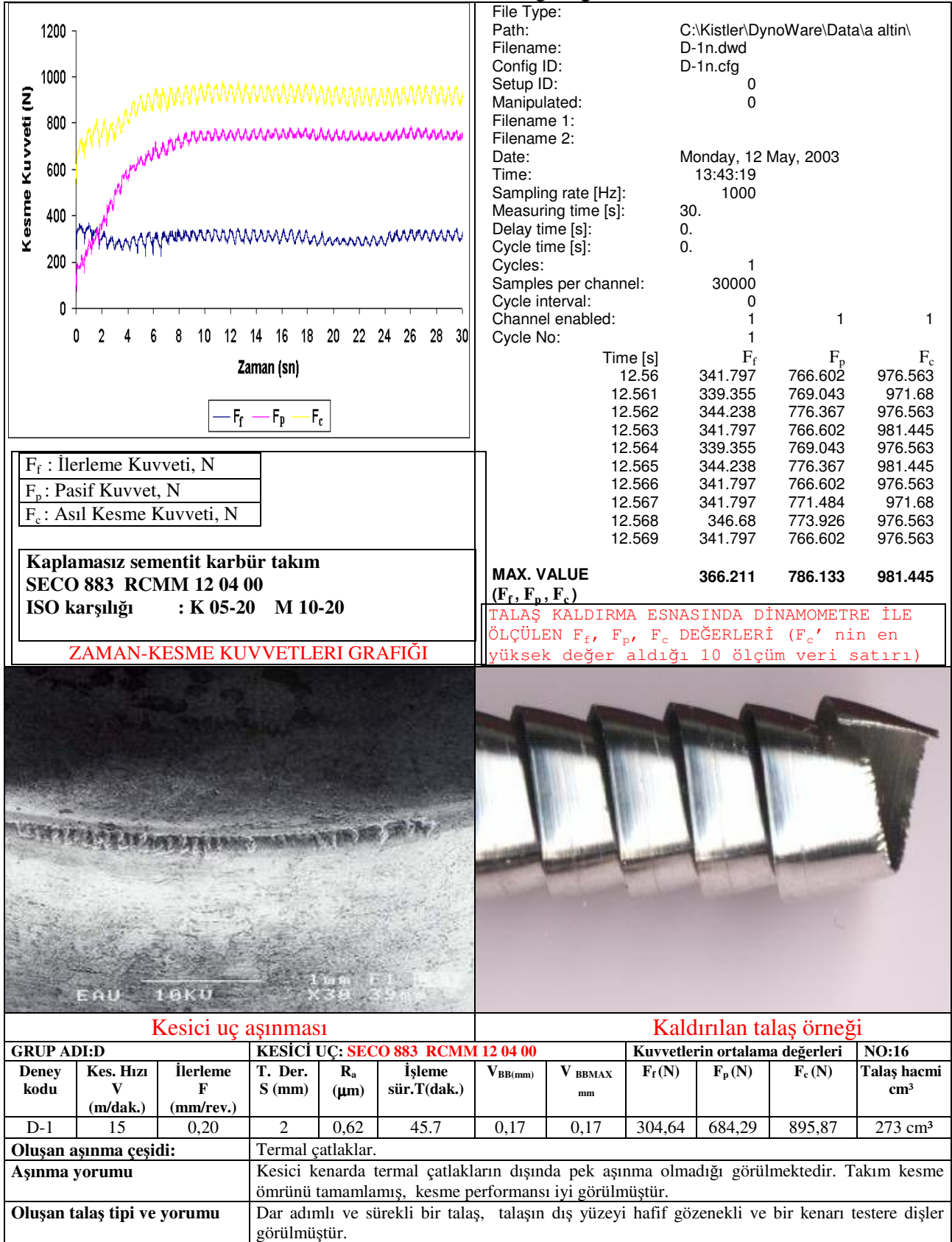
EK-15

SECO 560 45 F1. 5. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



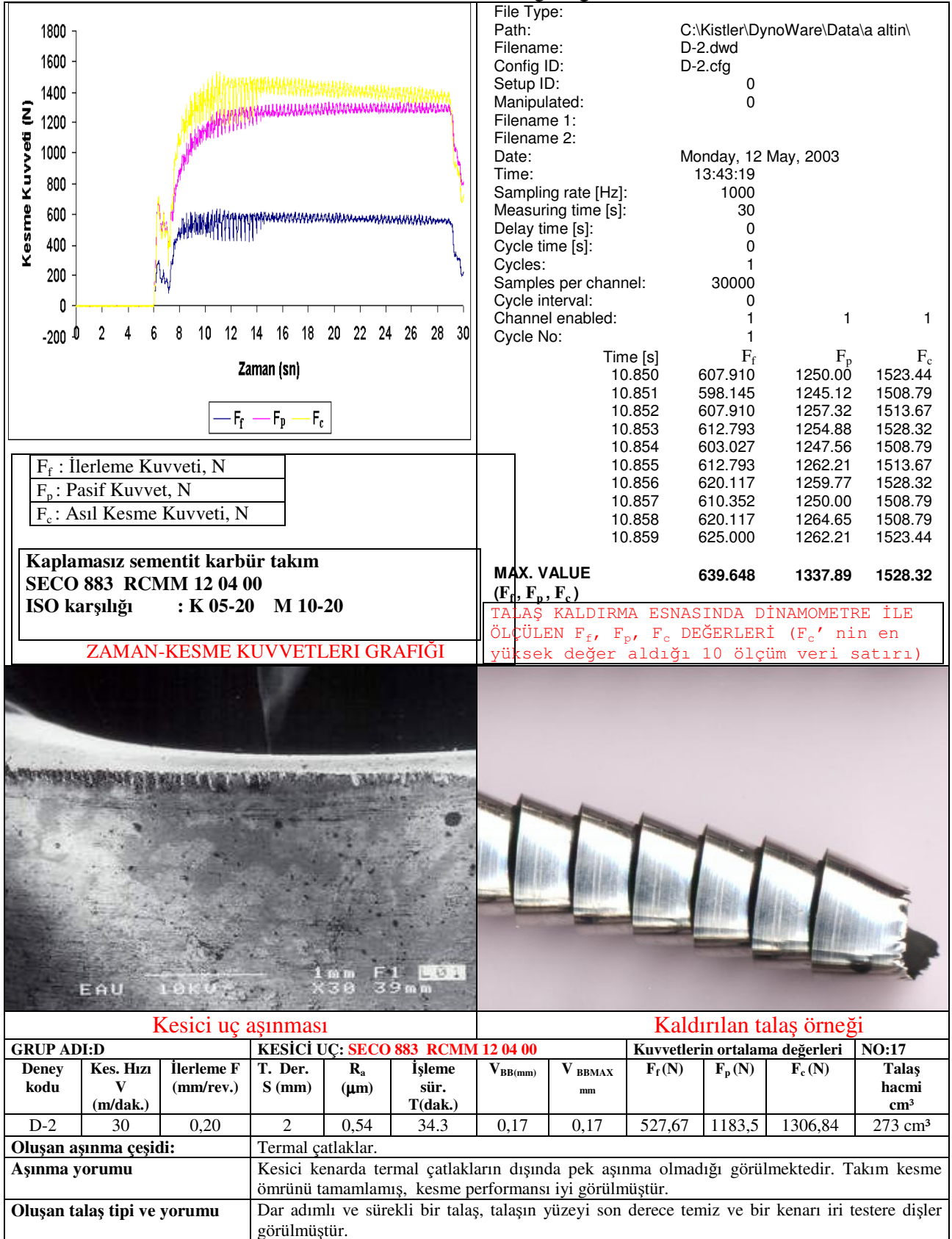
EK-16

SECO 883 RCMM 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



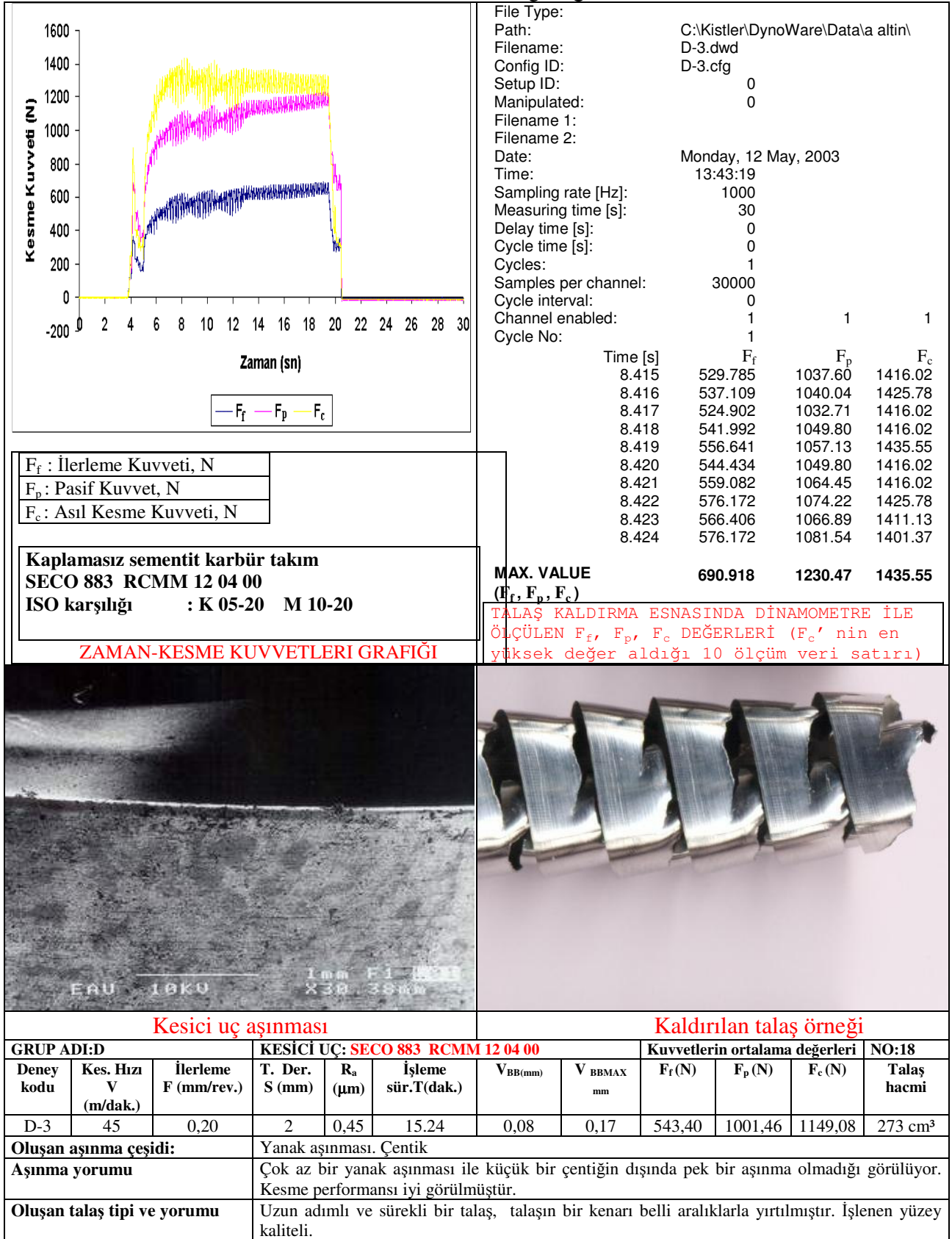
EK-17

SECO 883 RCMM 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



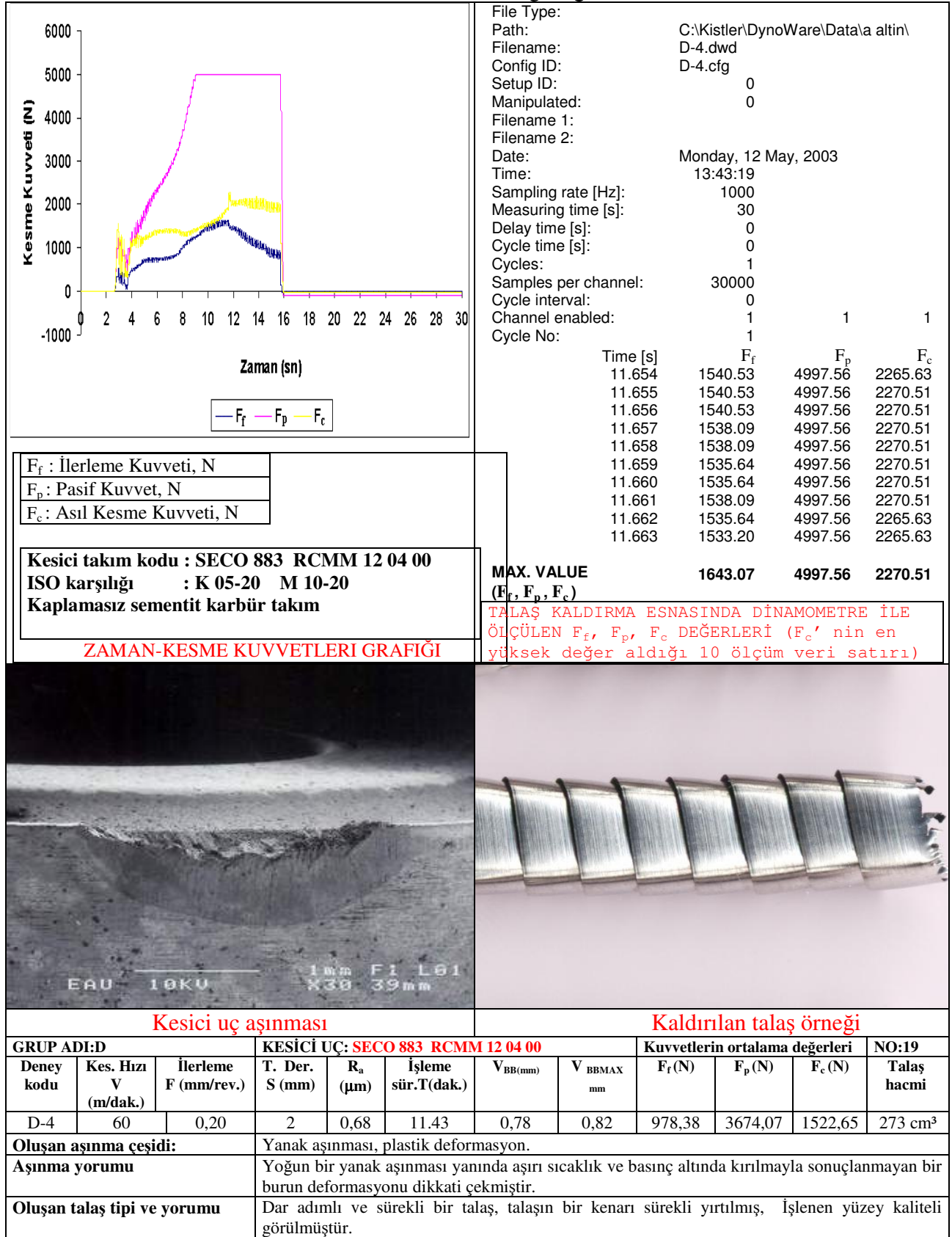
EK-18

SECO 883 RCMM 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



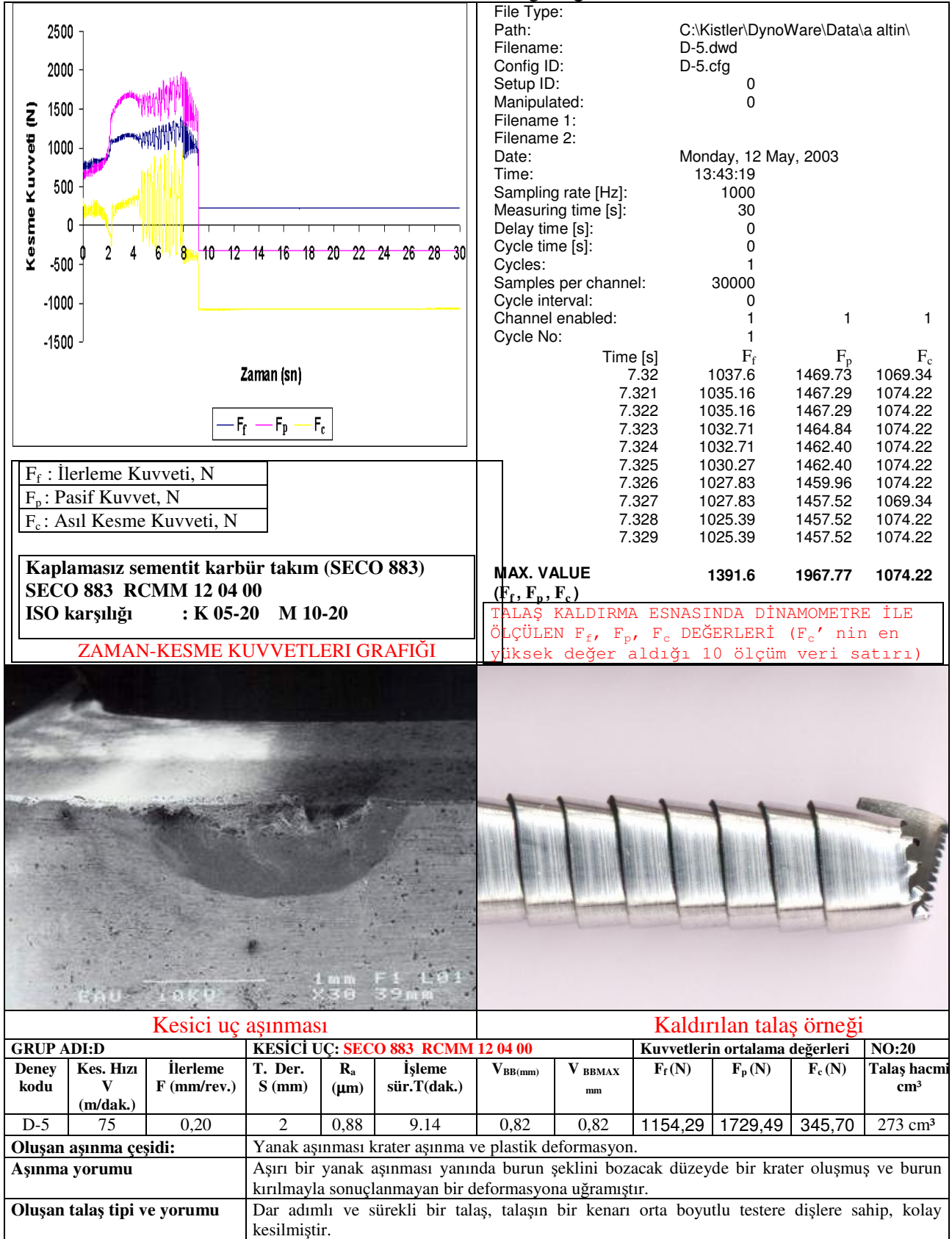
EK-19

SECO 883 RCMM 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



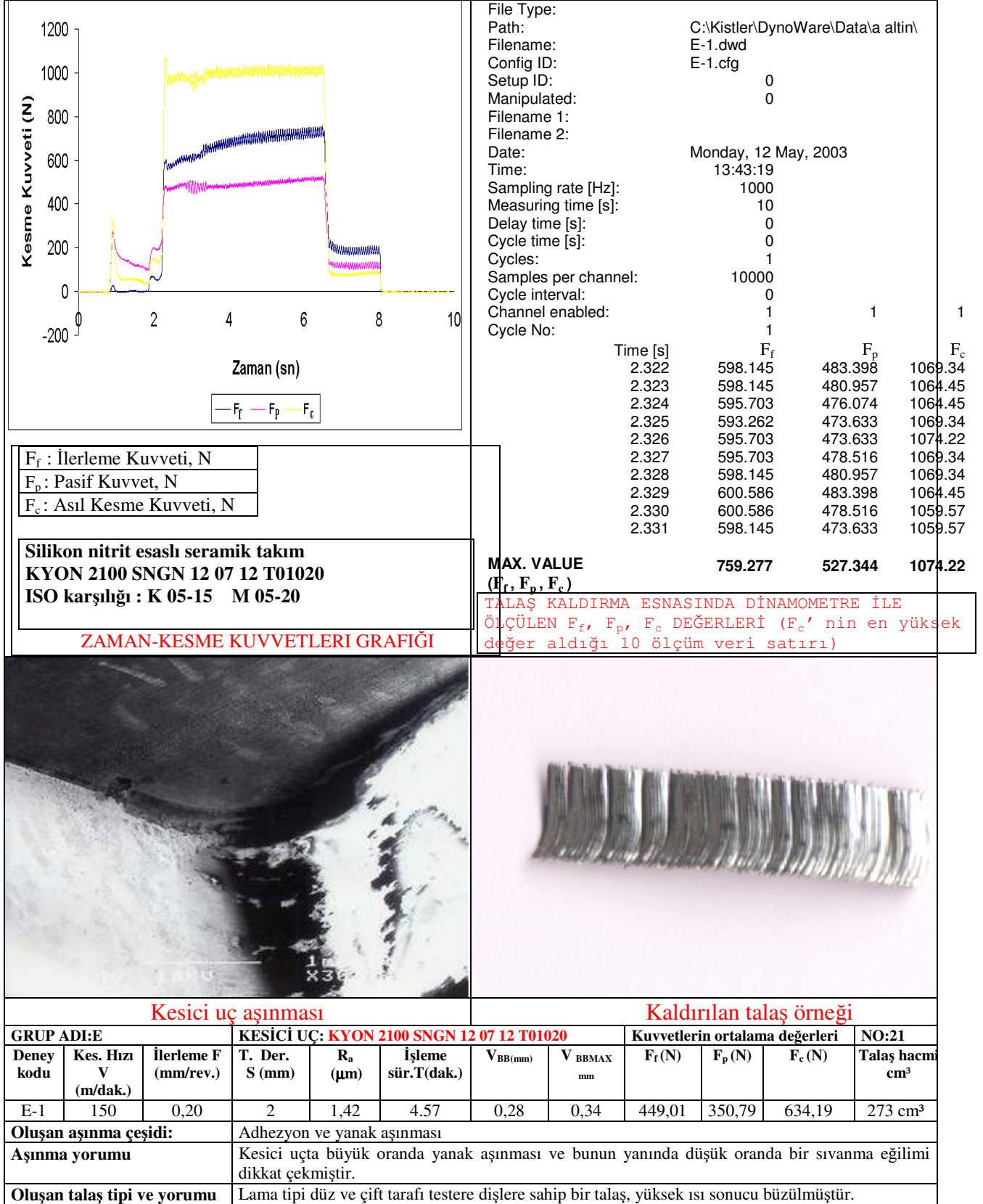
EK-20

SECO 883 RCMM 5. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



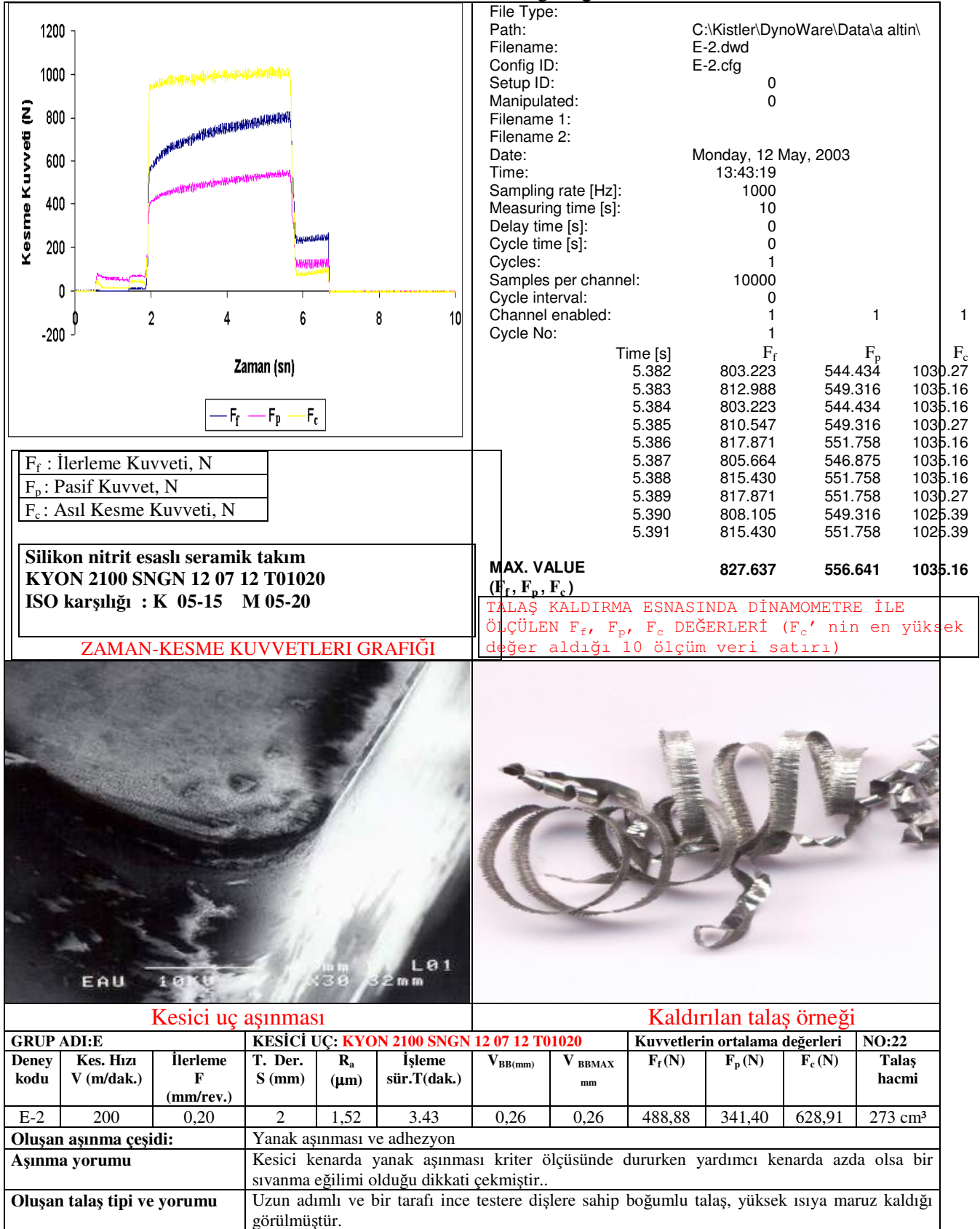
EK-21

KYON 2100 SNGN 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



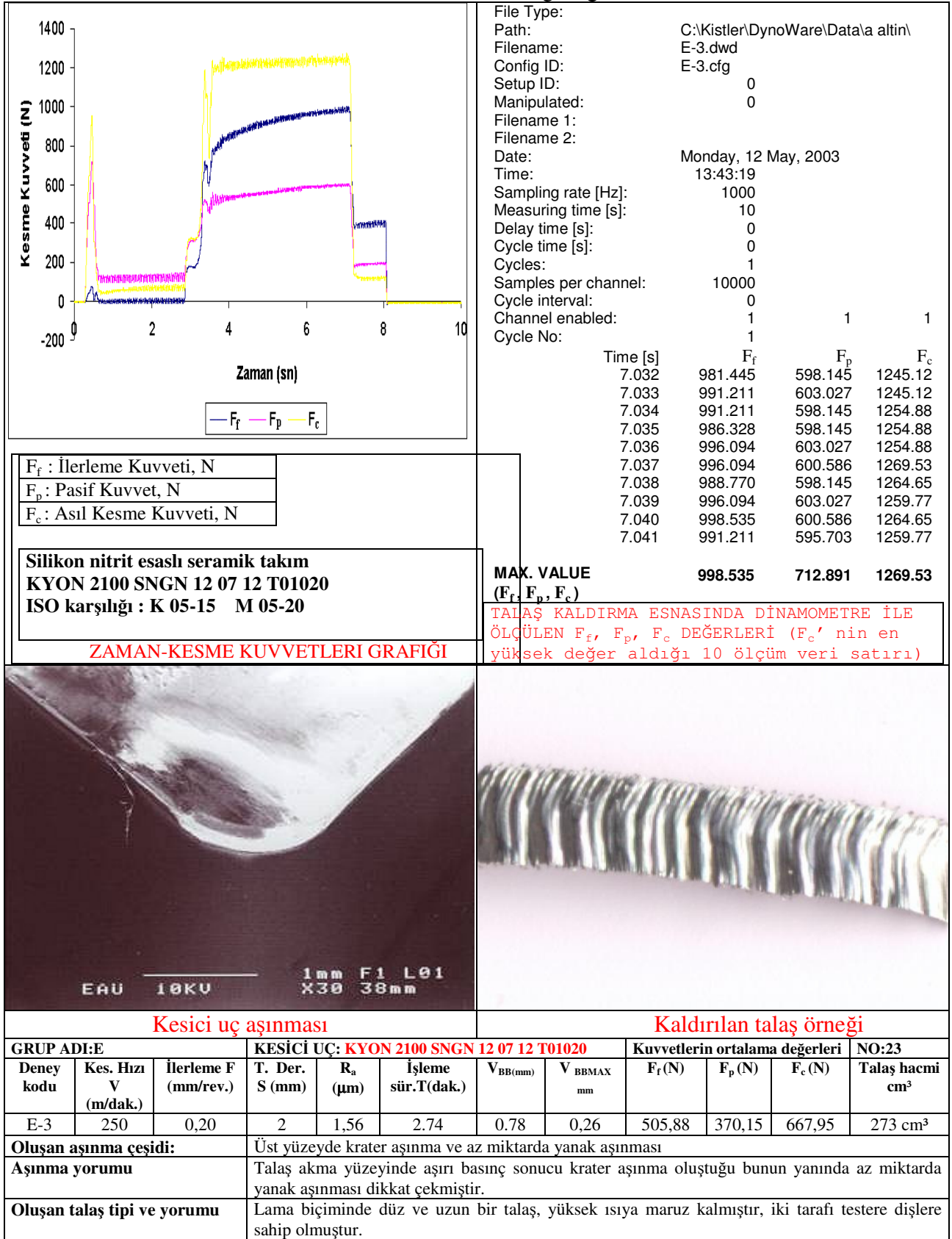
EK-22

KYON 2100 SNGN 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



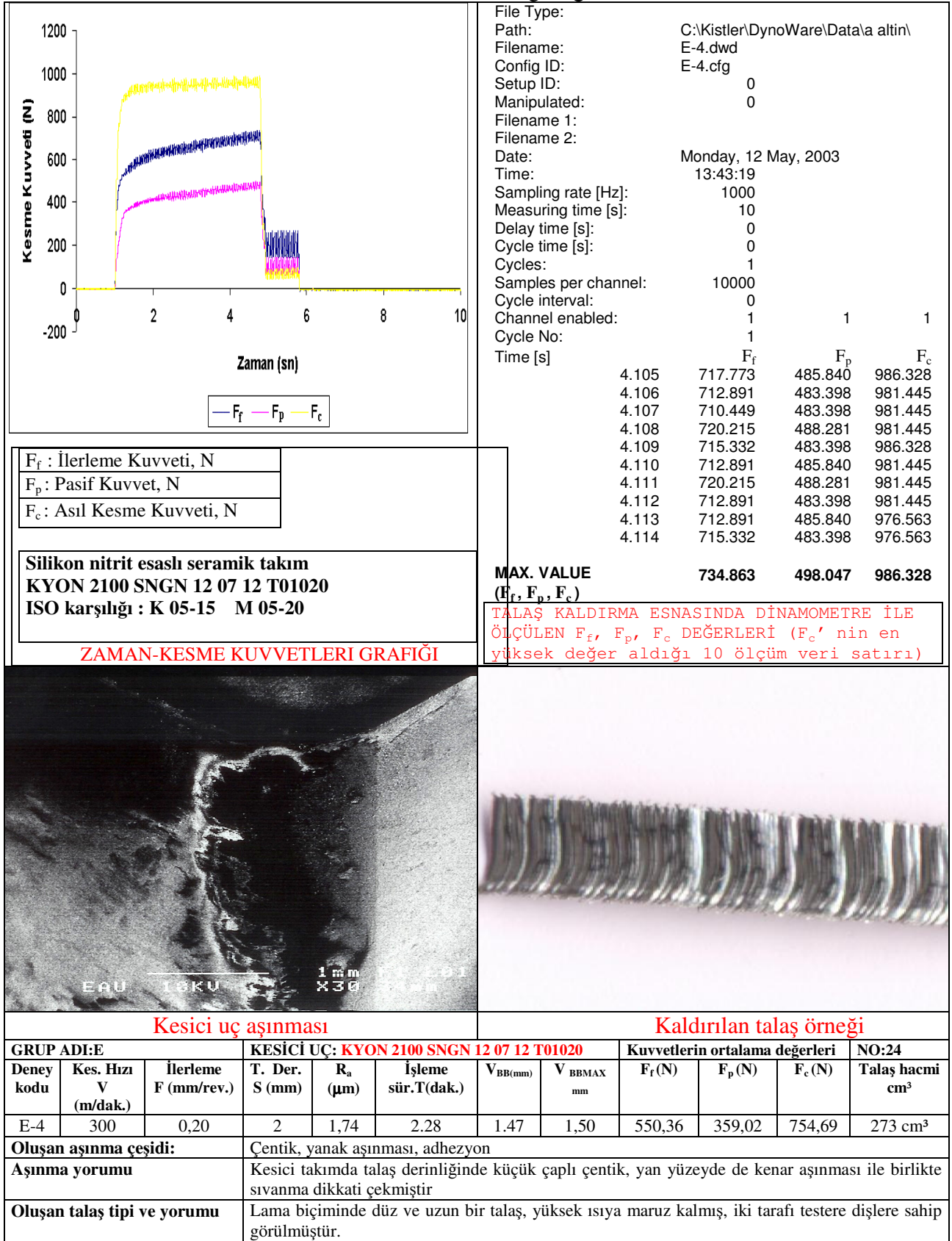
EK-23

KYON 2100 SNGN 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



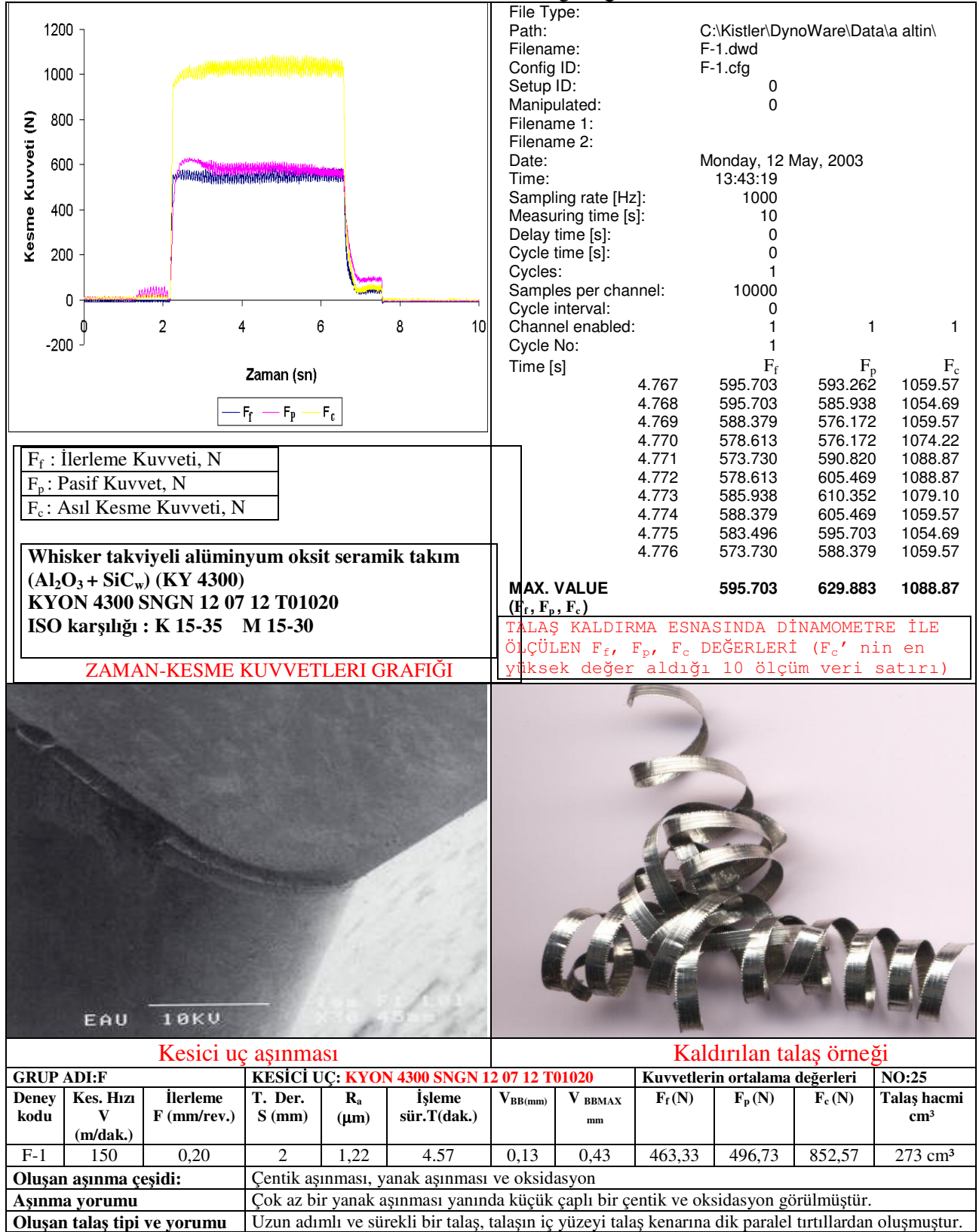
EK-24

KYON 2100 SNGN 4 deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



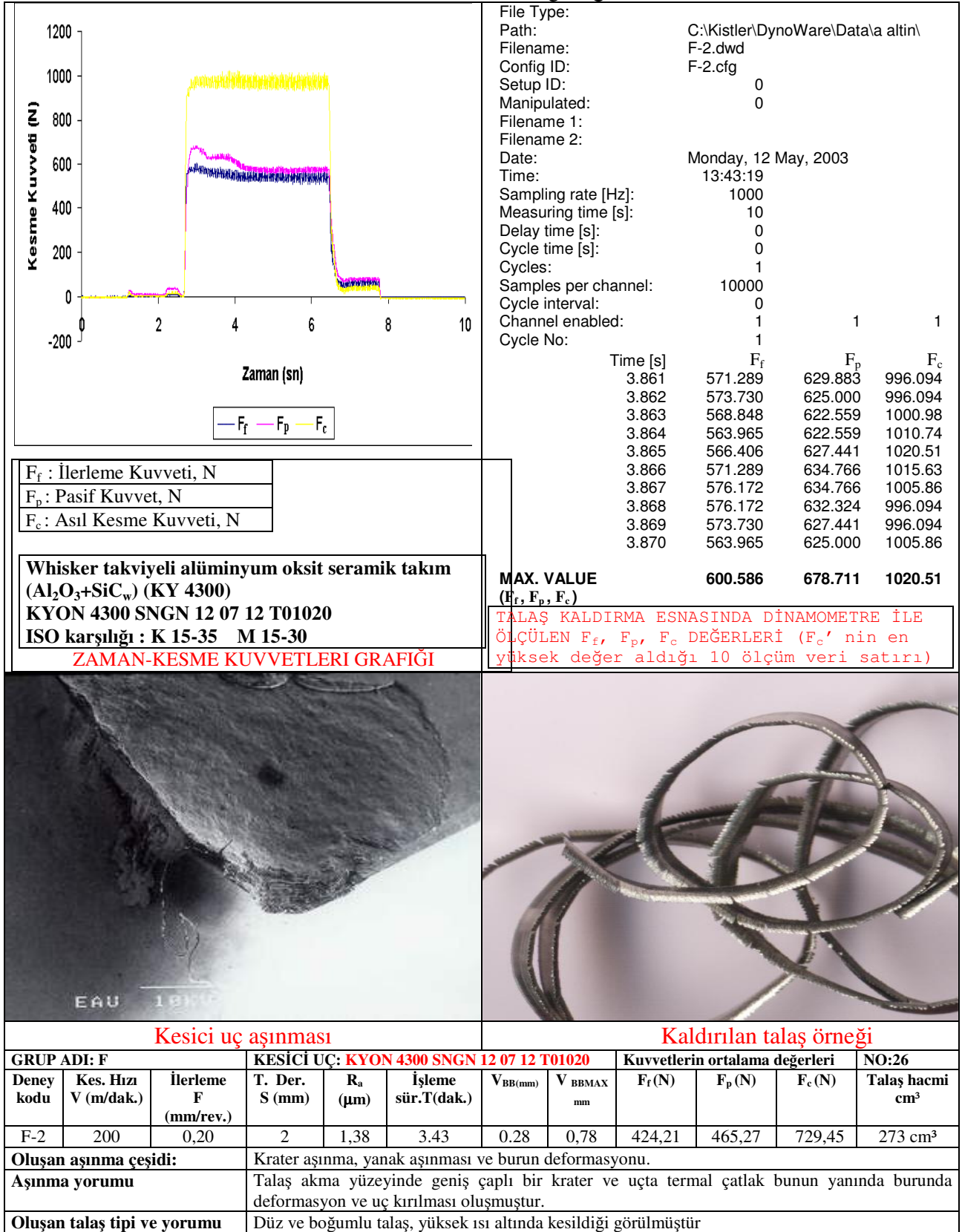
EK-25

KYON 4300 SNGN 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



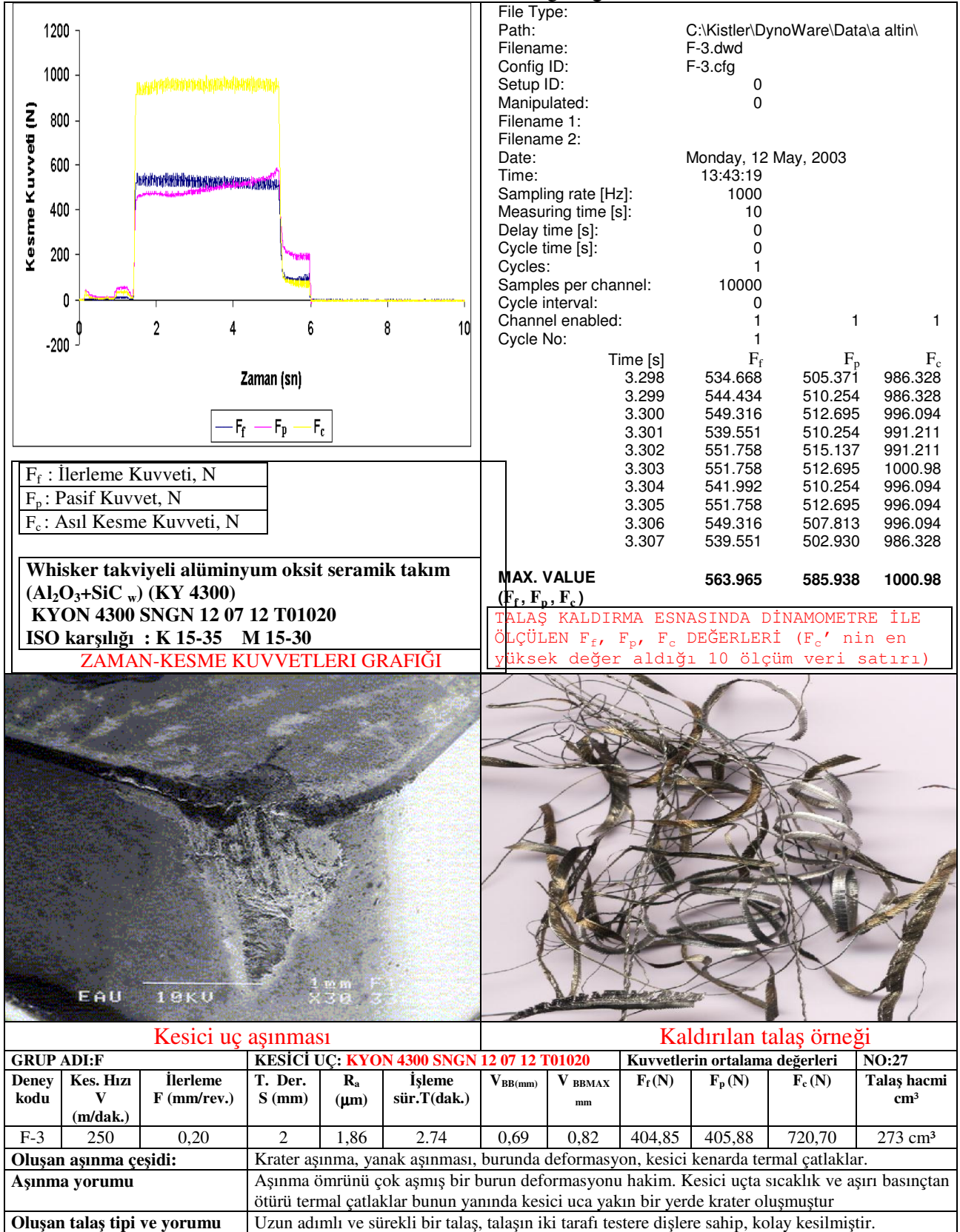
EK-26

KYON 4300 SNGN 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



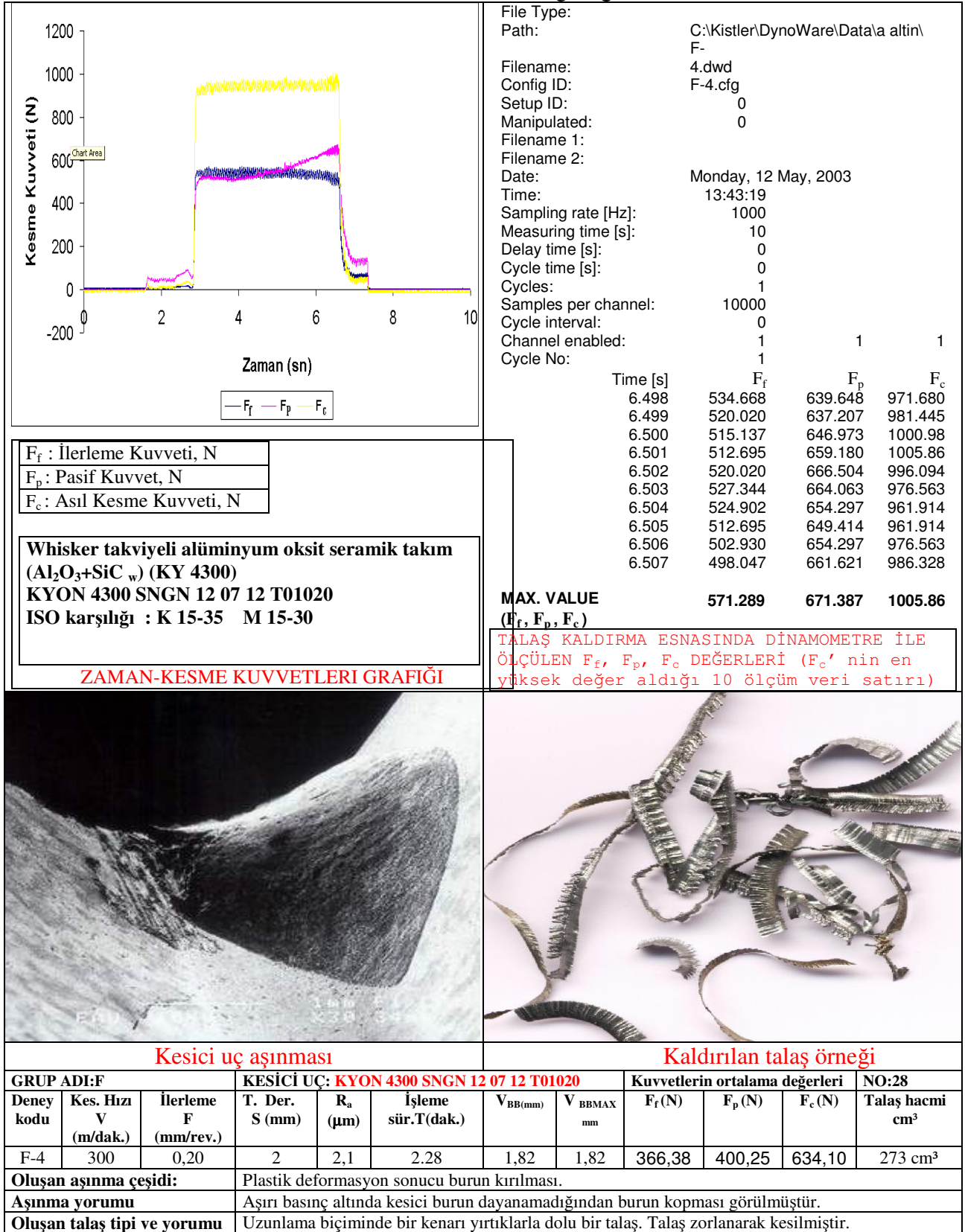
EK-27

KYON 4300 SNGN 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



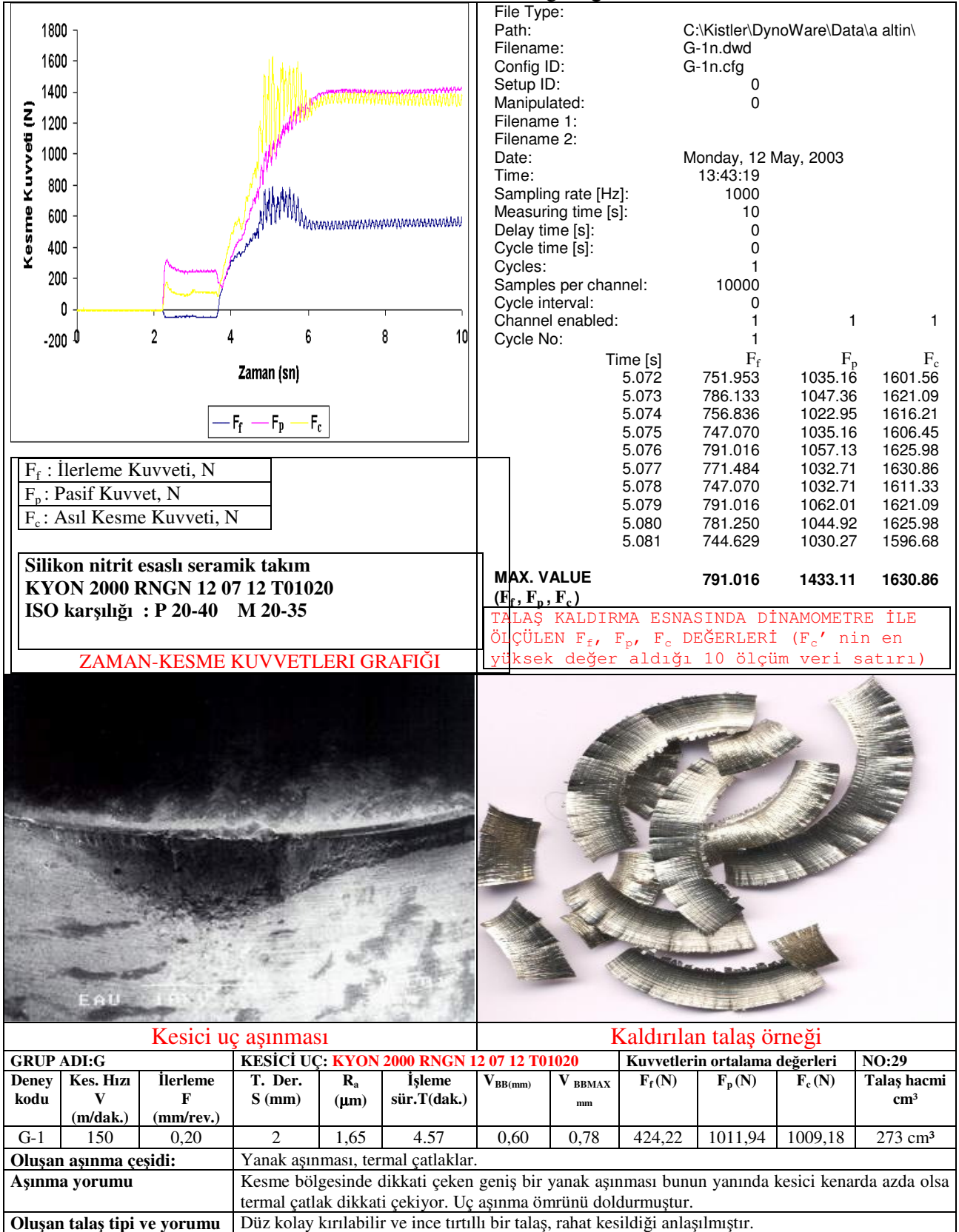
EK-28

KYON 4300 SNGN 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



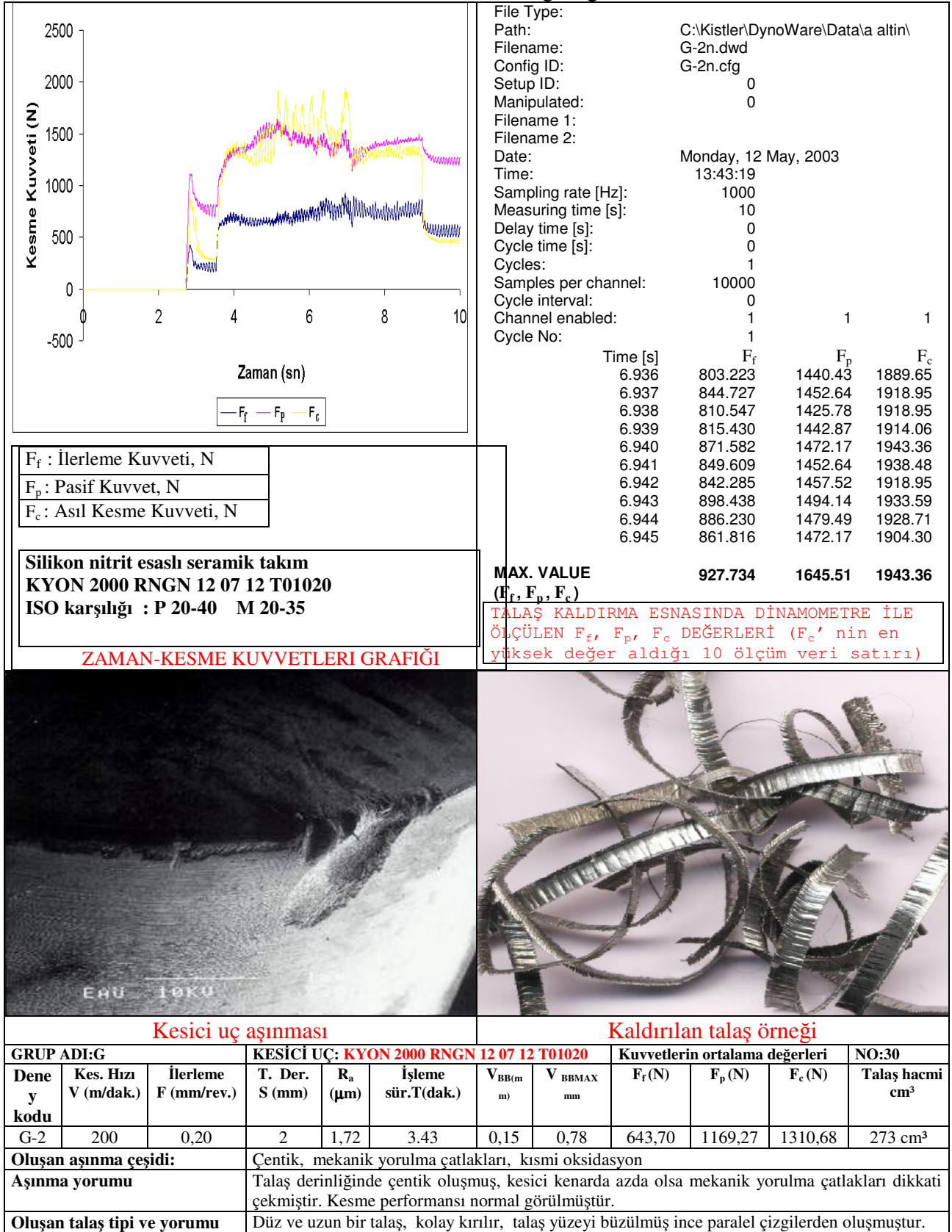
EK-29

KYON 2000 RNGN 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



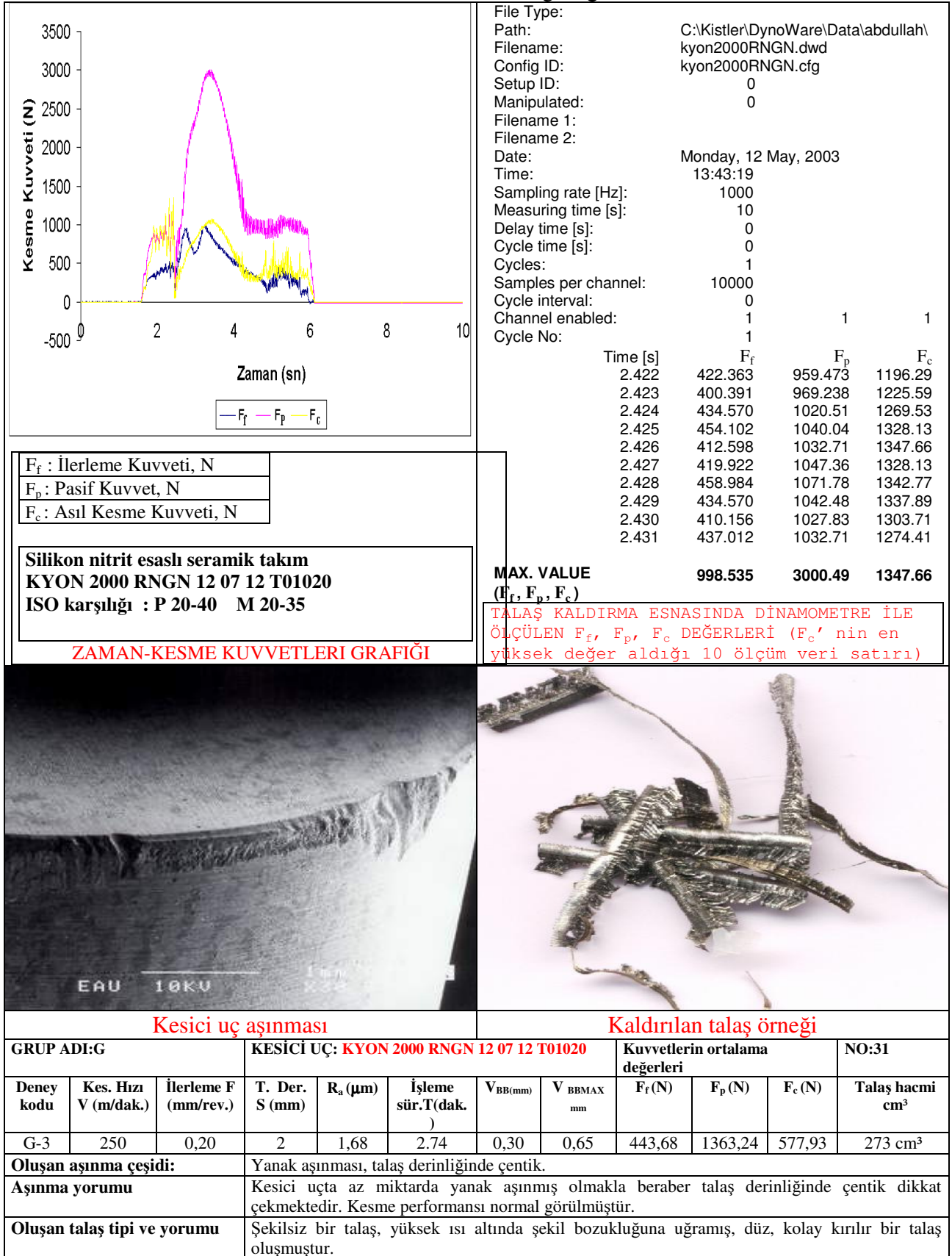
EK-30

KYON 2000 RNGN 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



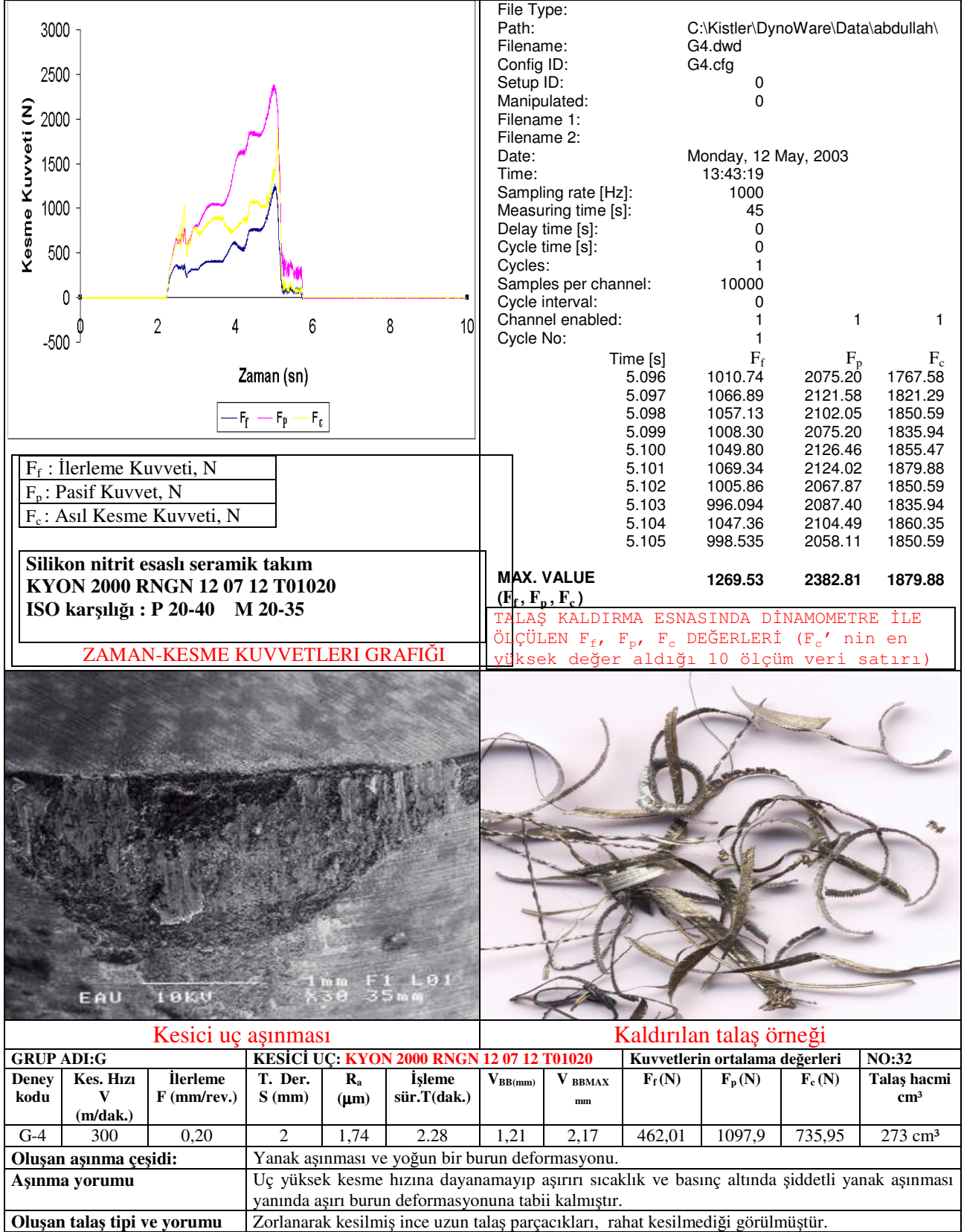
EK-31

KYON 2000 RNGN 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



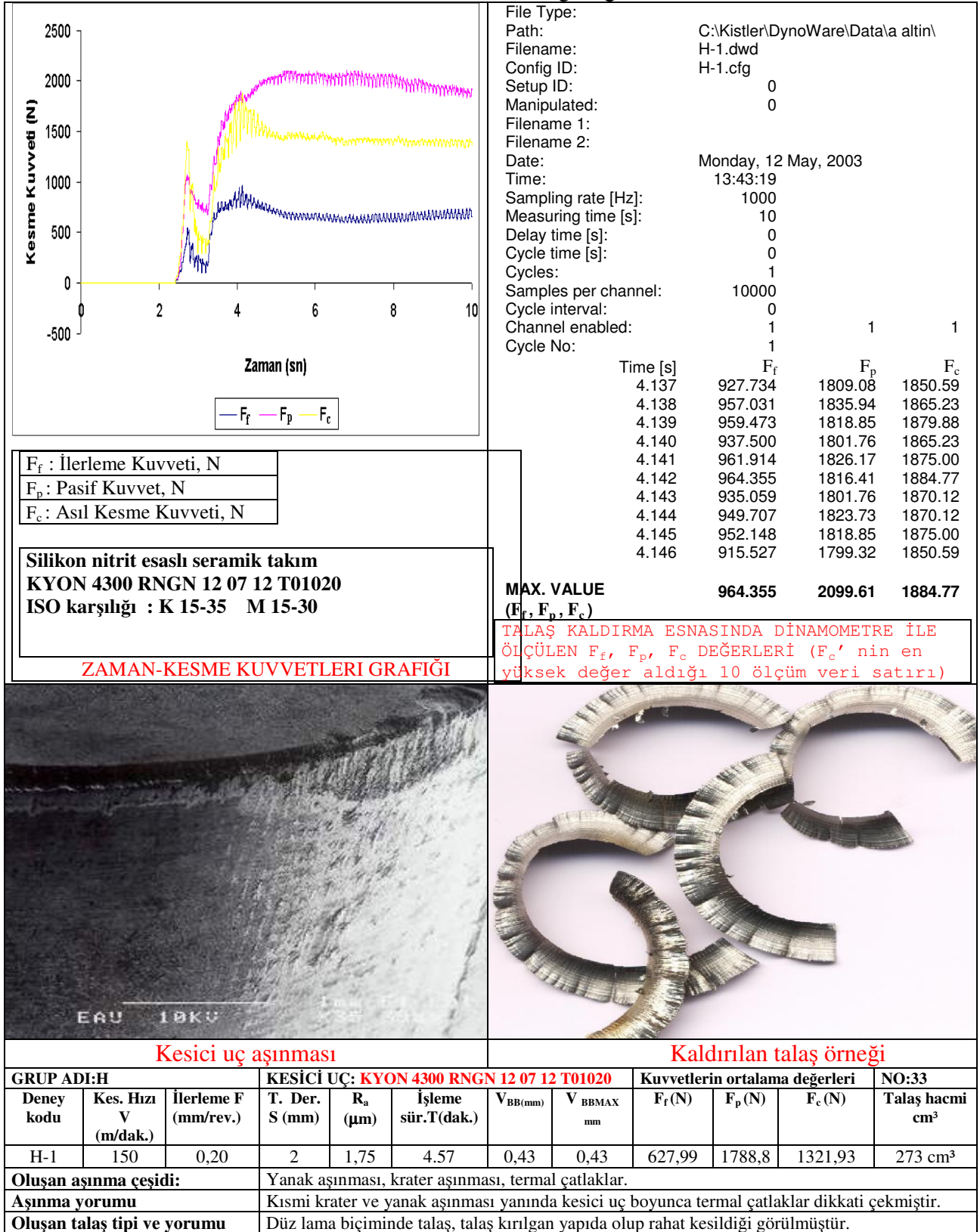
EK-32

KYON 2000 RNGN 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



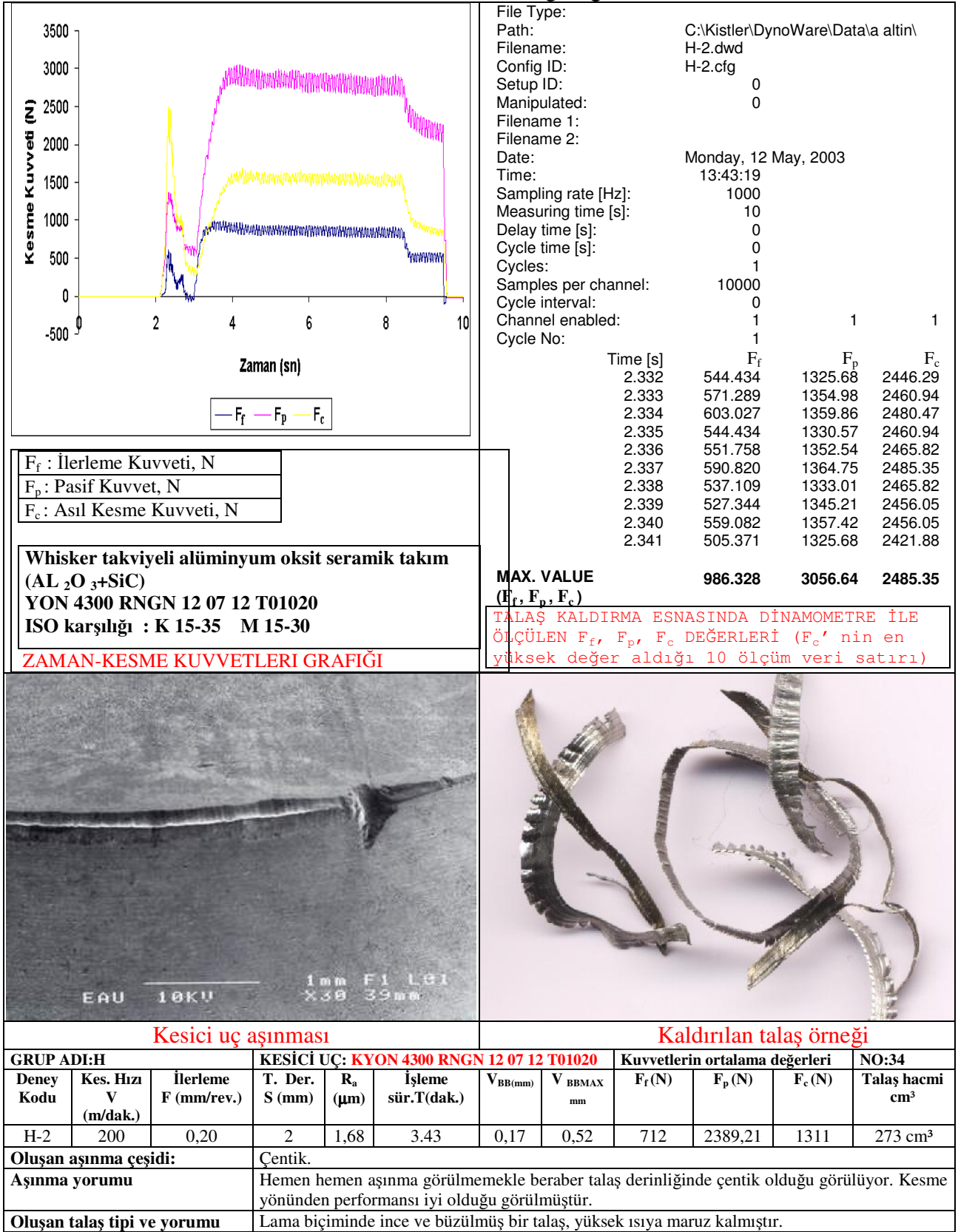
EK-33

KYON 4300 RNGN 1. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



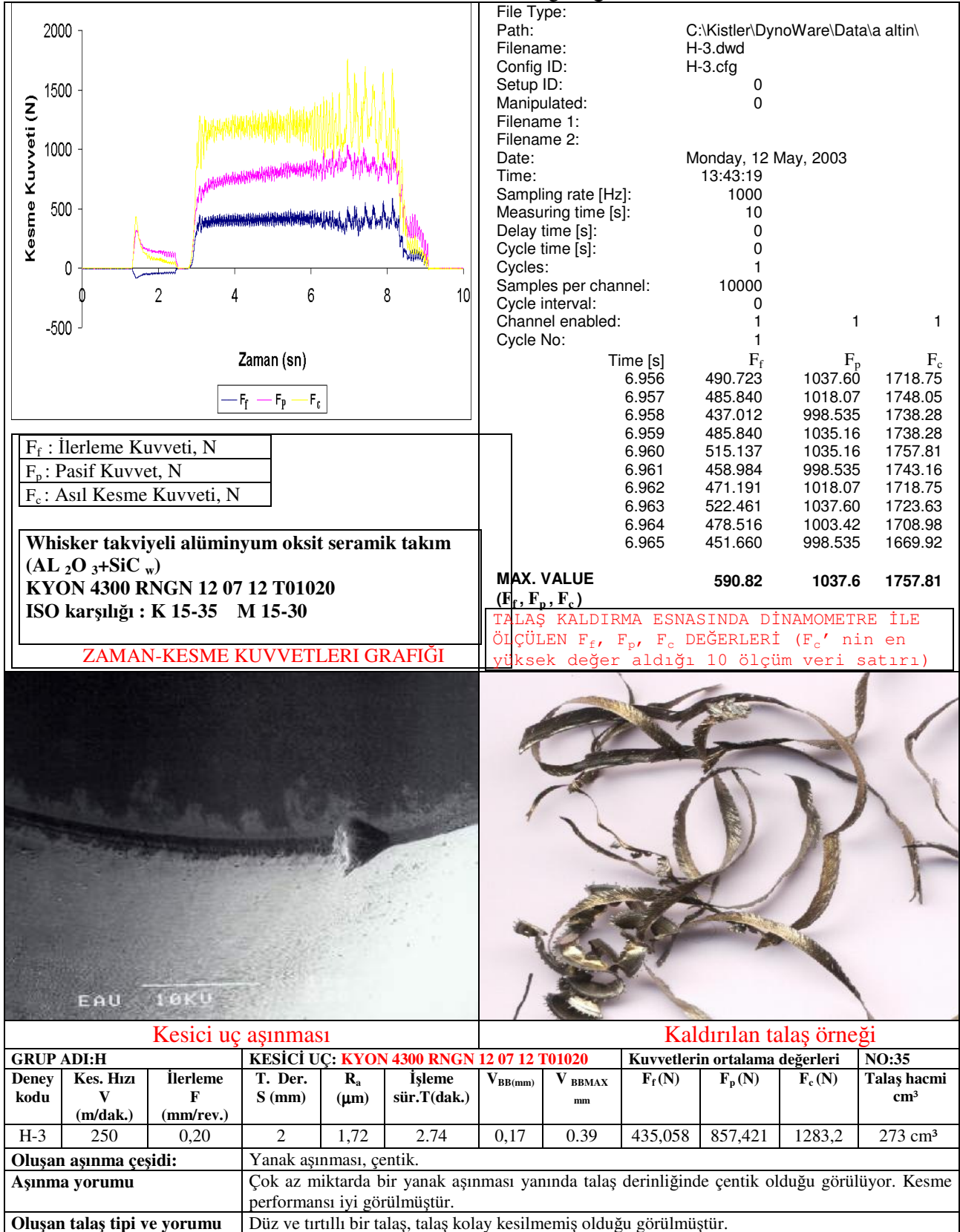
EK-34

KYON 4300 RNGN 2. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



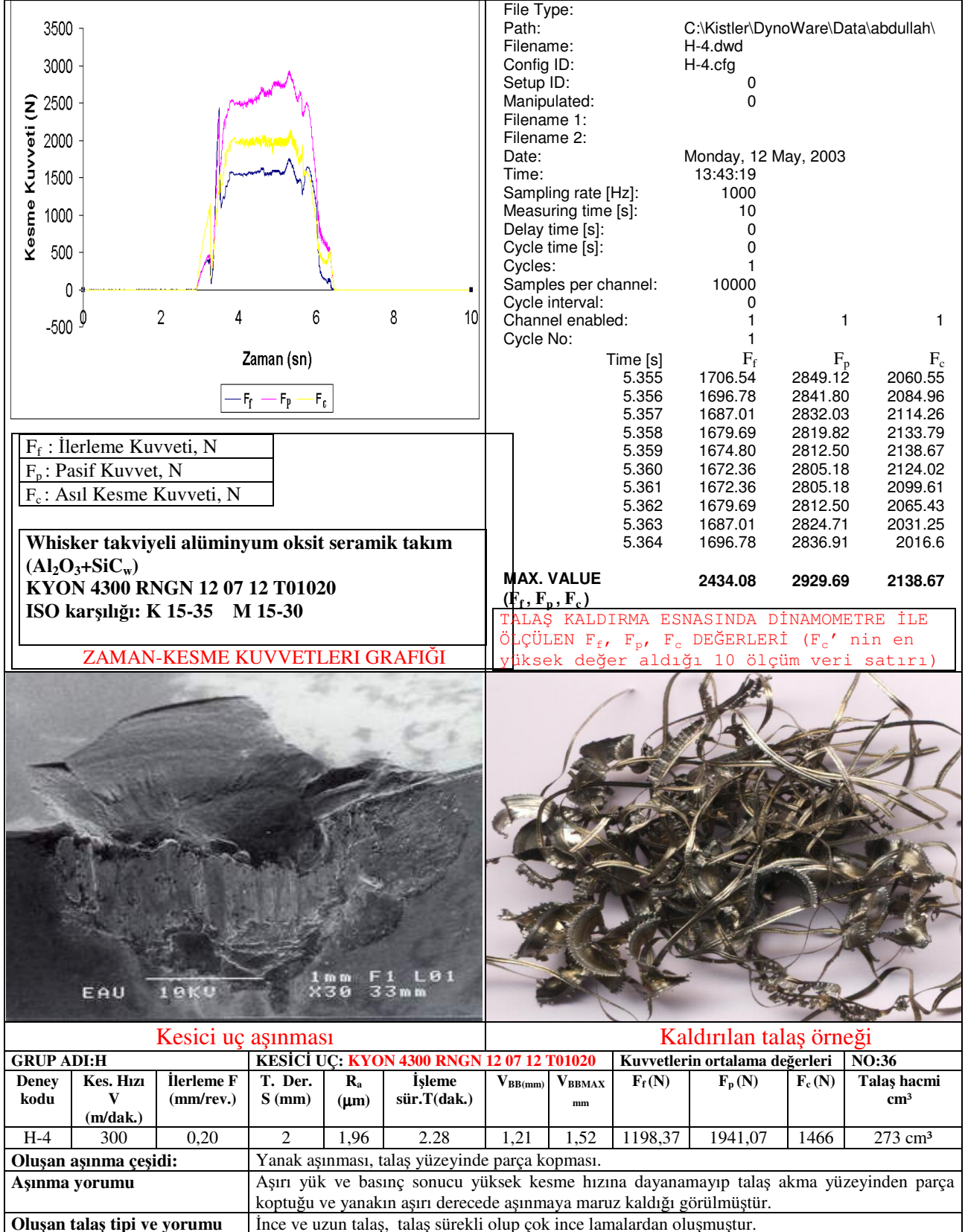
EK-35

KYON 4300 RNGN 3. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



EK-36

KYON 4300 RNGN 4. deney parametreleri, kaldırılan talaş örneği, kesici uç aşınması ve kesme kuvvetleri grafiği



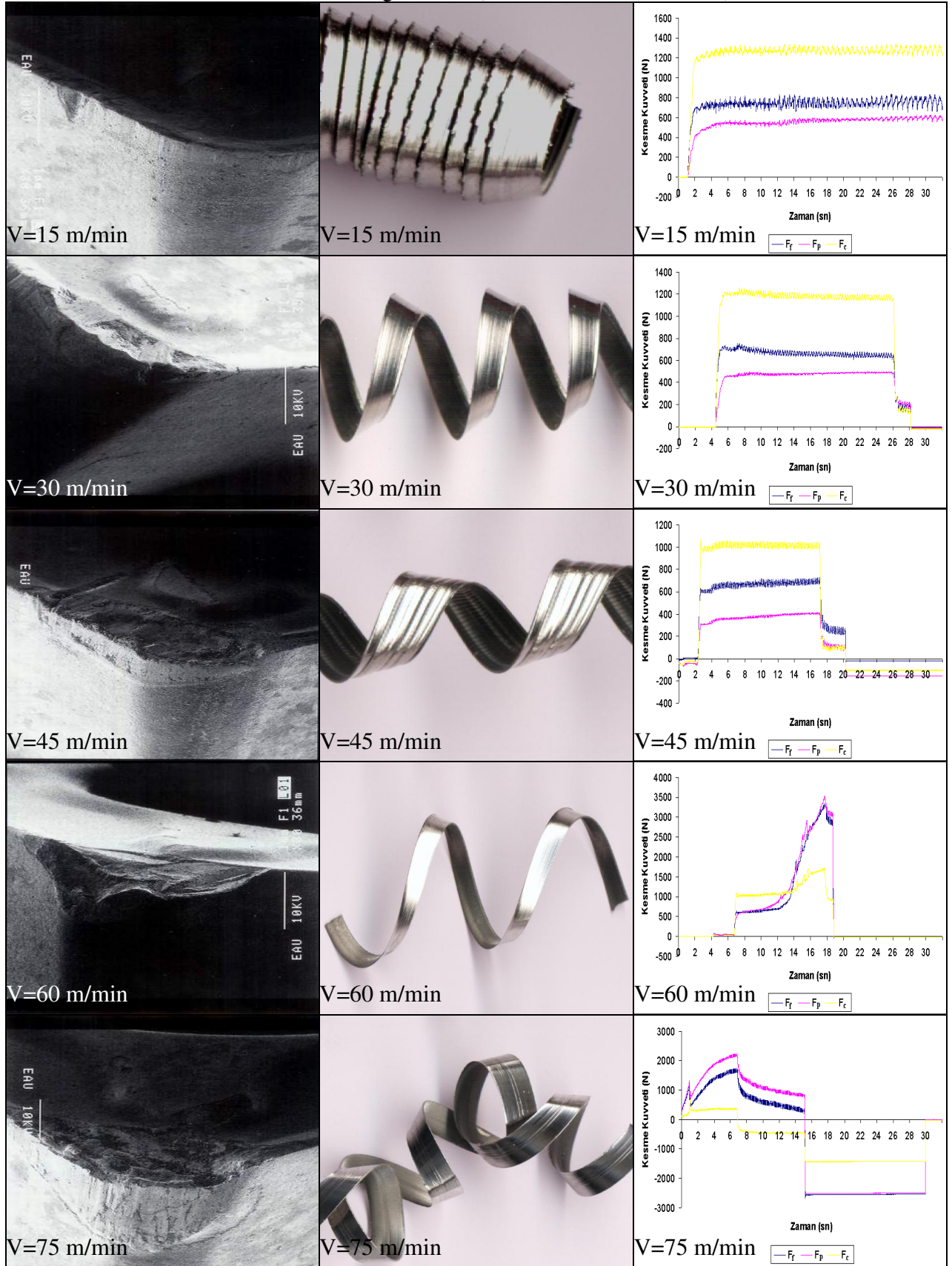
EK-37

SECO 883 RCMM 120400 kesici takım ile 30 m/min. kesme hızı, 2 mm talaş derinliği, 0,20 mm ilerleme ile Inconel 718'in işlenmesinde elde edilen talaş resmi



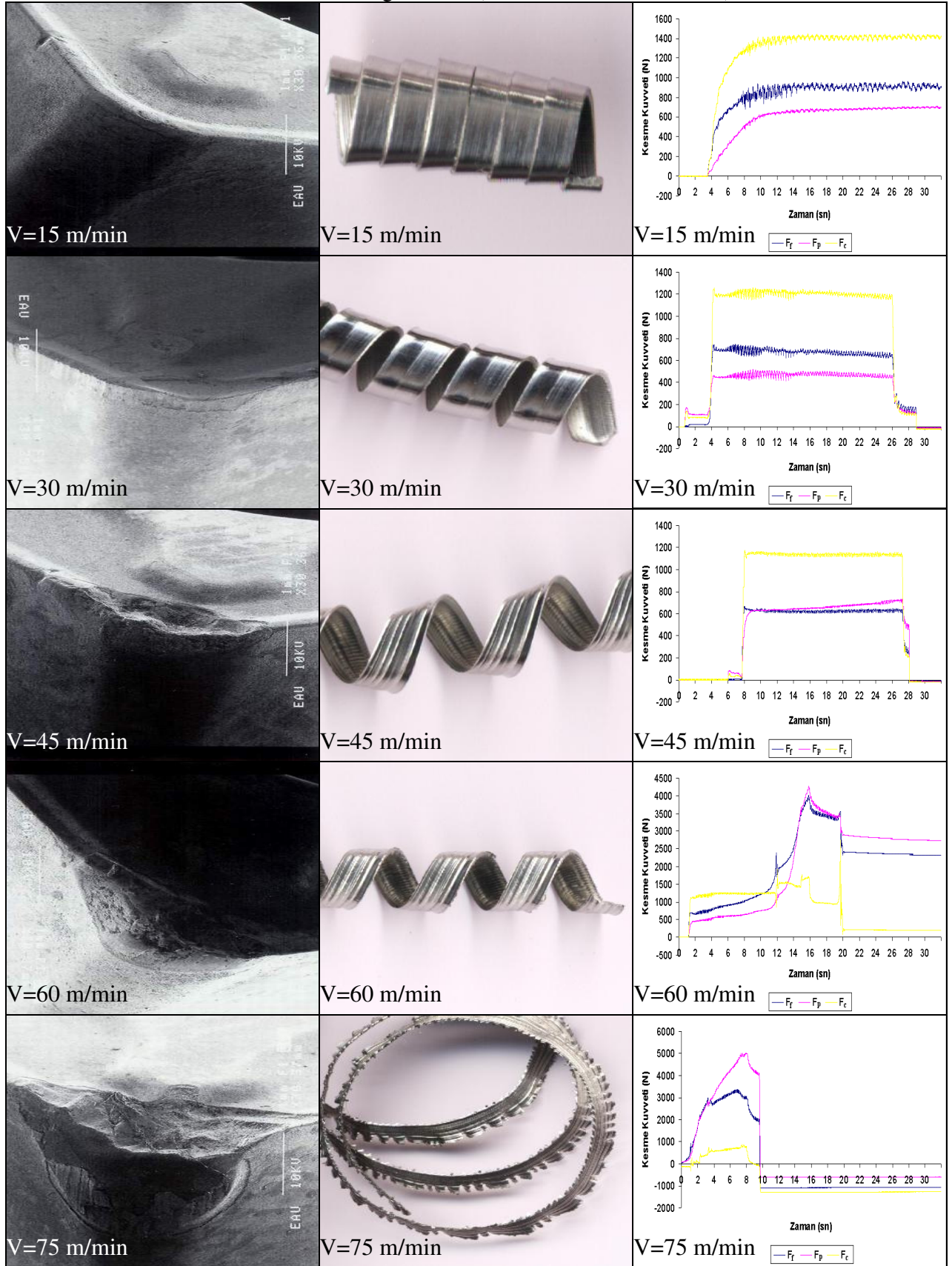
EK-38

KC 935 SCMT 120412 MF sementit karbür kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$).



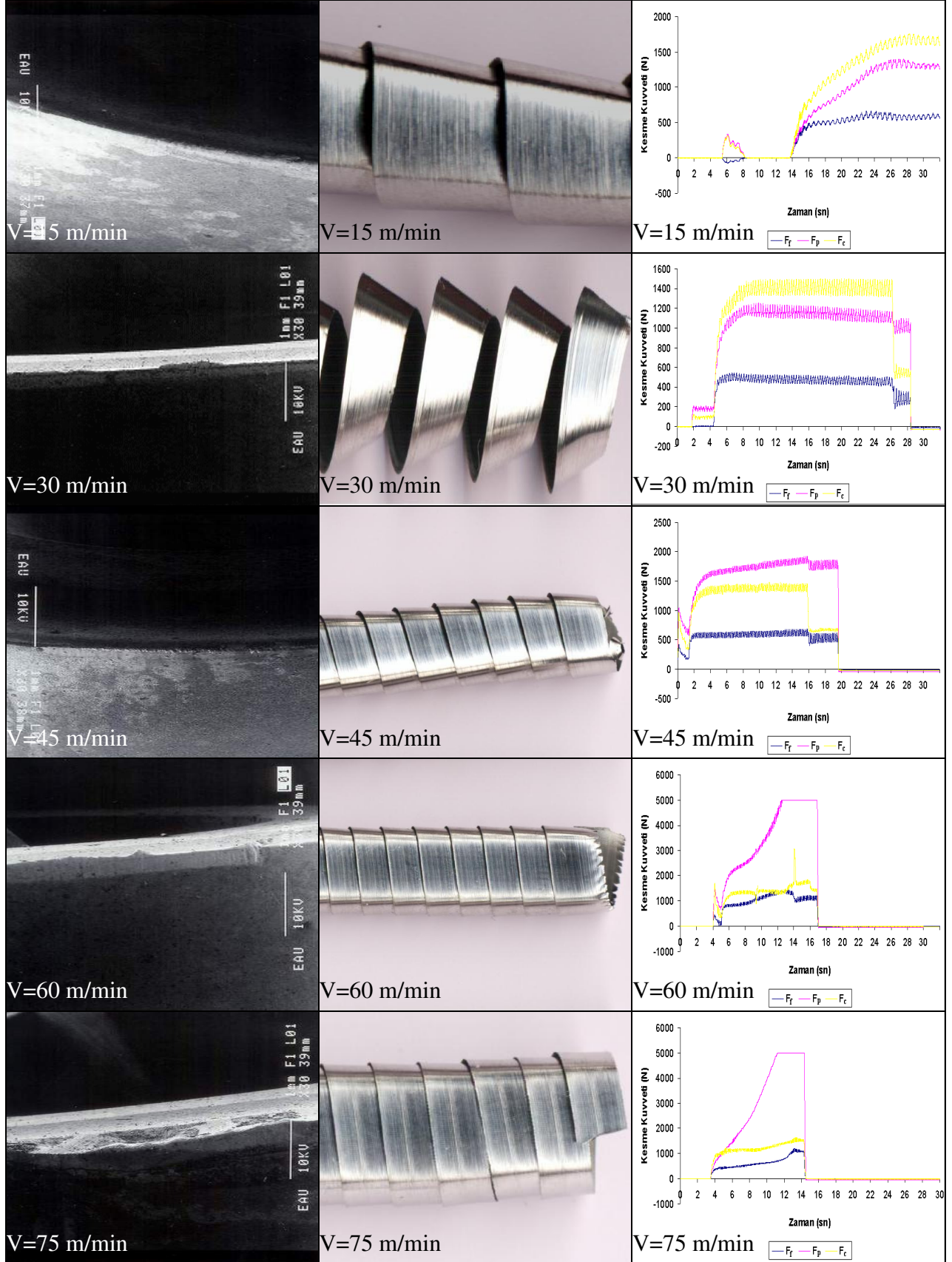
EK-39

KC 9225 SCMT 120412 MF sementit karbür kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$).



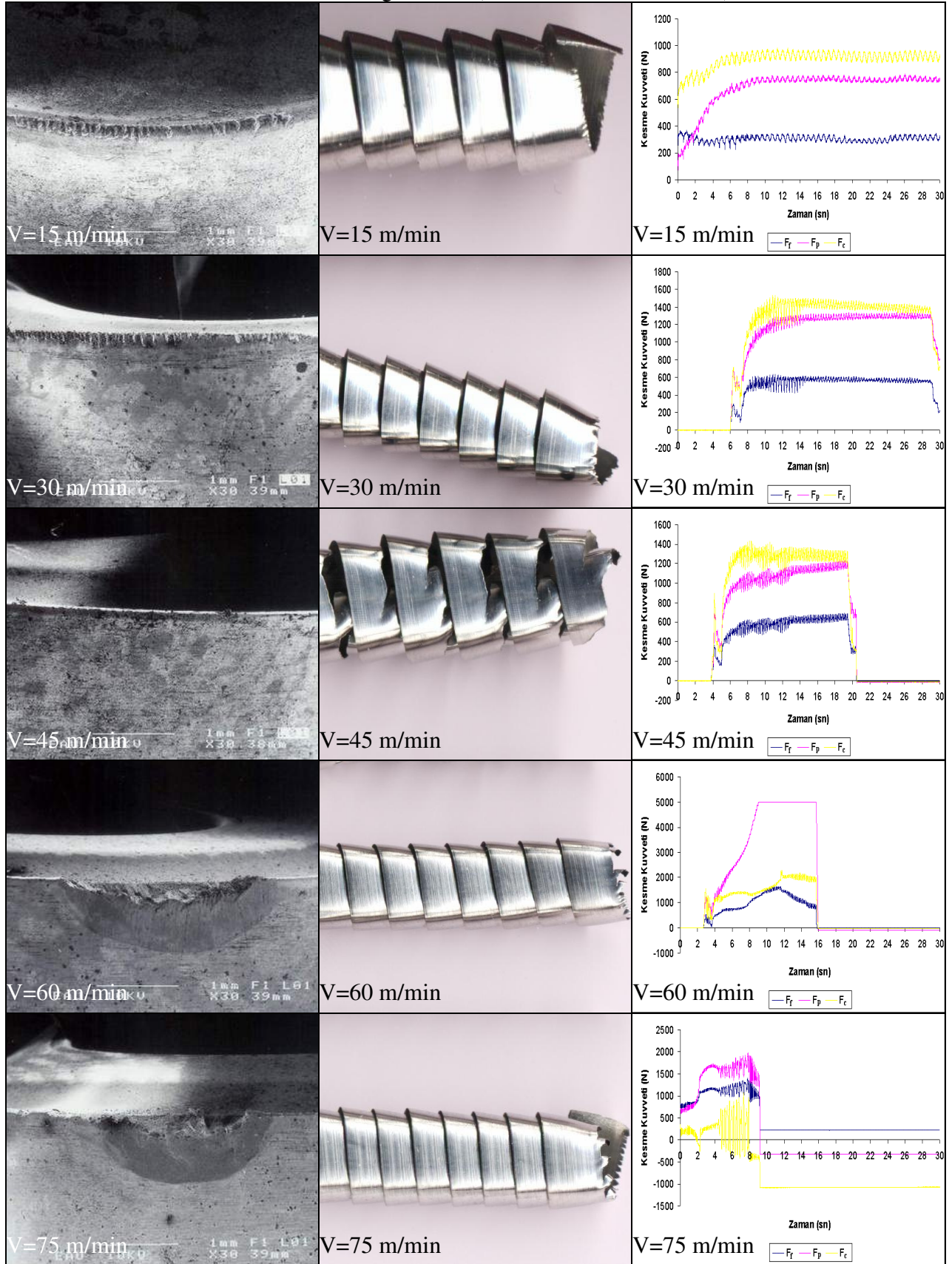
EK-40

SECO 560 43 F1-RCMT 120400 sementit karbür kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$).



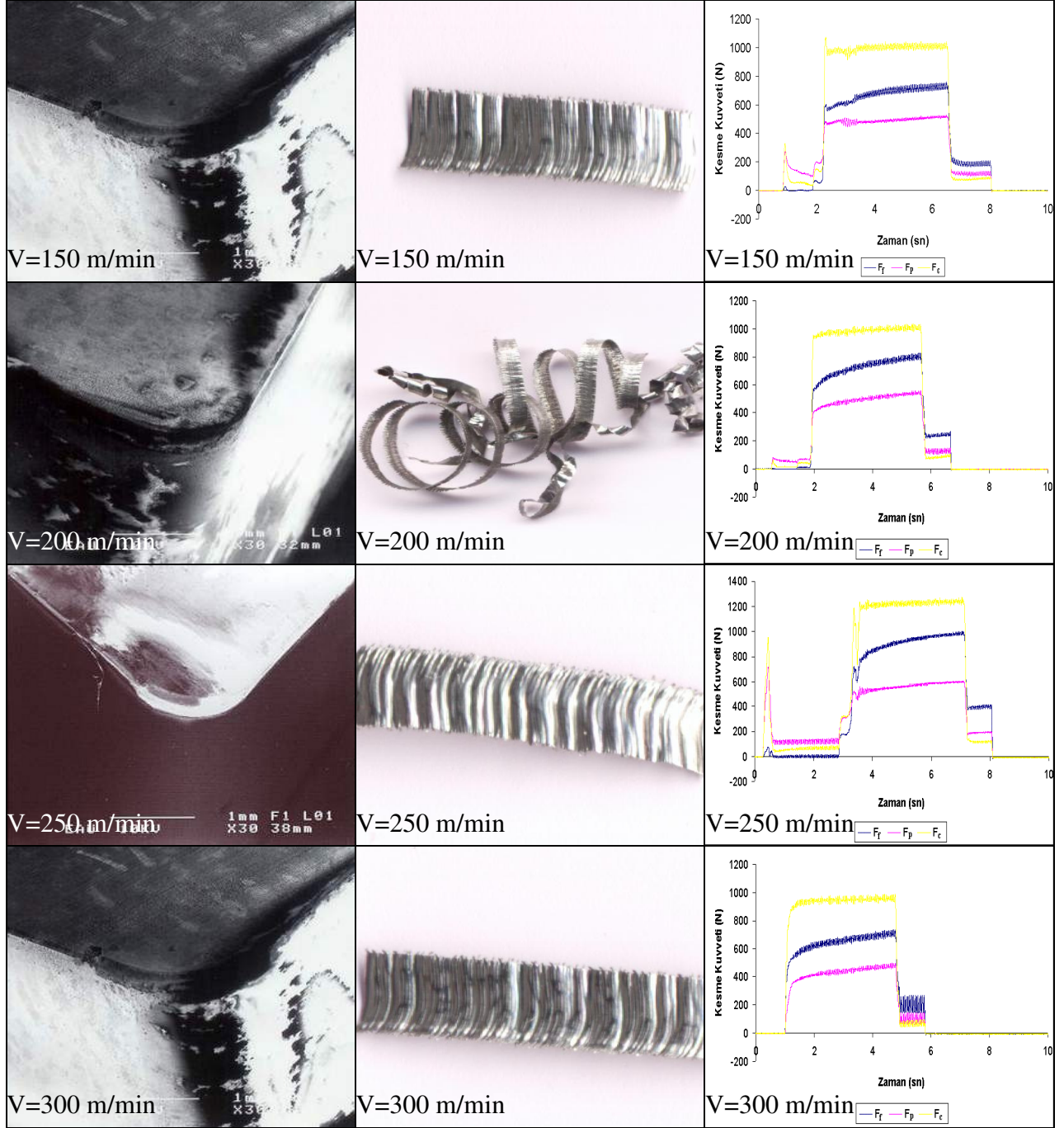
EK-41

SECO 883 RCMM 12 04 00 sementit karbür kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$).



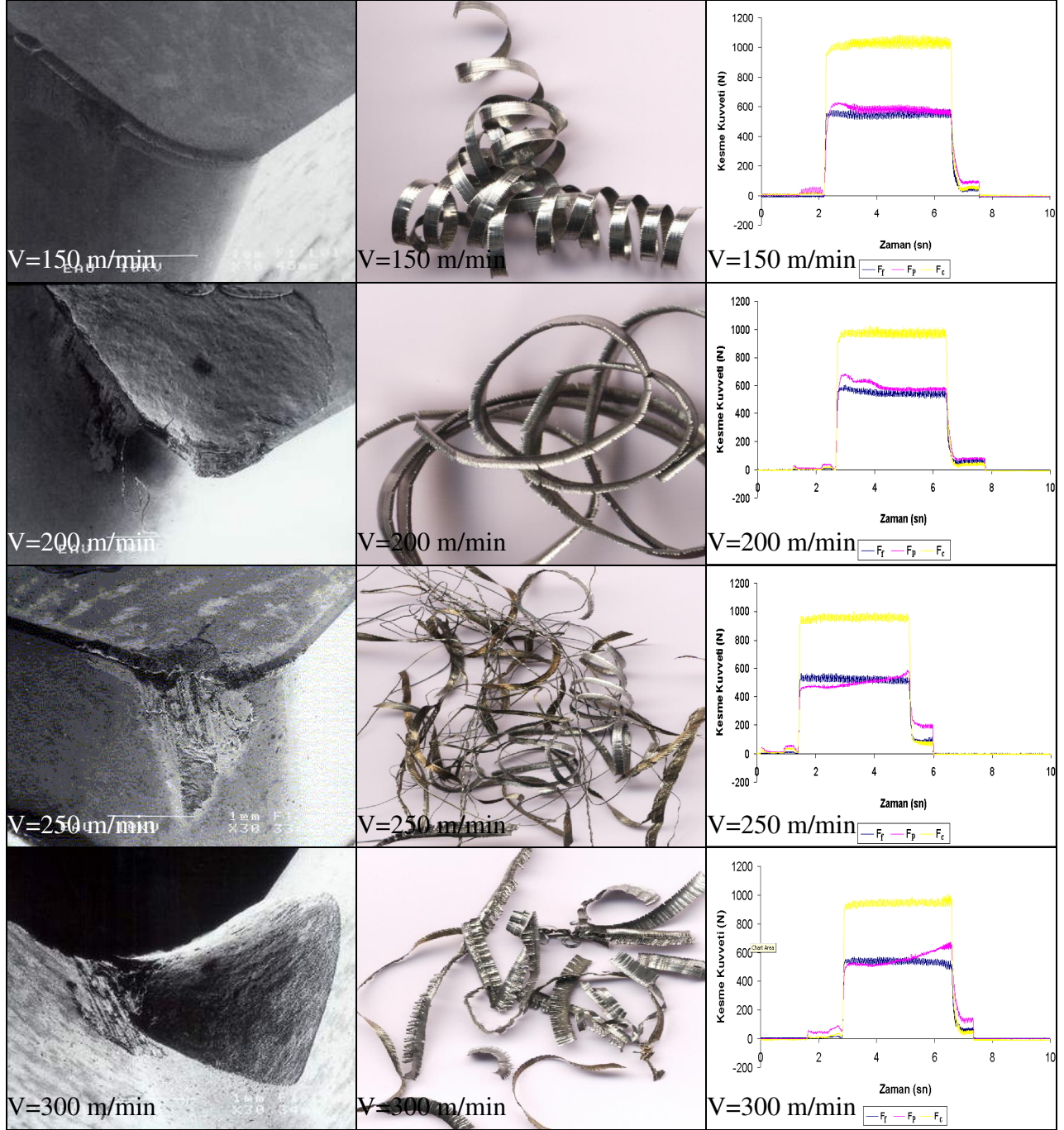
EK-42

KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 seramik kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$).



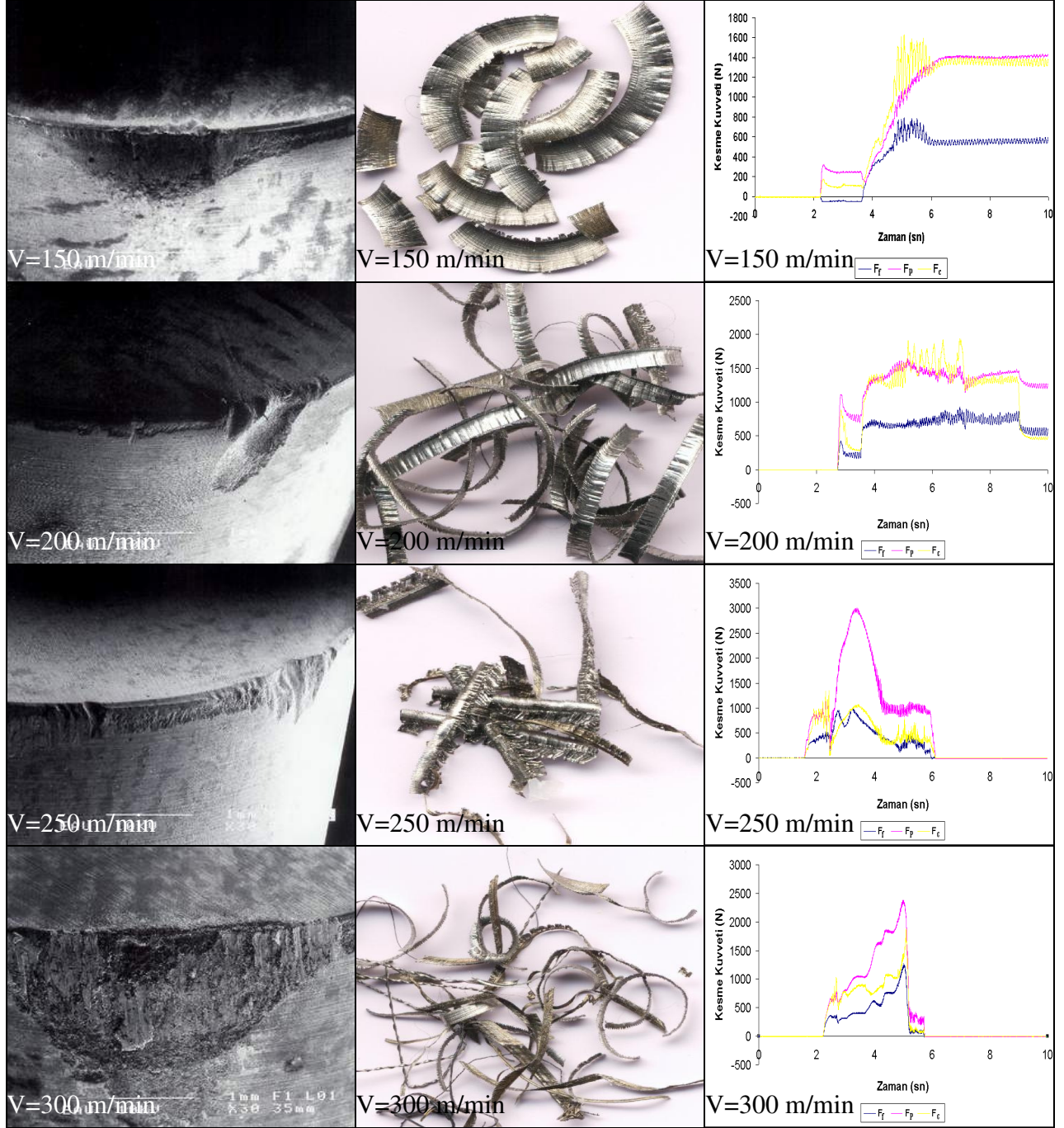
EK-43

KYON 4300 SNGN 12 07 12 T01020 seramik kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$).



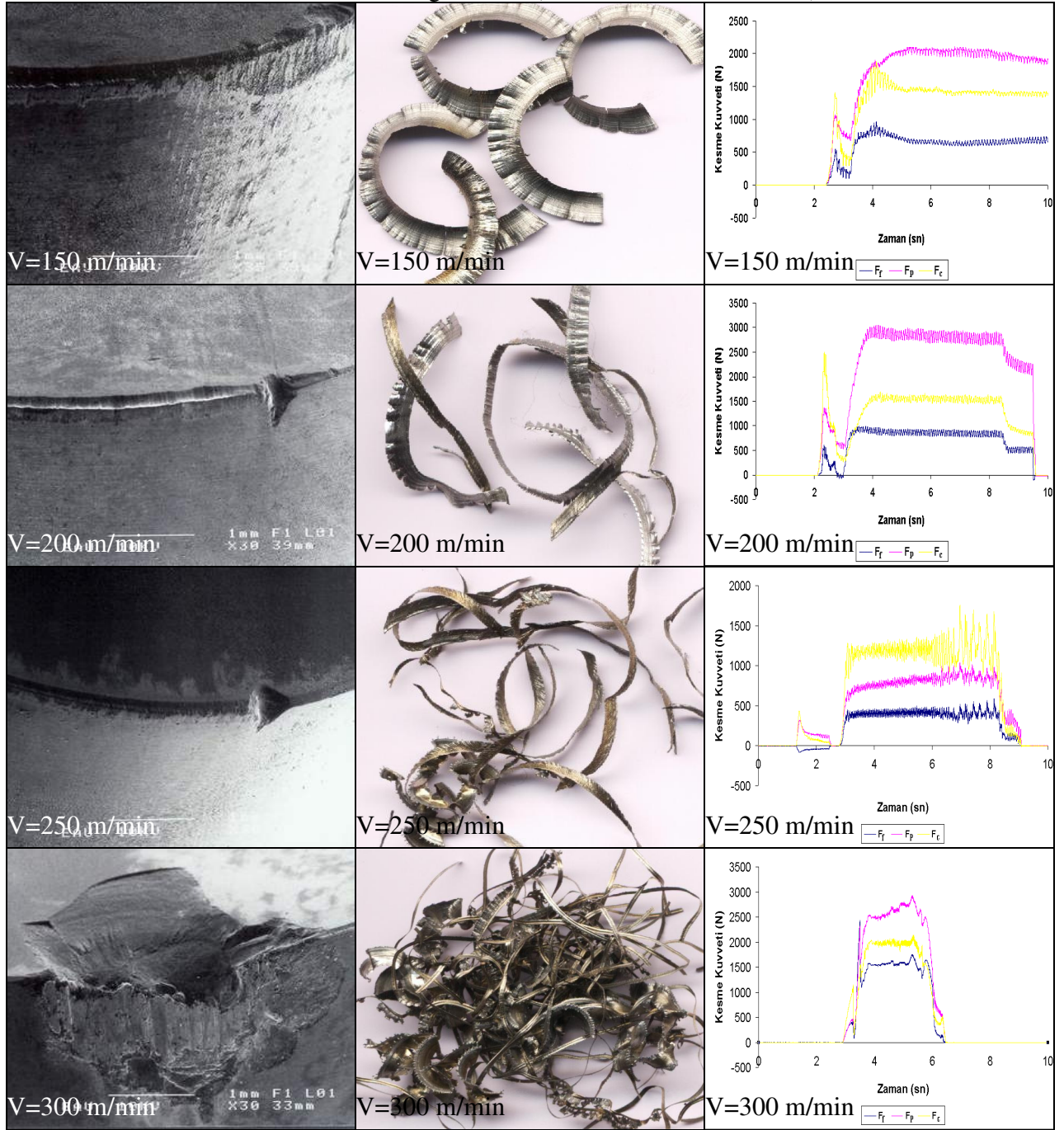
EK-44

KYON 2000 RNGN 12 07 12 T01020 seramik kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$)



EK-45

KYON 4300 RNGN 12 07 12 T01020 seramik kesici ucun aşınması, talaş resimleri ve kesme kuvvetleri grafikleri ($f = 0,2 \text{ mm/rev}$, $d = 2 \text{ mm}$)



EK-46

KYON 2100 SNGN 12 07 12 T01020 kesici ucun tarayıcı (scanner)' da taranarak elde edilen aşınma resmi

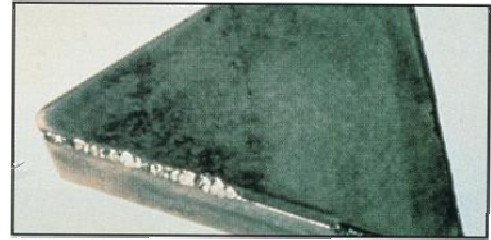


EK-47

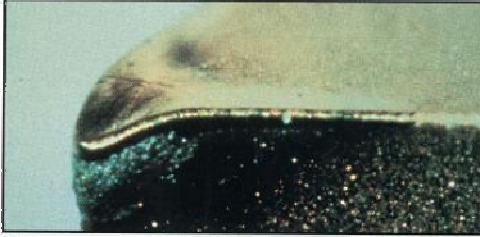
Kesici uçlarda oluşan aşınma şekilleri ve öneriler.(100)

**Önerilen Durum**

- * İlerleme Oranını Arttır
- * Kesme Hızı Düşür
- * Aşınmaya Daha Çok Dayanıklı kalite seç
- * Kaplamalı uç kullan

**Önerilen Durum**

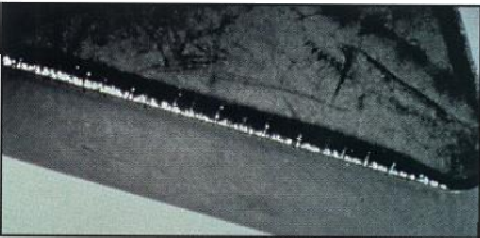
- * Daha Güçlü Kalite Seç
- * Kenar Özelliklerini Doğru Seç
- * Sistemin Rijitliğini Kontrol Et
- * Yan Kenar Açısını Arttır

Isı ile oluşan deformasyon**Önerilen Durum**

- * Hız Düşür
- * İlerlemeyi Düşür
- * Talaş Derinliğini Düşür

Talaş derinliğinde çentik**Önerilen Durum**

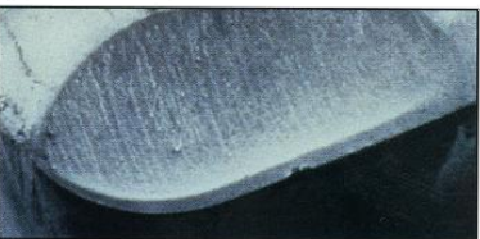
- * Yan Kenar Açısını Değiştir
- * Kenar Özelliklerini Doğru seç
- * Farklı Kalite Dene
- * İlerleme Miktarını Değiştir

Termal çatlamalar**Önerilen Durum**

- * Yeterince Soğutma Sıvısı Kullan
- * Hız Azalt
- * İlerlemeyi Azalt
- * Farklı Kalite Kullan

Sıyama**Önerilen Durum**

- * Kesme Hızını Arttır
- * İlerleme Oranını Arttır
- * Kapa Vada Sermet Uç Kullan
- * Yeterince Soğutma Sıvısı Kullan

Krater aşınma**Önerilen Durum**

- * İlerleme Oranını Düşür
- * Kesme Hızını Düşür
- * Kaplamalı Vada Sermet Uç Kullan
- * Soğutma Sıvısı Kullan

Uç kırılması**Önerilen Durum**

- * Daha Dayanıklı Uç Geometrisi Seç
- * İlerleme Oranını Düşür
- * Talaş Derinliğini Düşür
- * Sistemin Rijitliğini Kontrol Et

EK-48

Inconel 718 alaşımlarının fazlarının nicel olarak analizi (105)

Inconel 718' in quantativ (nitelik) yönünden faz analizi

Örnek	$\gamma+\gamma'$ fazının kompozisyonu (bileşenleri)								δ fazının kompozisyonu (bileşenleri)								
	Ni	Co	Fe	Cr	Mo	Ti	Nb	Al	Ni	Fe	Cr	Mo	Ti	Nb	Al	Co	
A																	
	Wt.%	7.954	0.095	0.327	0.368	0.215	0.226	2.551	0.329	2.549	0.062	0.043	0.085	0.116	1.001	0.020	Trace
	At.%	69.23	0.82	2.99	3.62	0.66	2.42	14.03	6.23	72.15	1.84	1.38	17.90	4.02	1.48	1.23	-
	Stoichiometry $W\gamma/W\gamma'$	$(Ni_{0.915}Co_{0.011}Fe_{0.040}Cr_{0.021})_2(Cr_{0.072}Mo_{0.026}Ti_{0.058}Nb_{0.559}Al_{0.234})$ (at.%) 1:2.881														$(Ni_{0.959}Fe_{0.023}Cr_{0.029})_2(Cr_{0.027}Mo_{0.025}Ti_{0.159}Nb_{0.707}Al_{0.049})$ (at.%)	
B																	
	Wt.%	7.750	0.062	0.299	0.362	0.116	0.226	2.551	0.329	3.530	0.085	0.055	0.083	0.163	1.408	0.022	Trace
	At.%	70.32	0.56	2.85	3.71	0.64	2.13	13.516	6.28	72.49	1.83	1.28	18.26	4.10	1.05	0.99	-
	Stoichiometry $W\gamma/W\gamma'$	$(Ni_{0.915}Co_{0.024}Fe_{0.039}Cr_{0.025})_2(Cr_{0.072}Mo_{0.025}Ti_{0.057}Nb_{0.553}Al_{0.237})$ (at.%) 1:2.973														$(Ni_{0.965}Fe_{0.023}Cr_{0.029})_2(Cr_{0.025}Mo_{0.024}Ti_{0.164}Nb_{0.725}Al_{0.040})$ (at.%)	
C																	
	Wt.%	7.880	0.003	0.256	0.468	0.135	0.584	1.660	0.318	3.550	0.104	0.073	0.090	0.163	1.420	0.028	0.001
	At.%	70.23	0.03	2.40	4.71	0.74	6.38	9.35	6.17	71.64	2.20	1.66	18.10	4.03	1.11	1.23	0.02
	Stoichiometry $W\gamma/W\gamma'$	$(Ni_{0.937}Co_{0.024}Fe_{0.023}Cr_{0.011})_2(Cr_{0.054}Mo_{0.026}Ti_{0.255}Nb_{0.374}Al_{0.237})$ (at.%) 1:2.866														$(Ni_{0.941}Fe_{0.025}Cr_{0.011}Co_{0.022})_2(Cr_{0.023}Mo_{0.024}Ti_{0.159}Nb_{0.715}Al_{0.049})$ (at.%)	

EK-49

Inconel 718' in kaplamasız ve kaplamalı karbür takımlar ile işlenmesinde deneysel parametreler ve sonuçları(71)

Inconel 718' in kaplamasız karbür uçlar ile işlenmesinde deneysel durumlar ve sonuçları

Deney no	Kesme hızı V (m/min)	İlerleme f (mm/rev)	Talaş derinliği (mm)	Kodlama			Karşılığı		
				x_1	x_2	x_3	Takım ömrü T (min)	Yüzey pürüzlülüğü R_a (μ m)	Kesme kuvveti F (N)
1	10	0.15	0.900	-1	-1	-1	64.2	2.667	906
2	33	0.15	0.900	1	-1	-1	6.0	1.8	777
3	10	0.25	0.900	-1	1	-1	34.8	4.167	1222
4	33	0.25	0.900	1	1	-1	2.8	4.433	1167
5	10	0.15	1.750	-1	-1	1	41.7	3.233	1830
6	33	0.15	1.750	1	-1	1	2.75	1.867	1365
7	10	0.25	1.750	-1	1	1	16.9	4.333	2428
8	33	0.25	1.750	1	1	1	1.3	4.1	2123
9	18	0.20	1.250	0	0	0	11.7	3.067	1439
10	18	0.20	1.250	0	0	0	15.2	3.467	1404
11	18	0.20	1.250	0	0	0	12.3	2.667	1417
12	18	0.20	1.250	0	0	0	13.5	3.1	1419
13	7	0.20	1.250	$-\sqrt{2}$	0	0	33.0	3.767	1721
14	45	0.20	1.250	$\sqrt{2}$	0	0	1.44	2.9	1255
15	18	0.12	1.250	0	$-\sqrt{2}$	0	37.1	1.637	985
16	18	0.30	1.250	0	$\sqrt{2}$	0	3.7	6.3	1981
17	18	0.20	0.80	0	0	$-\sqrt{2}$	20.8	2.5	930
18	18	0.20	2.0	0	0	$\sqrt{2}$	7.0	3.2	2105
19	7	0.20	1.250	$-\sqrt{2}$	0	0	39.0	3.9	1680
20	45	0.20	1.250	$\sqrt{2}$	0	0	1.6	3.3	1243
21	18	0.12	1.250	0	$-\sqrt{2}$	0	32.8	1.197	979
22	18	0.30	1.250	0	$\sqrt{2}$	0	4.3	6.433	1887
23	18	0.20	0.80	0	0	$-\sqrt{2}$	24.6	2.6	877
24	18	0.20	2.0	0	0	$\sqrt{2}$	8.3	2.7	2120

Inconel 718' in kaplamalı karbür uçlar ile işlenmesinde deneysel durumlar ve sonuçları

Deney no	Kesme hızı V (m/min)	İlerleme f (mm/rev)	Talaş derinliği (mm)	Kodlama			Karşılığı	
				x_1	x_2	x_3	Takım ömrü T (min)	Yüzey pürüzlülüğü R_a (μ m)
1	10	0.15	0.900	-1	-1	-1	30.1	2.967
2	33	0.15	0.900	1	-1	-1	6.5	3.433
3	10	0.25	0.900	-1	1	-1	20.8	7.133
4	33	0.25	0.900	1	1	-1	1.6	4.233
5	10	0.15	1.750	-1	-1	1	21.4	2.867
6	33	0.15	1.750	1	-1	1	3.5	2.6
7	10	0.25	1.750	-1	1	1	16.0	4.8
8	33	0.25	1.750	1	1	1	0.95	4.967
9	18	0.20	1.250	0	0	0	12.2	3.267
10	18	0.20	1.250	0	0	0	10.7	4.2
11	18	0.20	1.250	0	0	0	12.8	5.467
12	18	0.20	1.250	0	0	0	10.0	5.533
13	7	0.20	1.250	$-\sqrt{2}$	0	0	21.8	6.067
14	45	0.20	1.250	$\sqrt{2}$	0	0	2.1	4.267
15	18	0.12	1.250	0	$-\sqrt{2}$	0	17.8	2.3
16	18	0.30	1.250	0	$\sqrt{2}$	0	6.3	5.933
17	18	0.20	0.80	0	0	$-\sqrt{2}$	12.5	4.367
18	18	0.20	2.0	0	0	$\sqrt{2}$	9.4	3.8
19	7	0.20	1.250	$-\sqrt{2}$	0	0	24.7	5.567
20	45	0.20	1.250	$\sqrt{2}$	0	0	1.8	3.567
21	18	0.12	1.250	0	$-\sqrt{2}$	0	20.0	1.5
22	18	0.30	1.250	0	$\sqrt{2}$	0	5.18	6.1
23	18	0.20	0.80	0	0	$-\sqrt{2}$	12.1	3.767
24	18	0.20	2.0	0	0	$\sqrt{2}$	8.6	4.1

EK-50

Kesici takım malzemeleri ve iş parçasının mekanik ve termal özellikleri (74)

	Inconel 718	Ti-6Al-6V-2Sn	Si₃N₄	Al₂O₃ + TiC	K10
Sertlik	412 HV	333 HV	92.8 HRA	93.8 HRA	89.0 HRA
Elastikiyet modülü, GPa	206	110	284	373	515
Akma gerilmesi, GPa	1.73	1.06	0.942	0.763	1.375
Termal iletkenlik, W m ⁻¹ K ⁻¹	15.0	17.2	54.5	21.0	79.5
Yoğunluk, kg m ⁻³	8470	4430	3150	3970	11 800
Spesifik ısı, J kg ⁻¹ K ⁻¹	461	541	711	779	398
Termal genleşme, x10 ⁻⁶ K ⁻¹	11.5	8.41	3.6	7.6	5.5
Erime sıcaklığı, K	1550	1920	—	—	—

EK-51

Sementit karbür takım malzemelerin ana özellikleri (75)

Malzeme	Özgöl Ağırlık	Sertlik(H _v)	Elastikiyet modülü (x10 ³ kg/mm ²)	Büyüme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)	Erime Noktası (°C)
WC	15.6	2150	70	5.1	2900
TiN	5.43	2000	26	9.2	2950
Al ₂ O ₃	3.98	3000	42	8.5	2050
Co	8.9	---	10-18	12.3	1495

EK-52Sementit karbür takım malzemelerin m , C_v katsayıları ve talaş açıları (75)

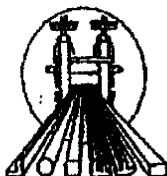
Kalite	Talaş Açısı (°)	m	C_v
KC7310	16	0.26	150.94
KC935	18	0.26	101.75
KY2000	-7	0.58	312.13
KY2100(R)	-8	0.46	307.43
KY2100(S)	+5	0.20	218.21
	-7	0.33	223.04
	-15	0.24	207.76
KY3000	+5	0.58	276.72
	-7	0.68	214.55
	-15	0.18	135.62

EK-53

INCONEL 718 malzeme özellikleri raporu

002

2/18/02 WED 15:50 FAX

**Precision Rolled Products, Inc.**

P.O. BOX 00070
14255 MT. WHELAN
RENO, NV 89506
(775) 872-0272
FAX (775) 872-4300

Customer: HIGH TEMP METALS
12910 SAN FERNANDO ROAD
SYLMAR, CA
91342

P26735-1

Attn.:

Customer Order No.	Order Date	Cert Date	Shop Order	Alloy
24968	12/14/2000	10/02/2001	P26735-1	718
Specification(s): AMS 5663J, ASTM-B-637-98, 10000 CANAD G.E. B50TF15E-S28				
Quantity (Pcs./Wt.): 1 BDL/ 1061 LBS		Size or Deg. Number: 2.010" DIA X 8' - 14' R/L		

Heat Number: 38854

Melt Method: VM/ESR

Chemical Analysis: REMELT INGOT

Raw Material Source: PRP / Specialty Alloy Melt Division

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Co	Mo	Nb + Ta	Ti
0.040	0.08	0.08	<0.015	0.002	18.37	53.37	0.23	3.04	5.34	0.98
Al	B	Ta	Cu	Fe	Ca	Mg	Pb	Bi	Se	Nb
0.50	0.004	0.005	0.04	17.80	<0.01	<0.01	.0001	.00001	<.0001	5.33

Chemistry Source: PRP/SAMD

Trace element analysis performed by Dickson Testing Company

Mechanical and Metallurgical Tests:

Cond.	Temp. (F)	UTS (ksi)	YS (.25) (ksi)	Stress (ksi)	Life (Hrs.)	SEL.	SR.A.
M	RT	205.0	171.0			23.3	42.1
M	1200	163.0	141.0			22.2	30.8
M	1200			120.0	86.1	17.6	

Rupture specimen type: combination notch and smooth

Notch Diameter: 0.1777"; Notch Radius: 0.0055"

Stress rupture specimen was steploded in 5 ksi at 48.4, 58.2, 68.3, and 78.4 hours

Tensile and Stress Rupture test specimens were machined and tested by DICKSON TESTING T2981

MILL THERMAL TREATMENT (AS SHIPPED CONDITION)

M.) 1750F, 1 hour, water quench; followed by Precipitation heat treat 1325F,

8 hours, furnace cool to 1150F (100F/hour), hold 8 hours, air cool

Grain size: Uniform ASTM No. 7.0, Isolated ALA ASTM No. 5.0,

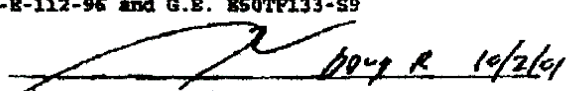
Micro No: AA2592U, PRP Etchant No: 4

Hardness: 388 HBS

Microstructure conforms to requirements specified in AMS 5663J

Grain size determined in accordance with ASTM-E-112-96 and G.E. B50TF133-S9

Conforms to specification requirements.


Doug Rawson / QA/QC Metallurgist

The test results shown above are certified to be true and in accordance with specification requirements and records maintained in our files.

ÖZGEÇMİŞ

1959'da Siirt Aydınlar İlçesi'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Siirt'te tamamladı, 1981' de İstanbul Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Makina Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Zonguldak Alaplı' da tesviye öğretmenliği, sırasıyla Van' da bölüm şefliği ve müdür yardımcılığı, Batman'da Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi müdürlüğü yaptı, 1996' da okul müdürlüğünden ayrılarak Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek yüksekokuluna Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 1998' de Marmara Üniversitesi Makina Eğitimi Bölümünden yüksek lisans diploması aldı, aynı yıl Gazi Üniversitesinde doktora programına başladı. Halen Van Meslek Yüksekokulu'nda Makine Programı Koordinatörü olarak görev yapmaktadır. Evli ve dört çocuğu vardır.