

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TERMOSET POLYESTER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN AISI 1050 İLE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Yük. Öğ. Kadir AZTEKİN

Balıkesir, Haziran-2010

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TERMOSET POLYESTER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN AISI 1050 İLE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK
ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Yük. Öğ. Kadir AZTEKİN

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ergun ATEŞ

Sınav Tarihi: 18.06.2010

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER (GÜ)

Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR (UÜ)

Prof. Dr. İrfan AY (BAÜ)

Doç. Dr. İhsan KORKUT (GÜ)

Yrd. Doç. Dr. Ergun ATEŞ (Danışman-BAÜ)

Enstitü Yönetim Kurulunun tarih sayılı oturumunun
nolu kararı ile mezun olmuştur.

Balıkesir, Haziran-2010

ÖZET

TERMOSET POLYESTER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN AISI 1050 İLE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK ARAŞTIRILMASI

Kadir AZTEKİN
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ergun ATEŞ)

Balıkesir, Türkiye, 2010

Malzemelerde yüksek dayanım, yüksek elastisite modülü ve düşük yoğunluk elde etmek önemlidir. Bu amaçla iki ya da daha fazla malzeme makro düzeyde birleştirilir. Böylece kompozit malzeme üretilmiş olur. Talaşlı imalat, parçaları nihai şekline getirme yöntemlerinin en önemlilerinden biridir. Talaşlı imalatı etkileyen en önemli parametre malzemenin işlenebilirliğidir. İşlenebilirlik göreceli bir kavramdır. Çoğu araştırmacı talaşlı imalat esnasında oluşan kuvvetleri, takım aşınmasını, takım tipi ve geometrisi ile kesme parametrelerini işlenebilirliği etkileyen en önemli faktörler olarak kabul etmektedir.

Çalışmada termoset polyester matrisli kompozitlerin işlenebilirliğini araştırmak amacıyla dört farklı tipte kompozit malzeme (sade, tabakalı, elyafli ve parçacıklı) üretilmiştir. Kıyaslama yapmak amacıyla AISI 1050 çeliği kompozit malzemelerle aynı ölçülerde imal edilmiştir. Tornalama esnasında oluşan kesme ve ilerleme kuvvetlerini ölçebilmek için iki eksenli bir dinamometre tasarlanıp imal edilmiştir. Kompozit malzemelere uygun takım kalitesini bulabilmek amacıyla aynı geometriye sahip P, M ve K takımları seçilmiştir. Hazırlanan numuneler dış yüzey tornalama yöntemi ile işlenmişlerdir. Takım aşınma deneyleri 15 dakikada yapılmıştır. Takım aşınmaları ağırlık kaybı yöntemi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

Kompozit malzemelerin kesme kuvvetleri AISI 1050 çeliğinin kesme kuvvetlerinin % 0.4'ü ile % 9'u kadar ölçülmüştür. Bu anlamda sade, tabakalı ve elyafli kompozitler rahatlıkla işlenebilir. Parçacıklı kompozit içerdiği kuvars taneciklerinden dolayı düzensiz ve hızlı takım aşınmasına neden olduğundan kötü bir işlenebilirliğe sahip olmuştur. Sade, tabakalı ve elyafli kompozitler özellikle takım boşluk yüzeyinde termoset matrisin bozunması ile sıvanma oluşturmuşlardır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Talaşlı imalat, kompozitler, dinamometre, işlenebilirlik, tasarım.

ABSTRACT

THE COMPARATIVE INVESTIGATION OF MACHINABILITY OF THERMOSET POLYESTER MATRIX COMPOSITES WITH AISI 1050

Kadir AZTEKİN
Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Mechanical Engineering

(Ph. D. Thesis / Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Ergun ATEŞ)

Balıkesir-Turkey, 2010

It is important to obtain high strength, high modulus of elasticity and low density in materials. For this purpose, two or more materials are combined in macroscopic level. Thus, composite material is produced. Metal cutting is one of the most important methods which gives the workpieces its final form. The most important parameter that effects the metal cutting is machinability of material. The machinability is a relative term. Most researchers accept the cutting forces during metal cutting, tool wear, tool type and geometry, and cutting parameters as the most important factors that effect machinability.

In this study, four different types of composite (pure, laminated, clipping fiber reinforcement, particulate) materials were manufactured to investigate machinability of composites materials which has thermoset polyester matrix. To make comparison, AISI 1050 steel was manufactured in the same dimensions. Biaxial dynamometer was designed and manufactured to be able to measure the cutting and feed forces coming out during turning. So as to find suitable tool grade for composite materials, P, M and K tools, which have same geometry, were selected. The prepared samples were machined with longitudinal turning method. Tool wear tests were done in 15 minutes. Tool wears are examined with loss in weight method and scanning electron microscope (SEM).

Cutting forces of composite materials are measured as 0.4 % - 9 % as of AISI 1050 steel cutting forces. As such; pure, laminated, and clipping fiber reinforcement composites can easily be machined. Particulate composites had a bad machinability due to quartz particles which cause irregular and rapid tool wear. Pure, laminated and clipping fiber reinforcement composites caused built-up edge with the disintegration of thermoset matrix especially in tool flank surfaces.

KEY WORDS: Metal cutting, composites, dynamometer, machinability, design.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SEMBOL ve KISALTMA LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Literatür Araştırması	3
2.1.1 Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği Çalışmaları	5
2.1.2 Dinamometre Çalışmaları.....	21
2.2 Kompozit Malzemeler	30
2.2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	31
2.2.2 Matris Malzemeleri	32
2.2.3 Elyaf Malzemeleri.....	36
2.2.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	36
2.3 Talaşlı İmalat	40
2.3.1 Talaş Kaldırma Mekanikliği ve Önemli Parametreler.....	40
2.3.2 Takım Ömrü ve Takım Aşınması	52
2.4 İşlenebilirlik	57
2.5 Dinamometreler	66
2.5.1 Dinamometre Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar.....	66
2.5.2 Kuvvet Ölçümü.....	69
2.5.3 Wheatstone Köprü Devresi	76
2.5.4 Uzama Ölçerli Torna Dinamometresi.....	77
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	80
3.1 Basma Numunesi Kalıbı Tasarımı ve İmalatı	82
3.2 Nihai Deney Numunesi Kalıp Sistemi Tasarımı ve İmalatı.....	83
3.3 Masa Tipi Vibratör Cihazının Tasarımı ve İmalatı.....	85
3.4 Matris Bileşenlerinin Optimizasyonu.....	86
3.5 Takviye Elemanlarının Optimizasyonu	92
3.5.1 Tabakalı Takviye Elemanının Optimizasyonu.....	92
3.5.2 Elyafli Takviye Elemanının Optimizasyonu.....	96
3.5.3 Parçacıklı Takviye Elemanının Optimizasyonu	98
3.6 Deney Numunelerinin Hazırlanması	101
3.7 AISI 1050 Malzemesinin Özellikleri	102
3.7.1 AISI 1050 Malzemesinin Kimyasal Analizi	102
3.7.2 AISI 1050 Malzemesinin İyapı Analizi.....	104
3.7.3 AISI 1050 Malzemesinin Sertliği.....	105

3.7.4 AISI 1050 Malzemesinin Çekme Dayanımı	106
3.8 Dinamometrenin Tasarımı, Üretimi ve Kalibrasyonu	109
3.8.1 Dinamometrenin Tasarımı	109
3.8.2 Dinamometrenin İmalatı	110
3.8.3 Dinamometrenin Uzama Ölçerlerinin Yapıştırılması	111
3.8.4 Wheatstone Köprü Devre Bağlantılarının Yapılması.....	113
3.8.5 Veri Toplama Sistemi ile Bilgisayar Bağlantısı.....	115
3.8.6 Dinamometrenin Yük Dayanım Hesabı	117
3.8.7 Dinamometrenin Takım Ucundaki Sehım Hesabı	118
3.8.8 Dinamometrenin Doğal Frekansının Hesaplanması	118
3.8.9 Dinamometrenin Statik Kalibrasyonu.....	119
3.9 Deneylerde Kullanılan Takımlar	122
3.10 Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu	124
3.11 Deneylerde Kullanılan Torna Tezgahı	124
3.12 Deney Parametrelerinin Seçimi.....	125
3.13 Deney Planı ve Deneylerin Yapılması	126
4. BULGULAR	130
4.1 Kuvvetler.....	130
4.1.1 İlerlemenin AISI 1050 Malzemesinde Kuvvetlere Etkisi	130
4.1.2 İlerlemenin Sade Kompozitte Kuvvetlere Etkisi	131
4.1.3 İlerlemenin Tabakalı Kompozitte Kuvvetlere Etkisi	132
4.1.4 İlerlemenin Elyaflı Kompozitte Kuvvetlere Etkisi	133
4.2 Takım Aşınmaları.....	134
4.2.1 Takım Aşınmalarının SEM İncelemeleri	134
4.2.2 Takım Aşınmasının Zamana Bağlı Kuvvetlere Etkisi	142
5. TARTIŞMA	143
5.1 Kuvvetler.....	143
5.2 Takım Aşınmaları.....	144
6. SONUÇLAR	145
7. ÖNERİLER	148
8. REFERANSLAR	149

SEMBOL ve KISALTMA LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birimi</u>
ϕ	Kayma açısı, kesme açısı (Cutting angle, shear angle)	°
α	Serbest açı, boşluk açısı (relief angle)	°
β	Kama açısı (Wedge angle)	°
γ	Talaş açısı (rake angle, side rake angle)	°
λ	Eğim açısı (inclination angle, back rake angle)	°
λ_1	Büyük kesme kenarı açısı (BKKA) (Big cutting edge angle)	°
λ_2	Küçük kesme kenarı açısı (Small cutting edge angle)	°
ρ	Sürtünme açısı (Friction angle)	°
h	Biçimlenmemiş talaş kalınlığı (Undeformed chip thickness)	mm
h'	Biçimlenmiş talaş kalınlığı (Deformed chip thickness)	mm
b	Biçimlen(me)miş talaş genişliği ((Un)deformed chip width)	mm
l	Biçimlenmemiş talaş uzunluğu (Undeformed chip length)	mm
l'	Biçimlenmiş talaş uzunluğu (Deformed chip length)	mm
V	Talaş Hacmi (Chip volume)	mm ³
λ_s	Genleşme faktörü	-
λ_{sb}	Büzülme faktörü, $1/\lambda_s$	-
V	Kesme Hızı (Cutting velocity)	m/dak
V_a	Talaş ayrılma hızı	m/dak
V_M	Talaş kaldırma hızı, makaslama hızı	m/dak
τ_k	Kesme mukavemeti (shear strength)	MPa
A_k	Kesme düzlemi kesit alanı (cutting plane section area)	mm ²
k_s	Özgül kesme kuvveti (Specific cutting force)	N/mm ²
k_{sh}	Talaş kalınlığına bağlı özgül kesme kuvveti	N/mm ²
k_{s11}	Birim özgül kesme kuvveti	N/mm ²
k_γ	Talaş açısı faktörü (Rake angle factor)	-
k_T	Takım malzemesi ve talaş kaldırma yöntemi faktörü	-
k_λ	Eğim açısı faktörü (Inclination angle factor)	-
k_a	Takım aşınması faktörü (Tool wear factor)	-
z	Malzeme sabiti (Material constant)	-
P	Kesme gücü (Cutting power)	kW
η	Verim (Efficiency)	-
P_m	Tezgah motorunun gücü (Power of machine motor)	kW
Z_w	Birim zamanda kaldırılan talaş hacmi	mm ³
P_s	Özgül kesme enerjisi (specific cutting energy)	GJ/m ³
u	İlerleme hızı (Feed rate)	mm/dak
f	İlerleme (Feed)	mm/dev

Sembol	Açıklama	Birimi
r	Takım uç yarıçapı (nose radius)	mm
N	Devir sayısı (Number of cycle)	dev/dak
T	Takım ömrü (Tool life)	dak
n	Parça ve takım malzemesine bağlı bir sabit	-
C_t	Taylor sabiti (Taylor's constant)	-
F_c	Kesme kuvveti (Cutting Force)	N
F_v	İlerleme kuvveti (Velocity Force)	N
F_r	Radyal kuvvet (Radial Force)	N
F_z	Talaş kaldırma kuvveti (Bileşke kuvvet)	N
F_k	Makaslama kuvveti	N
F_b	Basma kuvveti (Compression force)	N
F_f	Sürtünme kuvveti (Friction Force)	N
F_n	Normal kuvvet (Normal force)	N
R_c	Rockwell sertlik değeri (Rockwell hardness value)	HRC
R	Direnç (Resistance)	ohm
ΔR	Dirençteki değişim (Change in resistance)	ohm
F	Uzama ölçer faktörü (Gauge factor)	-
L	Uzama ölçer boy uzunluğu (length)	mm
ΔL	Boydaki değişim (Change in length)	mm
ε	Gerinim, birim uzama (strain)	-
V_g	Giriş voltajı (Input voltage)	V
$V_ç$	Çıkış voltajı (Output voltage)	V
ΔV	Voltajdaki değişim (Change in voltage)	V
f_e	Tezgahın doğal frekansı (Natural frequency of machine)	Hz
F_x	Piezoelektrik kristaline uygulanan basma kuvveti	N
K	Dinamometrenin yay sabiti (Spring constant of dynamometer)	N/m
m	Kütle (Mass)	Kg
E	Elastik modülü (Modulus of elasticity)	GPa
c	M_c ve M_v eğilme momentlerinde kesitin eni	mm
d	M_c ve M_v eğilme momentlerinde kesitin boyu	mm
w	Takım ucu ile kater (takım) ankastre bağlantı mesafesi	mm
f_n	Dinamometrenin doğal frekansı (Natural frequency of dynamometer)	Hz
G	Galvanometre (galvanometer)	-
a	Devredeki aktif kol sayısı	-
M_c	Kesme kuvvetinden kaynaklanan eğilme momenti	-
M_v	İlerleme kuvvetinden kaynaklanan eğilme momenti	-
ε_{c1}	M_c eğilme momentinde üst yüzeydeki gerinim	-
ε_{c2}	M_c eğilme momentinde alt yüzeydeki gerinim	-
ε_{v1}	M_v eğilme momentinde üst yüzeydeki gerinim	-
ε_{v2}	M_v eğilme momentinde alt yüzeydeki gerinim	-
$R1, R4, R3, R4$	Wheatstone devresinde dirençler	-
$T1, T1, T3, T4$	Torna dinamometresinde uzama ölçer yapıştırma yerleri	-
$C1, C2, C3, C4$	Torna dinamometresinde uzama ölçer yapıştırma yerleri	-

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
SiC	Silisyum Karbür (Silicon Carbide)
SiCp	Silisyum Karbür (Silicon Carbide)
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit (Aluminium Oxide, Alümina)
C-O-C	Karbon-Oksijen-Karbon (Carbon- Oxygen-Carbon)
MgO	Magnezyum Oksit (Magnesium Oxide, Magnesia)
Si ₃ N ₄	Silisyum Nitrür (Silicon Nitride)
FeO	Demir Oksit (Ferrum Oxide)
MnO	Mangan Oksit (Manganese Oxide)
GFRP	Cam fiber takviyeli kompozit (Glass Fiber Reinforcement Plastic)
CFRP	Karbon fiber takviyeli kompozit (Carbon Fiber Reinforcement Plastic)
CFRC	Karbon fiber takviyeli karbon (Carbon Fiber Reinforcement Carbon)-
GFREC	Cam fiber takviyeli epoksi kompozit (Carbon Fiber Reinforcement Epoxy Composite)
GFP	Cam fiber takviyeli termoset (Glass Fiber Reinforcement Thermoset)
GFPP	Cam fiber takviyeli termoplastik (Glass Fiber Reinforcement Thermoplastic)
PEEK	Polyetereterketon
PEEK GF30	% 30 cam fiber takviyeli polyetereterketon kompozit
PA66	Polyamid (Polyamide)
PA66 GF30	% 30 cam fiber takviyeli polyamid (Glass Fiber Reinforcement Polyamide)
ABS	Akronitril-Bütadien-Stiren
PVC	Polivinilklorür (Polyvinylchloride)
SS	Hız çeliği (Speed Steel)
HSS	Yüksek hız çeliği (High Speed Steel)
P	Sert metal takımların en az sert, en çok tok olan grubu
M	Sert metal takımların orta sert, orta tok olan grubu
K	Sert metal takımların en az tok, en çok sert olan grubu
PCD	Çok kristalli elmas takım (Poly Crystalline Diamond)
CBN	Kübik Bor Nitrür takım (Cubic Boron Nitride)
SCD	Tek kristalli elmas takım (Single Crystalline Diamond)
WC	Volfram Karbür (Wolfram Carbide)
TiN	Titanyum Nitrür (Titanium Nitride)
TiCN	Titanyum Karbon Nitrür (Titanium Carbon Nitride)
CVD	Kimyasal buhar çökeltme (Chemical Vapour Deposition)
S	Kare sert metal takım (Square Hard Metal Tool)
R	Yuvarlak sert metal takım (Round Hard Metal Tool)
BUE	Kesici kenarda yığılma, sıvanma, yığıntı talaş (Built-Up Edge)
YK	Yığıntı Katmanı (Built-Up Layer)
N	Newton
m	Metre (Meter)
mm	Milimetre (Millimeter)
µm	Mikrometre (Micrometer)
dak	Dakika (Minute)
kW	Kilovat (Kilowatt)
m/dak	metre/dakika
dev/dak	devir/dakika
mm/dev	milimetre/devir

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
Hz	Hertz (frekans)
MPa	Mega paskal
HP	Beygir gücü (Horse Power)
HB	Brinell sertlik birimi (Hardness Brinell)
SEM	Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
HSTR	Yüksek Mukavemetli, Isıl Dirençli Alaşımlar (High Strength Temperature Resistance)
CNC	Bilgisayar kontrollü tezgah (Computer Numerical Control)
TİG	Gaz altı kaynağı (Tungsten Inert Gas)
CoOC	Kobalt oktoat (Cobalt Oktoat)
MEKP	Metiletilketon peroksit (Methyl ethyl keton peroxide)
AISI	Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
SAE	Amerikan standardı (Society of Automotive Engineers)
MKE	Makine Kimya Endüstrisi
ASTM	Amerikan standardı (American Society for Testing and Materials)
Ç	Çelik
St	Çelik (Steel)
D.D.	Dökme Demir
Ms 67	α - pirinci

TABLO LİSTESİ

Tablo Adı	Sayfa
Tablo 2.1 Metallerin işlenebilme kabiliyeti	62
Tablo 3.1 CNC torna tezgahının özellikleri	82
Tablo 3.2 CNC freze tezgahının özellikleri	84
Tablo 3.3 Polyesterlerin özellikleri.....	86
Tablo 3.4 Matris bileşenlerinin hacim oranları	87
Tablo 3.5 0.05 gram hassasiyetli dijital terazinin özellikleri.....	88
Tablo 3.6 Basma cihazının özellikleri	89
Tablo 3.7 A grubu matris optimizasyonu basma deneyi sonuçları	90
Tablo 3.8 B grubu matris optimizasyonu basma deneyi sonuçları	91
Tablo 3.9 Spir aralıklarına göre dokuma elyaf uzunlukları	94
Tablo 3.10 Tabakalı takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları	95
Tablo 3.11 Hacim oranlarına göre ortalama kırpıntı elyaf ağırlıkları	96
Tablo 3.12 Elyafli takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları	98
Tablo 3.13 Vibrasyon cihazının özellikleri	99
Tablo 3.14 Eleklerin özellikleri	99
Tablo 3.15 Kuvars hacim oranına karşılık gelen kuvars ağırlıkları.....	100
Tablo 3.16 Parçacıklı takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları	101
Tablo 3.17 AISI 1050 çeliğinin spektrum analiz sonuçları	103
Tablo 3.18 Spektrum analiz cihazının özellikleri	103
Tablo 3.19 Optik metal mikroskopunun özellikleri	104
Tablo 3.20 Sertlik cihazının özellikleri	106
Tablo 3.21 AISI 1050 malzemesinin sertlik testi sonuçları.....	106
Tablo 3.22 Çekme cihazının özellikleri	107

Tablo Adı	Sayfa
Tablo 3.23 Çekme numunesinin boyutları	107
Tablo 3.24 AISI 1050 malzemesinin mekanik özellikleri	108
Tablo 3.25 Elektro erozyon tezgahının özellikleri	111
Tablo 3.26 Uzama ölçerlerin (strain gauge) özellikleri	112
Tablo 3.27 Data kablosunun özellikleri	114
Tablo 3.28 Genel amaçlı statik veri toplama sisteminin özellikleri	115
Tablo 3.29 Aygıt geçidinin özellikleri	116
Tablo 3.30 Genel amaçlı statik veri toplama yazılımının özellikleri	116
Tablo 3.31 Kesme kuvveti statik kalibrasyon değerleri	121
Tablo 3.32 İlerleme kuvveti statik kalibrasyon değerleri	121
Tablo 3.33 Sert metal takımların özellikleri	123
Tablo 3.34 Katerin özellikleri	124
Tablo 3.35 Üniversal torna tezgahının özellikleri	125
Tablo 3.36 Standart ile deneydeki parametrelerin karşılaştırması	125
Tablo 3.37 Bir numune için aşınma deney planı	128
Tablo 3.38 SEM cihazının özellikleri	129
Tablo 3.39 1\10000 g hassasiyetli dijital terazinin özellikleri	129
Tablo 4.1 Aşınma deneyi öncesi ve sonrası takım ağırlıkları	141

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Adı	Sayfa
Şekil 2.1 Kompozit asker miğferi ve otomobil ön paneli	30
Şekil 2.2 Elyaf sarma yöntemi.....	38
Şekil 2.3 Püskürtme yöntemi	38
Şekil 2.4 Eğik ve ortogonal ve kesme modeli	43
Şekil 2.5 Ortogonal kesme modeli ve kesme düzlemi	44
Şekil 2.6 Merchant modelinde kesme kuvvetleri	47
Şekil 2.7 Talaş kalınlığına bağlı hiperbolik özgül kesme kuvveti.....	48
Şekil 2.8 Talaş kalınlığına bağlı logaritmik özgül kesme kuvveti.....	49
Şekil 2.9 Talaş kalınlığına göre özgül kesme enerjisi	50
Şekil 2.10 Boyuna tornalamada meydana gelen kesme bileşenleri.....	51
Şekil 2.11 Takımdaki açılar	53
Şekil 2.12 Hiperbolik T-V grafiği.....	54
Şekil 2.13 Logaritmik T-V grafiği	54
Şekil 2.14 Komparatörle çalışan dinamometre	69
Şekil 2.15 Hidrolik dinamometre	70
Şekil 2.16 Pnömatik dinamometre	70
Şekil 2.17 Optik dinamometrenin çalışma mantığı	71
Şekil 2.18 Piezoelektrik kristalinin yüke göre elektriksel davranışı	71
Şekil 2.19 Piezoelektrik kristalinin devre bağlantısı	72
Şekil 2.20 Elektronik dönüştürücü.....	73
Şekil 2.21 Diferansiyel transformatör	73
Şekil 2.22 Manyetik uzama ölçer	74
Şekil 2.23 Yapıştırmasız uzama ölçer	74

Sekil Adı	Sayfa
Şekil 2.24 Yapıştırırmalı uzama ölçerler.....	75
Şekil 2.25 Wheatstone köprü devresi.....	76
Şekil 2.26 Tornalamada ortogonal kesme modeli.....	77
Şekil 2.27 Dinamometreye gelen eğilme gerilmeleri.....	78
Şekil 2.28 Uzama ölçerleri yapıştırılmış dinamometre.....	78
Şekil 2.29 Uzama ölçerli torna dinamometresi devre bağlantıları	79
Şekil 3.1 Basma deney numunesi kalıbı teknik resmi.....	83
Şekil 3.2 Kalıp, pim ve kapak.....	84
Şekil 3.3 Montajı yapılmamış kalıp sistemi.....	84
Şekil 3.4 Montajı yapılmış kalıp sistemi.....	85
Şekil 3.5 Masa tipi vibratör cihazı.....	86
Şekil 3.6 Kurulan deney düzeneği.....	87
Şekil 3.7 0.05 gram hassasiyetli dijital terazi	88
Şekil 3.8 Takviye elemanları (sırasıyla tabakalı, elyafı, parçacıklı)	92
Şekil 3.9 1 mm spir aralığına göre çizilen spiral sarım tekniği	93
Şekil 3.10 Deneylerde kullanılacak olan beş farklı tipte malzeme	102
Şekil 3.11 AISI 1050 malzemesinin 200X büyütmede içyapısı	104
Şekil 3.12 Sertlik cihazı.....	105
Şekil 3.13 Çekme cihazı	107
Şekil 3.14 Çekme numunesinin şematik resmi.....	107
Şekil 3.15 Deney öncesi ve sonrası çekme numuneleri	108
Şekil 3.16 Çekme deneyi grafiği.....	108
Şekil 3.17 Dinamometrenin teknik resmi	110
Şekil 3.18 Uzama ölçerli ve muhafazalı dinamometre	113
Şekil 3.19 Yarım Wheatstone köprü devresi	114
Şekil 3.20 Gerinim sıfırlama işlevli ayar trimpotu.....	114
Şekil 3.21 Statik yükleme sistemi.....	119

Şekil Adı	Sayfa
Şekil 3.22 Statik yükleme kalibrasyon düzeneği.....	120
Şekil 3.23 Kesme kuvveti statik kalibrasyonu.....	122
Şekil 3.24 İlerleme kuvveti statik kalibrasyonu	122
Şekil 3.25 Sert metal (P, M ve K kaliteleri) takımlar.....	123
Şekil 3.26 Üstten tespitli takım tutucu	124
Şekil 3.27 TS 10329'a göre çalışma sınırları.....	126
Şekil 3.28 Kurulan deney düzeneği	127
Şekil 4.1 İlerlemenin AISI 1050 malzemede kuvvetlere etkisi.....	130
Şekil 4.2 İlerlemenin sade malzemede kuvvetlere etkisi.....	131
Şekil 4.3 İlerlemenin tabakalı malzemede kuvvetlere etkisi.....	132
Şekil 4.4 İlerlemenin tabakalı malzemede kuvvetlere etkisi.....	133
Şekil 4.5 AISI 1050 malzemede takım üst yüzeyi.....	134
Şekil 4.6 AISI 1050 malzemede takım boşluk yüzeyi	135
Şekil 4.7 Sade malzemede takım üst yüzeyi.....	136
Şekil 4.8 Sade malzemede takım üst yüzeyi.....	136
Şekil 4.9 Sade malzemede takım boşluk yüzeyi	137
Şekil 4.10 Tabakalı malzemede takım üst yüzeyi.....	138
Şekil 4.11 Tabakalı malzemede takım üst yüzeyi.....	138
Şekil 4.12 Tabakalı malzemede takım boşluk yüzeyi	139
Şekil 4.13 Elyafli malzemede takım üst yüzeyi.....	140
Şekil 4.14 Elyafli malzemede takım boşluk yüzeyi	140
Şekil 4.15 Takım aşınmasının zamanla kuvvetlere etkisi	142

ÖNSÖZ

Termoset polyester matrisli dört farklı kompozitin tornada işlenebilirliğinin AISI 1050 ile karşılaştırmalı olarak araştırıldığı bu çalışmaya bir çok kişinin katkısı olmuştur. Tez süresi boyunca bana yardımcı olup ta aşağıda isimlerini yazmayı unuttuğum kişilerden özür diliyorum.

Çalışmamız 108M637 numaralı TÜBİTAK Hızlı Destek Programı 1002 projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Tez süresince yaptığım çalışmaların her aşamasında beraber çalıştığımız, bana yol gösteren ve zorlandığım anlarda bana çalışma azmi veren BAÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi öğretim üyesi ve danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ergun ATEŞ'e,

Bilimsel katkılarıyla bize yol gösteren Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e,

Deneyisel çalışmada atölyelerinden yararlanmamıza imkan tanıyan Balıkesir M.Y.O. Müdürü Prof. Dr. İrfan AY 'a, Teknik Programlar Bölüm Başkanı Prof. Dr. Cemal OKUYAN 'a ve Makine Program Başkanı Yrd. Doç. Dr. Ümit YALÇIN 'a,

Deneyisel çalışmada atölyelerinden yararlanmamıza imkan tanıyan Balıkesir Endüstri Meslek Lisesi yönetimine, Makine Bölümü öğretmenlerine, bölüm şefi Hüseyin ŞAYAN'a ve Zeki AKBAŞ'a,

Tez süresince çalışmalarımın her aşamasına katılan ve yardımcı olan K.K. Astsb. MYO K'lığı öğretim elemanı ve arkadaşım Ütgm. Recep ÇAKIR'a, kullandığım makine parçalarının imalatında yardımcı olan K.K. Astsb. MYO K'lığı öğretim elemanı ve arkadaşım, Öğ. Ütgm M. Tuncay KAYA'ya, sivil memurlar Ender KARAKAŞLIOĞULLARI, Yücel ŞAHİN ve Kenan GÜVEN'e,

Deneylerde kullandığım malzemelerin kimyasal analizlerinin yapılmasında yardımcı olan 6'ncı Ana Bakım Merkez Komutanlığına ve işçi İsmail ALTINÇEKİÇ'e,

Deneyisel çalışmaların yapılmasında bana yardımcı olan BAÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği öğrencisi Arif KOTAN'a,

Proje süresince günler geceler boyu bana ve bensizliğe katlandığından, verdiği sonsuz destekten ve anlayışından dolayı eşim Işık AZTEKİN'e, eşime destek olan kayınvalidem Dilek ERDENİZ'e ve biricik oğlum Batuhan AZTEKİN'e,

Sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2010

Kadir AZTEKİN

1. GİRİŞ

Malzemelerde yüksek dayanım, yüksek elastisite modülü ve düşük yoğunluk elde etmek önemlidir. Bu amaçla iki ya da daha fazla benzer veya farklı malzeme makro düzeyde birleştirilir. Bu sayede kompozit adını verdiğimiz yeni bir malzeme ortaya çıkar. Kompozit, yapısındaki bileşenlerin iyi özelliklerinin bir malzemede belirginleştiği yeni bir yapıdır. Gelişen teknolojinin ihtiyaçlarına cevap veren kompozitlerin üretim ve mekanik özellikleriyle ilgili araştırmalar hızla devam etmektedir [1].

Talaşlı imalat, parçaları nihai şekline getirme yöntemlerinin en önemlilerindedir. Metal, döküm, plastik vb. malzemeler için talaşlı imalat parametreleri yapılan teorik ve pratik çalışmalar sayesinde belirginleşmiştir. Kompozit malzemeler hakkında ise bu konuyla ilgili yeterince veri yoktur [2].

Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı konusunda yapılan araştırmalar genellikle metal matrisli, fiber ve çelik tel kafes takviyeli kompozitlerin delme işlemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Farklı tip kompozit malzemelerin geleneksel talaşlı imalat parametreleri üzerine etkileri kompozitlerin farklı yapılarından dolayı değişik olacaktır ve bu etkiler şu an bilinmemektedir. Talaşlı imalat işlemlerinin hepsinin (tornalama, frezeleme, delme vb.) proje konusu olarak çalışılması, çok fazla kompozit malzeme çeşidi olması nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle bu çalışmada sadece tornalama işlemi araştırılmıştır. Ulusal ve uluslararası literatür de bu konuyla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Talaşlı imalatı etkileyen en önemli parametre malzemelerin işlenebilirliğidir. İşlenebilirlik ise göreceli bir kavramdır ve bakış açısına göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin bir malzeme kesme kuvvetlerini esas alan bir işlenebilirliğin değerlendirilmesinde ön sıralarda yer alırken takım

aşınmasını referans kabul eden bir değerlendirmede kötü sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle bir işlenebilirlik çalışmasında hangi parametrelerin referans alındığı belirtilmelidir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında çalışmada üretilmesi düşünülen farklı türde kompozit malzemelerin işlenebilirlikleri, talaşlı malalat esnasında oluşan kesme ve ilerleme kuvvetleri, takım kaliteleri, takım aşınmaları ve ilerleme parametreleri referans alınarak araştırılmıştır. Yöntem olarak dış yüzey silindirik tornalamanın seçildiği çalışmada kesme ve ilerleme kuvvetlerinin ölçümü için iki eksenli bir dinamometre tasarlanmış, üretilmiş ve kalibrasyonları yapılmıştır. Kompozit malzemelerin talaşlı imalatı için uygun takım kalitesini belirlemek amacıyla P, M ve K takım kaliteleri seçilmiştir. Malzemelerin talaşlı imalatı esnasında takımlarda oluşan aşınma tiplerinin belirlenmesi için takımlar elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

Plastik matrisli kompozit malzemeler takviye elemanına göre sınıflandırıldığında tabakalı, elyafli ve parçacıklı olmak üzere üç grupta toplandığı görülebilir. Bu nedenle çalışmada sade (takviye elemanı yok), tabakalı, elyaf takviyeli ve parçacık takviyeli olmak üzere dört farklı tip kompozit malzemenin işlenebilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Ayrıca kompozit malzemelerden elde edilen verilerin işlenebilirlik değeri bilinen referans bir malzeme ile kıyaslamasının yapılabilmesi için AISI 1050 malzemesi de aynı testlere tabii tutulmuştur. Bu çalışma, üzerinde daha çok çalışılmış olan metal matrisli, çelik tel örgülü termoplastik veya termoset matrisli kompozitler dışında kalan yukarıda verilmiş kompozitlerin işlenebilirliği konusundaki araştırmalara katkı sağlamıştır. Sanayide geleneksel olarak kullanılan kompozitlerden çalışma konusuna uygun bazı tipler seçilerek, işlenebilirlikleri araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Literatür Araştırması

Literatürde yer alan çalışmalarda metal matrisli malzemeler üzerine yapılmış çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Bunların içerisinde alüminyum esaslı yapıların yer aldığı çalışmalar daha fazladır. Çalışmanın konusu ise metal matrisli yapılardan farklı olarak, reçine esaslı bir matris yapıda tabakalı, elyaf takviyeli ve parçacıklı yapılar olarak elde edilmiş numunelerin tornalama işlemiyle şekillendirilebilirlikleri üzerinedir.

Yapılan çalışmalar tez konusuyla yakınlık göstermekte fakat tercih edilmiş malzeme yapı bileşenleri olarak bakıldığında, çalışma konusuyla farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzeme bileşenlerinin hacim veya ağırlık olarak oranları, bunların üretim yöntemlerindeki farklılıklar ve üretim anındaki çevresel şartları değişik türde birçok kompozit malzemenin elde edilmesini olanaklı kılar.

Tez konusu olarak hedeflenen yapılara karar verirken amacından uzak kompozit yapıların ortaya çıkmaması için genelde piyasada yoğun olarak çalışılan kompozit tipleri seçilmiştir. *Parçacık takviyeli* yapı ile kastedilen mermer, küvet, lavabo vb. uygulamalardır. *Elyaf takviye* ile kastedilen kimyasal malzemeler veya su deposu olarak veya taşıma amaçlı tanklar, koruyucu kabinler, otomobil parçaları, tekne veya yat yapımı gibi uygulamalardır. *Tabakalı yapı* olarak ise yine bahsedilen elyaf takviyeli uygulamalarda daha dirençli ve rijit yapılar elde edilebilmesi düşüncesiyle her bir benzer takviyeli yapı için düşünülebilecek, farklı yönlerde takviye elemanları yerleştirilerek birleştirilmiş katmanlardan oluşturulmuş yeni yapılardan bahsedilebilir. Dolayısıyla genelde oldukça geniş bir yelpazede olup kullanılmakta olan temel yapılardan proje uygulama konusunda seçilmiş

üç kompozit tip ile yapılabilecek tornalama işlemleri sonuçları, kesinlikle bir yenilik olarak ortaya çıkacaktır.

Çalışmaların tamamında, uygulanan yöntem olarak tornalama, frezeleme ve matkap gibi farklı talaşlı imalat yöntemleri kullanılsa da, işlenebilirlik oldukça önemlidir. Bu amaçla işleme uygun donanım aracılığıyla talaşlı imalat yöntemine göre oluşan kuvvetlerin belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Elbette kuvvetler söz konusu olduğunda talaş kaldırmak için kullanılan takım malzemelerindeki aşınma biçimleri ve ölçütü önem kazanmaktadır.

Ulusal indekste yer alan çalışmaların ikisi dışında proje konusu olarak hedeflenen kompozit yapılar kapsamında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır [3,4].

Kompozit yapılar olarak bakıldığında ağırlıklı olarak metal matrisli yapılar çalışılmıştır. SiC veya Al₂O₃'ün takviye olarak kullanıldığı çalışmalar fazladır. Fakat işlenebilirlik kapsamında incelendiğinde sıralamanın, öncelikle çelik malzemeler devamında henüz işleme parametreleri olarak bilgi birikimi az olan veya hiç olmayan yapılar üzerine veya işlenmesi daha zor olan malzemelerle ilgili çalışmalar şeklinde olduğu görülmektedir. Buna yüksek alaşımlı veya mukavim çelik malzemeler, titanyum esaslı malzemeler, alüminyum matrisli kompozit yapılar örnek olarak verilebilir. İşleme kalitesi çerçevesinde; boyut, geometri ve yüzey kalitesi olarak oluşan formlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Geleneksel olmayan malzemelerin talaşlı imalatında (ki bunlara örnek olarak metal matrisli kompozit yapılar veya işlenmesi zor olan malzemelerle ilgili) işlenebilirlik araştırmaları, uluslararası yayınlarda olduğu gibi yöntemlere göre farklılıklar olsa da işleme esnasında oluşan kuvvetlerin belirlenebilmesi esasına dayanmaktadır. Bu konu ile ilgili uluslararası arenada söz sahibi olmuş firmalardan isim yapmış belirli markalarıyla olanların dışında, tasarımı, imalatı ve kalibrasyonu dahil gerekli tüm çalışmaların yapıldığı, dinamometre

odaklı araştırmalarda bir hayli fazladır. Dinamometre esaslı çalışmalarda genelde bilinen bir elik malzemenin işlenmesiyle ilk doğrulama ve kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kuvvetlerin belirlenmesi yanında yukarıda bahsedilen çalışmaların çoğunda, işlemede kullanılan takımların aşınmaları, kaplamalı veya kaplamasız takımlar olma halleri ve devamında takım ömrüyle ilgili değerlendirmeler de kapsam içine alınmış konulardandır.

2.1.1 Kompozit Malzemelerin İşlenebilirliği alışmaları

Davim ve Mata, cam fiber takviyeli polyester matrisli kompozitin (GFRP) tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, % 65 elyaf hacim oranına sahip iki tür malzeme üretmişlerdir. Birinci malzeme 45° yönlü elyaf sarma yöntemi ile 110 mm çapında ve 4 mm et kalınlığında, ikinci malzeme, elyaflar parça eksenine dik olacak şekilde el yatırma yöntemi ile 113 mm çapında ve 6 mm et kalınlığında üretilmiştir. Deneyler, 18.7 kW'lık CNC tornada (MHP KINGSBURY), 4500 dev/dak'da, 100, 200, 400 m/dak'lık üç farklı kesme hızı ve her kesme hızı için 0.05, 0.1 ve 0.2 mm/devir ilerleme değerlerinde yapılmıştır. Paso 0.5 mm olarak sabit tutulmuştur. Talaş açısı 6°, serbest açısı 11°, kama açısı 91° ve eğim açısı 0° olan çok kristalli bir elmas (PCD) takımın (TPUN 160304-D-CD10) kullanıldığı deneyde kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9121 piezoelektrik bir dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de ölçülen çalışmada Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik derecesi ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, el yatırma yönteminin elyaf sarma yönteminden daha iyi işlenebilirliğe ve iyi yüzey kalitesine sahip olduğu, bunun nedeni olarak ta özgül kesme basıncındaki (kesme kuvveti talaş kesit alanına bölünerek bulunur) azlığa bağlı olduğu, ilerleme miktarının işlenebilirliği etkileyen en önemli parametre (% 86 ve % 97) olduğu, en iyi işlenebilirliğin 400 m/dak'lık kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme değerinde sağlandığı belirtilmiştir [5].

An, Lee ve Noh, cam fiber takviyeli epoksi matrisli kompozitin (GFRP) tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, 45° yönlü elyaf sarma yöntemi ile ürettikleri malzemeyi, üzerinde Kistler 9257B dinamometre takılı CNC tornada işlemişlerdir. Talaş açıları 2°, serbest açıları 5° olan S (1.5 mm uç yarıçapı) ve R (0.5 mm uç yarıçapı) tipi, CBN (Kübik Bor Nitrür), PCD (çok kristalli elmas) ve SCD (tek kristalli elmas) takımlar kullanmışlardır. Kesme hızı 100, 150, 200, 250 ve 300 m/dak, ilerleme 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 mm/dev ve paso 0.1, 0.3, 0.5 ve 1 mm olarak seçilmiştir. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, SCD takımın diğer takımlara göre düşük kesme hızı ve iyi yüzey kalitesi bakımından daha iyi olduğu, S tipi kesici ucun R tipine göre daha iyi olduğu, ilerlemenin düşürülmesinin yüzey kalitesini artırdığı, tüm takım tipleri için yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve paso ile bağlantısının olmadığı ve yüzey pürüzlülüğü açısından takım geometrisinin takım tipinden daha önemli olduğu belirtilmiştir [6].

Sreejith ve arkadaşları, karbon fiber takviyeli fenolik reçineli kompozitlerin (CFRP) alın tornalamada işlenebilirlik parametrelerini araştırdıkları bir çalışmada, 45° yönlü 25 mm et kalınlığında silindirik parçaları işlemişlerdir. Deneylerde 12 mm kare ve 0.8 mm uç yarıçaplı WC kaplı TiN ve PCD takımlar ile yüksek hızlı V.D.F. 18 kW'lık torna tezgahı kullanılmıştır. Yüksek hassasiyetli Kistler dinamometre ile kesme kuvvetleri ölçülmüştür. TiN için 50, 100, 150, 200 m/dak, PCD için 100, 200, 300, 350, 400 m/dak kesme hızı ve her iki takım için 0.025, 0.050, 0.075, 0.1 mm/dev ilerleme ile 1 ve 1.5 mm paso değerleri kullanılmıştır. Devir sayısı 6000 dev/dak, olarak alınmıştır. Aşınan takım kenarlarının SEM ile incelemeleri yapılmış ve takım sıcaklıkları optik pirometre ile ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, uygun kesme hızının TiN takım için 100–150 m/dak ve PCD takım için 300 m/dak olduğu, her iki takım için de, uygun kesme hızı değerlerinin üzerinde, kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla takım sıcaklığının arttığı, TiN takım için kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla sıcaklığın arttığı, PCD takım içinse sıcaklığın çoğunlukla kesme hızına bağlı olduğu ve TiN takımında karbon fiberlerin yüksek abrasifliği nedeniyle yanak aşınması

oluştugu, PCD takımın TiN takıma göre daha iyi ısıl özelliklere sahip olmasına rağmen mekanik zorlanmalardan dolayı takım ucunda gevrek kırılmaların meydana geldiği belirtilmiştir [7].

Rahman ve arkadaşları, karbon fiber takviyeli epoksi reçineli kompozitlerin (CFRP) boyuna tornalamada işlenebilirlik parametrelerini araştırdıkları bir çalışmada, kısa ve sürekli fiber takviyeli olmak üzere iki farklı tipte silindirik shaft işlemleridir. Çalışmada seramik takım (TNGA 160408), CBN takım (TNGA 160408) ve WC takım (TNGA160408) ile Okuma LH 35-N torna tezgahı kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri için Kistler 9121 dinamometre, takım aşınması ve yüzey kalitesi için Olympus (U-PMTVC) mikroskop, SEM ve profilmetre kullanılmıştır. Takım aşınması deneylerinde (talaş derinliği ve ilerleme belirtilmemiş), kesme hızı 50 m/dak, 150 m/dak, 250 m/dak ile 350 m/dak, yüzey pürüzlüğü deneylerinde talaş derinliği 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 ve 0.9 mm ve ilerleme 0.1 mm/dev ile 0.3 mm/dev seçilmiştir. Deneyler sonucunda, kısa fiber takviyeli kompozit için, takım aşınması, yüzey kalitesi ve kesme kuvvetlerinin, kesme hızı, ilerleme ve paso miktarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği, sürekli fiber takviyeli kompozit için belli bir talaş kaldırma hızı için düşük kesme hızlarında takım aşınmasının minimum olarak kaldığı, CBN takımın diğer takımlara göre iyi takım aşınması ve iyi yüzey kalitesi sergilediği, WC takımında çok fazla çentik aşınması olduğu, seramik takımın yapısı gereği kompozit işlemeye uygun olmadığı ve çatlama ve çatlak aşınmalarının olduğu ve CBN takım için uygun kesme hızı değerinin olmadığı sadece kesme hızı ile çentik aşınmanın doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir [8].

Palanikumar ve arkadaşları, cam fiber takviyeli epoksi matrisli kompozit (GFRP) boruların tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, 30° ve 90° yönlü elyaf sarma yöntemi ile ürettikleri malzemeleri klasik bir tornada kaplamalı bir sermet (TiCN) takım kullanarak işlemişlerdir. Kesme hızı 75 ve 175 m/dak, ilerleme 0.1 ile 0.5 mm/dev ve paso 0.5 ile 1.5 mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü Surtronic 3+ stylus cihazı ile ölçülmüştür. Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik dereceleri

araştırılmıştır. Deneyle sonucunda, yüzey kalitesini etkileyen en önemli parametrenin ilerleme miktarı olduğu, en iyi yüzey kalitesinin 30° yönlü kompozitin 175 m/dak kesme hızı ve 1.5 mm paso ve 0.1 mm/dev ilerleme değerinde elde edildiği, düşük kesme hızında fiberlerin parçalandığı bu yüzden kötü yüzey kalitesi elde edildiği, geniş açılı yönlenmiş fiberlerin parça içerisinde basma gerinimine yol açmasından dolayı kötü yüzey kalitesi elde edildiği belirtilmiştir [9].

Davim ve Mata, cam fiber takviyeli polyester matrisli kompozitin (GFRP) tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, elyaflar parça eksenine dik olacak şekilde el yatırma yöntemi ile 113 mm çapında ve 6 mm et kalınlığında malzemeler üretmişlerdir. Deneyle 18.7 kW'lık CNC tornada (MHP KINGSBURY), 100, 200, 400 m/dak'lık üç farklı kesme hızı ve her kesme hızı için 0.05, 0.1, 0.2 mm/dev ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Paso 0.5 mm olarak sabit tutulmuştur. Talaş açıları 6°, serbest açıları 11°, yanaşma açıları 91° ve eğim açıları 0° olan çok kristalli bir elmas (PCD) takım (TPUN 160304-D-CD10) ile bir sert metal (K15) takımın (TPGN 160304 H13A) kullanıldığı deneylede kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9121 piezoelektrik dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de ölçülen çalışmada Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik derecesi ölçülmüştür. Deneyle sonucunda, PCD takımın K15 takıma göre daha iyi yüzey kalitesi sağladığı, ilerleme miktarının işlenebilirliği etkileyen en önemli parametre olduğu (% 96 ve % 95), en iyi işlenebilirliğin 400 m/dak'lık kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerlemede sağlandığı belirtilmiştir [10].

Ferreira ve arkadaşları, karbon fiber takviyeli karbon (fenol esaslı bir matristen karbonlama yoluyla elde edilir) kompozitten (CFRC) üretilmiş roket nozulunun tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, sert metal, seramik, elmas ve CBN (Kübik Bor Nitrür) takımlar kullanmışlardır. Takım aşınmasını SEM incelemeleri yaparak ölçmüşlerdir. Deneyle 30 HP gücündeki bir CNC tezgahda gerçekleştirilmiştir. Kuvvetler dinamometre ile ölçülüp bilgisayara aktarılmıştır. Deneyle sonucunda, karbon-karbon

kompozit için en uygun takımın elmas takım olduğu (iş parçası çok abrasif bir malzeme olduğu için), kaba işlemede kaplamalı sert metalin yüksek ilerleme ile birlikte iyi sonuçlar verdiği, küçük kesme kuvvetlerinin bu malzeme için sıkıntı yaratmadığı, takımlarda yanak ve krater aşınmasının etkili olduğu ve takım aşınması üzerine kesme hızının etkisinin geleneksel işleme yöntemlerine uymadığı belirtilmiştir [11].

Davim ve arkadaşları, polyamid (PA66) ve % 30 cam fiber takviyeli polyamidin (PA66 GF30) tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, 20 mm çapta ve 80 mm uzunlukta iki tür malzemeyi işlemişlerdir. Deneyler 18.7 kW'lık CNC tornada (MHP KINGSBURY), 70 m/dak'lık kesme hızında 0.01, 0.02, 0.04 ve 0.08 mm/dev ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Paso 0.15 mm olarak sabit tutulmuştur. Kimyasal buhar çökeltme ile kaplanmış elmas takım (CVD), çok kristalli elmas takım (PCD) ve kaplamasız iki sert metal takımın (K15 ve K15-KF) kullanıldığı deneylerde tüm takımların boşluk açıları 7°, eğim açıları 0°, yanaşma açıları 93°, uç yarı çapları 0.4 mm seçilmiştir. CVD takımın talaş açısı 20° iken diğer takımların 0°'dir. Kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9121 piezoelektrik bir dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Deneyler sonucunda, genel olarak her iki malzemenin işlenmesinde de en düşük kesme kuvvetlerinin PCD takımında, ondan sonra ise orta iyilikte sayılabilecek derecede K15 takımında elde edildiği, buna paralel olarak yüzey kalitesinin en iyi bu iki takımında elde edildiği, PA66'nın işlenmesinde en yüksek kesme kuvvetinin K15-KF takımında, PA66-GF30'un işlenmesinde ise CVD takımında meydana geldiği, özgül kesme basıncının ilerlemenin artmasıyla azaldığı, PA66'nın kritik bir özgül kesme basıncı değerine sahip olduğu, yüzey pürüzlülüğünün PA66 GF30'da ilerleme miktarına bağlı olarak değiştiği PA66'da ise bu eğilimin olmadığı belirtilmiştir [12].

Petropoulos ve arkadaşları, cam fiber takviyeli polyetereterketon kompozitin (PEEK) tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, % 30 cam fiber takviye edilmiş kompozit (PEEK GF30), % 30 karbon fiber takviye edilmiş kompozit (PEEK CF30) ile takviyesiz malzeme (PEEK)

şeklinde, ekstrüzyon yöntemi ile 50 ve 100 mm çaplarında iki tür malzeme üretmişlerdir. Deneylerde talaş açıları 7° , serbest açıları 0° , yanaşma açıları 93° ve eğim açıları 0° olan çok kristalli bir elmas takım (PCD) ile sert metal (K15) takım kullanılmıştır. Deneyler 18.7 kW'lık CNC tornada (MHP KINGSBURY), 12 farklı kesme hızı ve ilerleme kombinasyonlarında (50–200 m/dak kesme hızı, 0.15-0.2 mm/dev ilerleme) ve 2 mm paso değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Tornalama işlemlerinde kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9121 piezoelektrik bir dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de ölçülen çalışmada Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik derecesi ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, her üç malzemedeki ilerleme miktarındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü kötü yönde etkilediği, bütün takım malzemeleri için takviyesiz PEEK'te elde edilen yüzey pürüzlülüğünün takviyeli PEEK'lere göre daha küçük olduğu, cam fiberin karbon fibere göre daha büyük yüzey pürüzlülüğüne neden olduğu, PCD takımının özellikle 0.1 mm/dev ilerleme değerinde en iyi yüzey pürüzlülüğü değerini verdiği belirtilmiştir [13].

Davim ve arkadaşları, cam fiber takviyeli polyetereterketon kompozitin (PEEK GF) tornalamada işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, % 30 cam fiber takviye edilmiş kompozit (PEEK GF30) ile takviyesiz malzeme (PEEK) şeklinde, ekstrüzyon yöntemi ile 50 mm çaplarında iki tür malzeme üretilmişlerdir. Deneyler 18.7 kW'lık CNC tornada (MHP KINGSBURY), 150, 250, 377 m/dak'lık üç farklı kesme hızı ve her kesme hızı için 0.05, 0.1, 0.2 mm/dev ilerleme değerlerinde yapılmıştır. Talaş açıları 7° , serbest açısı 11° , yanaşma açısı 91° ve eğim açısı 0° olan çok kristalli bir elmas (PCD) takımının kullanıldığı deneyde kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9121 piezoelektrik bir dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de ölçülen çalışmada Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik derecesi ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, kesme hızının ve ilerlemenin artmasıyla talaş kaldırma kuvvetinin arttığı, kesme gücünü en çok etkileyen parametrenin (PEEK için % 61 ve PEEK GF30 için % 86) kesme hızı olduğu, özgül kesme basıncının (kesme kuvveti/talaş kesit alanı) ilerlemenin artmasıyla azaldığı, kesme hızı ile arttığı, aynı kesme koşullarında PEEK

GF30'un PEEK'e göre daha az talaş kaldırma kuvveti ve özgül kesme basıncı gerektirdiği, yüzey kalitesinin ilerlemenin artmasıyla arttığı, kesme hızının artmasıyla azaldığı ve ilerleme miktarının her iki malzeme için yüzey kalitesi bakımından en önemli parametre olduğu belirtilmiştir [14].

Lanz ve arkadaşları, işleme parametreleri (ilerleme, paso ve kesme hızı) ve takım şeklinin (düz parmak freze ve küresel uçlu parmak freze) parçacık (alüminyum) takviyeli kompozitin (epoksi) işlenebilirliği (kanal işleme) üzerine yaptıkları bir çalışmada, 11.2 kW'lık, 4 eksenli FADAL VMC15 işleme merkezi, 76x48x24 mm ölçülerinde iş parçası, TiN kaplı 30° helis açılı, 19.05 mm çapında HSS matkap ve aynı özelliklerde küresel uçlu matkap kullanmışlardır. Üç eksenli bir Kistler 9257B dinamometrenin kullanıldığı deneylerde yüzey pürüzlülüğü de ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, parçacık takviyeli kompozitin işlenmesi esansında, kesme hızı, ilerleme ve paso değerlerinin bileşke kuvvete etkisinin metallerin işlenmesindeki etkiyle benzerlik gösterdiği, küresel uçlu parmak frezede düz parmak frezeye göre daha az bileşke kuvvete ihtiyaç duyulduğu, genel olarak küresel uçlu takımın düz takıma göre daha yumuşak yüzey oluşmasına neden olduğu, parça sonundan çıkarken oluşan kenar kırılmasının ilerleme ve pasodan etkilendiği, bu değerlerin düşük olması oranında kırılma oranının arttığı, küresel uçlu parmak frezede oluşan kenar kırılmasının önemsenecek derecede olmadığı, malzemenin 210 m/dak ile 150 m/dak kesme hızı aralığında bir gevrek-sünek geçişe sahip olduğu ve bunun talaş oluşumunu büyük ölçüde etkilediği belirtilmiştir [15].

Varatharajan ve arkadaşları, el yatırma yöntemi ile ürettikleri cam fiber takviyeli termoset (GFP) ve termoplastik (GFPP) kompozit malzemelerin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada Deckel CNC freze tezgahı, 6 mm çapında, 118° uç açılı sert metal uçlu matkap, 2500 dev/dak ve 0.1 mm/dev ilerleme değerleri kullanılmıştır. Kuvvetleri ölçmek için iki eksenle ölçüm yapabilen bir dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Deneyler sonucunda, termoset kompozitlerin termoplastik kompozitlere göre yüksek ilerleme kuvveti ve tork gerektirdiği, termoset kompozitler için 30

delikten sonra ilerleme kuvvetinde önemli bir artışın olduğu ve bunun takım aşınmasından kaynaklanmış olabileceği bu değerin termoset kompozitlerin işlenmesinde takım aşınması için kritik bir değer sayılabileceği, takım aşınması olarak yanak aşınma tipinin görüldüğü ve termoplastik kompozitler için ise kesme bölgesinde iyi ısı dağılımı nedeniyle takım aşınmasının daha az ve abrasif aşınma şeklinde olduğu belirtilmiştir [16].

Piquet ve arkadaşları, karbon fiber takviyeli epoksi reçineli ince plakaların (CFRP) işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada CNC freze tezgahı, özel tasarlanmış bir matkap takım ile klasik bir matkap tezgahı, kuvvetleri ölçmek için 4 ekseninde ölçüm yapabilen bir dinamometre kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Deneyler sonucunda, desteksiz olarak delinen karbon/epoksi kompozitinde oluşan zararlar ve kusurlarda takım geometrisinin büyük önemi olduğu, geleneksel iki kanallı bir matkabın güzel sonuçlar verdiği, radyal ağzın zararlı etkilerinden kurtulmak için bir ön delik açılmasının iyi olacağı, ilerleme miktarının düşürülmesinin delik kalitesini artırdığı fakat takım aşınmasını ve işleme zamanını artırdığı, tasarlanan takımının ön delik işlemine gerek kalmadan güzel sonuçlar verdiği belirtilmiştir [17].

Mohan ve arkadaşları, cam fiber takviyeli polyester matrisli 200x200 mm ölçülerindeki kompozit malzemelerin (GFRP) işlenebilirliklerini araştırmışlardır. Çalışmada CNC TRIAC VMC freze tezgahı, 3, 6, 10 ve 12 mm çaplarında SiC kaplı matkaplar, kuvvetleri (kuvvet-tork) ölçmek için uzama ölçerli (strain gauge) bir matkap dinamometresi kullanılmış ve sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik dereceleri değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda, işlenecek parça kalınlığının, ilerlemenin, kesme hızının ve delik çapının ilerleme kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, ilerleme kuvveti açısından kesme hızı ve delik çapının, parça kalınlığı ve ilerlemeden daha önemli etkiye sahip olduğu, 1500 dev/dak'da 3 mm kalınlık, 3 mm çap ve 50 mm/dak ilerleme hızında en iyi sonucun elde edildiği, küçük delik çaplarında küçük ilerleme kuvvetlerinin olduğu, tork açısından numune kalınlığı ve matkap çapının

kesme hızı ve ilerlemeden daha önemli bir etkiye sahip olduğu, 100 mm/dak ilerleme hızında, 1500 dev/dak, 3 mm kalınlık ve 3 mm delik çapında en iyi değerler elde edildiği ve küçük delik çaplarının küçük tork değerlerine neden olduğu belirtilmiştir [18].

Lanz ve arkadaşları, alüminyum takviyeli epoksi reçineli kompozitin CNC frezede işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada 19.05 mm çapta, 30° helis açısına sahip parmak freze, 4 eksenli CNC tezgahı ve kuvvetleri ölçmek için Kistler 9257B model dinamometre kullanılmıştır. İşlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, talaş kaldırma kuvvetinin en çok paso ve dış başına ilerleme miktarından etkilendiği, yüzey pürüzlülüğünün en çok dış başına ilerlemeden etkilendiği, bu özelliklerin diğer metallerle paralellik gösterdiği, epoksi reçinenin kırılma özelliğinden dolayı, takım malzemesinden çıkarken kenar kırılmasının olduğu ve bunun en çok paso ve dış başına ilerlemeden etkilendiği, bunu önlemek için takım malzemesinden dışarı çıkarken ilerleme hızının düşürülmesinin faydalı olacağı belirtilmiştir [19].

Sonbaty ve arkadaşları, cam fiber takviyeli epoksi reçineli % 9.8, % 13.7 ve % 23.7 elyaf hacim oranına sahip kompozitlerin (GFREC) delme işleminde işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, 8.5 mm kalınlıkta parçalar üretmişlerdir. Delme işlemleri Richmond Envoy radyal matkap tezgahında standart HSS (yüksek hız çeliği) takımlar (8, 9, 10, 11, 12 ve 13 mm çaplarında) kullanılarak, 218, 455, 634, 875, 1850 dev/dak'da ve 0.05, 0.1 ve 0.23 mm/dev ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, düşük devirlerdeki tork ve ilerleme kuvveti değerlerinin çok farklılık gösterdiği, torkun ilerleme kuvvetinden birkaç saniye sonra oluştuğu, bu sürenin kesici kenarların parçaya tamamen girmesiyle bittiği, ilerleme kuvveti maksimum değere ulaştıktan sonra tüm delme işlemi boyunca yavaşça azaldığı ve radyal ağız parçadan çıkınca sıfıra düştüğü, diğer taraftan torkun delme işlemi boyunca yavaşça arttığı ve delme işlemi sonunda aniden işleme esnasında ulaştığı en yüksek değerinin 10 katı kadar yükseldiği, kesme hızının ilerleme kuvveti ve epoksi reçinenin yüzey

pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvveti ve torkun azaldığı, ilerleme değerinin, delme çapının ve fiber hacim oranının artmasıyla tork ve ilerleme kuvvetinin arttığı, düşük hacim oranlı kompozitlerin düşük ilerleme değerlerinde işlenenlerin yüksek ilerleme değerlerinde işlenenlerden daha kötü yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu, yüksek hacim oranlılarda bu durumun tersine döndüğü ve delme çapı ile kombine edilmiş ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [20].

Abrao ve arkadaşları, karbon fiber takviyeli (CFRP) ve cam fiber takviyeli (GFRP) epoksi reçineli kompozitlerin delme işlemi üzerine yaptıkları bir literatür taramasında, bu malzemelerin işlenmesinde geleneksel iki kanallı helisel matkap kadar sert metal uçlu matkapların da kullanıldığını, en iyi performansı almak için özel takım geometrisinin geliştirilmesi konusunda birçok araştırmacının hem fikir olduğunu, çalışmaların genellikle deliklerin giriş, çıkış ve duvarlarında meydana gelen delaminasyon hatalarının belirlenmesine ve bu hataların giderilmesi üzerine yoğunlaştığını ve delme işleminde bir destekleme plakasının konmasının delme işlemi iyileştirdiğini belirtmişlerdir [21].

Çiftçi ve arkadaşları, SiC parçacık (30, 45 ve 110 ortalama parçacık boyu) takviyeli metal matrisli, 28 mm çapında ve 120 mm boyunda bir kompozit malzemenin tornalamasında oluşan CBN (Kübik Bor Nitrür) takım aşınmasını incelemişlerdir. Deneylerde CNC DYNA torna tezgahı, Mitsubishi CBN (CCGW 09T308G2) takım ile kater (SCGCR-1616-H09) kullanılmıştır. Takımın eğim ve talaş açısı 0° , kesme hızı 50, 100, 150, 200 m/dak, ilerleme 0.12 mm/dev ve paso 1 mm olarak alınmıştır. Bütün işlemlerde aynı hacimde (2500 mm^3) malzeme işlenmiştir. Yanak aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve aşınan takımların SEM incelemeleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda; 30 ve 45 μm boyutlu SiC parçacıklı kompozitlerin işlenmesinde CBN takımında yanak aşınmasının olduğu bu aşınmaya büyük çoğunlukla abrasif ve adhesiv aşınmaların sebep olduğu, 110 μm boyutundaki SiC parçacıklı kompozitin işlenmesinde ise kesici

kenarda ve takım ucunda kırılmaların meydana geldiği ve bu malzemenin çok çabuk kırılmalara neden olduğu için CBN takımla işlenmesinin uygun olmadığı, 30 ve μm boyutlarındaki SiC parçacıklı kompozitlerin işlenmesinde 150 m/dak'lık kesme hızında en az yanak aşınmasının meydana geldiği, 100 ve 200 m/dak'lık kesme hızlarında ise daha fazla yanak aşınmasının olduğu, kesme hızının artmasıyla (100 m/dak'dan 150 m/dak'ya) yanak aşınmasının azalmasının nedeni olarak ta BUE'nin (kesici kenarda yığılma) yumuşamasının neden olabileceği belirtilmiştir [22,23].

Derrico ve Calzavarini, alüminyum metal matrisli iki farklı parçacıklı (SiC ve Al_2O_3) kompozitin tornalama işleminde işlenebilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, çok kristalli bir takım (PCD) ile kimyasal buhar çökeltme yöntemi ile değişik kaplama kalınlıklarında kaplanmış takımlar (CVD) kullanmışlardır. 1.5 mm paso, 250–500 m/dak arası kesme hızı, 0.1–0.4 mm/dev arası ilerleme değerlerinin kullanıldığı deneylerde takım aşınması için SEM incelemeleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, SiC takviyeli kompoziti işlemenin alüminyum oksit takviyeli kompoziti işlemekten daha zor olduğu, yüksek kaplama kalınlığına sahip CVD takımların PCD takımlara yakın performans gösterdiği, CVD takım kaplamasının alt tabakayla olan yapışma (adezyon) mekanizmasının takım ömrü üzerinde çok etkisi olduğu, yanak ve krater aşınmalarının olduğu ve yapışma mekanizmasının daha fazla araştırılarak iyi sonuçların alınabileceği belirtilmiştir [24].

Davim, alüminyum matrisli, silikon, SiC ve Mg takviyeli kompozitin tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve kesme zamanı parametrelerinin takım ömrü üzerine yaptığı bir çalışmada, 6 kW'lık bir torna, talaş ve eğim açısı 0° , serbest açısı 7° ve BKKA 60° olan çok kristalli takım (PCD) ve kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler dinamometre kullanmıştır. Sonuçlar bilgisayara aktarılarak Taguchi metodu ile parametrelerin etkinlik dereceleri değerlendirilmiştir. SEM incelemeleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü deneyler sonucunda, takım aşınması üzerinde en çok kesme hızının (% 42), daha sonra kesme zamanının (% 29) ve en son olarak ta ilerlemenin (% 10) etkisi olduğu, talaş kaldırmak için gerekli güç

miktarı üzerinde en çok kesme hızının (% 47), daha sonra ilerlemenin (% 33) ve en son olarak ta kesme zamanının (% 13) etkili olduğu ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde ise en çok ilerlemenin (% 32), daha sonra kesme hızının (% 28) ve en son olarak ta kesme zamanının (% 20) etkili olduğunu belirtmiştir [25].

Özben ve arkadaşları, alüminyum metal matrisli SiC ve AlSiMg₇ takviyeli (% 5, % 10 ve % 15) kompozit malzemenin tornada işlenebilirliğini araştırmışlardır. Deneylerde, üniversal bir torna tezgahı (MKE, 6.5kW), kater (PTG NR/L 2525 M16) ve TiN kaplı BOHLER K10 sert metal takım (TNMA 160408) kullanılmıştır. Kuru işlemenin yapıldığı testlerde kesme hızı 50, 100, 150 m/dak, ilerleme 0.1, 0.2, 0.3 mm/dev, paso 0.5, 1 ve 1.5 mm olarak alınmıştır. Deneyler sonucunda, metal matrisli SiC takviyeli kompozitlerin işlenebilirliğinin geleneksel malzemelerden oldukça farklı olduğu, SiC ve AlSiMg₇ takviye elemanlarının çok sert olmasından dolayı takımı çabucak aşındırdığı, hacim oranına bağlı olarak yanak aşınmasının arttığı, kesme hızının ilerlemeye göre takım aşınmasında daha etkili olduğu, ilerlemenin artmasıyla aşınmanın arttığı, AlSiMg₇ kompozitin işlenmesinde kesme hızının azalmasıyla yüzey kalitesinin arttığı, her iki malzeme için ilerlemenin artmasıyla yüzey kalitesinin azaldığı ve hacim oranının artmasıyla yüzey kalitesinin azaldığı belirtilmiştir [26].

Manna ve Bhattacharayya, alüminyum metal matrisli SiC takviyeli kompozit malzemenin tornada işlenebilirliğini araştırmışlardır. Deneylerde 80 mm çapında malzeme, torna tezgahı, 20–225 m/dak arası kesme hızı, 0.14–1 mm/dev ilerleme aralığı, 0.25–1.5 mm paso aralığı ve kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 5501 dinamometre kullanılmıştır. İşlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ölçülmüştür. Talaş açısı 5°, serbest açısı 7°, BKKA (Büyük Kesme Kenarı açısı) 80° ve uç yarıçapı 0.4 mm olan kaplanmamış T-Max U WC sert metal K10 takımın (CCGX-09-T3-04-Al-H10) kullanıldığı deneyler sonucunda, alüminyum metal matrisli SiC takviyeli kompozit malzemenin işlenmesinde düşük kesme hızlarında kesici kenarda yığılma (BUE) olduğu, bununda kesme kuvvetini artırdığı, uygun

kesme hızı aralığı olarak kesme hızı ile kesme kuvvetinin birbirinden daha az etkilendiği 60–150 m/dak aralığının seçilebileceği, düşük kesme hızlarında, BUE oluşumunun takımın talaş açısını değiştirdiği, bunun da sırasıyla kesme kuvveti ve takım aşınmasını artırdığı, ilerlemenin kesme hızına göre yanak aşınmasına daha az etkide bulunduğu ve iyi yüzey kalitesi için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük paso değerlerinin en iyi kombinasyon olduğu belirtilmiştir [27].

Gökkaya ve Nalbant, işleme parametrelerinden kesme hızının yıgıntı katmanı (YK) (Built-Up Layer) ve kesici kenarda yığılma (BUE) oluşumu üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Bu amaçla, AA5052 alaşımı kaplamasız karbür takımla CNC torna tezgahında, kuru olarak işlenmiştir. Deneylerde, beş farklı kesme hızı (100, 200, 300, 400, 500 m/dak), sabit ilerleme (0.30 mm/dev) ve sabit paso (1.5 mm) işleme parametreleri olarak seçilmiştir. Deneyler sonucunda, kesici takım üzerinde en fazla YK ve BUE, 100 m/dak kesme hızı ve 0.30 mm/dev ilerleme hızında yapılan talaş kaldırma işleminde oluştuğu, kesme hızının artırılmasının YK ve BUE oluşumunu azalttığı fakat denenen kesme hızı sınırları içerisinde (100-500 m/dak) YK ve BUE oluşumunun engellenemediği belirtilmiştir [28].

Altın ve arkadaşları, Ni esaslı Inconel 718 süper alaşımını yuvarlak formlu kaplamasız silisyum karbür takımla, CNC JOHNFORD T35 torna tezgahında, soğutma sıvısı kullanılmadan işlemişlerdir. Beş farklı kesme hızı (15, 30, 45, 60, 75 m/dak), sabit paso (2 mm) ve sabit ilerleme (0.20 mm/dev) değerlerinde talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilerek, bu kesme hızlarının kesme kuvveti (F_c) ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, kesme hızına bağlı olarak ortalama en düşük kesme kuvveti 75 m/dak kesme hızında 629 N, en yüksek kesme kuvveti ise 15 m/dak kesme hızında 1150 N olarak elde edildiği, en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğünün (R_a), 45 m/dak kesme hızında 0.45 μm , en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğünün (R_a) ise 75 m/dak kesme hızında 0.88 μm olarak elde edildiği ve talaş tipinin sürekli dar ve geniş adımlı olduğu belirtilmiştir [29].

Kılıçkap ve arkadaşları, metal matrisli (Mg_2) kompozit malzeme içerisine farklı oranlarda takviye edilen SiC_p 'in mekanik özelliklere ve talaşlı işlenebilirliğine olan etkisini araştırmışlardır. % 5, % 10 ve % 15 SiC_p takviyeli kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin takviye oranının artması ile iyileştiği belirtilmiştir. Farklı kesme hızları (50, 100 ve 150 m/dak) ve ilerleme (0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev) değerlerinde kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü takviye oranına bağlı olarak araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, sabit kesme hızı ve ilerleme değerlerinde takviye oranının artması ile kesici takım aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı, en büyük takım aşınmasının % 15 SiC_p takviyeli metal matris kompozit malzemenin 150 m/dak kesme hızında işlenmesinde ve en fazla yüzey pürüzlülüğü değerinin % 15 SiC_p takviyeli metal matris kompozit malzemenin 50 m/dak kesme hızı ve 0.3 mm/dev ilerleme değerinde işlenmesinde olduğu belirtilmiştir [30].

Çiftçi, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzeme üzerinde tornalama yöntemiyle işlenebilirlik deneyleri yapmıştır. Kesici takım olarak, çok katlı kaplanmış silisyum karbür bir takım kullanılmıştır. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan dört farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 210 m/dak), ilerleme hızı ve talaş derinliği sabit tutularak yapılmıştır. Deneyler esnasında kesme kuvvetleri ve işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Aşınmış kesici takımlar taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek aşınma biçimleri ve mekanizmaları belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda, artan kesme hızı ile belirli bir değere kadar yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetinin azaldığı ancak bu belirli değerden sonra artış gösterdiği, SEM incelemelerinden aşınmanın kesici takım üzerinde genellikle üç bölgede çıtlama (chipping) olduğu, bu bölgelerin; kesici takımın işlenmemiş iş parçası yüzeyi ile temasta olduğu bölge, kesici takımın yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile teması kestiği bölge ve burun bölgesi olduğu, aşınmaların kesici takım üzerinde oluşan kesici kenarda yığılma (BUE) ile ilişkili olabileceği ve 180 m/dak'ya kadar artan kesme hızıyla azaldığı belirtilmiştir [31].

Kök ve arkadaşları, Vortex metodu ile farklı boyut ve hacim oranlarında, belli oranda basınç uygulanarak başarılı şekilde ürettikleri Al_2O_3 parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemeleri farklı kesici takımlarla sayısal denetimli torna tezgahında talaş kaldırma deneylerine tabi tutmuşlar ve değişik kesme hızlarında yüzey pürüzlülüklerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, TP30 takımla işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük değerlerinin, K10 takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülüklerinden daha az olduğunu, yüzey pürüzlülüğünün kesme hızının ve parçacık boyutunun artması ile artarken parçacık oranının artması ile azaldığını, en büyük ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra), 2024Al + % 10 içerikli 16 μm parçacık boyutlu alüminyum oksit esaslı kompozitlerin işlenmesinde ortaya çıktığını, ancak optimum yüzey pürüzlülük değerinin 160 m/dak kesme hızında elde edilebildiği belirtilmiştir [32].

Duran ve Acır, torna kalemlerindeki talaş açısı ve talaş derinliğinin kuvvetlere etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde 3° , 7° ve 12° lik farklı talaş açılarında bilenmiş HSS torna kalemleri ile AISI 1040 çelik malzeme kullanılmıştır. Kesme işlemleri için; 40 m/dak kesme hızı, 0.2 mm/dev ilerleme ile talaş derinliği her talaş açısına bağlı olarak 1, 1.5, ve 2 mm olarak alınmıştır. Kesme işlemi sonucunda oluşan kuvvetler; F_c (kesme kuvveti), F_v (ilerleme kuvveti) ve F_r (radyal kuvvet) piezoelektrik KISTLER 9257B üç eksenli dinamometre ile ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, en küçük kesme kuvveti olan 486.6 N değerinin 12° lik talaş açısı ve 1 mm talaş derinliğinde, en yüksek kesme kuvveti olan 1043 N değerinin ise 3° lik talaş açısı ve 2 mm talaş derinliğinde elde edildiği belirtilmiştir [33].

Şahin, 50 Rc sertliğindeki Ç 8660 alaşımlı makine çeliklerinin, farklı modern kesici takımlarla değişik kesme şartlarında, işlenebilirliğini araştırmıştır. Kaplanmış seramik ve kaplanmış karbür kesici takımların kullanıldığı çalışmada soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deneyler sonucunda, seramik kesici takımların karbürü kesici takımlardan daha iyi performans gösterdiği, elektron mikroskobu altında yapılan takım aşınması incelemelerinde, karbürü takım yüzeyinde kaplama katmanının kırılmasının

yanında az miktarda abrasyonun oluştuğu, seramik esaslı takımda ise çentiklenme ve tarak şeklinde yivlerin yan kenar ve talaş yüzeyinde etkili olduğu belirtilmiştir [34].

Özçatalbaş, talaşlı imalat işlemlerinde, takım aşınmasının, gerekli güç sarfiyatının üzerine etkilerini, işlenen malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimleri de dikkate alarak araştırmıştır. Yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, tavlama ısıl işlemleriyle mekanik özellikleri değiştirilmiş SAE 4140 çelik malzeme ve değiştirilebilir sert metal kesici takım kullanılmıştır. Yan yüzeyi farklı miktarlarda doğal olarak aşındırılmış kesici uçlar ile tornalama yaparken, uzama ölçer esaslı bir dinamometre vasıtasıyla kesme ve ilerleme kuvvetleri ölçülmüştür. Ayrıca aynı kesici uçlarla işlenen farklı mekanik özelliklerdeki malzemelerin yüzey pürüzlülükleri de ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, yanak aşınma miktarının ve malzemenin mekanik özelliklerindeki artışın, ilerleme kuvvetini önemli miktarda arttırdığı ve mekanik özellikleri yüksek olan malzemede takım aşınma miktarının yüzey kalitesine olan olumsuz etkisinin daha belirgin hale geldiği belirtilmiştir [35].

Çakır ve Işık takım ömrü ve Taylor katsayıları (k , m ve p), kesme parametreleri (V , f ve a), takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım durumu izleme ile bunların birbirleriyle ilişkilerini araştırdıkları geniş kapsamlı çalışmalar yapmışlardır [36]. Çalışmalarında HSS, kaplamasız WC, $TiC+Al_2O_3+TiN$ kaplamalı, $TiC+TiCN+TiN$ kaplamalı ve $TiAlN$ kaplamalı takımlar ile sıcak iş takım çeliği (DIN 2CrMoV33), soğuk iş takım çeliği (DIN 90MnCrV8), kalıp iş takım çeliği (DIN X42Cr13) ve AISI 1050 çelik malzemeleri kullanmışlardır. Taylor takım ömrü denkleminin analizi amacıyla yapılan deneyler sonucunda takım ömrü üzerine en büyük etkiyi keme hızı (V), sonra ilerleme (f) ve en az etkiyi pasonun (a) yaptığı, HSS takımlar için Taylor takım ömründeki parametreler arasında $k=2m$, $m=3/2p$ ve $p=1/3k$ ilişkisinin olduğu, takım ömrü tamamlandığında kesme kuvvetlerinde önemli artışlar olduğu belirtilmiştir [36,37]. Takım ömrü ve aşınmaya ilişkin yapılan deneylerde aşınmaların ilk anda hızlı sonra yavaş ve doğrusal arttığı ve takım ömrü tamamlanırken tekrar hızlı arttığı, aşınma

doğrusal eğiminin ne kadar az olursa takım ömrünün o kadar fazla olduğu belirtilmiştir. Takım ömrü süresince kesme kuvvetlerinin değişiminin incelendiği deneylerde kesme kuvvetlerinin doğrusal olarak takımın aşınma miktarı ile orantılı olarak arttığı, takım kırılma anında önemli oranlarda artışlar gözlemlendiği, takım kırıldıktan sonra kesme kuvvetlerinde ani düşümler olduğu, kesme kuvvetleri ile takım aşınmaları arasında direkt bir ilişki olmadığı belirtilmiştir [36]. Kesici takımların kırılma öncesi davranışlarının incelenmesi amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ile statik ve dinamik analizlerin yapıldığı deneylerde harmonik analizde en büyük yer değiştirmenin 0.235×10^{-6} mm olarak xyz eksenlerinde $f=115.735$ Hz'de olduğu, deneylerde devir sayısının $n=1200$ dev/dak, $\omega= 125$ rad/sn ve titreşim frekansının $f=20$ Hz olduğu, von Mises kırılma kriterinin referans alındığı ve takımın teorik akma mukavemetine göre kesin olarak kırıldığı belirtilmiştir [36, 38, 39]. Kesici takımların kırılma öncesi davranışlarının ve kırılma anının önceden tahmini amacıyla yapılan deneylerde bir erken uyarı modelinin geliştirildiği, bu model sayesinde F_s kesme kuvvetindeki artışlarla VB'deki artışlar arasında direkt bir ilişki olduğu, bu ilişki ve deneylerden elde edilen verilerle F_s , R_a ve V_B arasındaki ilişkilerin regrasyon analizi ve polinom açılımı olarak ifade edilebildiği ve bu sayede R_a ve V_B 'deki değişikliklerin ekrandan izlenebildiği, kaplamalı takımlarda kırılma anında kesme kuvvetlerinde % 12-18 arasında değişimler gözlemlendiği, HSS takımlarda bu oranın % 25- 30 olduğu, kaplamalı kesici takımların kırılmasında serbest yüzey aşınmasının krater aşınmasına göre daha etkili olduğu, geliştirilen erken uyarı modelinin doğruluğu için yapılan 12 deneyde % 84 doğru uyarılı tahmin, % 8 yanlış uyarılı tahmin ve % 8 uyarı olmadan kırılma olduğu, kesme kuvvetlerindeki artışın uyarı olabilmesi için en 2 devri tamamlaması gerektiği belirtilmiştir [36, 40, 41].

2.1.2 Dinamometre Çalışmaları

Günay ve arkadaşları, tornalama işleminde talaş açısının kesme kuvveti üzerine etkilerini araştırmak için bir dinamometre yapmışlardır. İki adet yük hücresinin (load cell) kullanıldığı dinamometrede kesme ve ilerleme

kuvvetlerinin ölçümü amaçlanmıştır. Dinamometrenin gövdesine yay şeklinde bir kanal açılarak $\pm 12.5^\circ$ talaş açısı verilmiştir. Talaş açısının değişmesiyle kesme kenar ucunun punta merkezinden kaymaması için gerekli önlem alınmıştır. Dinamometre bir CNC tezgahın magazinine monte edilmiş, dinamometreden gelen çıkış voltajları yükseltilmiş, analog veriler dijital sinyale dönüştürülmüş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneyler 0.25 mm/dev sabit ilerleme, 2.5 mm sabit paso, sekiz farklı talaş açısı (-5° , -2.5° , 0° , 2.5° , 5° , 7.5° ve 10°) ve her talaş açısı için beş farklı kesme hızı (80, 100, 120, 150 ve 180 m/dak) değerlerinde yapılmıştır. İş parçası olarak AISI 1040 kullanılmıştır. Kesici takım olarak kaplamasız sert metal uç (SCMW 12M508-SF2) kullanılmıştır. Deneyler yapılmadan önce teorik olarak kesme kuvvetleri kıyaslama yapmak amacıyla hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda talaş açısının artmasının kesme kuvvetini azalttığı ve teorik olarak hesaplanan kesme kuvveti değerleri ile deneysel olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri arasında çok yakın bir korelasyon olduğu ve dinamometrenin kesme kuvvetlerini ölçmede güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [42-45].

Korkut ve Tekiner, tornalama esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek amacıyla uzama ölçerli bir dinamometre tasarlamış ve üretmişlerdir. Deneylere başlamadan önce dinamometrenin kalibrasyonu ve karakteristiği çıkarılarak normal dağılım eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca kalibrasyon için bir adet kalibrasyon bileziği imal edilmiştir. Dinamometreden alınan analog bilgileri dijital olarak bilgisayar ortamında değerlendirebilmek için bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Deneylerde, Makine Kimya Endüstrisi (MKE) üretimi, alaşımsız makine yapı çeliklerinden Ç1010 ve Ç1050 kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde değişik kesme parametrelerine göre kesme kuvvetleri ölçülmüştür. İndüksiyon ile kısmen sertleştirilen (64 Rc sertliğe kadar) Ç1050 iş parçasında kesme kuvvetleri ölçülerek, sert bölgeye girildikçe kuvvetlerdeki değişimler ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar grafiklerle ifade edilerek tartışılmıştır [46].

Korkut, üç eksenle ölçüm yapabilen uzama ölçer esaslı bir freze dinamometresi yapmıştır. Dinamometre iki düzlem plaka arasında üzerinde uzama ölçerlerin bulunduğu dört tane sekizgen halkadan oluşmaktadır. Uzama ölçerlerden alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Dinamometre tasarımında rijitlik, hassasiyet, elastisite, doğrusallık ve kolay kalibrasyon faktörleri dikkate alınmıştır. Dinamometre 4500 N'a kadar ölçüm yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Dinamometrede kullanılan sekizgen halkalar, rijitlik, yüksek doğal frekans, korozyon dayanımı, yüksek ısı iletkenliği ve yük altındaki deformasyon miktarının uzama ölçerlerin deformasyon miktarına uyma gerekliliği dikkate alınarak SAE 1040 malzemesinden yapılmıştır. Yapılan hesaplamada dinamometrenin doğal frekansı 1922 dev/dak ve fener milinin frekansı 11.83 dev/dak olarak bulunmuştur ve dinamometre frekansının fener mili frekansından dört katı fazla olması gerekliliğini yerine getirdiği belirtilmiştir. Dinamometre 4500 N kuvvette maksimum 0.077 mm gerinim göstermekte ve kullanılan uzama ölçerlerin maksimum üç mm olan uzama sınırları içerisinde kalmaktadır. Uzama ölçerler Wheatstone köprü devresi ile birbirlerine bağlanmıştır. Dinamometrenin kalibrasyonu 50 N'dan başlayarak 1000 N'a kadar 100 N kuvvet uygulayarak elde edilen eğriler sayesinde yapılmıştır. Dinamometrenin freze için tasarlanmış olmasına rağmen tornalama, taşlama ve delme işlemlerinde rahatlıkla kullanılabilirliği belirtilmiştir [47].

Axinte ve arkadaşları, CNC tornada kesme kuvvetlerini ölçmede kullanılan dinamometrenin kalibrasyonuna ve kuvvetlere etki eden belirsiz koşulların belirlenmesi için bir yöntem önermişlerdir. Dinamometre üç eksenle ölçüm yapabilen piezoelektrik hücrelere sahiptir. Dinamometreden elde edilen veriler voltaj yükseltici ile bilgisayara aktarılmaktadır. Kesme kuvvetleri talaşlı imalat esnasında ekrandan canlı olarak izlenebilmektedir. Dinamometrenin statik kalibrasyonu yapılırken yüklemenin olumsuz etkilerinden kaçınmak için uygulanan kuvvet takıma değil takımın yerine konulan sertleştirilmiş bir malzemeye uygulanmıştır. Kuvvetler 15 saniye

aralıklarla uygulanmıştır ve üç kez tekrar edilmiştir. Aynı ölçümler deneyler sırasında da aynı koşullar altında tekrarlanmıştır. Deneyler sonucunda geliştirilen modelin belirli bir kesme koşulları aralığında, kesme kuvvetlerinin ölçümündeki belirsizliklerin tahminini mümkün kıldığı belirtilmiştir [48].

Kim ve arkadaşları, ortogonal kesme işleminde oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için uzama ölçer esaslı bir dinamometre yapmışlardır. Yüksek rijitlik, hafiflik ve yüksek doğal frekansa sahip olmasından dolayı dinamometre malzemesi olarak alüminyum seçmişlerdir. Dinamometrenin birbirine dik iki yüzeyine ucunda delik bulunan kanallar açmışlardır. Dinamometrenin statik yük ölçümünü uzama ölçerlerden elde ettikleri voltajları yükselteç ile bilgisayar ortamına aktarma yöntemi ile, dinamik yük ölçümünü ise piezzo-film tipi yüksek frekanslara çabuk tepki verebilen bir ivmeölçer ile yapmışlardır. Bu iki kuvvetin ortalamasını olarak bileşke kuvveti bulmuşlardır. Alaşım alüminyum malzemeyi, SCD (tek kristalli elmas) takım ile, 0.005-0.03 mm paso aralığında, 0.01-0.05 mm/dev ilerleme aralığında 160, 320, 480 ve 570 m/dak kesme hızı değerlerinde işlemişler ve 9257B kistler dinamometre ile karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda statik kuvvet ölçümünde 60 Hz frekansta titreşimin arttığı, dinamik kuvvet ölçüm değerleri ile Kistler dinamometre değerlerinin birbiri ile çakıştığı ve dinamometrenin kesme işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir [49].

Yaldız, metal işleme sırasında oluşan kuvvetlerin, ısı oluşumu, takım aşınması veya kırılması, işlenen yüzeyin kalitesi ve parçanın geometrik doğruluğu üzerine etkilerini araştırdığı bir çalışmada, statik kuvvetleri ölçmek için uzama ölçerlerin, dinamik kuvvetleri ölçmek için de piezzo-elektrik ivme ölçerinin kullanıldığı bir freze dinamometresi tasarlamış ve imal etmiştir. Sekizgen halkaların ve uzama ölçerlerin konumu maksimum duyarlılık ve minimum enine eksen hassasiyeti oluşacak şekilde belirlenmiştir. Geliştirilen dinamometre bir veri toplama sistemiyle birleştirilmiştir. Elde edilen kesme kuvveti sinyalleri sayısal formata dönüştürülmüş ve gerekli yazılım ve

donanıma sahip bir veri toplama sistemiyle donatılmış kişisel bir bilgisayarda işlenmiştir. Değişik kesme parametrelerinde gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçlar dinamometrenin kesme kuvvetlerini güvenilir bir şekilde ölçebileceğini göstermiştir. Dinamometre özellikle frezeleme operasyonları için imal edilmiş olmasına rağmen, farklı kesme işlemleri (tornalama, delme, taşlama, planyalama vs.) için de kullanılabileceği belirtilmiştir [50].

Duran, tornalama esnasında oluşan üç eksendeki kesme kuvvetlerini ölçebilecek uzama ölçer (strain gauge) esaslı, sekizgen halka tipi bir dinamometre tasarlamıştır. Dinamometre Ç1060 malzemedan yapılmıştır. İmal edilen dinamometre 5-3000 N aralığında kesme kuvvetlerini ölçebilecek kapasitededir. Dinamometrenin kalibrasyonları yapılmıştır. Deneyler sonucunda üretilen dinamometrenin kalibrasyon doğrularının lineer olduğu ve tornalama işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir [51].

Sağlam ve Ünüvar, frezelemede kesme kuvvetlerini ölçmek için, uzama ölçer (strain gauge) esaslı, üç eksenli, bilgisayar bağlantılı bir dinamometre tasarlamış ve üretmişlerdir. Kuvvet sinyallerinin alınmasında sekizgen gerinme ringleri üzerine yapılandırılmış uzama ölçerler kullanılmıştır. Üç kanaldan elde edilen analog kuvvet sinyalleri yükseltilecek bir veri toplama kartı aracılığı ile sayısala dönüştürülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Dinamometreyi test etmek için alın frezeleme işlemi yapılmıştır. Deneyler sonucunda, eşzamanlı olarak kaydedilen kuvvetlerin hesaplanan değerler ile uyumlu olduğu, dinamometrenin hem statik kuvvet ölçümlerinde hem de planya ve taşlama gibi takım tezgahlarında dinamik kuvvet ölçümlerinde rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir [52].

Özçatalbaş ve Ercan, tornalama sırasında oluşan talaş kaldırma kuvveti bileşenlerinden kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetini ölçebilen bir dinamometre tasarlamışlar ve üretmişlerdir. Uzama ölçer (strain gauge) esaslı olan dinamometre kesme kuvvetini 2000 N'a kadar ilerleme kuvvetini ise 1500 N'a kadar ölçme kapasitesindedir. Dinamometrenin bilgisayar ile entegrasyonu sağlanarak statik kalibrasyonu yapılmıştır. Performans deneyi

için normalize edilmiş Ç1050 çeliğinin belirli talaş kaldırma parametrelerindeki kesme kuvvetleri bilgisayar ortamında ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Bu sayede, kuvvetlere bağlı işleme parametrelerinin optimizasyonu ve işlenebilirlik amaçlı deneysel çalışmalarda kullanılacak gelişmiş bir deney düzeneği hazırlanmıştır [53].

Yaldız ve Ünsaçar, tornalama işleminde oluşan kuvvetleri (kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvet) ölçebilen uzama ölçer (strain gauge) esaslı bir dinamometre tasarlamış ve yapmışlardır. Dinamometre, üzerine uzama ölçerlerin yapıştırıldığı dört adet sekizgen halkanın (octagonal ring) iki düzlem plaka arasına monte edilmesiyle elde edilmiştir. Gerekli data bilgilerini toplayıp değerlendirebilen donanım ve programa sahip olan dinamometre, tornalama esnasında birbirine dik üç kuvveti eş zamanlı olarak ölçebilmekte ve sayısal dataları bilgisayara data yakalama sistemi ile kaydedebilmektedir. Dinamometre, maksimum 3500 N'a kadar kuvvet ölçümü yapabilecek şekilde tasarlanmıştır ve sistemin hassasiyeti ± 5 N'dur. Doğru ölçüm sonuçları elde etmek için dinamometrenin statik ve dinamik kalibrasyonu yapılmıştır. Ayrıca çapraz duyarlılık testi, eksantriklik testi, doğrusallık testi ile performans testleri de uygulanmıştır. Dinamometrenin her üç yöndeki çapraz duyarlılık hassasiyeti değerleri % 0.7-0.92 arasında ölçülmüştür. Maksimum kuvvet olan 3500 N'un % 80'ini uyguladıkları doğrusallık testleri sonucunda, ilerleme kuvvetinin % 1.3, radyal kuvvetin % 1.4 ve kesme kuvvetinin % 1.2 hata payı ile ölçüldüğünü ve tornalama işlemi için bu değerlerin kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Ölçme eksenlerini 5° eğerek yaptıkları performans testleri sonucunda, değerlerin % 0.2 hata payıyla ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Bu değerlerin dinamometre için ihmal edilebilir olduğunu, değişik parametreler kullanılarak yapılan tornalama işlemleri sonucunda dinamometrenin ölçtüğü kesme kuvveti değerlerinin uygun olduğunu ve dinamometrenin tornalama için tasarlanmış olmasına rağmen diğer işlemler için de kullanılabileceğini belirtmişlerdir [54,55].

Şeker ve arkadaşları, planya ile işlemede oluşan birbirine dik üç kesme kuvvetini ölçmek için yük hücreleri (maksimum 2000 N'a kadar ölçüm yapabilen) ile çalışan bir dinamometre yapmışlardır. Dinamometre bir planya tezgahına monte edilmiş, dinamometreden gelen çıkış voltajları yükseltilmiş, analog veriler dijital sinyale dönüştürülmüş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneyler 4 grup olarak yapılmıştır. Paso bir ve ikinci grupta 1.25 mm, üç ve dördüncü grupta ise 0.75 mm olarak seçilmiştir. Kesme hızı sırasıyla 9, 12, 19 ve 27 m/dak alınmıştır. İlerlemeler her grupta 10, 20, 30, 40 inç/1000 alınmış olup kesme hızının artmasıyla mm/dev cinsinden değişmektedir. Şöyle ki birinci grupta 0.1110-0.440 mm/dev, ikinci grupta 0.082-0.0328 mm/dev, üçüncü grupta 0.0054-0.0216 mm/dev ve dördüncü grupta 0.0037-0.0149 mm/dev ilerleme aralıkları kullanılmıştır. Toplamda 16 deney yapılmış ve her deney sonunda kullanılan sert metal uç (SCMT 120404-C25) yenisiyle değiştirilmiştir. İş parçası olarak St-44 malzeme kullanılmıştır. Deneyler yapılmadan önce teorik olarak kesme kuvvetleri kıyaslama yapmak amacıyla hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda ilerleme değerinin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını, 4 no'lu grup dışında teorik olarak hesaplanan kuvvet değerlerinin ölçülen kuvvet değerlerine çok yakın çıktığını, 4 no'lu grupta ise değerlerin biraz daha farklı çıktığını ve dinamometrenin planyalama işlemlerinde kesme kuvvetlerini ölçmek için rahatlıkla kullanabileceğini belirtmişlerdir [56,57].

Demir ve arkadaşları AISI 1050 çeliğinin düzlem taşlanmasında oluşana teğetsel ve yatay taşlama kuvvetlerini ölçmek için yük hücreli bir dinamometre tasarlamış ve imal etmişlerdir. Kullanılan yük hücreleri kiriş tipi olup 3000 N ölçme kapasitesindedir. Yapılan dinamometrenin bilgisayar ile entegrasyonu sağlanarak kalibrasyon testleri yapılmıştır. İki eksende yapılan statik kalibrasyon sonucu dinamometrenin kalibrasyon eğrileri doğruya yakın çıkmıştır. Daha sonra teorik olarak hesaplanan taşlama kuvvetleri ile dinamometre ile ölçülen taşlama kuvvetlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda teorik kuvvetlerle ile ölçülen kuvvetler arasında % 9 ile % 32 arasında hata payı olduğunu belirtmişlerdir [58].

Karabay, matkapla delme, tornalama ve frezeleme işlemlerinde kesme kuvvetlerini ölçmek için yapılabilecek dinamometre örneklerini ve bu dinamometrelerin tasarım kriterlerini belirtmiştir. Torna dinamometresi tasarlamada rijitliğin ve hassaslığın çok önemli olduğunu belirtmiştir. Sıkma elemanlarının olumsuz etkilerinden kurtulmak amacıyla tek bir parçadan oluşan, dört tane sekizgen halka içeren (ikisi altta ikisi üstte) ve üç eksenle kuvvet ölçümü yapabilen bir dinamometre örneği vermiştir. Bu dinamometre de kater blok halindeki dinamometrenin orta kısmına yerleştirilirken uzama ölçerler sekizgen halkaların yüzeylerine yerleştirilmiştir. Bu şekilde tasarlanan dinamometrede eksenlerdeki kuvvetlerin birbirlerini etkilemediği belirtilmiştir. Dinamometrenin taşlama, planyalama, frezeleme ve tornalama işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir [59].

Karabay, ince dairesel halkaların basit elastik teorilerine dayanarak sekizgen halka tipi yük hücresinin analizini yapmıştır. Sekizgen halka tipi yük hücrelerini kullanarak matkapla delme işleminde oluşan kesme kuvvetlerini (ilerleme ve tork) ölçmek için bir matkap dinamometresi yapmıştır. Dinamometrede, yük hücresi üzerindeki uzama ölçerlerin yerleri matkapla delme işleminde kesme kuvvetlerinin karakteristik özelliklerine göre net bir şekilde belirlenmiştir. Kuvvetlerin ölçülebilmeleri için dinamometrenin uzama ölçerlerinin diyagramları ayrı ayrı gösterilmiştir. Rezonanstan kaçınmak için dikey ve burkulma modlarında doğal frekanslar belirlenerek dinamometrenin rijitliği analiz edilmiştir. Dinamometre ± 5 N hassasiyetinde ve % 0.05 çapraz eksen hassasiyetindedir. Dinamometrenin üretimi yapıldıktan sonra SAE 1020 çeliği kullanılarak matkapla delme deneyleri gerçekleştirilmiş ve kesme kuvvetleri (ilerleme ve tork) ölçülmüştür. Dinamometrenin performansının belirlenmesi amacıyla bulunan sonuçlar benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Dinamometrenin delme ve delme benzeri uygulamalarda rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir [60].

Karabay, matkapla delme işleminde oluşan ilerleme ve tork kuvvetlerinin deneysel olarak bir modelinin geliştirilebilmesi için iki eksenli uzama ölçer esaslı bir matkap dinamometresi tasarlamış, imal etmiş ve SAE

1020 malzemesi üzerinde delme deneylerini gerçekleştirmiştir. Delme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetleri ölçümlerine göre ilerleme ve tork kuvvetleri için deneysel kesme formülleri geliştirmiştir. Bu deneysel formüller kullanılarak hesaplanan ilerleme ve tork kuvvetleri başka araştırmacıların bulmuş olduğu değerlerle uyumlu olup olmadığının kıyaslanması için karşılaştırılmıştır. Sonuçta deneysel formüllere göre hesaplanan değerlerin gerçek değerlere çok yakın olduğu ve bu dinamometrenin sağlıklı bir şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir [61].

Yaldız ve arkadaşları, tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerini geliştirdikleri bir bulanık mantık yöntemiyle çok geniş bir aralıkta belirlemişler ve belirledikleri bu değerleri yaptıkları bir dinamometre ile kıyaslamışlardır. İş parçası malzemesi olarak SAE 1040 tercih edilmiştir. CNC tornaya takılan dinamometre üç ekseninde ölçüm yapabilmektedir. Deneylerde talaş açısı ve yaklaşma açısı sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda bulanık mantık modellerle elde edilen değerler ile yaptıkları dinamometreden elde ettikleri sonuçlar arasında % 99.6'lık bir doğruluk elde etmişlerdir. Böylece bu yöntemin çok rahatlıkla kullanılabileceğini belirtmişlerdir [62].

Topal ve arkadaşları, tornalamada kesme kuvvetlerinin ölçümünde ve boyut hatalarını elemine etmek için yaptıkları çalışmada bir dinamometre tasarlamış ve imal etmişlerdir. Uzama ölçerler ısı kompanzasyon için tam Wheatstone köprü devresi ile bağlanmıştır. Uzama ölçer tipi olarak FLA-6-11 seçilmiştir. Köprüden elde edilen analog sinyaller HP 34970A veri toplayıcı (data logger) ile dijitale çevrilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Dinamometre bir yük hücresi (load cell) yardımıyla kalibre edilmiştir. İş parçası olarak SAE 1040 malzemesi (26 mm çapında 120 mm boyunda) seçilmiş ve sert metal takımla işlenmiştir. Kesme hızı 150-235 m/dak, paso 0.5-1.5 mm ve ilerleme 0.05-0.25 mm/dev aralıklarında seçilerek çok sayıda deney yapılmıştır. Altı değişik tip kater kullanılarak konik ve kademeli tornalama yapılarak boyut hataları ölçülmüştür. Bu sonuçlara dayanılarak hataları elemine edecek bir yöntem geliştirmişlerdir. Deneyler sonucunda boyut hatalarını % 90 oranında azaltabilmişlerdir [63].

2.2 Kompozit Malzemeler

Malzemeler genellikle metaller, seramikler ve plastikler olarak üç ana gruba ayrılırlar. Bu üç grubun birbirlerine göre zayıf ve üstün tarafları vardır. Bu üç ana grubun yanında, aynı ya da farklı gruplardan iki ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemede toplamak, ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla *makro* düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler *kompozit (karma)* olarak adlandırılırlar. Atomal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar) makroskobik olarak homojen oldukları için kompozit malzeme olarak değerlendirilmezler [64].

Bir kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik *matris* ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan *takviye* elemanından oluşmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış ve parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen *yükü taşımak* ve matrisin *rijitlik ve dayanımını* artırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara *yük ve gerilim transferi* sağlayabilmek için elyaf ile matrisi bir arada tutmak yanında çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılgan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca plastik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflarda kırılgan çatlakların yayılmasını önler [1]. Şekil 2.1’de kompozit malzemedan yapılmış örnekler gösterilmiştir [65,66].



Şekil 2.1 Kompozit asker miğferi ve otomobil ön paneli [65, 66]

Kompozit malzemelerin avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Kompozit malzemelerde yorulma, aşınma ve korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık, ısı iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, rijitlik, ağırlık, fiyat, estetik görünüm vb. özelliklerin biri veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanır [67].

Bu sayılan özelliklerin hepsi aynı anda iyileşmez ve buna da gerek yoktur. Bileşenlerinin özellikleri bilinen bir kompozit malzemenin bazı özellikleri hesaplanarak bulunabilir (yoğunluk, elastik özellikler vb.). Bazı özellikler içinse bu mümkün değildir (yorulma dayanımı, tokluk). Tasarımcı bu durumda emniyetli davranarak emniyet katsayılarını çok yüksek tutmak zorunda kalır ve kompozit malzeme ekonomik olmaktan çıkabilir [64].

2.2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzeme oluşturma seçenekleri sonsuzdur. Bu nedenle bunları sınıflandırmak oldukça zordur. Sınıflandırma değişik açılardan yapılabilir. Örneğin takviye elemanlarına göre yapılacak bir sınıflandırmada aşağıdaki üç ana grup söz konusudur [1, 64].

- a. Tabakalı kompozit malzemeler.
- b. Elyafli kompozit malzemeler.
- c. Parçacıklı kompozit malzemeler.

Bu üç tip takviye elemanlı kompozit malzeme yine plastik, metal veya seramik matris içinde olabilir. Elyaf takviyeli kompozitleri de üç alt gruba ayırmak mümkündür [64, 67].

- a. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler.
- b. Kesikli elyaf takviyeli kompozit malzemeler.
- c. Rastgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozit malzemeler.

Parçacık takviyeli kompozitleri iki gruba ayırmak mümkündür [68].

- a. Büyük parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozitler malzemeler.
- b. Dağılımla güçlendirilmiş kompozit malzemeler.

2.2.2 Matris Malzemeleri

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretebilmek için matris malzemesi, elyaflar arasına iyi emdirilmeli, elyafları ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda yapışma için bağ oluşturabilmeli, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşma yapabilmelidir. Bağdan ayrı olarak ta, üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler sırasında matris ve elyaf arasında diğer kimyasal etkileşimler olmamalı ve matris zamanla kararlı kalmalıdır. Üretim esnasında matrisin kimyası nedeniyle elyaflar herhangi bir fiziksel hasara maruz kalmamalıdır. Matrisin başlıca görevleri aşağıda sıralanmıştır [64, 67].

- a. Düzenlenmiş elyafları bir arada tutarak kuvvetleri elyafa iletmek.
- b. Elyafları çevresel etkilerden ve darbelerden korumak.
- c. Tokluğu artırarak çatlakları durdurmak.

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzemeleri üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar plastik, metal ve seramik matris malzemeleridir [68].

Plastikler, *monomer* denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Bir monomer, polimerizasyon yoluyla başka monomerlerle birleşerek tekrarlanan ünitelerden oluşan çok uzun zincir şeklinde bir makro molekül meydana getirilir. Termosetler, termoplastikler ve elastomerler olmak üzere üç tip plastik matris malzemesi mevcuttur [1, 67].

Termoset malzemeler küçük monomer moleküllerini uzun ve aralarında kuvvetli bağlar bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşurlar. Bu reaksiyonların gerçekleşmesi için genellikle bir sertleştirici ve hızlandırıcı (katalizör) katılması, bazen de enerji verilmesi gereklidir. Sıvı reçine önce jelleşir, daha sonra tam sertleşir. Kovalent üç boyutlu bağlar nedeniyle oldukça rijittirler. Tekrar ısıtılarak yumuşatılamazlar. Önemli termosetler olarak fenolikler, amino reçineler, *polyester* ve epoksileri sayabiliriz [69].

Fenolikler, fenol ve formaldehiti birleştiren yoğunlaştırma reaksiyonu ile elde edilirler. Başlangıçta çizgisel bir zincir üretilir. İki önemli reçine bu reaksiyondan üretilir. Fazla bir formaldehit içeren reçineler ve çok az veya hiç çapraz bağlanmamış çizgisel reçinelerdir. Fazla formaldehit ısıtıldığında üç boyutlu yapı üretmek için çapraz bağlar sağlanır [70].

Üre formaldehit veya melamin formaldehitleri kombine etmekle üretilen *amino reçineler* fenoliklere benzer. Üre ve melamin molekülleri çizgisel zincirler elde etmek için formaldehit bir bağlantı ile birleşir. Fazla formaldehit rijit polimer oluşturmak amacıyla gerekli çapraz bağlanma sağlayabilir [70].

Polyester, yan ürün olarak su veren bir yoğunlaşma reaksiyonu ile asit ve alkol moleküllerinden oluşabilirler. Zincirin asit bileşeni, doymamış bir karbon bağı içerir. Stiren gibi bir vinil molekülü bir katılma reaksiyonla zincire çapraz bağlanır [69].

Epoksiler, sıkı bir C-O-C halkası içeren karmaşık monomerler, daha sonra iskelet yapı içerisine bağlanan, çizgisel zincirler içerisine bir katılma mekanizması ile polimerize edilir. Polimerizasyon sırasında C-O-C halkaları kırılır ve bağlar molekülleri birleştirmek için yeniden dizilir [68].

Silikonlar, inorganik ve yarı inorganik polimer molekül yapılarıdaki tekrarlanan siloksane bağının varlığı ile farklılık gösterirler [68].

Termoplastikler rijit bir ađ yapısına sahip değillerdir. Çizgisel moleköl zincirleri birbirlerine zayıf Van der Waals bağları ile bağlanır. Bir termoplastik malzeme kritik bir *camsı duruma geçiş sıcaklığının* üzerine ısıtılırsa yumuşar ve sıcaklık arttıka plastiğin viskozitesi dűřer. Bu malzemeler tekrar soğutulduklarında yeniden sertleşirler. Üretimi termosetlere göre daha zordur. Kullanım sıcaklıkları termosetlerden daha azdır. Üretilen bütün sentetik polimerlerin yaklaşık % 70'ini oluştururlar [68].

Asetal, formaldehitten hazırlanır. Yüksek rijitlik, dayanım, tokluk ve aşınma direncine sahiptirler. Erime noktası 180 °C olup nem alma kapasitesi dűřüktür [69].

Akrilik, lineer polimer olduđu için řekilsizdir. Bu özelliđi sayesinde saydam olarak optik uygulamalarda cam ile yarış halinde olmasını sađlar. Çok dűřük çizme direncine sahiptir [70].

ABS (akronitril-bütadien-stiren), mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. ABS iki fazlı olup, bir fazı sert kopolimeri iken diğer fazı ise stiren bütadien olup kauçuktur [68].

Teflon, çevresel ve kimyasal etkilere karşı aşırı dirençlidir. Sudan etkilenmez, elektrik ve ısı direnci iyi ve çok dűřük sürtünme katsayısına sahiptir [68].

En önemli *polyamid* ailesi naylondur. Naylon dayanıklı olup, elastik modülü yüksek ve abrasif aşınmaya karşı dirençlidir. Kendi kendini yağlama özelliğine sahiptir. Kötü bir özelliği suyu emmesidir. 125 °C sıcaklığa kadar mekanik özelliğini korur [70].

Polyesterler, bağ durumuna göre termoset ya da termoplastik olabilirler. Bu yapı ya şekilsiz ya da % 30 kristalleşmiş olabilirler. Hızlı soğutma ile şekilsiz yapı olduğu saydamdır [69].

Polietilen, düşük nem emme oranına sahiptir. Deformasyon direnci iyidir. Düşük maliyet, kolay işlem görmesi onu cazip kılar. Düşük ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki türü vardır. Yüksek yoğunluklu olanlar rijittir [68].

Polipropilen, enjeksiyon kalıplarında önemli olan en hafif plastiktir. Dayanımı yüksek yoğunluklu polietilenlere yakındır. Yüksek ergime derecesine sahiptir [70].

PVC (Polivinilklorür), cam geçiş sıcaklığını azaltır. Rijit bir yapısı vardır. PVC ısı ve ışığa karşı kararsızdır [1].

Elastomerler termosetler gibi çapraz bağlı olan uzun zincir molekülerinden oluşur. Elastik deformasyon yapma yeteneği çok fazladır. Bazı elastomerler % 500 ve daha fazla uzama yaparlar ve tekrar orijinal şekline geri dönerler. *Kauçuk* en güzel örnektir [68].

Metaller organik reçinelere göre çok daha yüksek dayanımlı matrislerdir. Buna ek olarak metal matris, kompozit malzemelerin tokluğunun ve kullanım sıcaklığını yükselmesini sağlar. Ancak üretimleri güçtür. Her elyaf türü ile birlikte kullanılamazlar. Metallerle en kolay bağ oluşturan silisyum karbür (SiC) ile kaplanmış bor elyafıdır ve pahalıdır. Metal matrisli malzemelerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır [1,64].

Seramiklerin matris olarak kullanılması halinde kompozit malzemeler 1300 °C sıcaklığa kadar kullanılabilme şansına sahip olur. Bu tür kompozit malzemelerin gelişmişlerine örnek olarak SiC veya Al₂O₃ elyaf ile takviye edilmiş SiC ve Si₃N₄ seramikleri gösterilebilir. Karbon elyafın da kullanılabildiği bu tür matrislerde (cam, seramik, MgO, Al₂O₃, SiC) liflerin rolü

farklıdır. Mekanik özellikleri bakımından matrinden çok farklı olmayan elyafın buradaki görevi daha çok malzemenin tokluğunu artırmaktır [68].

2.2.3 Elyaf Malzemeleri

Elyafın birinci işlevi, yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği arttırmaktır. Bir malzemenin elyaf olarak adlandırılması için ASTM'ye göre uzunluk/enine ortalama boyut oranı en az 10/1, en büyük kesit alanı 0.05 mm² ve genişlik 0.25 mm koşullarını sağlamalıdır. Sürekli elyaf, fitil veya filament olarak da adlandırılır. Metal lifler için tel adı kullanılır. Son zamanlarda özellikle mühendislik kullanımı için çok değişik elyaflar kullanılmaktadır. Bu takviye elemanı seramiklerin en önemlileri cam, karbon, bor, kevlar, alüminyum oksit ve silisyum karbür olup çok değişik morfolojik şekilde olabilmektedir. Bu takviye elemanlarının özellikleri kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir [1].

E Camı: Düşük maliyetle yüksek elastiklik ve yorulma dayanımı.

S Camı: İstatiksel olarak fazla yüklenen hafif parçalar.

Karbon: Minimum ağırlık, yüksek dayanım-orta rijitlik veya yüksek rijitlik-orta dayanım.

Kevlar: Yüksek çekme dayanımı, orta rijitlik ve iyi şok direnci, çok düşük basma dayanımı.

Bor: En yüksek spesifik ağırlık, yüksek dayanım, rijitlik ve basma dayanımı.

Silisyum Karbür: Yüksek sıcaklık dayanımı ve ekonomiklik.

Alüminyum Oksit: Yüksek çekme, basma dayanımı ve yüksek elastik modülü.

2.2.4 Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Elyaf takviyeli kompozit malzeme türleri çok farklı olduğundan birbirinden farklı çok sayıda üretim yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemleri

matris türüne göre **reçine ve metal matrisli** kompozit üretim yöntemleri şeklinde sınıflandırmak mümkündür. El yatırma, vakum torbası, savurma, profil çekme, kapalı kalıp, enjeksiyon kalıplama, elyaf sarma ile püskürtme yöntemleri reçineler için kullanılır. Sıcak presleme, toz metalürjisi, sıvı metal emdirme, vakumda presleyerek birleştirme, elektroliz banyosu, buhar çökeltme, haddeleme ile plazma püskürtme yöntemleri metal matrisli kompozitler için kullanılır.

El yatırma yönteminde keçe veya dokuma biçimindeki elyaf, hazırlanan bir kalıp üzerine veya içine yerleştirilir. Fırça gibi aletlerle reçinenin elyafı ıslatması sağlanır. İstenilen kalınlık elde edilene kadar bu işleme devam edilir ve çok tabakalı bir malzeme elde edilir [71].

Vakum torbası yönteminde kalıp üzerine yerleştirilen prepregler (tabakalı hazır kompozit malzemeler) veya reçine ile takviye malzemesi, delikli bir yüzey tabakası ile sızan reçine tabakasını toplayan tabaka ile kapatılır. En üste esnek bir film (torba, naylon vb.) konularak yanlardan sızdırmazlık sağlanır. Sonra vakum uygulanır. Bu işlem reçine sertleşmeden önce uygulanmalıdır [72].

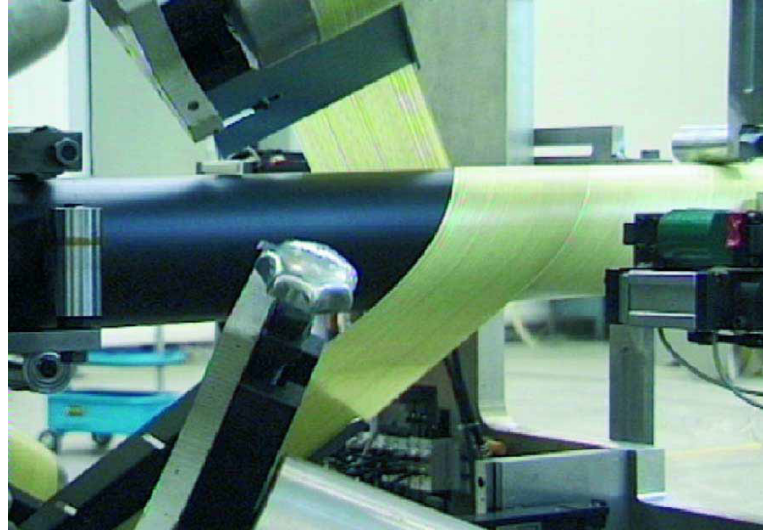
Savurma yöntemi boru gibi delikli silindirik parçaların üretimi için uygundur. Kırpılmış elyaf ve sertleştirici katılmış reçine, silindirik bir kabın içine doldurulur ve döndürülerek kabın kenarlarına merkez kaç kuvvetleri sayesinde eşit olarak dağılan malzeme sıcak hava ile sertleştirilir [72].

Profil çekme yöntemi sürekli üretim tekniklerinden biridir. Termoset reçineye batırılan elyaf bir ön kalıptan geçirilerek içindeki hava ve fazla reçine alınır. Ön biçim verilen malzeme son kalıptan geçirilir. Malzeme fırında sertleştirilir [72].

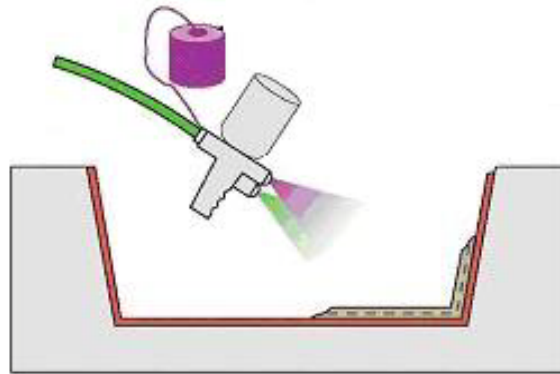
Kapalı kalıp yönteminde kompozit malzeme iki kalıp arasına sıkıştırılmış durumda sertleştirilir. Genellikle boyut hassasiyeti yüksek ve karmaşık parçalarda kullanılan bir seri üretim yöntemidir [71].

Enjeksiyon kalıplama yönteminde de hazır bileşim kalıp boşluğuna enjekte edilir. Matris olarak genellikle naylon, polietilen, PVC ve benzeri termoplastikler kullanılır [71].

Elyaf sarma yönteminde sürekli elyaf kalıbı oluşturan bir silindir (mandrel) üzerine belli açılarla sarılır. Silindirik parçaların üretimi için oldukça uygundur. Elyafın takviye yönü ile zorlanmaların en yüksek olduğu yönlerin aynı olması sağlanabilir. Sarma sırasında bir gergi kuvveti uygulanır. Kuru (mandrel üzerine) ve ıslak (elyaf reçineye sarmadan önce girer) olmak üzere iki türü vardır. Şekil 2.2'de elyaf sarma yöntemi gösterilmiştir [71].



Şekil 2.2 Elyaf sarma yöntemi [71]



Şekil 2.3 Püskürtme yöntemi [66]

Püskürtme yöntemi el yatırma yönteminin mekanize olmuş şekli olarak düşünülebilir. Fırça yerini tabancaya bırakmıştır. Şekil 2.3'te püskürtme yöntemi gösterilmiştir [66].

Sıcak presleme yönteminde lifler Al, Mg ve Ti gibi metal folyolar arasına yerleştirilerek yüzeye püskürtülen ve presleme sırasında yanacak olan bir bağlayıcı ile konumlarından kaymamaları sağlanır [72].

Toz metalürjisi yönteminde toz biçimindeki metal ya da seramik malzemeler birleştirilebilir. Bunlar homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra katı hal difüzyonu için yeterli bir sıcaklık ve basınç altında sinterlenir [71].

Sıvı metal emdirme yönteminde bir kalıpta düzenlenerek hazırlanan elyaf bir metal ile ıslatılır. Çubuk ve profil gibi uzun ürünler aynı yöntemle bir elyaf demetinin sıvı metal demetinin içinden geçirilmesiyle sürekli olarak elde edilebilirler [71].

Vakumda presleyerek birleştirme yönteminde gerekli yüzey işlemlerinden sonra, lifler istenilen aralıklarda ve yönlerde metal saçların üzerinde düzenlenir. Tabakalar halinde hazırlanan bu malzemeler bir metal kaba yerleştirilir. Sızdırmazlık sağlanır ve vakuma alınır. Sonra tümü ısıtılarak yayınma ile birleştirmenin sağlanması için preslenir [1].

Elektroliz banyosuna, katot görevi gören bir elyaf sarılmış mandrel batırılır. Matris metali elyaf arasına çökelir. *Buhar çökeltme* yönteminde buhar fazına alınan matris takviye malzeme üzerine çökeltilir [71].

Haddeleme yönteminde metal bantlar ve elyaf birlikte sürekli bant olarak haddelenir. Temas süresi kısa olmasına rağmen sıcaklık ve basınç ile yayınma sağlanır [71].

Plazma püskürtme tekniğinde alaşım indüksiyon fırınında ergitilir. Ergitilen alaşım püskürtülürken aynı zamanda parçacıklı elyaflar atomize

edilmiş sıvı içerisinde enjekte edilerek önceden ısıtılmış alt akıtman üzerine çökeltir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşturulur [71].

2.3 Talaşlı İmalat

2.3.1 Talaş Kaldırma Mekanığı ve Önemli Parametreler

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak, iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen karmaşık fiziksel bir olaydır [73, 74]. Talaş kaldırma analizleri ile ilgili detaylı çalışmalar, talaşta farklı gerilme ve uzama ile neticelenen bilinen bazı modellerin var olduğunu göstermektedir. Bu kesme modelleri şunlardır [73].

Timme yaklaşımı kesici takım, iş parçası ve talaşın etkileşimini dikkate alır. Kesici takım iş parçasına nüfuz etmeye, onun direncini yenmeye başlar. Batma direnci iş parçası malzemesinin sıkıştırılmış alanının orantılı olarak büyütür ki bu da batma kuvvetinde bir artış sağlar. Kuvvetin, kayma açısında düzlem boyunca devam eden iş parçası malzemesinden küçük parçalar çıkararak kırarak derecede kafi derecede büyük oluncaya kadar bu işlem devam eder. Batma kuvveti de ani olarak azalır ve talaş oluşumu için yeni bir çevrim meydana gelir.

Bu metodun ilginç yanı amaca sistematik olarak yaklaşmasıdır. İlk yaklaşım ve son yaklaşım için kesme sistemi bileşenlerini birbirine göre hareketi (iş parçası, takım ve talaş) mevcut kesme sistemi için temel şart olarak tanımlanmaktadır. Daha sonraki çalışmalar ise gerçek kesme işlemini basitleştirme doğrultusunda olmuştur. Sabit durum olarak adlandırılan

kesme işleminin başlaması ile bir taraftan kesme kuvveti, takım ömrü, işleme kalitesi gibi ortalama değerleri tanımlamak için pratik ihtiyaçları karşılarken diğer taraftan da, sabit durum modelleri (zaman-sabit durumu) gerilme dağılımı etkisiyle oluşturulur [73].

Lee ve Shafer yaklaşımında, plastisite teorisi ortogonal kesme işlemine uygulanmıştır. Bu yaklaşımla, kesme işleminde çok yüksek uzamalar ve uzama miktarları olduğu için talaş kaldırma esnasında iş malzemesinin gerçek davranışlarına oldukça yaklaşılmıştır.

Çoğu metallerde deformasyon sertleşmesi oranının artan uzama miktarı ile hızla azaldığı bilinmekte ve yüksek uzama etkisi de maksimum gerilmeye bağlı olarak metalin akma dayanımını artırmaktadır. Keza toplam uzamaya göre oluşan elastik uzama miktarı ihmal edilebilecek seviyededir. Bu nedenle, iş malzemesi gerilme uzama eğrisi yaklaşık doğru oluşturur. Plastisite teoremi ile bir problemin çözümünde kayma hattı alanın oluşması gereklidir. Bu alan iki ortogonal çizgi ailesinden oluşur ve maksimum kayma gerilmesi de iki ortogonal doğrultuda plastik bölge içindedir [73].

Shaw, Cook ve Finne yaklaşımında, kayma işleminde sürtünme ve kayma işlemleri arasında birbiriyle ilişkiler dikkate alınmıştır. Kayma düzleminin maksimum kayma gerilimi doğrultusunda olmadığı varsayımı kayma-hattı doğrusu çözümünü devreye sokmuştur.

Belli anormallikler olmasına rağmen, bu yaklaşım önemli bir kavram getirmiştir. Yani, kayma ve sürtünme işlemi arasında uygun bir ilişki, kesme işleminde son sabit-durum şeklinin belirlenmesi için önemli bir faktördür. Ancak sadece kayma varsayılmakta olduğu için de iş parçasını modellemek için mükemmel bir plastik katı seçilir. Bunun sonucunda talaş yönlenmiş kalıcı kayma gerilmesi ve kayma uzamasına sahip kırılmaya sebep olmadığından dolayı sonsuz olarak süreklidir.

Hill yaklaşımına göre, kesme işleminde sabit-durum şekli için aranan şartların tek bir çözüm sağlaması gerekmez. Gerçekte her zaman tek bir çözümden ziyade müsaade edilebilir derecede sabit-durum çözümleri mevcuttur. Bu nedenle talaşta sadece bir gerilim-uzama durumu yoktur. Bundan dolayı talaş kontrolü, belirsiz şartlar altında yapılmalıdır.

Bu modelde; kayma dayanımı, sıcaklık, kayma bölgesine etki eden basma gerilimi, uzama miktarı, kayma oranı ve uzama arasında oluşturulmuş fonksiyonel ilişkinin mevcut olduğu gösterilmiştir. Ancak bu değişkenlerle oynandığı ve polinom içinde bunlar düzenlendiğinde pratik yapılan deneylerle bu model de zıt sonuçlar vermektedir. Bu yaklaşım her hangi bir probleme faydası olmadığından talaş kaldırma teorisini oluşturacak bir yol olarak düşünülmemektedir [73].

Okushima ve Hitomi yaklaşımında, kesmenin tek bir kayma düzlemi boyunca olmaktan ziyade üçgen şeklinde belli akma bölgesi içinde olacağını varsaymaktadır. İlk önce, kesme teorisi ve oluşum mekaniği analizinde, kesikli talaşın mevcut olduğu varsayılmıştır. Tek kayma düzlemiyle oluşan bilinen zıtlıklar bile akma bölgesi kavramının uygulanması ile çözülebilir. Talaş içindeki gerilme ve uzama durumları diğer yaklaşımlardan çok daha güvenilir kayma gerilmesi ve kayma uzaması talaşta yine sadece kalıcı deformasyon ve kalıcı gerilme oluşturur. Talaş içindeki son uzama ve gerilme durumu Okushima ve Hitomi sonuçlarından bulunabilir [73].

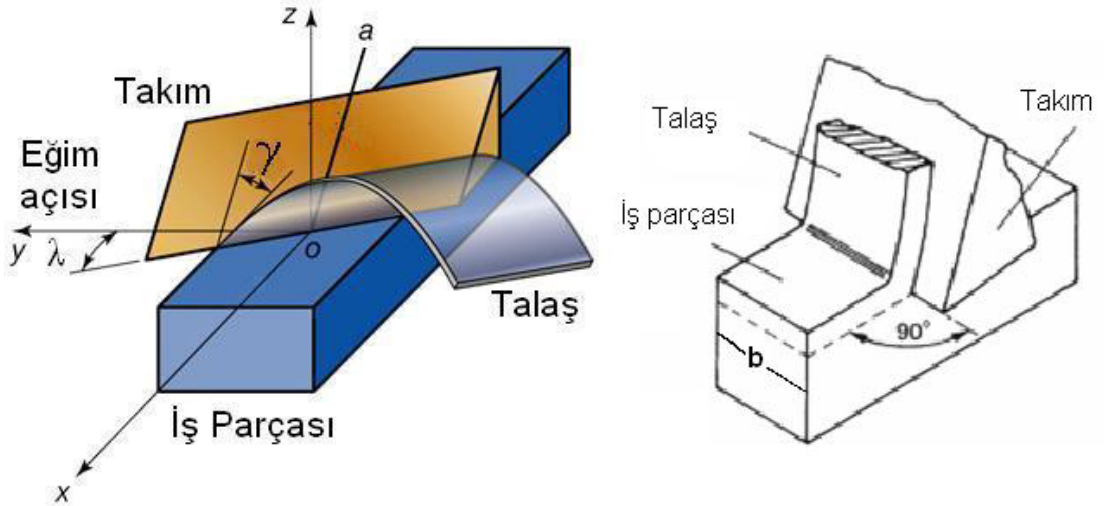
Zorew yaklaşımı, sünek malzemelerin kesilmesi için ilk defa bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu modelde ilk deformasyon bölgesi hattı ve son deformasyon bölgesi hattı olmak üzere iki hat tanımlanmaktadır. İş malzemesi parçacıkları, kayma hattını keserek plastik bölgeye nüfuz eder. Sırası ile sıfırdan son talaş şekline ait belli bir deformasyon artışına maruz kalır.

Bu model yukarıda bahsedilen diğer modellerden mantıksal olarak çok farklıdır ve plastisite teorisi ile uyumludur. Kayma hatları kesici uca yakın iş bölgesinde metalografik bir test yapılarak gözlenebilir. Bu sınırlar ilk önce

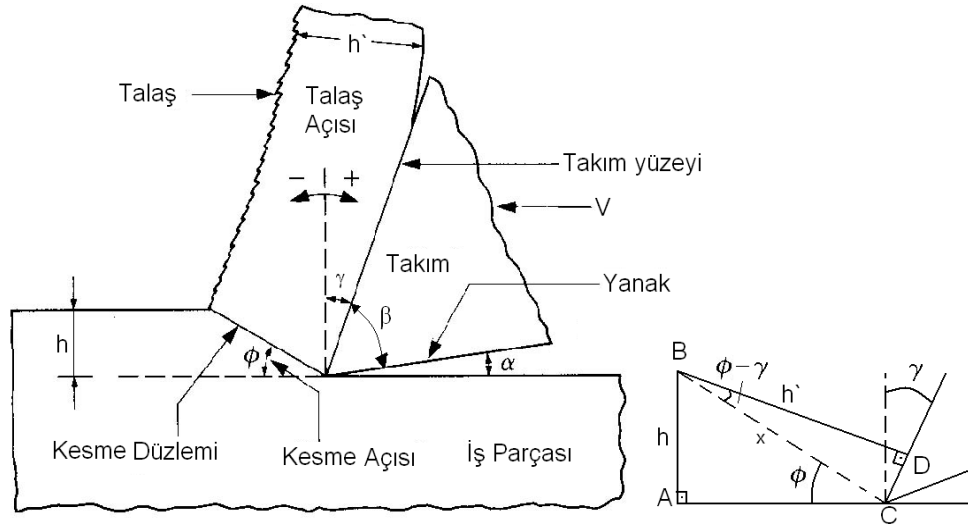
kesici uç yakınındaki bölgede ortaya çıkar. Daha sonra da 45°'lik bir açı ile iş parçası serbest yüzeyini keser.

Takım ucuna yakın bölgede plastik bölge ortaya çıkarsa gerilim uça yoğunlaştığı ve bu varsayım teorisi ile uyumlu olduğu için, iş parçası yüzeyine kayma hatlarının uç noktalarının ulaşması daha fazla olur. Bu durumda, kayma kayma hattı sınırları ile gösterilen plastik bölge sınırları oluşmaz [73].

Yukarıda bahsedilen her kesme modeli talaş kaldırma uygulamalarının belirli bir özelliğini yansıtır. Hiçbir model kesme şartlarının bütün değişimlerini kapsamaz. Talaş kaldırma olayını daha anlaşılır kılmak için Şekil 2.4'te gösterilen bir takım modeli oluşturulur. Bu modelde takımın kesici kenarının kesme hızına dik olarak ayarlandığı kesme modeline *ortogonal kesme modeli*, eğik ayarlandığı duruma ise *eğik kesme modeli* adı verilir. Şekil 2.4'te eğik ve ortogonal kesme modeli gösterilmiştir [74,75]



Şekil 2.4 Eğik ve ortogonal kesme modeli [74, 75]



Şekil 2.5 Ortogonal kesme modeli ve kesme düzlemi [74, 75]

İş parçası üzerinden kaldırılan malzeme tabakasının talaşa dönüşmesi kesme bölgesi denilen bir bölgede meydana gelmektedir. Basitleştirmek için bu bölge yerine kesme düzlemi denilen bir düzlem alınmaktadır. Şekil 2.5'te ortogonal kesme modeli ve kesme düzlemi gösterilmiştir. Kesme bölgesine dayanan teorilere kalın bölge teorisi, kesme düzlemine dayanan teorilere ince bölge teorisi denmektedir. Burada talaş kaldırma mekaniği, kurucusu *M.E. Merchant* olan ince bölge teorisine göre incelenecektir [74].

İnce bölge teorisine göre takım parça üzerinden kesme yönü denilen belirli bir doğrultuda talaş kaldırır. Talaşın parça üzerinden ayrıldığı yüzeye kesme düzlemi denir. Kayma düzlemi, kesme yönü ile kesme açısı (kayma açısı) (ϕ) adını taşıyan bir açı meydana getirir. Kesme işlemi boyunca parçadan ayrılacak olan biçimlenmemiş talaşın kalınlığı h , genişliği b ve uzunluğu l ile ifade edilir. Metal tabakasında plastik şekil değiştirmelerden dolayı biçimlenmemiş talaşın kalınlığı (b) aynı kalırken kalınlığı (h) genişlererek h' olur. Biçimlenmemiş talaşın uzunluğu (l) ise büzülerek l' olur. Başlangıçtaki hacim ile son hacim eşit olduğuna göre aşağıdaki bağıntı yazılabilir [74].

$$V = b.h.l = b.h'.l' \Rightarrow \lambda_s = \frac{h'}{h} = \frac{l}{l'} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 dikkatli incelenirse *biçimlenmemiş talaş uzunluğunun büzülmesi ile biçimlenmemiş talaş kalınlığının genişmesi aynı oranda meydana gelir* ve *talaş kalınlıkları oranı* (λ_s) adını taşıyan tek bir faktör ile ifade edilir. λ_s oranına *genleşme faktörü*, bu faktörün tersi olan λ_{sb} oranına ise *büzülme faktörü* denir. Şekil 2.5'teki ABC ve BCD hesap üçgenleri dikkate alındığında;

$$\sin \phi = \frac{h}{x} \Rightarrow h = x \cdot \sin \phi \quad (2.2)$$

$$\cos(\phi - \gamma) = \frac{h'}{x} \Rightarrow h' = x \cdot \cos(\phi - \gamma) \quad (2.3)$$

olur. h ve h' denklem 2.1'de yerine konduğunda;

$$\lambda_s = \frac{h'}{h} = \frac{x \cdot \cos(\phi - \gamma)}{x \cdot \sin \phi} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} \quad (2.4)$$

olur. Bu bağıntıda,

$$\cos(\phi - \gamma) = \cos \phi + \cos \gamma + \sin \phi + \sin \gamma \quad (2.5)$$

olarak yazılırsa,

$$\tan \phi = \frac{\cos \gamma}{\lambda_s - \sin \gamma} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir ve talaş kaldırma olayında kesme açısının tayininde önemli bir formül olarak kullanılır [74].

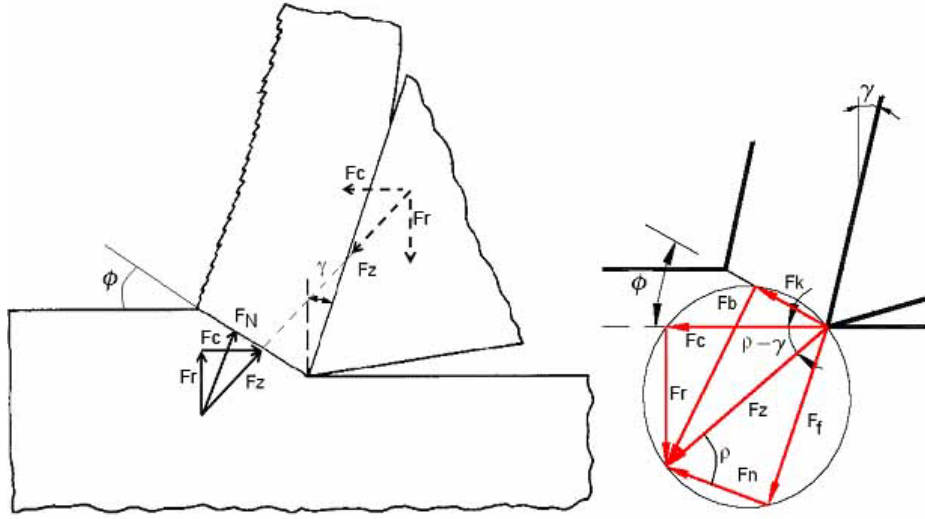
Talaş kaldırma sırasında takım kesme yönü doğrultusunda kesme hızıyla (V) ilerler ve talaş, parçadan ayrılma hızı (V_a) ile uzaklaşır. Bu iki hız kesme yüzeyi boyunca makaslama veya talaş kaldırma hızını (V_M) oluştururlar. Talaş büzülmesinden dolayı ayrılma hızı (V_a), kesme hızından (V) daha küçük olacaktır. Bu hızlar arasında;

$$\frac{V_a}{V} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)} \Rightarrow V_a = V \cdot \lambda_{sb} \quad (2.7)$$

bağıntısı vardır [74]. Burada λ_{sb} büzülme faktörüdür. Genellikle λ_{sb} değeri 0.3-0.5 arasında değişmektedir. Buna göre $\lambda_s = 0.5$ için $V_a = 0.5V$ dir. Yani talaş, kesme hızının yarısı kadar bir hızla takım üzerinden akmaktadır.

Birim olarak m/dak olarak ifade edilen ve talaş kaldırma işleminde önemli bir rol oynayan *kesme hızı* (V), takım ömrünü, kesme zamanını ve dolayısıyla işlemin maliyetini belirler [74].

Takıma karşı kayma düzleminde meydana gelen dirençlere karşı *talaş kaldırma kuvveti* (F_z) uygulanır. Düzlem boyunca yayılmış bu kuvvetler kesme düzleminin ortasında veya Merchant'ın varsayımına göre takımın ucuna uygulanan tek bir kuvvet olarak gösterilebilir. Şekil 2.6'da bu iki durum gösterilmiştir. Bu durumda takım ucuna uygulanan kuvvet *talaş kaldırma kuvveti* (F_z) olursa, bu kuvvetin aşağıda gösterilen bileşenlerden meydana geldiği düşünülebilir. Kesme yönünde kesme *kuvveti* (F_c), bu kuvvete dik yönde *radyal kuvvet* (F_r), kesme düzleminde *makaslama kuvveti* (F_k), bu kuvvete dik yönde *basma kuvveti* (F_b), *sürtünme kuvveti* (F_f) ve sürtünme kuvvetini meydana getiren *normal kuvvet* (F_n) bulunmaktadır. F_n ile F_z arasında *sürtünme açısı* (ρ) bulunmaktadır [74, 76, 77].



Şekil 2.6 Merchant modelinde kesme kuvvetleri [74]

τ_k malzemenin kesme mukavemeti olmak üzere,

$$\tau_k = \frac{F_k}{A_k}, \quad F_k = A_k \cdot \tau_k \quad \text{ve} \quad A_k = \frac{h \cdot b}{\sin \phi} \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilirse, Şekil 2.6'dan kesme kuvveti ile radyal kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanabilir [74].

$$F_c = h \cdot b \cdot \tau_k \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (2.9)$$

$$F_r = h \cdot b \cdot \tau_k \cdot \frac{\sin(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'daki faktörlerden bilhassa sürtünme açısının tayini çok zor olduğundan pratikte bu bağıntı değişik şekilde uygulanır. Buna göre;

$$k_s = \tau_k \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (2.11)$$

olarak ifade edilirse, kesme kuvveti;

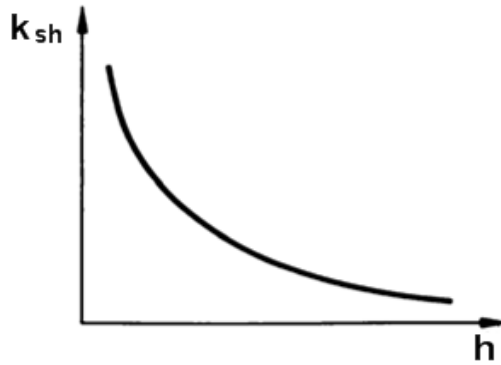
$$F_c = h.b.k_s = A_s.k_s \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır. Burada k_s , *özgül kesme kuvveti* adını alır. Özgül kesme kuvveti, parça malzemesi (k_{sh}), talaş kalınlığı (h), talaş açısı (k_γ), takım malzemesi ve talaş kaldırma yöntemi (k_T), eğim açısı (k_λ) ve takım aşınması (k_a) gibi faktörlere bağlıdır. Buna göre özgül kesme kuvveti;

$$k_s = k_{sh}.k_\gamma.k_\lambda.k_T.k_a \quad (2.13)$$

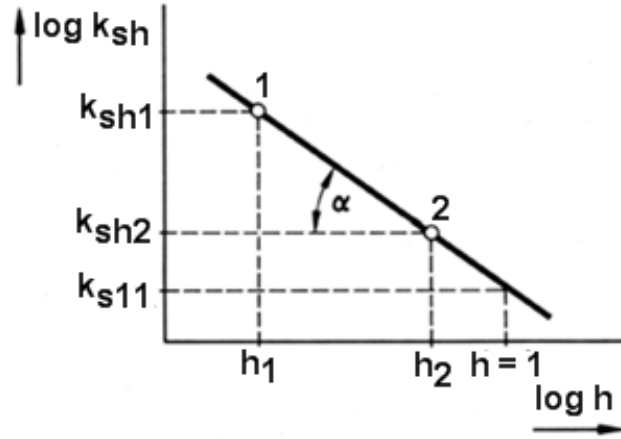
olarak ifade edilir. Burada k_{sh} *talaş kalınlığına bağlı özgül kesme kuvveti* adını alır.

Talaş kalınlığına bağlı özgül kesme kuvveti en çok talaş kalınlığından etkilenir ve aralarında grafiksel olarak hiperbolik bir bağıntı vardır. Buna göre h büyüdükçe k_{sh} azalır. Şekil 2.7’de bu grafik gösterilmiştir [74, 78].



Şekil 2.7 Talaş kalınlığına bağlı hiperbolik özgül kesme kuvveti [78]

k_{sh} ile h arasındaki hiperbolik grafik logaritmik grafik şeklinde ifade edilir. Şekil 2.8’de bu grafik gösterilmiştir [78].



Şekil 2.8 Talaş kalınlığına bağlı logaritmik özgül kesme kuvveti [78]

Şekil 2.8'deki grafikten aşağıdaki bağıntı elde edilir[74].

$$k_{sh} = \frac{1}{h^z} \cdot k_{s11} = h^{-z} \cdot k_{s11} \quad (2.14)$$

Burada, z , malzeme sabiti, k_{s11} , *birim özgül kesme kuvvetidir* ve parça malzemesine bağlı olarak, $h = b = 1 \text{ mm}$ olan bir talaş kesiti ve belirli kesme koşulları için deneylerle tayin edilir.

Kesme kuvveti (F_c) ve kesme hızı (V) tezgahın verdiği enerji ile sağlanır. Kesme gücü (P) aşağıdaki gibi tanımlanabilir [74].

$$P = F_c \cdot V \quad (2.15)$$

Sistemin verimi η ile ifade edilirse, *tezgah motorunun gücü* (P_m);

$$P_m = \frac{P}{\eta} \quad (2.16)$$

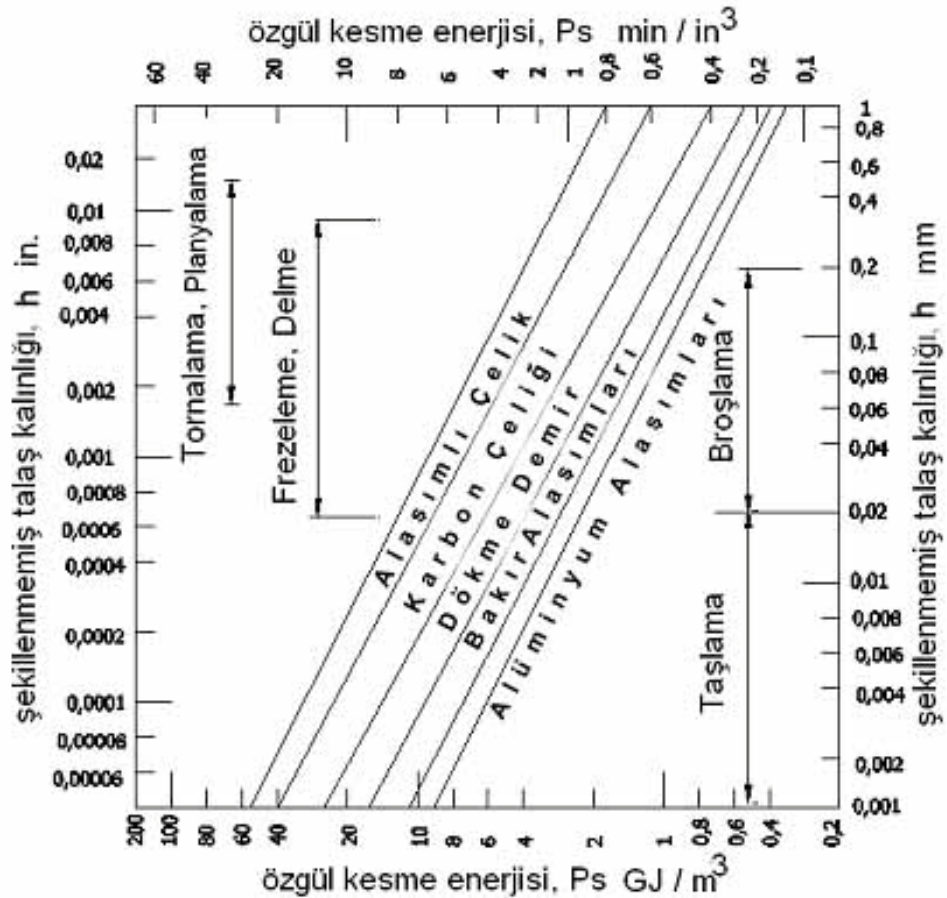
şeklinde ifade edilir.

Güç tüketimi talaşlı imalat faktörleri arasında önemli bir etken olarak görülmemesine rağmen özel bazı imalat işlemleri ve kaba talaş kaldırma işlemlerinde çok önem kazanmaktadır.

Güç tüketimi kaldırılabilir maksimum talaş miktarını belirlemek için de kullanılır. Kaldırılacak belirli bir talaş miktarı için gerekli kesme gücünü (P) hesaplamakta kullanılan eski ve pratik bir yöntem aşağıda verilmiştir [65].

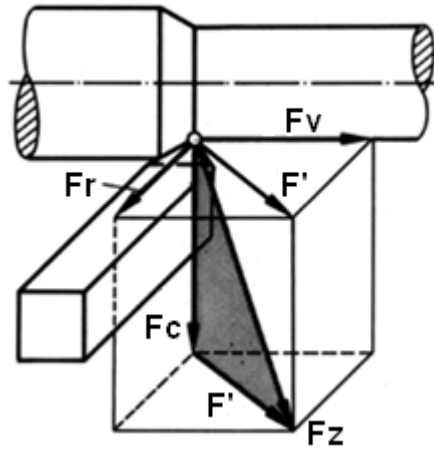
$$P = P_s \cdot Z_w \quad (2.17)$$

Burada Z_w , *birim zamanda kaldırılan talaş hacmi* ve P_s *ölgül kesme enerjisi* adını alır. Şekil 2.9'da bazı imalat işlemleri için şekillenmemiş talaş kalınlığına göre ölgül kesme enerjisi değerleri verilmiştir [76].



Şekil 2.9 Talaş kalınlığına göre ölgül kesme enerjisi [76]

Çalışmada imalat yöntemi olarak silindirik dış yüzey tornalama işlemi kullanılacaktır. Bu nedenle tornalama işleminde meydana gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin belirtilmesi faydalı olacaktır. Şekil 2.10'da tornalama işleminde meydana gelen talaş kaldırma kuvvetleri grafiksel olarak gösterilmiştir [78].



Şekil 2.10 Boyuna tornalamada meydana gelen kesme bileşenleri [78]

Şekil 2.10 dikkatli incelendiğinde dış yüzey silindirik tornalamada *talaş kaldırma kuvveti* (F_z), *kesme kuvveti* (F_c), *ilerleme kuvveti* (F_v) ve *radyal kuvvet* (F_r) olmak üzere üç bileşene ayrılır. F_c ve F_v kuvvetleri çalışma düzleminindedir. F_r bu düzleme dik durumdadır. Bu bileşenlere bağlı olarak F_z kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanabilir [74].

$$F_z = \sqrt{F_c^2 + F_v^2 + F_r^2} \quad (2.18)$$

F_c , F_v ve F_r arasında direk bir bağıntı yoktur. *Ancak dinamometre ile yapılan bağlantılarla ölçümlerle bu ilişki belirlenebilir.* Yapılan deneyler sonucunda F_c , F_v ve F_r kuvvetlerinin belirli kesme koşulları için belirli oranda buldukları görülmüştür. Örneğin, büyük kesme kenarı açısı (χ_1) = 45° ve eğim açısı (λ) = 0° ve 15° için F_v ve F_r kuvvetleri aşağıdaki gibi olur [74].

$$F_v = 0,2.F_c \quad (2.19)$$

$$F_r = 0,4.F_c \quad (2.20)$$

Genellikle F_c kuvvetinin büyümesi ile F_v ve F_r kuvvetleri büyür. F_c , F_v ve F_r kuvvetlerinin büyük kesme kenarı açısı χ_1 ile değişimleri göz önüne alınırsa $\chi_1 = 60^\circ$ ile 70° optimum bir açı değeri sayılabilir. $\chi_1 = 90^\circ$ 'de, F_v maksimum, F_r ise minimumdur. Talaş açısının büyümesi ile birlikte F_c kuvveti azalır [74].

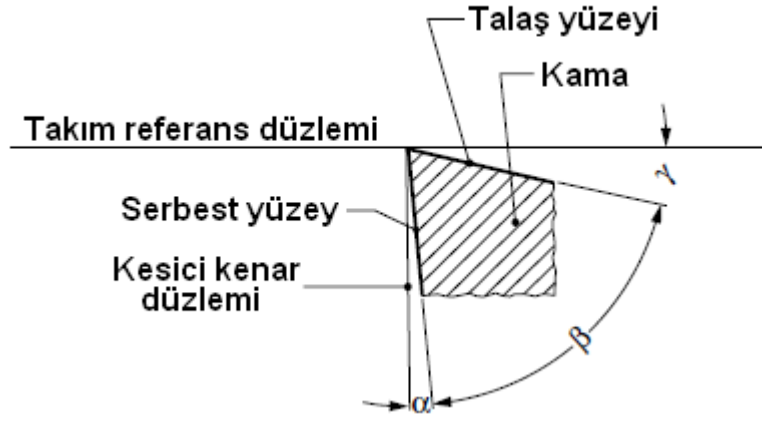
Yukarıda bahsedilen parametreler ışığında, uygulanacak imalat yöntemine ve işlenecek parça malzemesine göre işleme parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bu parametrelerin en önemlilerinden birisi takımın ömrünü büyük ölçüde belirleyen kesme hızıdır. Pratikte uygulanacak imalat yöntemi işlenecek malzeme için kesme hızı tabloları hazırlanır. Diğer faktörlerden takım açıları, talaş kalınlığı ve ilerleme miktarları da hazırlanan tablolar arasındadır.

2.3.2 Takım Ömrü ve Takım Aşınması

Talaşlı imalat işleminde takım en önemli parametrelerden biridir. Kama şeklinde olan takımın bir kesici kenarı, talaşın temas ettiği bir talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük bir serbest yüzeyi vardır. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru, koordinat sistemi olarak seçilirse, dikey doğru ile talaş yüzeyi arasında *talaş açısı* (γ), kesici kısmının *kama açısı* (β) ve serbest yüzey ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında *serbest açı* (α) oluşur ve bu açılar arasında;

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (2.21)$$

bağıntısı vardır. Bu açılar Şekil 2.11'de gösterilmiştir [78].



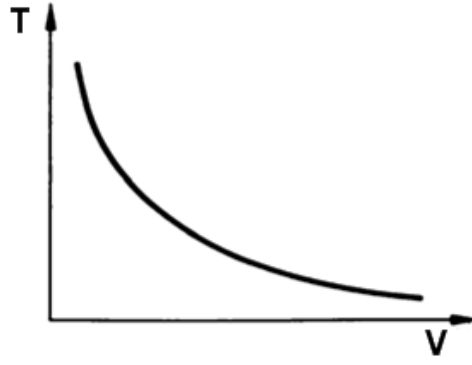
Şekil 2.11 Takımdaki açılar [78]

Talaşlı imalatta kullanılan takım, yüksek eğilme ve basma mukavemetine, yüksek rijitlik ve tokluğa sahipken aşırı sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Bu özellikte bir takım yoktur. Önemli olan verilen işe göre, teknik ve ekonomik koşulları bağdaştıracak en uygun takımı seçmektir. Talaşlı imalatta, karbon çelikleri ve takım çelikleri, hız çelikleri, stelitler, sert metaller, seramikler, Kübik Bor Nitrür (CBN), çok kristalli elmas (PCD), tek kristalli elmas (SCD) ve koronit takımlar kullanılır [79].

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınırlar ve bu aşınma, kesici takım, ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Parça ve takım malzemesi, takım geometrisi, talaş geometrisi ve kesme hızı aşınmayı dolayısıyla takım ömrünü etkilerler. Bunlardan en önemlisi kesme hızıdır. Bu konuda Taylor tarafından yapılan deneylere göre takım ömrü (T) ile kesme hızı (V) arasında Taylor bağıntısı olarak bilinen;

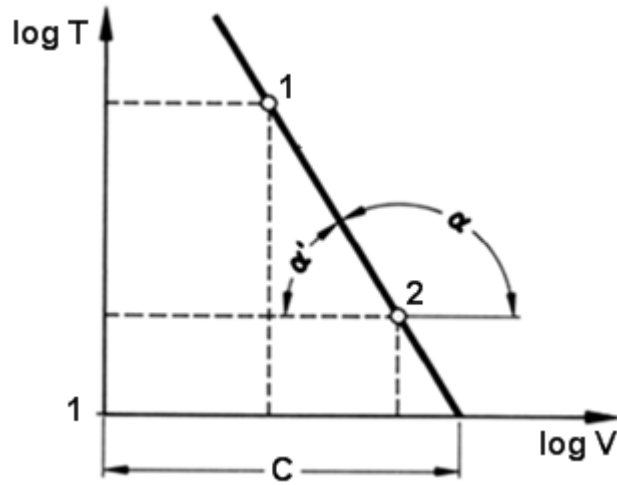
$$VT^n = C_t \quad (2.22)$$

ifadesi vardır. Burada n parça ve takım malzemesine bağlı bir sabite ve C_t Taylor sabitidir [36, 74, 78, 79]. Yukarıdaki bağıntının grafik şeklinde gösterişine T - V diyagramı denilir. Bu diyagram Şekil 2.12'de bu grafik gösterilmiştir [78].



Şekil 2.12 Hiperbolik T-V grafiği [78]

Bu diyagram logaritmik ölçekte ifade edilirse düz bir doğru elde edilir. Şekil 2.13'te bu grafik gösterilmiştir [78].



Şekil 2.13 Logaritmik T-V grafiği [78]

Şekil 2.13 incelendiğinde *n sabiti* aşağıdaki gibi ifade edilebilir [74,79].

$$n = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_1 - \log T_2} \quad (2.23)$$

Kesme hızı ömür ikilisini etkileyen önemli bir faktör talaşın *h* ve *b* boyutlarıdır. *h* ve *b* değerinin büyümesi ile takımın ömrü azalmaktadır. Ancak *h*'nin etkisi *b*'ye göre daha büyüktür. *h* ve *b* yerine *f* ve *a* alınırsa

denklem 2.22'ye dayanarak kesme hızı (V), ömür (T), ilerleme (f) ve talaş kalınlığı (a) arasında *genişletilmiş Taylor bağıntısı* olarak bilinen aşağıdaki ifade yazılır [36, 74].

$$T = \frac{C_0}{V^n \cdot f^z \cdot a^y} \quad \text{veya} \quad T = \frac{C_s}{V^k \cdot f^m \cdot a^p} \quad (2.24)$$

Burada C_0 , $k=1/n$, $m=1/z$, $p=1/y$ katsayılarının değerleri çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli kesme koşulları için deneylerle tayin edilmiştir [36].

Takım aşınması kaçınılmazdır. Önemli olan olup olmaması değil olduğunda ne kadar ve hangi tipte olduğudur. Takımın kabul edilebilir bir süre zarfında kayda değer ölçüde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirmesi istenir. İstenmeyen şey takımın kırılarak veya istenilen süreden daha kısa zamanda aşınarak kullanımdan çıkmasıdır [2, 79].

Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin bir kombinasyonudur. Bu yük faktörleri *mekaniksel*, *termal*, *kimyasal* ve *aşındırıcı* olarak sıralanabilir. Bu faktörlerin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma olayına etki eder. Bu mekanizmalar aşağıdaki gibi ifade edilebilir [2, 79].

- a. Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abrasif aşınma).
- b. Yapışma (adezyon) ile aşınma (adhesiv).
- c. Difüzyon aşınması.
- d. Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik).
- e. Oksidasyon aşınması.

Yukarıda bahsedilen aşınma mekanizmalarına ve yük faktörlerine bağlı olarak takımın aşınma tipleri oluşur [2, 79].

Yanak aşınması, kesici kenarın yan yüzeylerinde (yanaklarında) genellikle abrasif aşınma mekanizması sonucu oluşur. En normal aşınma tipidir [2, 79].

Krater aşınması, talaş yüzeyinde abrasif ve difüzyon mekanizmaları sonucu oluşur. Aşırısı takım geometrisini değiştirir. Takımı zayıflatır [2, 79].

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar [2, 79].

Çentik aşınması, yardımcı kesici kenarda tipik bir adezyon (yapışma) mekanizması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile büyüyebilir [2, 79].

Termal çatlaklar, çoğunlukla ısıl değişikliklerden kaynaklanan yorulma aşınmalarıdır. Özellikle de frezelemede oluşan ısı değişiklikleri (uç sayısının fazla oluşu) bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur [2, 79].

Mekanik yorulma çatlakları, kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğunda oluşur. Kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmakla beraber yükteki sürekli değişiklik bu tip aşınmaya sebep olur [2, 79].

Çıtlama (çentiklenme), kesici kenarda meydana gelen çentikler aşınmadan ziyade kesici kenar hattındaki küçük boyutlu kırılmalardır. Yorulma mekanizması sonucu oluşur. Kenardaki aşınmanın çentiklenme mi yoksa yanak aşınmasına mı delalet ettiği çok dikkatli incelenmelidir. Küçük parçalar halinde kopmalar çentiklenme belirtileridir [2, 79].

Kırılma, kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin ulaştığı en son noktadır [2, 79].

Kesici kenarda yığılma (Built-up Edge (BUE), sıvanma), önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine

kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinde parçacık kopmasına neden olan sıvanma, istenmeyen bir durumdur. Bu aşınmaya sebep olan ısı ve kesme hız faktörleri bilindiğinden bu aşınmanın önüne geçmek mümkündür [2, 79].

Kesici bir kenar için takım ömrü, kenarın kesme süresince belirli bir işleme kriterini sağlayıp sağlamamasına bakılarak belirlenir. Bir işlemin verimlilik seviyesinin belirlenmesi için en önemli kriterlerden biri takım ömrüdür. Oluşan takım aşınması miktarının ölçülmesi, aşınmanın bir analizinin yapılması ve sistematik bir yaklaşıma göre hareket edilmesi optimizasyon açısından çok önemlidir [2, 79].

2.4 İşlenebilirlik

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış, standart bir özellik değildir. Genellikle işlenebilirlik, iş parçalarının kesici bir takımla şekillendirebilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu olarak adlandırılır. Orta karbonlu çelik ısıl dirençli bir alaşıma göre, gri dökme demir kır dökme demire göre daha kolay işlenir. Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve metotlar nedeniyle, işlenebilirlik kavramı karşılaştırmalı değerler cinsinden ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. İşlenebilirliği etkileyecek tüm faktörlerin ayrıntılı olarak incelenmesi zor bir çalışma gerektirmektedir. En geniş tanımıyla işlenebilirlik kesici takım ve iş parçasına ait aşağıda verilen kriterlerce tanımlanan bir özellik olarak adlandırılabilir [2].

- a. *Takım ömrü.*
- b. *Talaş oluşumu.*
- c. *Yüzey kalitesi.*
- d. *Talaş debisi.*
- e. *Kesme kuvveti / güç.*

Uygun bir iş parçası için gerçekleştirilen işlenebilirlik testleri sonucunda bazı işlenebilirlik verileri belirlenebilir. Ancak bir grup işlem için iyi olarak kabul edilen işlenebilirlik değerleri başka gruplar için uygun olmayabilir. Bir iş parçasının mukavemeti ve sertliği tek başına işlenebilirlik için belirleyici bir unsur teşkil etmeyebilir. Yapı içerisindeki kalıntılar, işlemeyi kolaylaştıran katkı maddeleri, mikro yapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, talaşın sıvanma eğilimi gibi diğer faktörler de işlenebilirliğe etki eder [2].

İyi bir işlenebilirlik ve talaş kaldırma koşullarının optimizasyonu için en yaygın olarak kullanılan iş parçası malzemeleri araştırırken malzemenin özelliklerine bu özelliklerin talaş kaldırma işlemini nasıl etkilediğine çok dikkat edilmelidir.

Malzemelerin genellikle düşük **sertlik ve mukavemet** değerlerine sahip olması arzu edilir. Ancak çok sünek malzemeler kesici kenarda yığılma (BUE) oluşumu nedeniyle kötü yüzey kalitelerinin elde edilmesi, çapak oluşumu ve kısa takım ömrü gibi problemler nedeniyle bu kurala bir istisna teşkil ederler. Bu durumda soğuk çekme ile sertliğin artırılması işleminin olumlu bir etkisi vardır [2].

Genellikle düşük **süneklik** değerleri daha uygundur. Bu durumda talaş oluşumu avantajlı ve kesme işlemi enerji açısından verimlidir. Düşük süneklik ise yüksek sertlik demektir. İyi bir işlenebilirlik için genellikle sertlikle süneklik arasında bir ara değer bulunması gerekir [2].

Yüksek ısı iletkenlik kesme işlemi esnasında oluşan ısının derhal kesme bölgesinden uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Talaş kaldırma açısından bakıldığında yüksek bir ısı iletkenlik değeri bu nedenle genellikle faydalıdır. Isı iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynamasına karşın belirli alaşım gurupları için ne yazık ki iyileştirilemeyen bir özelliktir [2].

Metaller **plastik deformasyona** uğradıkları zaman mukavemetleri artar. Mukavemetteki artış deformasyon hızına ve malzemenin deformasyon

sertleşmesi kabiliyetine bağlıdır. Yüksek bir deformasyon sertleşme hızı deformasyon hızındaki artışa bağlı olarak mukavemetteki ani artış demektir. Çelik bir malzemenin işlenmesi esnasında deformasyon hızı genellikle kesici kenara yakın bir bölgede çok yüksektir. Karbon çelikleri çok düşük deformasyon sertleşmesi hızına sahip malzemelere örnektir. Yüksek deformasyon sertleşmesi hızı talaş oluşumu için gerekli enerjinin yüksek olması (yüksek özgül kesme kuvveti) demektir. İşlenen yüzeyde ince bir tabakada sertlikte büyük bir artış da gözlenecektir. Deformasyon nedeniyle sertleşmiş tabakanın kalınlığı ilerleme değerine eşit olduğu taktirde kesici kenar yüksek gerilmelere maruz kalır. Bu tabakanın kalınlığı ve sertlik seviyesi kesici kenarın deformasyon hızıyla orantılıdır [2].

Büyük bir talaş açısına sahip keskin bir kesici kenarda deformasyon hızı düşüktür. Bu nedenle pozitif bir geometri deformasyon nedeniyle sertleşmiş tabaka kalınlığının, bunun sonucunda da kenar üzerindeki gerilmenin azaltılmasına yardımcı olacaktır. Ancak deformasyon sertleşmesinin kesici kenarda yığılma oluşumunu azaltıcı bir etkisi de mevcuttur [2].

Makro kalıntılar 150 µm'den daha büyük boyutlara sahip kalıntılardır. Genellikle çok sert ve aşındırıcıdır. Bu nedenle bu gibi kalıntıları içermeyen bir malzemenin kullanılması son derece önemlidir. Makro kalıntılar imalat yöntemlerine bağlı olarak düşük kaliteli çeliklerde söz konusudur. Birçok ani takım kırılmasının nedeni bu tip kalıntılardır. Mikro kalıntılar çelik içerisinde belirli oranlarda her zaman mevcuttur. Bu kalıntılardan alümina (Al_2O_3) sert ve aşındırıcıdır. Daha az zararlı demir ve mangan oksitleri (FeO ve MnO), biraz daha kolay deforme olurlar ve talaş akışına katılırlar. Silisyumun yeterince yüksek kesme sıcaklıklarında yumuşaması ve kesme bölgesinde takımın aşınmasını engelleyici bir tabaka oluşturması nedeni ile yüksek kesme hızlarında aranılan kalıntılar arasındadır [2].

İşlemeyi kolaylaştırmak için çeliğe **kükürt ilavesi** yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bir otomat çeliğinin içerisindeki S oranı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerin içerisinde bulunan oranın yaklaşık on katıdır. Çeliğin içerisinde yeterince Mn bulunması halinde Mn ve S mangan sülfat oluşturacaktır. Talaş oluşumu esnasında plastik deformasyona uğrayan sülfat kalıntıları düşük mukavemetli düzlemler oluştururlar ki bu düzlemler boyunca çatlak başlangıcı ve yayılması için gerekli enerji miktarı azalır. Yaygın olarak kullanılan bir başka katkı malzemesi mangan sülfat ile benzer etkileri olan kurşundur. Kükürt ve kurşun birlikte kullanımı bir başka yaygın uygulamadır. Selenyumda kükürtle beraber kullanıldığında uygun bir katkı malzemesini oluşturur. Yaygın olarak kullanılan kükürt ve selenyum atkılı çelikler arasında karbon çelikleri ve ferritik, martenzitik ve östenitik paslanmaz çelikler sayılabilir. Pb katkılı veya kükürtlü ve kurşunlu çelikler ise sadece karbon çelikleri arasında bulunur. [2].

Malzeme yapısının işlenebilirlik üzerinde etkisi vardır. Bu, bazı malzeme yapılarının aşındırıcı özelliklerinin olması ve malzeme mukavemetinin malzeme yapısına bağlı olarak değişmesi nedeniyle ortaya çıkan bir etkidir. Çelik içerisindeki karbon ve diğer alaşım elemanlarının miktarı da yapıyı etkiler [2].

Sıcak haddelenmiş iş parçası homojen olmayan ve kaba bir yapıya sahiptir. İşlenebilirlik açısından homojen olmayan bir yapı malzemesi sıkıntı demektir. **Normalizasyonun** amacı esas itibariyle malzemenin tokluğunu iyileştirmektir. Elde edilen daha homojen yapı nedeniyle daha iyi bir işlenebilirlik seviyesi elde edilir [2].

Tavlama birçok durumda malzemenin yumuşatılması için yapılan yumuşatma tavlama şeklidir. Bu işlemde perlitin sementit lamelleri küreselleştirilmiş sementite dönüşür ve ferrit yapısı içerisinde homojen dağılmış küreselleştirilmiş sementit bulunduran, sertliği oldukça azaltılmış bir yapı elde edilir. Sementitin küresel şekli sayesinde işleme esnasında kesici

kenar, sert ve aşındırıcı sementit ile tavlammamış malzemedekine göre çok daha kısa süre temasta olacaktır [2].

Yumuşatma tavlaması gerilme giderme tavlaması ile karıştırılmamalıdır. Adından da anlaşıldığı gibi gerilme giderme tavlaması soğutma veya soğuk çekme işlemlerinde malzeme içerisinde biriken gerilmenin giderilmesini amaçlar. Bu gerilmenin giderilmemesi halinde bu gerilmeler talaş kaldırma işlemi esnasında ortaya çıkacak geometrik toleransları etkilerler. Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen gerilme giderme tavlaması malzeme yapısını etkilemez. Dolayısıyla işlenebilirlik üzerinde etkisi yoktur [2].

Soğuk çekilmiş bir malzeme normalizasyon veya yumuşatma tavlamasına gereksinim gösterir. Soğuk çekme işlemi genellikle oldukça küçük boyutlardaki hammadde veya iş parçalarına uygulanır. Genellikle küçük boyutlardaki iş parçalarında homojen bir yapı oluşturmak daha kolaydır.

İşlenen malzemenin **yüzey dokusu** makro kalıntılarda bahsedildiği gibi talaş kaldırma işleminin sonucuna etkiye bulunur ve kötü yüzey kalitesi, takımın ani aşınması veya kırılması gibi olumsuzluklara neden olur. Bir ön işleme yapılmış iş parçaları birçok durumda çok daha iyi sonuç verirler. Küçük malzemede bırakılan büyük işleme payları ilave talaş kaldırma işlemleri demektir. Büyük işleme payları arzu edilen boyut ve yüzey kalitesinin sağlanması için daha çok çaba gerektirmektedir [2].

Yukarıda bahsedilen ölçütler ışığında sünek metaller işleme kabiliyetini iyileştirmez. Sünek malzemenin talaşı takıma yapışır ve körlenmesine neden olur. Diğer taraftan sertlik takımın aşınmasına neden olur. Dolayısıyla süneklik ile sertlik arası bir yapı olması gerekir. Bunun en iyi örneği çelikte görülür. % 2'den az C içeren çelikler zor sünek olduğu için iyi işlenmez. % 2'den fazla C içeren çelikler ise sert olduğu için takımı aşındırır. % 2 C içeren çelikler süneklik sertlik arası bir yapı sergilerler ve iyi

işlenirler. Demir olmayan hafif metaller genellikle kolay işlenirler. Tablo 2.1’de otomat çeliğinin işlenme kabiliyetini 100 kabul eden ve malzeme sertliğine göre hazırlanmış ANSI standardında metal malzemelerin işlenebilirlik değerleri verilmiştir [74]. Tablo 2.2’deki işlenebilirlik değerlerinin sadece sertliğe göre hazırlandığına dikkat edilmeli ve işlenebilirliğe etki eden birçok faktörün olduğu unutulmamalıdır [2].

Tablo 2.1 Metallerin işlenebilme kabiliyeti [74]

Malzeme	İşlenme Kabiliyeti	Brinell Sertliği
Otomat çeliği	100	180..230
Yapı çeliği	60	180..230
Rulman çeliği	30	185..230
Cr, Mo çelik	65	187..230
Ni, çelik (% 3.5 Ni)	50	180..230
Cr, Ni, çelik	50	185..235
Dökme çelik	70	170..212
Ferritik D.D.	120	110..145
Yumuşak D.D.	80	160..193
Perlitik D.D.	50	220..240
Dövme demir	50	100..130
Cr, çelik.	70	163..210
18–8 çelik	45	180..212
İnconel	35	130..170
Monel (haddelenmiş)	55	207..224
Bakır (haddelenmiş)	60	80
Bakır (dövme)	70	30
Fosfor bronz	40	140
Alüminyum-bakır (95 Al)	60	140..160
α- pirinci (Ms 67)	80	...
α+β pirinci (kısa talaş)	200..400	100
Alüminyum (yarı sert)	300..1500	...
Magnezyum	500..2000	58

Düşük karbonlu çeliklerin işlenebilirliği incelendiğinde düşük sertliğin ve yüksek sünekliğin kesici kenarda yığılma eğilimi gibi olumsuz etkilere neden olduğunu, bu etkilerin ise takım ömrünü azalttığı ve kötü bir yüzey kalitesinin elde edilmesini sağladığı görülür. Karbon yüzdesi arttıkça sertlik artar, süneklik düşer ve işlenebilirlik artar. Bu grubu oluşturan

malzemeler için işlenebilirliği kolaylaştırıcı katkı malzemeleri ilavesi, imalat yöntemine ve imalat sonrası işlemlere bağlı olarak değişim gösterir [2].

Alaşımli çelik iş parçalarının işlenmesi birçok endüstride değişik şekilde gerçekleştirilir. Ürünün son şekline yakın, çok küçük işleme paylarına sahip bu işleme paylarının sağlanması için talaşın ve takım aşınma parametrelerinin çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. İş parçaları çok hassas dövme ve döküm teknolojileriyle üretilirler. Daha sert takım malzemeleri sayesinde sertleştirilmiş çeliklerin talaşlı imalatı her geçen gün yaygınlaşmaktadır [2].

Genellikle **paslanmaz çelik** içerisindeki alaşım miktarı arttıkça işleme o derece zorlaşır ve işleme maliyeti o derece artar. Malzeme özellikleriyle ilgili (örneğin korozyon direnci) talepler bazı uygulamalarda işlenebilirliği arttıran katkı malzemelerinin (Si, Pb gibi) miktarını sınırlar [2].

Dökme demir kalitelerine ait işlenebilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi için yapının ve analiz sonuçlarının dikkate alınmasında yarar vardır. Talaşlı imalat alanında kullanılan dökme demir tiplerinin birçoğunun işlenebilirliği iyidir. İşlenebilirlik katsayısı yapıya bağlıdır. Sert perlitik dökme demirin işlenmesi zordur. Gri dökme demir kısa talaş, temper ve sfero dökme demir prensipte uzun talaş oluşturur. Lamel grafitli dökme demirin ve temper dökme demirin mükemmel işlenebilirlik özellikleri vardır. Küresel grafitli dökme demirin işleme özellikleri daha kötüdür. Dökme demir işlemede arandığı tipik takım özellikleri yüksek kızıl sertlik ve kimyasal kararlılıktır. Ancak iş parçasına ve işleme koşullarına bağlı olarak tokluk, ısı darbelere karşı direnç ve mukavemet de kesici takımın sahip olması gereken özellikleridir [2].

Genellikle **yüksek mukavemetli, ısı dirençli alaşımlar** (HSTR) daha yüksek mukavemet / ağırlık oranı, ısıya ve korozyona karşı daha yüksek bir mukavemet elde etmek amacıyla gerçekleştirilen metalürjik gelişmelerin bir sonucudur. Zor çalışma koşulları için geliştirilmiş olmalarından dolayı

işlenebilirlikleri düşüktür. Bu tip alaşımlar yüksek kesici kenar sıcaklıklarına neden olan düşük ısı iletkenlik, kesici kenarda yığılma oluşumuna neden olan bazı takım malzemelerine kaynak olma eğilimi, yüksek kesme kuvvetine neden olan yüksek kayma mukavemeti ve daha yüksek gerilmelere ve aşınma kuvvetlerine neden olan deformasyon sertleşmesi eğilimi gibi özelliklere sahiptirler [2].

Isıl dirençli alaşımlar yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahiptirler. Bu alaşımlarda kesici kenar yüksek çalışma sıcaklıklarında bile yüksek basınçlarla karşı karşıya kalabilir. En yüksek sıcaklığın kesicinin uç kısmının çok yakında oluşması riski de vardır. Bu durum kesme geometrisinin basıncının iyi bir şekilde dağılımına ve en sıcak bölgenin takımın talaş yüzeyinde oluşturmasını sağlayacak, kesici kenarın ise aşındırıcı metaller işlenirken keskinliğini koruyacak şekilde tasarlanmasını gerektirir [2].

Refrakter metaller ve alaşımlar ısı dirençli, yüksek mukavemetlerini çok yüksek sıcaklıklarda koruyan ve çok yüksek sıcaklıklarda eriyen (2200°C) malzemelerdir. Bu malzemeler Kolombiyum (Cb), Tantal (Ta), Molibden (Mo) ve Tungsten (W) gibi malzemelerdir. İşlenmeleri genellikle çok zordur. Sertlik ısı iletkenlik gibi değişkenlik gösterir ve bu değişim yüksek, bölgesel sıcaklıkların ortaya çıkmasına neden olur. Cb ve Ta gibi bazı metaller kesici kenarda yığılma oluşumuna neden olan sünek bir yapıya sahiptirler. Dolayısıyla bu malzemeler için uygun çalışma koşullarının belirlenmesi zordur [2].

Kompozitlerin işlenmeleri zordur. Bu durum kesici takımlar açısından seçici olmayı gerektirir. Bu malzemelere en fazla uygulanan talaş kaldırma işlemleri delme ve parmak frezeleme işlemlerdir [2].

Metal matrisli kompozit malzemelerden alüminyum esaslı SiC veya Al₂O₃ elyaf takviyeli kompozitlerin işlenebilirliği takviye elemanlarının zaten

seramik takımlarda da kullanılıyor olmasından dolayı işlenebilmeleri zordur. SiC'in kendiliğinden gelen abrasifliği nedeniyle hızlı takım aşınması olmaktadır. Bu da maliyeti artırmaktadır. *Parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin az kullanılmasının önemli sebeplerinden birisi de bu malzemelerin kötü işlenebilirliğidir.* Çünkü geleneksel malzeme için gerekli bilgi ve tecrübe bu malzemelere uygulanamaz. Hangi kesici takımların uygun olduğu konusunda yapılan araştırmalar da birbiriyle çelişebilmektedir [73].

SiC takviyeli metal matrisli kompozitler için sert metal K10 grubu ve çok kristali elmas (PCD) takımlar önerilmektedir. Sert metalle talaş kaldırma işleminde çabuk takım aşınması meydana gelmektedir. PCD takımlar ile taşlama işlemine yakın kalite yüzeyler elde edilebilmektedir. Yüksek kesme hızlarında SiC takviye elemanlarının oluklaşma etkisinden dolayı yüzey kalitesi bozulabilmektedir. PCD takımlarla işlemede kesme kuvvetleri düşük ve sabit kalmaktadır [73].

Karbon lifli kompozitlerin işlenmesinde takım ömrü doğrudan kesme hızıyla alakalıdır. Yüksek hızlar düşük takım ömrü demektir. Aramid lifli kompozitlerde ilerleme iyi ayarlanırsa yüksek hızlar elde edilebilir. *Cam elyafli kompozitlerin işlenebilirliği karbon lifli kompozitlere yakındır. Yapı içerisinde elyaf hacim oranının artması işlenebilirliği azaltır. İşlenebilirlik açısından sadece kompozit tipinin değil elyaf / matris hacim oranı da dikkate alınmalıdır* [2].

Plastik matrisli fiber takviyeli kompozitlerde, kullanılan takviye elemanı ile ilerleme miktarı takım aşınmasını büyük ölçüde etkilemektedir. Genellikle yanak aşınması oluşmaktadır. Karbon fiberler yüksek elastik modülü nedeniyle cam fiberlere göre daha fazla takım aşınmasına neden olmaktadır. PCD takımlar da bu malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir [73].

Parçacık takviyeli plastik esaslı kompozitler hakkında ise çok az çalışma vardır ve bunlar yeterli değildir. Özellikle tornalama konusunda çok

az olan çalışmalar genellikle delme işlemi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu durum kaynak araştırmasında da açıkça görülmektedir.

Kısaca özetlemek gerekirse kompozitlerin işlenmesi zordur. Bu durum kesici takımlar açısından seçici olmayı gerektirir. Kompozitler keskin bir kesici uç ile işlenmelidirler. Takımın aşırı aşınması halinde fiber kesilmeyip kopacak bu da tabakaların ayrılmasına neden olacaktır. Çok ince taneli sert metal ve çok kristalli elmas takımların kullanılması gerekmektedir. Karbon fiberli kompozitlerde takım ömrü kesme hızıyla doğrudan alakalıdır. Aramid (kevlar) fiberlerde ise ilerleme düzgün ayarlanırsa yüksek kesme hızları elde edilebilmektedir. Cam fiberler karbon fiberlere yakın özellik gösterirler. Malzeme içerisinde takviye oranının artması işlenebilirliği azaltmaktadır. İşlenebilirlik açısından sadece kompozit tipinin değil elyaf hacim oranının da dikkate alınması gerekmektedir [2].

2.5 Dinamometreler

Talaşlı imalat işlemlerini niteliksel temellere oturtmak için belirli gözlemlerin işlemde önce ve sonra yapılması gereklidir. Talaşlı imalat esnasında yapılabilecek gözlemler oldukça sınırlıdır. Bu gözlemlerin en önemlilerinden birisi talaşlı imalat esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla dinamometreler geliştirilmiştir. İhtiyaçlara uygun değişik tipte ve özellikte birçok dinamometre vardır.

2.5.1 Dinamometre Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Dinamometre tasarımında en önemli üç faktör sırasıyla *rijitlik (rijidity)*, *hassaslık (sensitivity)* ve *doğruluk (accuracy)*. Hassaslık ve rijitlik birbirinin karşıtı parametrelerdir. Biri artarken diğeri azalır. Önemli olan ikisi arasında dengeyi sağlamaktır. Hassaslık ve doğruluktan kasıt dinamometrenin maksimum ölçmesi beklenen kuvvetin % 1'ini doğru bir şekilde ölçebilmesidir. Örneğin 100 N maksimum kuvvet ölçmek için tasarlanan bir dinamometre

1 N değerindeki kuvvetleri rahatlıkla ölçebilmelidir. Rijitlikten kasıt ise, dinamometre öyle bir rijit olmalı ki, üzerine gelen kuvvetler sonucu oluşan deformasyonun kesme işlemine olumsuz bir etkisi olmasın. Genelde bir dinamometrenin statik dayanımının 10^8 Pa (N/m^2) olması istenir [42-63].

Çoğunlukla, *dinamometrenin doğal frekansı* en önemli rijitlik kriteri olarak kabul edilir. Dinamometrenin doğal frekansının kullanıldığı cihazın frekansı ile çakışması rezonansa neden olur. Bu durum titreşimin artmasına ve hatta kazalara neden olabilir. Genel bir kabul olarak dinamometrenin doğal frekansının kesme işlemleri esnasında kullanıldığı cihazın (torna, freze, taşlama, matkap vb.) frekansından en az dört kat fazla olması istenir [42-63].

Dinamometrenin doğal frekansını bulmak için dinamometrenin kütesinin bir yaya bağlı olduğu kabul edilir. Bu kabule göre dinamometrenin doğal frekansı (f_n) aşağıdaki gibi belirlenir [42-63].

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \text{ (Hz)} \quad (2.31)$$

burada K yay sabiti (MN/m), m (Kg) kütedir. f_n 'in birimi Hz'dir.

Örneğin $N=3600$ dev/dak hızla dönen bir taşlama tezgahının frekansı (f_e) aşağıdaki gibi ifade edilebilir [42-63].

$$f_e = \frac{3600}{60} = 60 \text{ (Hz)} \quad (2.32)$$

Bu durumda dinamometrenin doğal frekansının en az 240 Hz olması gerekir.

Genel olarak bir dinamometre en az iki eksenle kuvvet ölçebilmelidir. İhtiyaca göre üç eksenli veya sadece tork ve ilerleme ölçen dinamometreler tasarlanabilir. Kartezyen koordinat eksenlerindeki (X, Y ve Z) kuvvetlerin

birbirlerini etkileme derecelerinin ölçüldüğü *çapraz hassasiyet testi* (cross sensitivity) çok kabul gören ve uygulanan bir tekniktir. Bu testten kasıt herhangi bir ekseninde uygulanan kuvvetin diğer eksenlerdeki kuvvetleri ne derecede etkilediğidir. Bu etkilemenin ihmal edilebilir olması lazım. Aksi takdirde bu etkileme derecelerini minimize edecek denklemlerin çözümleri kullanmak gerekir ki bu da bilgilerin anında bilgisayar ortamına aktarılamaması gibi sıkıntılara neden olur [42-63].

Dinamometreyi *doğrusal bir sistemle kalibre etmek* gene çok yaygın kullanılan pratik bir yöntemdir. Bu sistemde dinamometre keyfi olarak seçilen kuvvetlerle (25 N, 50 N, 100 N vb.) statik olarak yüklenir ve bu yüklemelere karşılık gelen deformasyonlar kaydedilir. Yüklemelere karşılık gelen deformasyonların doğrusal olması gerekir. Böylece dinamometrenin değeri bilinen yükler karşılığında ne kadar deformasyona uğradığı belirlenmiş olur ve bu şekilde sıfırlaması yapılır. Sistemin doğrusal olmaması halinde dinamometrenin sıfır yüklenme noktasının ve gerinim artışlarının tam olarak belirlenmesini gerektiren testler yapılmalıdır [42-63].

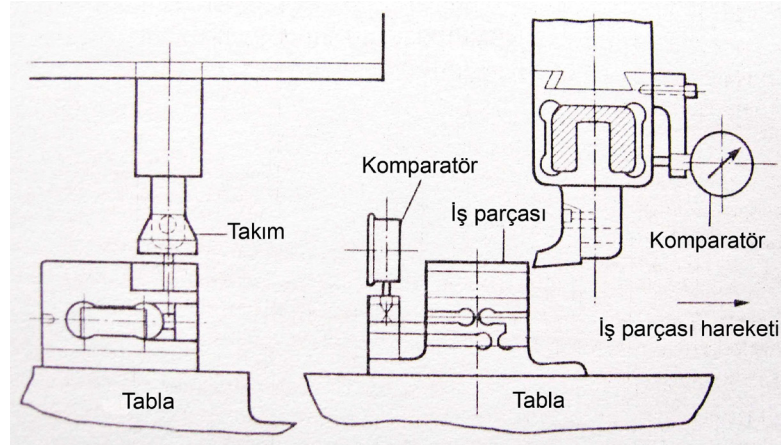
İyi bir dinamometre *zamana, sıcaklığa ve neme karşı kararlı* konumunu sürdürebilmelidir. Kalibrasyon bir kez yapıldıktan sonra sistem sıklıkla kontrol edilmelidir. Ayrıca çoğu dinamometre parçalarının sürtünmeyle ilişkili olmalarından dolayı zamanla kir, toz vb. gibi nedenlerden dolayı sonuçları olumsuz etkilemeleri söz konusu olabilir [42-63].

Yukarıdaki parametreler dışında ölçü, uzun süre dayanım (ruggedness) ve başka kesme işlemelerine adaptasyon gibi ele alınması gereken faktörler de vardır. Bu parametrelerin önem derecesi dinamometrenin kullanıldığı yere ve bakış açısına göre değişiklik gösterebilmektedir [42-63].

2.5.2 Kuvvet Ölçümü

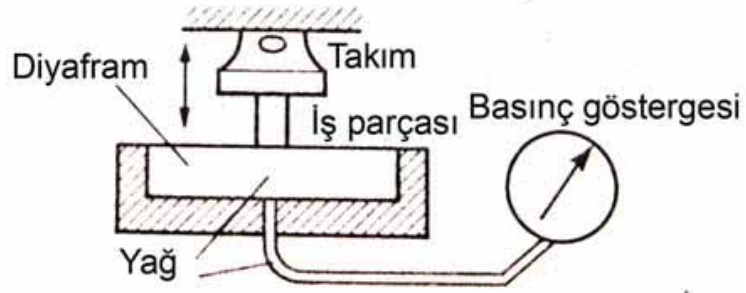
Çoğu dinamometrede kuvvet ölçümü bir çeşit yay elemanına uygulanan kuvvet sonucu oluşan sehimleri ölçme yöntemiyle yapılır. Dinamometrenin çok rijit olması gerektiğinden bu sehimlerin çok küçük olması fakat ölçülebilmesi gerekir. Bu sehimleri ölçmek için yük hücreleri (load cell), uzama ölçerler (strain gauge) vb. özel ölçüm araçları kullanılır. Burada kast edilen minimum ölçüm değeri yaklaşık olarak $1 \mu\text{m}$ 'dir. Aşağıda bazı kuvvet ölçme yöntemleri kısaca anlatılmıştır [80].

Komparatörler düzgün olarak çalıştırıldıklarında yaklaşık olarak $2 \mu\text{m}$ 'lik değişimleri algılayabilmektedirler. Bu nedenle kuvvet ölçmede kullanılabilirler. Bu yöntemin dezavantajı devamlı olarak temas zorunluluğunun olması ve statik okumalarda komparatörlere tam olarak güvenilememesidir. Şekil 2.14'te komparatörle çalışan dinamometrenin şematik resmi gösterilmiştir [80].



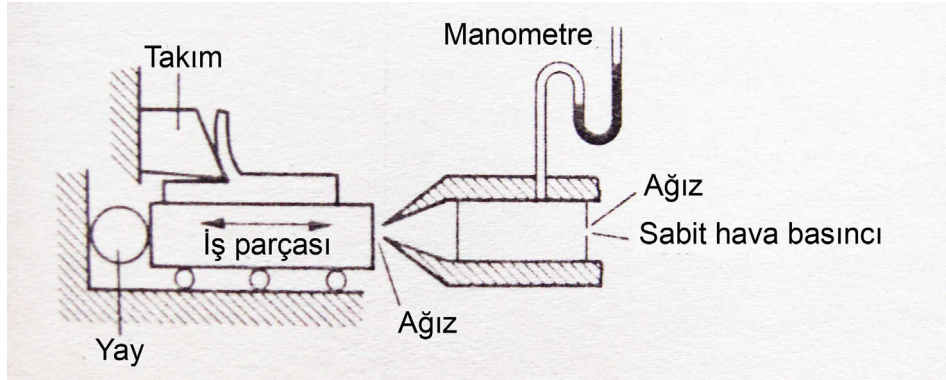
Şekil 2.14 Komparatörle çalışan dinamometre [80]

Basınç göstergeli hidrolik basınç hücreleri de takıma gelen kuvvetleri ölçmede kullanılmaktadır. Bu sistemde kuvvetler basınç göstergesindeki mesafeden okunur. Şekil 2.15'te hidrolik dinamometrenin şematik resmi gösterilmiştir [80].



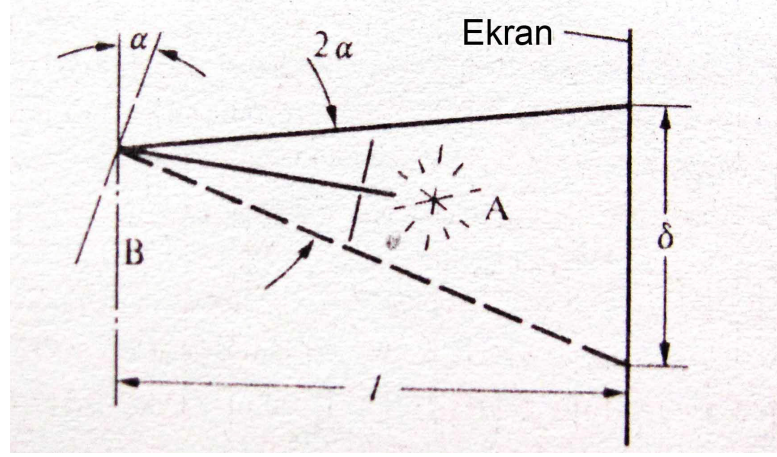
Şekil 2.15 Hidrolik dinamometre [80]

Pnömatik sistemler de başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bir ağzı dar diğer ağzı geniş olan ve sabit basınç altındaki bir sisteme iş parçasının düz yüzeyi getirilir. Çok hassas bir hidrolik mikrometre ile kesme işlemi esnasında basınçtaki değişimler okunur. Sistem sabit ve temiz hava basıncı dikkatli olarak uygulandığında basit ve güvenilirdir. Bu sistemin dezavantajı ise dinamometrenin büyük olması ve doğrusal bölgenin kısıtlı olmasıdır. Şekil 2.16'da hidrolik dinamometrenin şematik resmi gösterilmiştir [80].



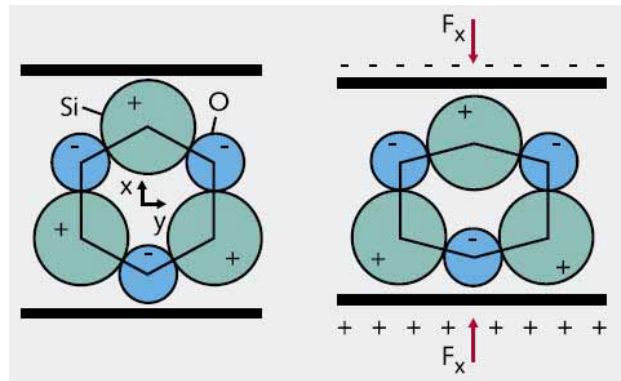
Şekil 2.16 Pnömatik dinamometre [80]

İnterferometrik optik ölçüm metodu ile ışığın dalga boyunu bir birim olarak kullanarak çok kesin sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Diğer taraftan metal kesme işlemine bu sistemi adapte etmek oldukça zordur. Şekil 2.17'de optik esaslı dinamometrenin çalışma mantığının şematik resmi gösterilmiştir [80].

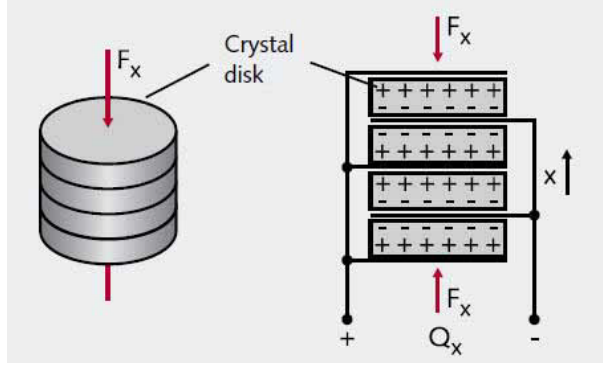


Şekil 2.17 Optik dinamometrenin çalışma mantığı [80]

Üzerlerine kuvvet geldiklerinde gerilim üreten *piezoelektrik kristalleri* metal kesme işleminde kuvvet ölçmek için kullanılmaktadır. Diğer taraftan bu kristaller akım yerine gerilim ürettikleri için sistemde kaçak etkisi bir sorundur. Bu dezavantajına rağmen piezoelektrik dinamometreler çıktıkları günden itibaren diğer dinamometrelere göre oldukça yüksek doğal frekansa sahip olduklarından dinamik kuvvet ölçümünde rahatlıkla kullanılmaktadır [81]. Şekil 2.18'de piezoelektrik kristalinin yük altında elektriksel davranışı ve Şekil 2.19'da bu kristallerin devre bağlantı şekli gösterilmiştir [81].



Şekil 2.18 Piezoelektrik kristalinin yüke göre elektriksel davranışı [81]



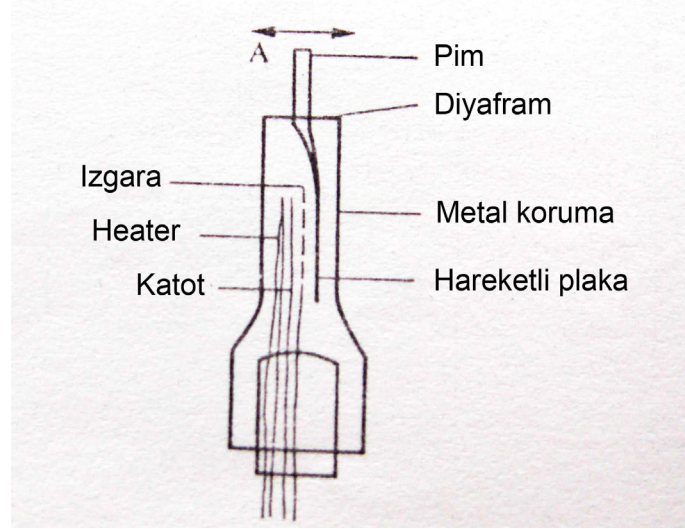
Şekil 2.19 Piezoelektrik kristalinin devre bağlantısı [81]

Elektriksel dönüştürücüler (Transducers) bir fiziksel yer değiştirmeyi bir elektrik sinyaline çevirirler. Birçok elektriksel dönüştürücü vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır [80].

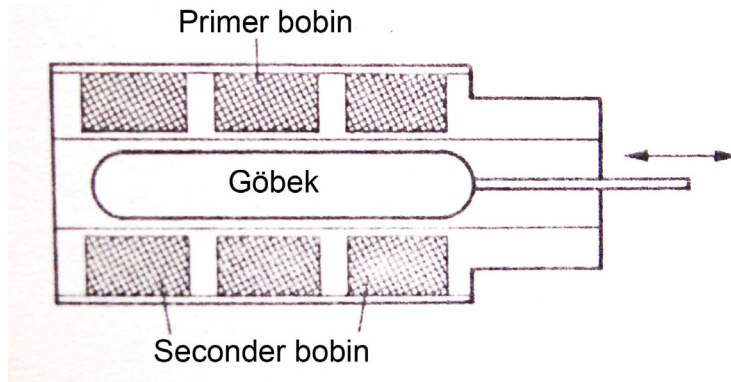
- a. *Elektronik dönüştürücüler.*
- b. *Diferansiyel transformatörler.*
- c. *Manyetik uzama ölçerler.*
- d. *Yapışkansız (unbonded) dirençli uzama ölçerler.*
- e. *Yapışkanlı (bonded) dirençli uzama ölçerler.*

Elektronik dönüştürücüler çok küçük vakumlu bir tüp içindeki hareket edebilen ve yarım derece sağa sola dönebilen bir triyotun hareketlerinin algılanması esasına dayanır. Yaklaşık olarak 0.025 μm hassasiyetinde çalışabilmektedirler. Şekil 2.20'de elektronik dönüştürücünün çalışma mantığının şematik resmi gösterilmiştir [80].

Diferansiyel transformatörlerde primer ve sekonder olmak üzere her birinde üç bobin olan ve hareket edebilen bir sistemin karmaşık devre bağlantıları sonucu 0.025 μm hassasiyet elde edilebilmektedir. Devre bağlantıları karmaşık ve zor olmasına rağmen ticari olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.21'de diferansiyel transformatörün çalışma mantığının şematik resmi gösterilmiştir [80].

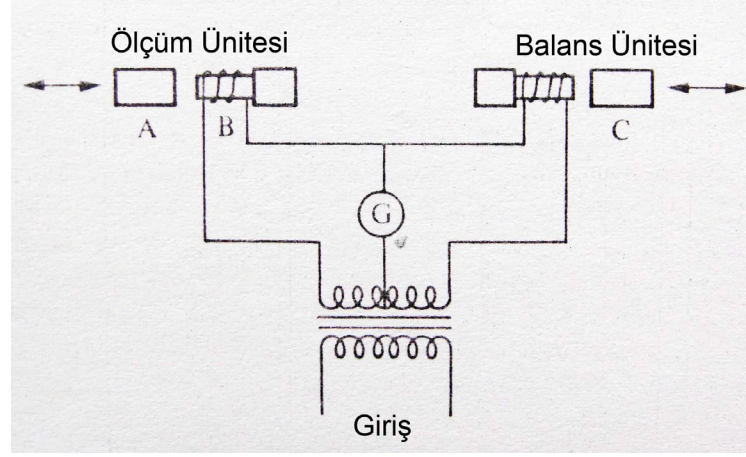


Şekil 2.20 Elektronik dönüştürücü [80]



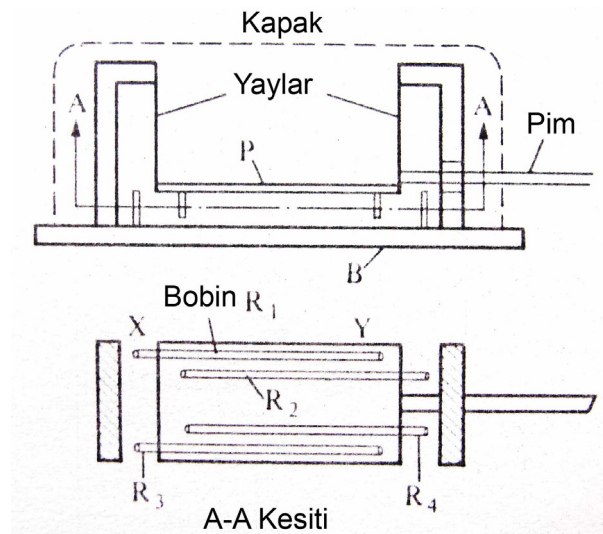
Şekil 2.21 Diferansiyel transformatör [80]

Manyetik uzama ölçerde dengeye alınmış iki tane ve hareket edebilen iki tane bobin vardır. Bir bobin hareketi algımlarken diğer bobin bu hareketi ölçmek için kullanılır. Yaklaşık olarak 0,25 μm hassasiyetinde çalışmaktadırlar. Birbirleri ile direkt olarak indüklenme esasına göre çalıştıklarından gerilimi yükseltmeye gerek kalmadan ölçümler kayıt altına alınabilir. Şekil 2.22'de manyetik uzama ölçerin çalışma mantığının şematik resmi gösterilmiştir [80].

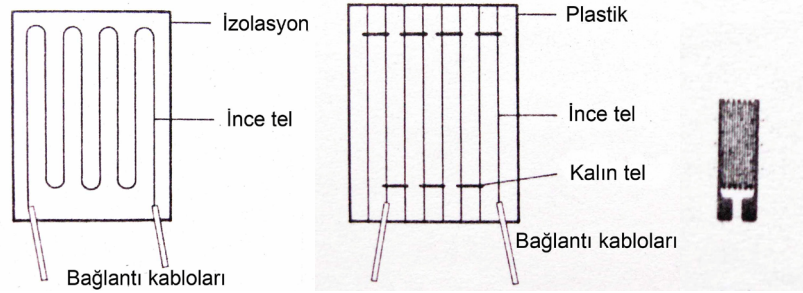


Şekil 2.22 Manyetik uzama ölçer

Yapıştırmasız dirençli uzama ölçerlerde hareketli bir plaka iki yay arasında hareket eder. Dört adet ön çekme gerilmesi ile yüklenmiş bobinler plakanın üzerindedir ve bu plaka pimlerle alt plakayla ilişkilendirilmiştir. Plaka hareket ettiğinde iki bobin daha da gerilerek dirençleri artarken diğer ikisi basılarak dirençleri aynı oranda azalır. Bu sistem ileride Wheatstone köprü devresi (ileride anlatılacak) desteklendiğinde sistemin hassasiyeti $0.04 \mu\text{m}$ olmaktadır. Şekil 2.23'de yapıştırmasız uzama ölçerin çalışma mantığının şematik resmi gösterilmiştir [80].



Şekil 2.23 Yapıştırmasız uzama ölçer [80]



Şekil 2.24 Yapıştırırmalı uzama ölçerler [80]

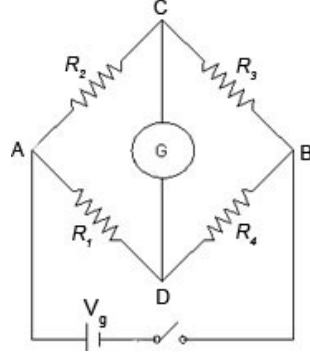
Yapıştırırmalı dirençli uzama ölçerleri üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan ikisi normal telli tiptir. Sonuncusu ve yaygın olarak kullanılanı ise kimyasal asitlerle bazı bölgeleri çürütülen metal folyolardan elde edilen tellerden oluşur. Her üç grupta da uzayarak yaklaşık 120 ohm direnç üreten uzama ölçer telleri düz bir plaka şeklinde bobin gibidir ve bu düz bobinler iki tane çok ince izole kağıt veya plastik tabakaların arasına yapıştırılmıştır (bonded, cemented). Şekil 2.24'de yapıştırırmalı uzama ölçerlerin şematik resmi gösterilmiştir [80].

Uzama ölçerler direkt olarak gerinim ölçmede kullanılamazlar. Öncelikle kullanılacak yüzeyler çok güzel temizlenir daha sonra uzama ölçerler bu bölgeye yapıştırılır. Nem etkisinden kurtulmak için yaklaşık 90°C'de ısıtılır. Daha sonra uzama ölçeri mekanik olarak korumak ve atmosfer neminin olumsuz etkilerinden kurtarmak için vaks veya reçine ile kaplamak gereklidir. Uzama ölçerlerin direnç (R) ve uzama ölçer faktörü (gauge faktör), (F) olmak üzere iki önemli parametresi vardır. Uzama ölçer faktörü aşağıdaki şekilde ifade edilir [80].

$$F = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R}{\varepsilon R} \quad (2.33)$$

Burada ε , normal elastik gerinim olup $\Delta L / L$ 'dir. Uzama ölçer faktörü (F) 1.75 ile 3.5 arasında değişebilmektedir. Uzama ölçerler 10^{-7} gerinim değerlerini ölçebilmektedirler [80].

2.5.3 Wheatstone Köprü Devresi



Şekil 2.25 Wheatstone köprü devresi [80]

Uzama ölçerler çok küçük gerinim aralıklarında kullanılırlar. Çoğu uzama ölçerin direncindeki değişim % 5'den azdır. Bu aralıktaki küçük değişimleri ölçmek için Wheatstone köprü devresi kullanılır. Şekil 2.25'te Wheatstone köprü devresi gösterilmiştir. Bu devrede eğer dört direnç aşağıdaki denklem 2.34'ü sağlarsa galvanometreden akım geçmez [80].

$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (2.34)$$

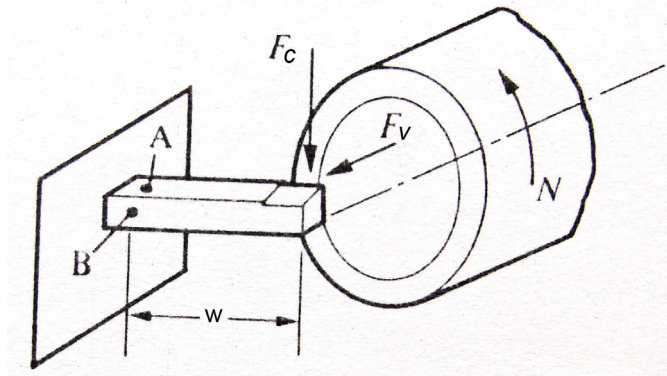
Devrenin nasıl çalıştığını anlamak için dört direncin de uzama ölçer olduğunu, denklem 2.34'ün sağlandığını, R_1 ve R_3 'ün çekme durumunda R_2 ve R_4 'ün basma durumunda olduğunu varsayalım. R_1 uzadığında direncinde ΔR kadar bir artış olurken R_4 kısaldığında ΔR kadar bir azalma olur. Bu D noktasında $+2 \Delta V$ gerilim farkının oluşmasına neden olur. R_2 uzadığında direncinde ΔR kadar bir artış olurken R_3 kısaldığında ΔR kadar bir azalma olur. Bu C noktasında $-2 \Delta V$ gerilim farkının oluşmasına neden olur. Toplamda C ve D noktaları arasında $4 \Delta V$ gerilim farkı oluşur. Bu da hassasiyetin 4 kat artması demektir [80]. Wheatstone köprü devresinin çıkış gerilimi (V_{ζ}) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_{\zeta} = \frac{a}{4} F V_g \varepsilon \quad (2.35)$$

Burada a devredeki aktif kol sayısı, F uzama ölçer faktörü, V_g giriş voltajı ve ε uzama yönündeki normal gerinimdir (diğer eksenlerin çapraz etkisi ihmal edilmiştir).

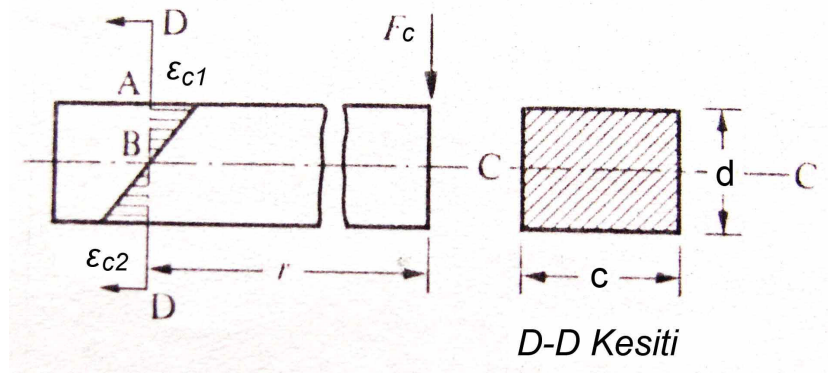
2.5.4 Uzama Ölçerli Torna Dinamometresi

Analizi basitleştirmek için tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerini iki eksenli ortogonal kesme haline indirmek çok sık başvurulan bir tekniktir. Bu durumda bileşke kuvvetin düzlemi bellidir ve yalnızca kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti vardır. Şekil 2.26'da bu durumu ihtiva eden tornada ortogonal kesme modeli şematik olarak gösterilmiştir [80].



Şekil 2.26 Tornalamada ortogonal kesme modeli [80]

Şekil 2.26'ya göre kesme kuvveti F_c , kesici kenardan w kadar uzakta M_c eğilme momentini ve ilerleme kuvveti F_v aynı mesafede M_v eğilme momentini meydana getirecektir. Şekil 2.27'de bu durum gösterilmiştir.



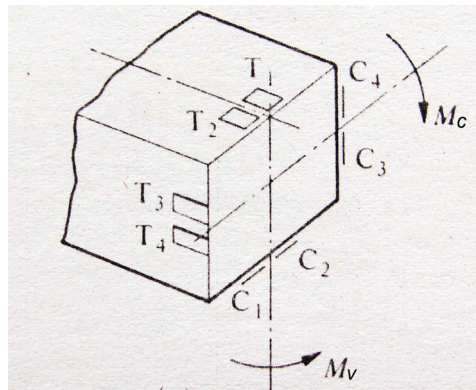
Şekil 2.27 Dinamometreye gelen eğilme gerilmeleri [80]

M_c ve M_v eğilme momentleri için gerekli mekanik hesaplamalar yapıldığında üst ve alt yüzeylerle, yan yüzeylerde oluşan çekme ve basma gerinimleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir [80].

$$\varepsilon_{c1,2} = \frac{6Mc}{cd^2E} \quad (2.36)$$

$$\varepsilon_{v1,2} = \frac{6Mv}{cd^2E} \quad (2.37)$$

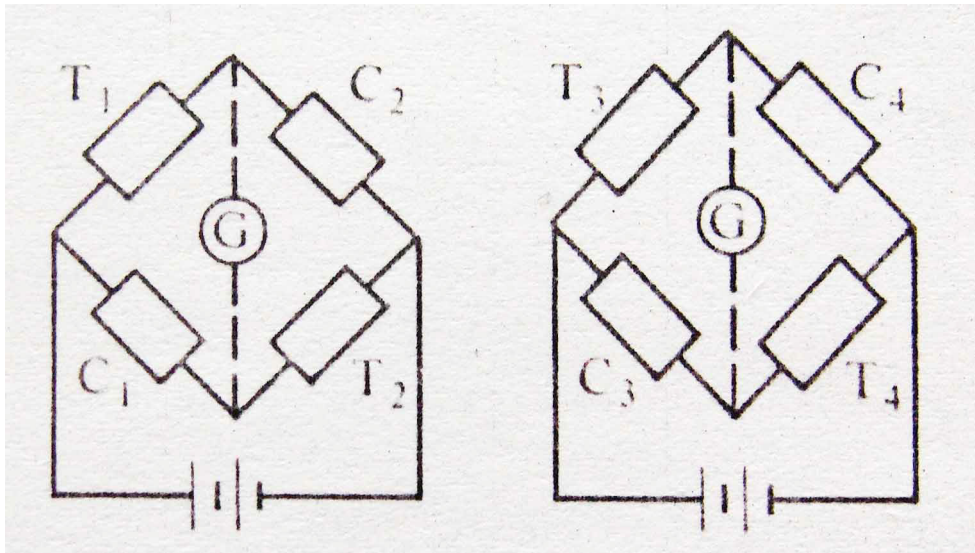
Burada, $\varepsilon_{c1,2}$ üst ve alt yüzeydeki çekme ve basma gerinimleri, $\varepsilon_{v1,2}$ yan yüzeylerdeki çekme ve basma gerinimleri, E elastik modülü, c ve d ise kesitin en ve boy yükseklikleridir [80].



Şekil 2.28 Uzama ölçerleri yapılandırılmış dinamometre [80]

Yukarıdaki bilgiler ışığında uzama ölçerli bir dinamometre tasarımı ile uzama ölçerlerin Wheatstone köprü devre bağlantıları Şekil 2.28'de gösterilmiştir [80].

Dinamometrenin üst yüzeyindeki uzama ölçerler çekmeye maruz kalırken alt yüzeyindekiler aynı oranda basmaya maruz kalacaktır. Aynı durum yan yüzeyler için de geçerlidir. Böylece tam köprü devre bağlantısının avantajlarından yararlanma imkanı olacaktır. Eğer uzama ölçerler tam olarak simetrik bir şekilde bağlanırsa kuvvetlerin birbirine çapraz etki etmesi söz konusu olmayacaktır. Şekil 2.29'da dinamometrenin F_c ve F_v kuvvetleri için gerekli Wheatstone devre bağlantıları gösterilmiştir [80].



Şekil 2.29 Uzama ölçerli torna dinamometresi devre bağlantıları [80]

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Deneysel çalışmaların aşağıda özeti yapılmış ve ilerleyen sayfalarda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışmada termoset polyester (unsaturated polyester) matrisli kompozit malzemelerin boyuna tornalamada işlenebilirliği AISI 1050 malzemesi ile karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, sade (takviye elemanı yok), tabakalı (katmanlı cam elyaf), elyafli (kırpıntılı cam elyaf) ve parçacıklı (kuvars) olmak üzere dört farklı tipte kompozit malzemenin serbest döküm yöntemi ile üretilerek boyuna tornalanması ve bu kompozitlerden elde edilen verilerin işlenebilirlik verileri belli olan standart bir malzemenin (AISI 1050) işlenebilirlik verileri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Öncelikle her kompozit türünün ortak matrisi olan polyester esaslı reçinenin optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyonu yapılan matris malzemesi *sade kompozit* olarak adlandırılmıştır. Üretilen numunelerin kullanılacakları yere uygun dayanımı verebilecek yapıda elde edilmesi ve mekanik deneylerinin de buna uygun yapılması doğru olacaktır. Yukarıda bahsedilen kompozit tiplerinin çok farklı amaçlarla üretildikleri ve kullanım yerine göre farklı zorlanmalara maruz kaldıkları bilinmektedir. Çalışmada olabilecek tüm ihtimalleri analiz edebilmek kapsam itibarıyla elbette mümkün değildir. Tabakalı, elyafli ve parçacıklı kompozit tipleri, temel mekanik zorlanmalar açısından büyük oranda basma, çekme ve eğilme zorlanmaları etkisindedir. Çalışmada basma dayanımı optimizasyon için esas kabul edilmiştir. Basma deneyi numunelerinin dökümü için 50 adet basma kalıbı standart basma deney numunesi ölçülerinde tasarlanmış ve üretilmiştir. Yine döküm esnasında oluşabilecek hava kabarcıklarını önlemek amacıyla dökümün bir vibrasyon cihazında yapılması tasarlanmıştır. Bu amaçla bir vibrasyon cihazı tasarlanmış ve üretilmiştir. Kalıpların vibrasyon cihazına sağlam bir şekilde tespitini sağlamak amacıyla bir kalıp sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Farklı oranlarda polyester, sertleştirici ve hızlandırıcı

karışımları standart basma numunesi ölçülerinde serbest olarak oda sıcaklığında dökülmüş ve basma deneyleri yapılarak optimum karışım oranları elde edilmiştir. Polyester matris optimize edildikten sonra takviye elemanlarının optimizasyonu sağlamak maksadıyla her grup için farklı takviye hacim oranlarında basma deney numuneleri serbest olarak oda sıcaklığında dökülmüş ve basma deneyleri yapılarak optimum takviye hacim oranları her tip kompozit için belirlenmiştir.

Matris ve takviye hacim oranları optimize edildikten sonra boyuna tornalama işleminde kullanılacak olan nihai deney parçalarının dökümüne geçilmiştir. Bu amaçla nihai deney parçasının ölçülerinde 72 adet metal kalıp tasarlanmış ve üretilmiştir. Yine bu kalıpların aynı anda dökümünün yapılabilmesi için bir kalıp sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. Kompozit malzemelerin boyuna tornalanması sonucunda elde edilecek deney verilerinin, değerleri bilinen referans bir malzeme ile kıyaslamasını yapmak amacıyla AISI 1050 deney numuneleri CNC tornada işlenerek nihai deney numunesi ölçülerinde hazırlanmışlardır.

Literatür araştırmasına bakıldığında tornalama işleminde malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen faktörlerin kesme kuvveti, ilerleme, paso, takım aşınması, güç tüketimi, takım tipi ve geometrisi ile takım ısısı olduğu görülmektedir. Çalışmada kompozit malzemelerin işlenebilirliği *TS 10329 Torna kalemleri-ömür deneyi* standardındaki talaşlı imalat faktörleri referans olarak alınmıştır. Kesme ve ilerleme kuvvetlerini ölçmek için uzama ölçer (strain gauge) esasına dayalı, iki eksenli kuvvet (kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti) ölçümü yapabilen yekpare bir dinamometre tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen dinamometrenin uzama ölçer bağlantıları yapıldıktan sonra sekiz kanallı genel amaçlı veri toplama sistemine (data logger) oradan da aygıt geçidi (bilgisayar ile veri toplama sistemi arasında bir köprü görevi yapar) vasıtasıyla bilgisayara bağlantıları yapılmıştır. Daha sonra dinamometrenin kalibrasyonları yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra boyuna tornalama deneyleri yapılarak kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra takım aşınması deneyleri yapılarak takımların SEM ile incelemeleri yapılmıştır.

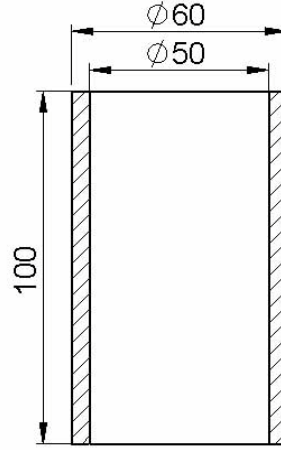
3.1 Basma Numunesi Kalıbı Tasarımı ve İmalatı

Deneyleerde kullanılacak olan kompozit malzemelerin matrislerinin ve takviye elemanlarının optimum hacim oranlarını bulmak amacıyla basma deneylerinin yapılması planlanmıştır. Bu amaçla basma deneyi standartlarına (ISO 2736-2, ISO 4012, DIN 51290-Bölüm 3) uygun ölçülerde (iç çap 50 mm, dış çap 65 mm, yükseklik 100 mm) toplam 80 adet basma deney numunesi kalıbı hazırlanmıştır.

Kalıplar SPINNER TC77-SMCY 5 eksen CNC torna tezgahında işlenerek üretilmiştir. Şekil 3.1'de basma kalıbının teknik resmi ve Tablo 3.1'de CNC torna tezgahının özellikleri verilmiştir [82].

Tablo 3.1 CNC torna tezgahının özellikleri [82]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2006
Model adı	-	SPINNER TC77-SMCY
Maksimum tornalama çapı	mm	500
Maksimum tornalama boyu	mm	900
Maksimum devir	dev/dak	4000
Ayna çapı	mm	250
Güç	kW	30
Eksen sayısı	adet	5 eksen
X,Y,Z eksen hareketi	mm	X 360, Y -55 +65, Z 980 -1580
Hızlı hareket X, Y	mm/dak	24
Ölçü hassasiyeti	mm	0.001
Takım sayısı	adet	12
Canlı takım sayısı	adet	12
Karşı punta desteği	-	var
Kontrol paneli	-	GE-Fanuc 18iTB
Takım sıfırlama aparatı	-	Sökülüp takılabilir lazerli ölçme kolu
Ağırlık	kg	4500



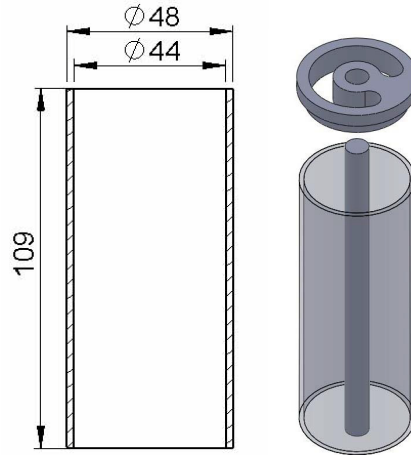
Şekil 3.1 Basma deney numunesi kalıbı teknik resmi

3.2 Nihai Deney Numunesi Kalıp Sistemi Tasarımı ve İmalatı

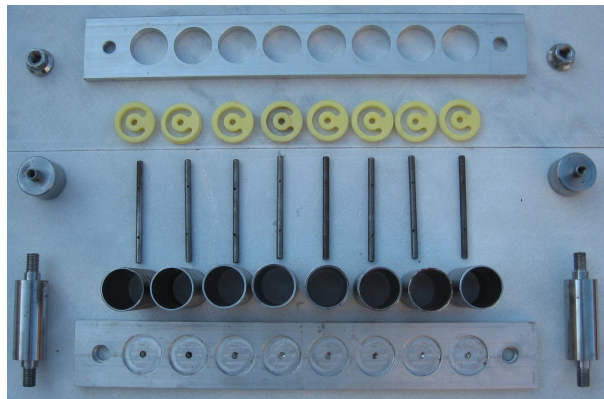
Tornalama işleminde kullanılacak olan nihai deney numunelerinin toplu olarak dökülebilmesi için bir kalıp sistemi tasarlanmıştır. Bu amaçla 44 mm çapta, 109 mm uzunluğundaki kalıplar 8'erli veya 6'şarlı olarak bir plakaya yerleştirilmiştir. Tornalama esnasında gezer puntanın reçine esaslı malzemeyi aşındırmasını engellemek için numunenin orta kısmında 8 mm çapında bir ucuna punta deliği açılmış bir pimin olmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Pimle birlikte alt plakaya oturtulan kalıbın üst kısmına da bir plaka yapılmıştır. Bu plakanın üst kısmına her bir numune için bir merkezleme kapağı düşünülerek pimin merkezden kaçması (alt plakada da merkezlendi) engellenmiştir. Alt ve üst plaka birbirlerine iki adet vidalı ve kademeli mil ile tutturulmuştur. Bu miller aynı zamanda kalıp sisteminin vibrasyon cihazına bağlanmasını da sağlamaktadır. Masa tipi vibrasyon cihazına aynı anda toplam 4 adet kalıp sistemi bağlanarak 32 veya 24 adet döküm yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kalıplar, merkezleme kapağı ve pim SPINNER TC77 SMCY 5 eksen CNC torna tezgahında, plakalar FIRST MCV600 3 eksen CNC freze tezgahında üretilmiştir. Şekil 3.2'de kalıp, pim ve merkezleme kapağı, Şekil 3.3'te montajı yapılmamış kalıp sistemi, Şekil 3.4'te montajı yapılmış kalıp sistemi ve Tablo 3.2'de ise CNC freze tezgahının özellikleri verilmiştir [83].

Tablo 3.2 CNC freze tezgahının özellikleri [83]

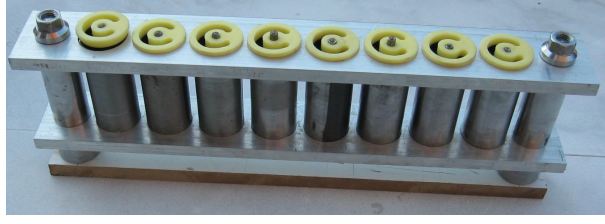
Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2005
Model adı	-	FIRST MCV 600
X,Y,Z eksen hareketi	mm	X 610, Y 500, Z 510
Eksen sayısı	adet	3 eksen
Güç	kW	5.5
İlerleme kapasitesi	mm/dak	1-8000
Hızlı hareket	mm/dak	24000
Tabla yük kapasitesi	kg	800
Maksimum devir	dev/dak	6000
Takım sayısı	adet	24
Kontrol paneli	-	Fanuc OiMB
Ağırlık	kg	4100



Şekil 3.2 Kalıp, pim ve kapak



Şekil 3.3 Montajı yapılmamış kalıp sistemi

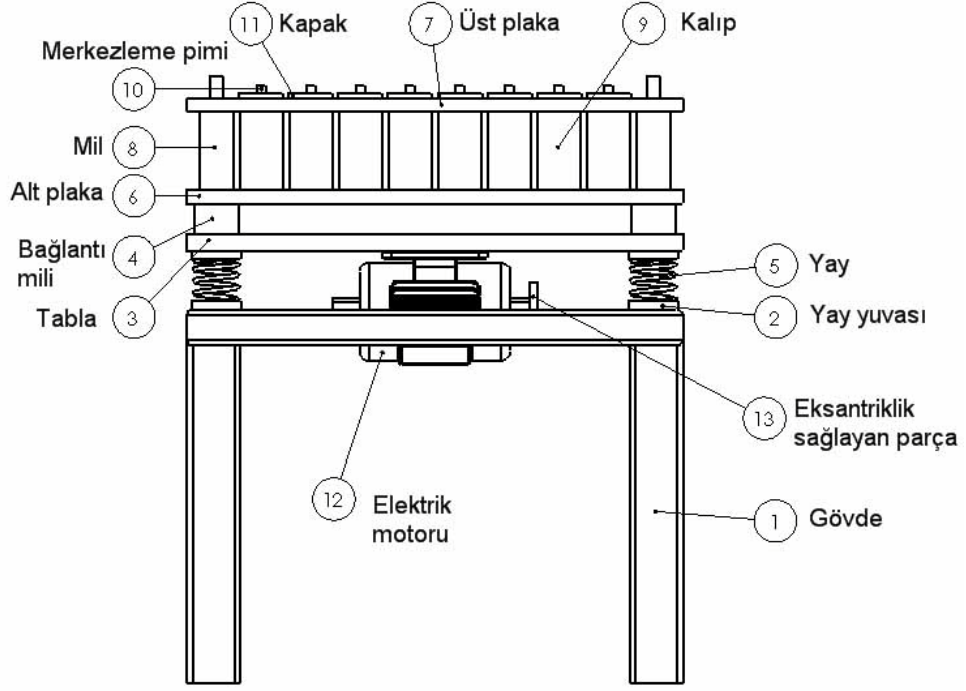


Şekil 3.4 Montajı yapılmış kalıp sistemi

3.3 Masa Tipi Vibratör Cihazının Tasarımı ve İmalatı

Kompozit numunelerin dökümünde hazırlanmış harç (matris + takviye) malzemesinin içerisinde boşlukların kalmaması ve daha homojen bir dağılım oluşturulması düşüncesi ile jelleşme başlamadan önce kesilmek üzere vibrasyon uygulanması zorunludur. Bunun için kalıp sisteminin dış ölçüleriyle eşit masa tipi bir vibratör cihazı tasarlanmış ve üretilmiştir.

İskelet ve masa kısmı 60x40 mm profilden TIG kaynağı kullanılarak üretilmiştir. Genel ölçüler masa 560x320 mm ve yükseklik 400 mm'dir. Masa üzerine 580x340 mm ölçülerde 15 mm kalınlığında kalıp alt plakası üzerine yerleştirildiğinde tespit edilebilecek çapı 16 mm olan sekiz adet boyuna delik halde tasarlanmış ve CNC frezede imal edilmiştir. Şase ve masa tablası arasında vibrasyonun sürekliliğini sağlayabilmek amacıyla, tel çapı 5 mm olan yedi helisten ibaret, yüksekliği 67 mm ve çapı 47 mm olan dört adet yay dört kenarda masa ve masa tablasında hazırlanmış yuvalarında olduğu halde tespit edilmiştir. Titreşim kaynağı olarak ise 1.5 kW güçlü, 3000 dev/dak ile dönen trifaze bir elektrik motoru miline dengesizlik yaratacak bir kütle tespit edilmiş ve motor bu haliyle masa tablasına alttan tespit edilmiştir. Şekil 3.5'te masa tipi vibratör cihazının teknik resmi görülmektedir.



Şekil 3.5 Masa tipi vibratör cihazı

3.4 Matris Bileşenlerinin Optimizasyonu

Matris malzemenin içeriği doymamış polyester reçine, kobalt oktoat (CoOC) ve metiletilketon peroksit (MEKP) üçlüsünden oluşmaktadır. Metiletilketon peroksit sertleştirici, kobalt oktoat ise hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Optimum dayanımı elde etmek için piyasadan kolaylıkla temin edilebilen genel amaçlı polyesterlerden iki farklı firma ürünü A ve B şeklinde tanımlanmıştır. Tablo 3.3'te kullanılan polyesterlerin özellikleri gösterilmiştir. (ISO 2211, ISO 1675, ISO 0489, ISO 2114, ISO 2555, ISO 2535, ISO 0854, ISO 0075-A/B).

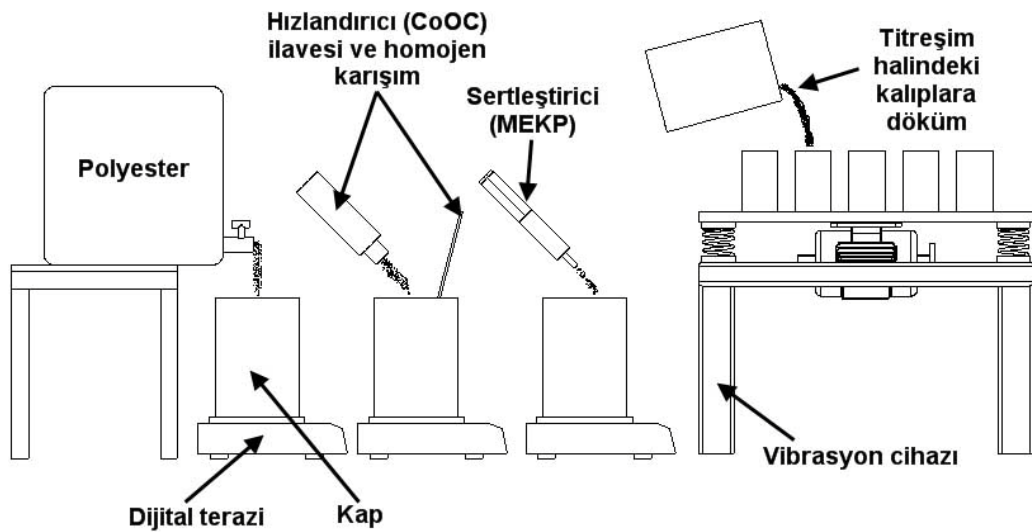
Tablo 3.3 Polyesterlerin özellikleri

Özellik	Birimi	Değeri	Standart
Model yılı	yıl	2009	-
Uygulama yöntemi	-	Döküm, el yatırma	-
Yoğunluk	g/cm ³	± %5, 1.121	ISO 1675
Jel süresi	dakika	±2, 8	ISO 2535
Toplam hacimsel çekme	%	±%10, 7.68	ISO 2114

Kalıplara dökülecek harcın hazırlanması için bir deney düzeneği kurulmuştur. Farklı oranlarda matris bileşenleri seçilerek optimum oranların bulunması amaçlanmıştır. Oranlar her iki grup (A ve B) için aynı tutulmuştur. Tablo 3.4'te matris bileşenlerinin hacim oranları ve Şekil 3.6'da kurulan deney düzeneğinin şematik resmi görülmektedir.

Tablo 3.4 Matris bileşenlerinin hacim oranları

CoOC %	MEKP %	Polyester (A, B) %	Basma numunesi (adet)
0	0.5	99.5	5
	1	99	5
	1.5	98.5	5
0.5	0.5	99.5	5
	1	99	5
	1.5	98.5	5
1	1	98	5
	2	97	5
	3	96	5
2	1	97	5
	2	96	5
	3	95	5
3	1	96	5
	2	95	5
	3	94	5



Şekil 3.6 Kurulan deney düzeneği

Her karışım oranı için beş adet basma numunesi dökülmüştür. Kalıplardan numunelerin rahatlıkla alınabilmesi için ince bir film tabakası halinde kalıp ayırıcı uygulanması gerekir. Bu amaçla dökümden önce kalıp iç yüzeylerine vaks uygulanarak yaklaşık olarak 15-30 dakika beklendikten sonra parlatılarak döküme hazır hale getirilmiştir. Döküm potasına gerekli oranlarda konan polyester üzerine hızlandırıcı (CoOC) konarak homojen bir yapı için karıştırılmıştır. Daha sonra sertleştirici ilave edilerek çalışır durumdaki, vibratör üzerinde sabitlenmiş bulunan basma kalıplarına dökülmüştür. Böylece jelleşme esnasında matris yapıda oluşabilecek hava kabarcıkları engellenmiştir. Sekiz dakika olan jelleşme süresi beklendikten sonra vibratör durdurulmuş beş dakika sonra kalıplar bekletilmek üzere raflara kaldırılmıştır. Dökülen basma deneyi numuneleri kalıplarda yedi gün beklendikten sonra çıkarılmıştır. Yoğunluk tespiti için boy ve çap ölçümleri yapılan deney numunelerinin 0.05 gram hassasiyetindeki DESIS NHB dijital terazide ağırlıkları tartılmıştır. Şekil 3.7'de 0.05 gram hassasiyetli dijital terazi ile Tablo 3.5'te 0.05 gram hassasiyetli terazinin özellikleri verilmiştir [84].



Şekil 3.7 0.05 gram hassasiyetli dijital terazi [84]

Tablo 3.5 0.05 gram hassasiyetli dijital terazinin özellikleri [84]

Özellik	Birimi	Değeri
Model adı	-	DESI NHB
Kapasite	g	3000
Hassasiyet	g	0.05
Çalışma ısısı	°C	0-40
İç sayım		1000
Parça sayma özelliği	-	Var

Yoğunlukları belirlenen basma numuneleri ADR 3000 basma cihazında 50 kgf/sn'lik hızla basılmışlardır. Tablo 3.6'da ADR 300 basma cihazının özellikleri verilmiştir [85].

Tablo 3.6 Basma cihazının özellikleri [85]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2000
Model adı	-	ADR 3000
Maksimum dikey boşluğu	mm	340
Maksimum yatay boşluğu	mm	310
Kapasite	kN	3000
Desteklediği standartlar	-	BS, EN, ISO, ASTM
Güç	kW	1.35
Ölçüm birimleri	-	kN, lbf, kgf
Maksimum ram mesafesi	mm	50
Üst baskı levhası ölçüleri	mm	300 (daire)
Alt baskı levhası ölçüleri	mm	220 (kare)
Desteklediği numune şekilleri	-	Silindir, küp
Ayarlanabilir yük hızı	-	var
Ağırlık	Kg	1300

Basma deneyleri sonucunda elde edilen beş basma dayanımı değerlerinden en yüksek ve en düşük değerler çıkartılarak kalan üç değer ortalamaları alınmıştır. En yüksek basma dayanımına sahip olan gruptaki oranlar esas alınarak optimum *reçine tipi ve oranı ile optimum hızlandırıcı ve sertleştirici oranları* belirlenmiştir.

En yüksek basma dayanımı B grubu polyesterde, hızlandırıcının (CoOC) % 0.5, sertleştiricinin (MEKP) % 1 ve polyesterin % 98.5 oranlarında olduğu grupta 133.747 MPa olarak gerçekleşmiştir. Tablo 3.7'de A grubu, Tablo 3.8'de B grubu polyester reçine için matris optimizasyonu basma deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.7 A grubu matris optimizasyonu basma deneyi sonuçları

Bileşim oranları (%)		Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ort. (N/mm ²)
CoOC	0	2750	1.217	1.213	13.924	15.626
MEKP	0.5	2940	1.221		14.797	
Polyester	99.5	3700	1.202		18.158	
CoOC	0	4070	1.197	1.191	19.947	20.827
MEKP	1	4150	1.189		20.873	
Polyester	99	4370	1.186		21.660	
CoOC	0	4360	1.198	1.197	21.974	23.887
MEKP	1.5	4550	1.194		22.839	
Polyester	98.5	5320	1.200		26.848	
CoOC	0.5	23410	1.221	1.215	120.896	126.493
MEKP	0.5	25060	1.213		128.874	
Polyester	99	25120	1.212		129.709	
CoOC	0.5	23230	1.213	1.212	124.777	123.550
MEKP	1	24280	1.209		120.577	
Polyester	98.5	24360	1.213		125.356	
CoOC	0.5	21700	1.207	1.212	115.071	119.425
MEKP	1.5	22940	1.215		121.146	
Polyester	98	23050	1.214		122.058	
CoOC	1	19820	1.208	1.203	99.474	104.606
MEKP	1	20940	1.181		106.173	
Polyester	98	21420	1.221		108.171	
CoOC	1	16360	1.204	1.203	84.462	88.967
MEKP	2	17510	1.213		89.839	
Polyester	97	17970	1.192		92.601	
CoOC	1	12040	1.211	1.211	62.076	64.646
MEKP	3	12400	1.207		64.226	
Polyester	96	13090	1.215		67.635	
CoOC	2	18140	1.210	1.205	94.187	99.500
MEKP	1	19490	1.200		100.568	
Polyester	97	20010	1.205		103.744	
CoOC	2	15350	1.199	1.201	79.367	84.205
MEKP	2	16680	1.199		86.128	
Polyester	96	16690	1.205		87.120	
CoOC	2	10070	1.208	1.211	53.472	56.287
MEKP	3	10450	1.214		55.519	
Polyester	95	11540	1.211		59.870	
CoOC	3	16090	1.203	1.204	81.911	84.915
MEKP	1	16170	1.205		83.324	
Polyester	96	17630	1.204		89.509	
CoOC	3	10890	1.206	1.204	55.483	59.241
MEKP	2	11540	1.200		59.065	
Polyester	95	12250	1.206		63.176	
CoOC	3	6570	1.186	1.195	34.076	35.560
MEKP	3	6680	1.205		35.539	
Polyester	94	6980	1.195		37.064	

Tablo 3.8 B grubu matris optimizasyonu basma deneyi sonuçları

Bileşim oranları (%)		Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ort. (N/mm ²)
CoOC	0	4740	1.186	1.189	23.215	23.625
MEKP	0.5	4740	1.196		23.370	
Polyester	99.5	4800	1.185		24.289	
CoOC	0	5060	1.192	1.189	25.047	25.983
MEKP	1	5240	1.178		25.664	
Polyester	99	5470	1.198		27.239	
CoOC	0	5110	1.190	1.194	26.243	27.534
MEKP	1.5	5350	1.208		27.309	
Polyester	98.5	5630	1.185		29.051	
CoOC	0.5	15760	1.207	1.206	80.992	109.475
MEKP	0.5	23300	1.205		123.129	
Polyester	99	24820	1.205		124.304	
CoOC	0.5	25450	1.208	1.211	130.790	133.747
MEKP	1	26000	1.211		134.614	
Polyester	98.5	26200	1.213		135.837	
CoOC	0.5	21110	1.207	1.209	108.781	122.000
MEKP	1.5	24790	1.211		128.700	
Polyester	98	24940	1.209		128.518	
CoOC	1	21910	1.211	1.205	112.721	113.243
MEKP	1	21910	1.203		115.422	
Polyester	98	22230	1.200		111.587	
CoOC	1	18280	1.205	1.207	94.644	101.255
MEKP	2	19460	1.211		100.413	
Polyester	97	21010	1.206		108.707	
CoOC	1	13010	1.212	1.200	67.276	69.884
MEKP	3	13440	1.203		68.882	
Polyester	96	14330	1.184		73.494	
CoOC	2	19800	1.206	1.203	102.310	104.670
MEKP	1	20350	1.202		106.007	
Polyester	97	20400	1.202		105.693	
CoOC	2	16560	1.215	1.210	85.913	90.847
MEKP	2	17960	1.210		93.496	
Polyester	96	18110	1.205		93.133	
CoOC	2	10050	1.176	1.192	52.567	56.395
MEKP	3	10320	1.206		54.845	
Polyester	95	11720	1.194		61.774	
CoOC	3	16870	1.201	1.200	86.206	89.597
MEKP	1	17390	1.199		88.316	
Polyester	96	17880	1.201		94.269	
CoOC	3	9960	1.196	1.202	50.746	70.782
MEKP	2	15350	1.205		78.417	
Polyester	95	16340	1.204		83.184	
CoOC	3	9340	1.195	1.195	48.052	51.633
MEKP	3	9990	1.191		51.479	
Polyester	94	10430	1.200		55.367	

3.5 Takviye Elemanlarının Optimizasyonu

Kompozit malzemelerin matris optimizasyonu yapıldıktan sonra takviye elemanlarının optimum hacim oranlarını belirlemek için takviye elemanları optimizasyon deneyleri yapılmıştır. *Tabakalı* takviye elemanı olarak *birim alan ağırlığı 500 gram/m² olan dokuma tipi E cam elyafı*, *elyafli* takviye elemanı olarak *6 mm boyunda kırpık tip E cam elyafı* ve *parçacıklı* takviye elemanı olarak *0-125 µm boyut aralığındaki kuvars tanecikleri* kullanılmıştır. Şekil 3.8'de tabakalı, elyafli ve parçacıklı takviye elemanları görülmektedir.



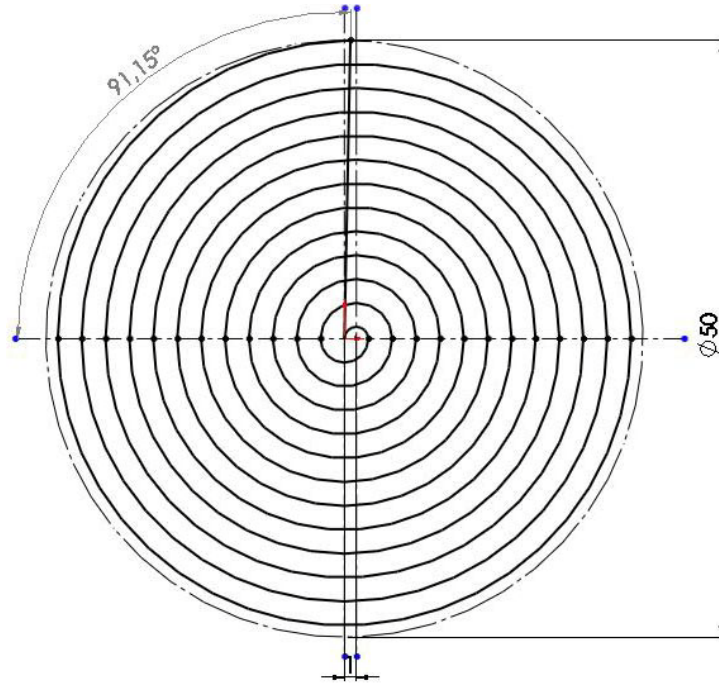
Şekil 3.8 Takviye elemanları (sırasıyla tabakalı, elyafli, parçacıklı)

3.5.1 Tabakalı Takviye Elemanının Optimizasyonu

Tabakalı kompozit malzemeler genellikle el yatırma yöntemi ile elde edilmektedir. Bu malzemeler genelde silindirik olmayıp düzlem şeklindedirler. Tornalama işleminde ise silindir şeklinde bir malzemeye ihtiyaç vardır. Bu nedenle silindir şeklinde tabakalı kompozit bir malzeme elde edebilmek için *spiral sarma tekniği* geliştirilmiştir. Bu teknikte, spiral çizimine kalıbın merkezinden başlanır. Spir aralığına karar verilir ve bu aralıkta spirler kalıbın iç duvarlarına temas edene kadar çizilir. Daha sonra çizilen bu spirlerin uzunlukları çizim programı sayesinde hesaplanır. Bu uzunluk aynı zamanda dokuma elyafın da uzunluğudur.

Dokuma elyaf uzun bir şekilde kesilir ve spiral şeklinde sarılır. Daha sonra kalıp içine bırakılarak serbest açılması sağlanır ve hazırlanan harç malzemesi kalıba dökülür. Her bir spir arasındaki mesafe azaltılarak veya artırılarak değişik hacim oranlarında tabakalı kompozit malzeme elde edilmiş olur.

Spiral sarma tekniğinin el yatırma yöntemine göre tornalama işleminde bir avantajı, talaş kaldırma esnasında *takımın devamlı olarak bir takviye elemanını kesmek zorunda kalmasıdır*. El yatırma yöntemine böyle bir özellik elde edilememektedir. Spirler arasındaki mesafe 1 mm'den 9 mm'ye 1'er mm artacak şekilde Solidworks çizim programında 9 farklı grup için tasarımlar yapılarak her grup için toplam elyaf uzunlukları belirlenmiştir. Şekil 3.9'da 1 mm aralığa göre çizilen spiral sarım tekniği ve Tablo 3.9'da spir aralıklarına göre dokuma elyaf uzunlukları verilmiştir.



Şekil 3.9 1 mm spir aralığına göre çizilen spiral sarım tekniği

Tablo 3.9 Spir aralıklarına göre dokuma elyaf uzunlukları

Spirler arası mesafe (mm)	Dokuma elyaf uzunluğu (mm)
1	981.250
2	516.441
3	361.894
4	285.530
5	193.845
6	203.460
7	108.980
8	112.160
9	116.690

Dokuma elyaflar her hacim oranındaki uzunluğunda ve kalıp yüksekliği genişliğinde makasla kesilmiştir. Spiral olarak sarılan elyaflar basma kalıplarının içerisine serbest olarak konulmuştur. Daha sonra elyafların son uçları kalıbın iç duvarına degecek şekilde ayarlamalar yapılarak spirler arasındaki mesafeler her grup için ayarlanmıştır.

Her spir aralığı grubu için beş adet basma numunesi dökülmüştür. Tabakalı elyafın reçineyi emdiği dikkate alınarak matris hacim oranları tüm deneylerde % 100 alınmıştır. Döküm potasına gerekli oranlarda konan polyester üzerine hızlandırıcı (CoOC) konarak homojen bir yapı için karıştırılmıştır. Daha sonra sertleştirici ilave edilerek çalışır durumdaki, vibratör üzerinde sabitlenmiş bulunan, içerisine spiral olarak sarılmış dokuma elyafların serbest konulduğu basma kalıplarına dökülmüştür. Böylece jelleşme esnasında matris yapıda oluşabilecek hava kabarcıkları engellenmiştir. Sekiz dakika olan jelleşme süresi beklendikten sonra vibratör durdurulmuş beş dakika sonra kalıplar bekletilmek üzere raflara kaldırılmıştır.

Dökülen basma deneyi numuneleri kalıplarda yedi gün bekledikten sonra çıkarılmıştır. Yoğunluk tespiti için boy ve çap ölçümleri yapılan deney numunelerinin 0.05 gram hassasiyetindeki DESIS NHB dijital terazide ağırlıkları tartılmıştır. Yoğunlukları belirlenen numuneler ADR 3000 basma cihazında 50 kgf/sn'lik hızla basılmışlardır.

Basma deneyleri sonucunda elde edilen beş basma dayanımı değerlerinden en yüksek ve en düşük değerler çıkartılarak kalan üç değer ortalamaları alınmıştır. En yüksek basma dayanımına sahip olan gruptaki tabakalı takviye elamanı oranı optimum grup olarak seçilmiştir. En yüksek basma dayanımı, spir aralığı 1 mm olan grupta 82.953 MPa olarak gerçekleşmiştir. Tablo 3.10'da tabakalı takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.10 Tabakalı takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları

Spir aralığı (mm)	Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
1	15660	1.277	1.268	79.775	82.953
	16420	1.259		82.698	
	17210	1.267		86.387	
2	8990	1.204	1.206	45.006	47.175
	9170	1.217		46.557	
	10000	1.198		49.962	
3	6640	1.200	1.195	33.397	40.195
	7410	1.184		37.571	
	9720	1.201		49.616	
4	4760	1.205	1.194	24.495	28.048
	5290	1.198		26.912	
	6500	1.180		32.737	
5	3450	1.221	1.202	18.194	23.113
	4150	1.192		21.298	
	5800	1.194		29.847	
6	2850	1.184	1.195	14.538	19.603
	4160	1.187		21.206	
	4470	1.213		23.065	
7	3480	1.201	1.205	18.215	25.051
	3780	1.207		19.962	
	7040	1.206		36.975	
8	2440	1.182	1.190	12.650	24.546
	4130	1.205		21.900	
	7560	1.182		39.089	
9	4880	1.200	1.198	25.491	29.691
	5620	1.199		29.276	
	6590	1.196		34.306	

3.5.2 Elyafli Takviye Elemanın Optimizasyonu

Kırpıntılı elyaf takviye hacim oranının belirlenmesi için % 22'den % 88'e, % 10 artırma yapılmak suretiyle sekiz farklı hacim oranı grubu belirlenmiştir. Ayrıca her hacim grubu için elyafın reçineyi emeyeceği göz önünde tutularak matris hacim oranı % 100 tutulmak suretiyle sekiz ayrı grup daha belirlenmiştir. Her hacim oranı grubuna denk gelen hacim kadar kırpıntı elyaf miktarı ölçekli behere konarak 10 kez dijital terazide tartımı yapılmış ve her grup için ortalama kırpıntı ağırlıkları belirlenmiştir. Tablo 3.11'de hacim oranlarına göre ortalama kırpıntı elyaf ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 3.11 Hacim oranlarına göre ortalama kırpıntı elyaf ağırlıkları

Hacim oranı (%)	Tartım ağırlıkları (g)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
% 22	17.10	15.55	18.50	17.95	16.45	18.85	17.70	16.80	16.60	18.55	17.41
% 33	25.75	27.80	26.25	26.50	26.75	26.50	27.35	25.95	26.35	27.80	26.70
% 44	36.00	35.15	35.50	35.85	36.05	37.20	36.80	35.70	36.65	36.90	36.18
% 55	46.85	43.45	45.50	43.55	44.50	46.20	44.50	43.85	44.25	45.85	44.85
% 66	53.15	54.10	54.75	55.10	53.45	53.15	53.65	54.15	52.85	54.20	53.86
% 77	63.15	60.40	62.50	63.80	60.25	63.35	64.40	61.55	62.80	62.25	62.45
% 88	71.45	69.55	70.85	71.45	72.55	70.40	68.15	70.45	71.40	71.70	70.80

Her hacim oranı grubu için beş adet basma dökülmüştür. Döküm potasına gerekli oranlarda konan polyster üzerine hızlandırıcı (CoOC) konarak homojen bir yapı için karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışıma her grup için belirlenen kırpıntı elyaf ilave edilmiş ve tekrar homojen bir karışım sağlanmıştır. Sertleştirici bu işlemde sonra ilave edilerek çalışır durumdaki, vibratör üzerinde sabitlenmiş bulunan basma kalıplarına dökülmüştür. Böylece jelleşme esnasında matris yapıda oluşabilecek hava kabarcıkları engellenmiştir.

Sekiz dakika olan jelleşme süresi beklendikten sonra vibratör durdurulmuş beş dakika sonra kalıplar bekletilmek üzere raflara kaldırılmıştır.

Dökülen basma deneyi numuneleri kalıplarda yedi gün bekledikten sonra çıkarılmıştır. Matris hacim oranının normal alındığı gruplarda elyafın reçineyi emmesi yüzünden kalıpların tam olarak dolmadığı gözlenmiştir.

Matris hacim oranlarının % 100 alındığı gruplarda numunelerin kalıplardan düzgün olarak çıktığı gözlenmiştir. Yoğunluk tespiti için boy ve çap ölçümleri yapılan deney numunelerinin 0.05 gram hassasiyetindeki DESIS NHB dijital terazide ağırlıkları tartılmıştır.

Yoğunlukları belirlenen basma numuneleri ADR 3000 basma cihazında 50 kgf/sn'lik hızla basılmışlardır. Matris hacim oranının normal alındığı gruplarda kalıbın tam olarak dolmadığı gözlendiğinden bu numunelerin basma deneyleri yapılmamıştır.

Matris hacim oranının % 100 olduğu gruplardaki basma deneyleri sonucunda elde edilen beş basma dayanımı değerlerinden en yüksek ve en düşük değerler çıkarılarak kalan üç değer ortalamaları alınmıştır. En yüksek basma dayanımına sahip olan gruptaki elyafli takviye elamanı oranı optimum olarak seçilmiştir.

En yüksek basma dayanımı, % 55 hacim oranına sahip grupta 45.190 MPa olarak gerçekleşmiştir. Tablo 3.12'de elyafli takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.12 Elyafli takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları

Elyaf hacim oranı %	Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
22	3410	1.525	1.318	16.969	19.858
	3560	1.218		18.123	
	4900	1.211		24.481	
33	3840	1.410	1.383	19.575	23.330
	4980	1.387		25.182	
	4980	1.352		25.233	
44	3970	2.005	1.738	20.143	26.204
	4850	1.521		24.410	
	6740	1.688		34.059	
55	8110	1.117	1.142	39.826	45.190
	8940	1.136		43.384	
	10320	1.173		52.360	
66	6280	1.119	1.144	30.941	39.504
	7780	1.137		38.819	
	9810	1.176		48.752	
77	6720	1.110	1.166	33.574	40.476
	8400	1.208		41.940	
	9190	1.179		45.915	
88	6000	1.169	1.195	30.855	43.875
	8460	1.204		43.272	
	11310	1.211		57.499	

3.5.3 Parçacıklı Takviye Elemanın Optimizasyonu

Parçacıklı takviye elemanı olarak 0-0.125 mm boyut aralığında kuvars tanecikleri kullanılmıştır. Bu amaçla sınıflandırılması yapılmamış kuvars malzemesi ilk önce Alfa öğütme cihazında öğütülmüştür. Daha sonra Octagon 2000 vibratör cihazına tespit edilmiş Endecotts BS 410 serisi elek takımıyla analizi yapılmıştır.

Kullanılan eleklerin kare göz açıklıkları üstten alta doğru sırasıyla 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 ve 0.125 mm²'dir (BS 410). Tablo 3.13'te vibrasyon cihazı ile Tablo 3.14'te eleklerin özellikleri verilmiştir [86, 87]

Tablo 3.13 Vibrasyon cihazının özellikleri [86]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2000
Model adı	-	Octagon 2000
Yükseklik	mm	730
Çap	mm	410
Ağırlık	Kg	65
Frekans	Hz	50
Elek çapı	mm	200
Maksimum elek adedi	adet	8
Zaman ayarı	-	Var
Hız ayarı	-	Var
Düz / Kesikli mod seçeneği	-	Var
Sallama seviyesi ayarı	-	Var

Tablo 3.14 Eleklerin özellikleri [87]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2000
Model adı	-	Endecotts BS 410 serisi
Çap	mm	200
Malzeme	mm	Pirinç
Izgara aralığı	µm	125, 250, 500, 1000, 2000

Elek analizi yapılarak sınıflandırılan kuvars taneciklerinden 0-0.125 µm boyutlarında olanlar kullanılarak optimum hacim oranının belirlenmesi için % 5'ten % 45'e % 5 artırılma yapılmak suretiyle 9 farklı hacim oranı grubu belirlenmiştir. Tablo 3.15'te kuvars hacim oranına karşılık gelen kuvars ağırlıkları verilmiştir.

Her hacim oranı grubu için beş adet basma numunesi dökülmüştür. Döküm potasına gerekli oranlarda konan polyester üzerine hızlandırıcı (CoOC) konarak homojen bir yapı için karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışıma kuvars parçacıkları ilave edilmiş ve tekrar homojen bir karışım sağlanmıştır. Sertleştirici bu işlemde sonra ilave edilerek çalışır durumdaki vibratör üzerinde sabitlenmiş bulunan basma kalıplarına dökülmüştür. Böylece jelleşme esnasında matris yapıda oluşabilecek hava kabarcıkları engellenmiştir.

Tablo 3.15 Kuvars hacim oranına karşılık gelen kuvars ağırlıkları

Kuvars hacim oranı (%)	Kuvars ağırlığı (g)
5	28.618
10	57.236
15	85.854
20	114.472
25	143.090
30	171.708
35	200.326
40	228.944
45	257.562

Sekiz dakika olan jelleşme süresi beklendikten sonra vibratör durdurulmuş beş dakika sonra kalıplar bekletilmek üzere raflara kaldırılmıştır.

Dökülen basma deneyi numuneleri kalıplarda yedi gün bekledikten sonra çıkarılmıştır. Yoğunluk tespiti için boy ve çap ölçümleri yapılan deney numunelerinin 0.05 gram hassasiyetindeki DESIS NHB dijital terazide ağırlıkları tartılmıştır. Yoğunlukları belirlenen numuneler ADR 3000 basma cihazında 50 kgf/sn'lik hızla basılmışlardır.

Basma deneyleri sonucunda elde edilen beş basma dayanımı değerlerinden en yüksek ve en düşük değerler çıkartılarak kalan üç değer ortalamaları alınmıştır.

En yüksek basma dayanımı % 10 hacim oranında grupta 131.009 MPa olarak gerçekleşmiştir. Malzemenin kompozit özelliği taşıması için hacim oranının daha yüksek olması düşüncesi ile bu oran yerine basma dayanımı 105.252 MPa olan % 35 hacim oranı grubu optimum olarak seçilmiştir. Tablo 3.16'da parçacıklı takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.16 Parçacıklı takviye optimizasyonu basma deneyi sonuçları

Kuvars hacim oranı (%)	Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
5	16150	1.262	1.259	84.76	120.850
	26680	1.256		136.93	
	26820	1.259		140.86	
10	23280	1.354	1.351	114.25	131.009
	27420	1.348		140.44	
	27450	1.351		138.34	
15	14680	1.422	1.443	73.54	81.169
	15870	1.485		83.87	
	17050	1.421		86.10	
20	14260	1.487	1.478	73.68	74.224
	14390	1.468		73.70	
	14660	1.481		75.29	
25	15800	1.593	1.602	79.31	81.686
	15910	1.609		80.02	
	17090	1.602		85.73	
30	18640	1.644	1.647	96.05	102.724
	20950	1.648		106.29	
	20970	1.647		105.83	
35	19780	1.950	1.791	98.69	105.252
	21330	1.709		106.64	
	22190	1.714		110.42	
40	18790	1.768	1.776	93.50	94.032
	18880	1.779		94.27	
	18880	1.779		94.33	
45	14990	1.813	1.810	72.60	77.892
	15000	1.810		74.30	
	18000	1.808		86.78	

3.6 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Matris ve takviye elemanlarının optimizasyonu yapıldıktan sonra boyuna tornalama işleminde kullanılacak olan nihai deney numunelerinin üretimine geçilmiştir. Bu amaçla daha önceden hazırlanmış olan nihai deney numunesi kalıpları, kalıpların sabitlendiği kalıp sistemi ve vibratör sayesinde dört farklı tip kompozit malzemenin üretimi yapılmıştır. İşleme değerleri bilinen referans bir malzeme olarak seçilen AISI 1050 numuneleri ise diğer kompozit numunelerle aynı ölçülerde CNC freze tezgahında hazırlanmıştır.

Boyuna tornalama deneylerinde kullanılacak olan kompozit malzemeler basma numuneleri dökülürken uygulanan döküm tekniklerinin aynısı kullanılarak üretilmişlerdir. Numunelerin gezer punta ile destekli olarak işlenmesi planlandığından kalıpların ortasına, ucuna punta deliği açılmış 8 mm çapta bir metal pim yerleştirilmiştir. Burada amaç gezer punta ile tornalama esnasında matris malzemenin punta deliği açılmış kısmının aşınarak salgıya neden olmasını engellemektir. Şekil 3.10'da hazır hale getirilen beş farklı tip malzeme görülmektedir.



Şekil 3.10 Deneylerde kullanılacak olan beş farklı tipte malzeme

3.7 AISI 1050 Malzemesinin Özellikleri

Deneylerde kullanılacak olan AISI 1050 malzemesinin standartta belirlenen özelliklerde olup olmadığının tespiti için bazı deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda AISI 1050 malzemesinin gerekli özellikleri taşıdığı belirlenmiştir.

3.7.1 AISI 1050 Malzemesinin Kimyasal Analizi

AISI 1050 malzemesinin kimyasal analizini yapabilmek amacıyla 30 mm çapında 8 mm kalınlığında bir numune tornada işlenmiş ve yüzey hazırlama cihazında kaba olarak taşlanmıştır. Ölçüm yapılmadan önce

analiz cihazının kalibrasyonu yapılmıştır. Kimyasal değerleri bilinen ve firma tarafından cihazla birlikte gönderilen H6 malzemesinin (düşük alaşımlı çelik) analizi yapılarak ölçümlerin kararlı hale gelmesi beklenmiştir. Ölçümler kararlı hale geldiğinde taşlanan numunenin analizine geçilmiştir. Sonuçlara cihazın LAS analiz programı ile bakılmıştır. Analiz sonuçları 3 kez tekrarlanmış çalışma ortalamalarıdır. Tablo 3.17’de AISI 1050 çeliğinin spektrum analiz sonuçları ile Tablo 3.18’de spektrum analiz cihazının özellikleri verilmiştir [88].

Tablo 3.17 AISI 1050 çeliğinin spektrum analiz sonuçları

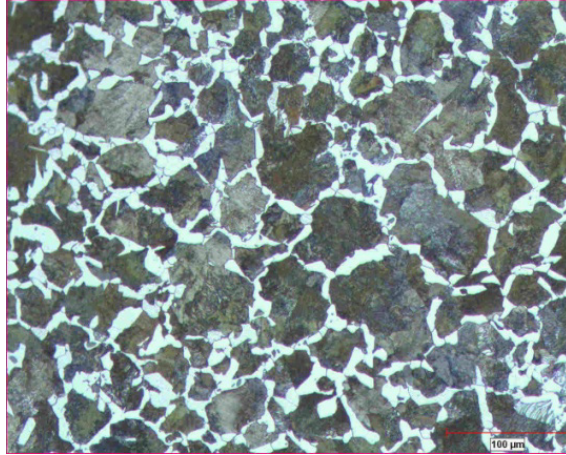
Element	Oran (%)	Element	Oran (%)
C	0.528	Mo	0.003
Mn	0.842	Cu	0.053
Si	0.216	Co	0.011
P	0.010	Nb	<0.002
S	0.057	Fe	98.221
Cr	0.017	V	0.003
Ni	0.035	W	<0.002

Tablo 3.18 Spektrum analiz cihazının özellikleri [88]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2002
Model adı	-	Spectrovac Model DV-6
Dalga boyu aralığı	nm vakum	170-780
Odak uzunluğumu	m	1
Çizgili alan	mm (v)	50
Çizgiler	mm	1440
Dağılım	nm/mm	0.66
Yakma açısı	°	16.773
Frekans	Mhz	200/400
Numune tipi	-	Düz
Koruyucu gaz	-	Argon
Güç tüketimi	Watt	2200

3.7.2 AISI 1050 Malzemesinin İçyapı Analizi

AISI 1050 malzemesinin içyapısını belirlemek amacıyla 30 mm çapında 8 mm kalınlığında bir numune tornada hazırlanmıştır. Hazırlanan numune sırası ile 320, 500 ve 800 µm boyutlu kağıt zımpara ile zımparalanmış ve daha sonra 3 µm boyutlu elmas pasta ile ön parlatma ve 1 µm boyutlu elmas pasta ile de son parlatma yapılmıştır. Parlatılan numune yüzeyi % 3 Nital özelti (% 95 etil alkol, % 5 Nitrik asit) ile dağlanmıştır. Dağlanan numune yüzeyi etil alkolle yıkandıktan sonra kurutulmuştur. Bu işlemlerden sonra malzemenin mikro yapı görüntüleri Nikon ECLIPSE MA100 optik metal mikroskobunda 200X büyütmede çekilmiştir. Şekil 3.11'de AISI 1050 malzemesinin 200X büyütmede çekilen içyapısı ile Tablo 3.19'da optik metal mikroskobunun özellikleri görülmektedir [89].



Şekil 3.11 AISI 1050 malzemesinin 200X büyütmede içyapısı

Tablo 3.19 Optik metal mikroskobunun özellikleri [89]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	Nikon ECLIPSE MA100
Optik kafa	-	CFI ₆₀
Yöntem	-	Parlak alan ve basit polarizasyon
Odaklanma	mm/tur	Kaba 37.7, ince 0.2
Aydınlatıcı	-	30 W halojen lamba
Mercek tüpü	-	Ayna tipi, 50-75 mm ayarlanabilir mercekler aralığı
Tabla	mm	MA-SP düz tabla, 170 x 230

Çekilen görüntüler optik metal mikroskobunun Element Vision Lite görüntü analiz programı ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda mikro yapının % 83 perlit ve % 17 ferrit içerdiği belirlenmiştir.

3.7.3 AISI 1050 Malzemesinin Sertliği

AISI 1050 malzemesinin sertliğini belirlemek amacıyla 30 mm çapında 8 mm kalınlığında bir numune tornada hazırlanmıştır. Hazırlanan numune her zımparada 90° döndürülerek sırası ile 320, 500 ve 800 µm boyutlu kağıt zımpara ile zımparalanmıştır. Testler HECKERT sertlik ölçme cihazında gerçekleştirilmiştir. Sertlik testlerine geçmeden önce sertlik cihazı 252 Brinell sertliğine sahip bir mastarla kalibre edilmiştir. Kalibrasyon yapılırken çapı 2.5 mm olan bir bilya ile mastara 1839 N (187.5 Kg) kuvvet uygulanmıştır. Kalibrasyondan sonra numunenin 3 farklı yerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.12'de sertlik cihazı, Tablo 3.20'de sertlik cihazın özellikleri ile Tablo 3.21'de AISI 1050 malzemesinin sertlik deneyi sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.12 Sertlik cihazı

Tablo 3.20 Sertlik cihazının özellikleri

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	1987
Model adı	-	HECKERT
Ölçtüğü sertlikler	-	Brinell ve Vickers
Yöntem	-	Mekanik
Frekans	Hz	1-50

Tablo 3.21 AISI 1050 malzemesinin sertlik testi sonuçları

AISI 1050	Sertlik (BHN)	Ortalama (BHN)
Ölçüm 1	215	215
Ölçüm 2	215	
Ölçüm 3	215	

3.7.4 AISI 1050 Malzemesinin Çekme Dayanımı

AISI 1050 malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 3 adet çekme numunesi ASTM E 8M-04'e göre hazırlanmıştır. Numunelerin çekme deneyleri ALŞA çekme cihazında yapılmıştır. Deneylerde ön yük değeri 10 N, akma hızı 4 mm/dak ve deney hızı 4 mm/dak olarak alınmıştır.

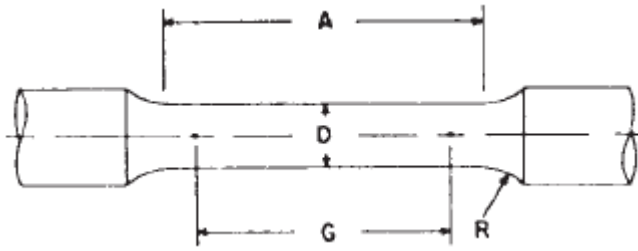
Şekil 3.13'te çekme cihazı, Tablo 3.46'da çekme cihazının özellikleri [90], Şekil 3.82'de çekme numunesinin teknik resmi, Tablo 3.47'de çekme numunesinin boyutları, Şekil 3.83'te çekme numunelerinin çekme deneyi öncesi ve sonrası durumları, Şekil 3.84'te çekme cihazı programından alınan çekme deneyi grafiği ve Tablo 3.48'de çekme deneyi sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.13 Çekme cihazı

Tablo 3.22 Çekme cihazının özellikleri [90]

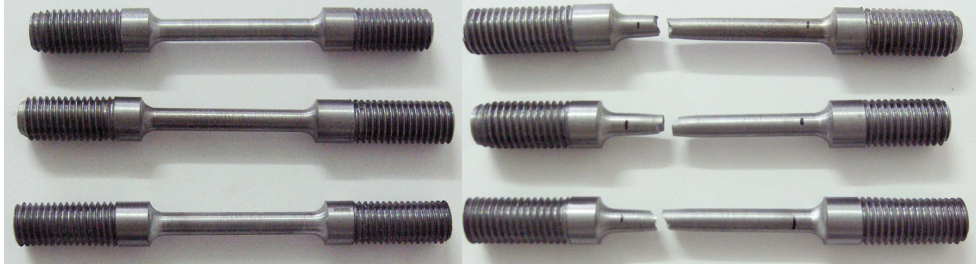
Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2008
Model adı	-	ALŞA
Kapasite	Ton	10
Ektensiyometre	-	var
Video ektensiyometre		var
Tahrik sistemi	-	Elektromekanik
Kurs boyu	cm	30
Deney hızı ayarı	-	var
Basma özelliği	-	var



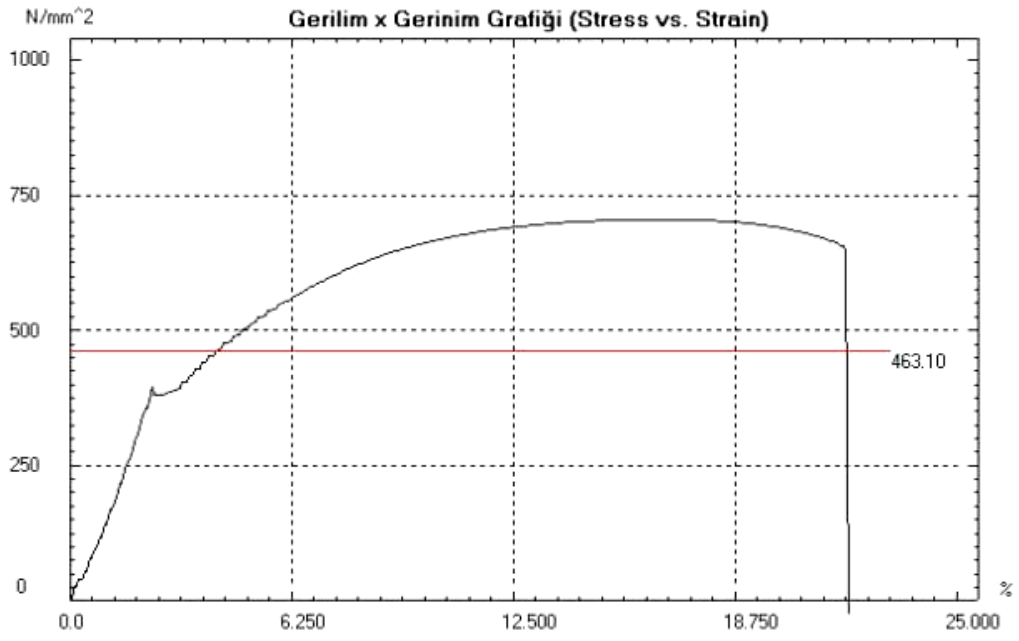
Şekil 3.14 Çekme numunesinin şematik resmi

Tablo 3.23 Çekme numunesinin boyutları

Paralel uzunluk (A) (mm)	Çap (D) (mm)	Ölçü uzunluğu (G) (mm)	Yarıçapı (R) (mm)
54	9 ± 0.1	45 ± 0.1	8



Şekil 3.15 Deney öncesi ve sonrası çekme numuneleri



Şekil 3.16 Çekme deneyi grafiği

Tablo 3.24 AISI 1050 malzemesinin mekanik özellikleri

AISI 1050	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)
Test 1	437	663	603
Test 2	463	705	656
Test 3	487	739	689
Ortalama	462	702	649

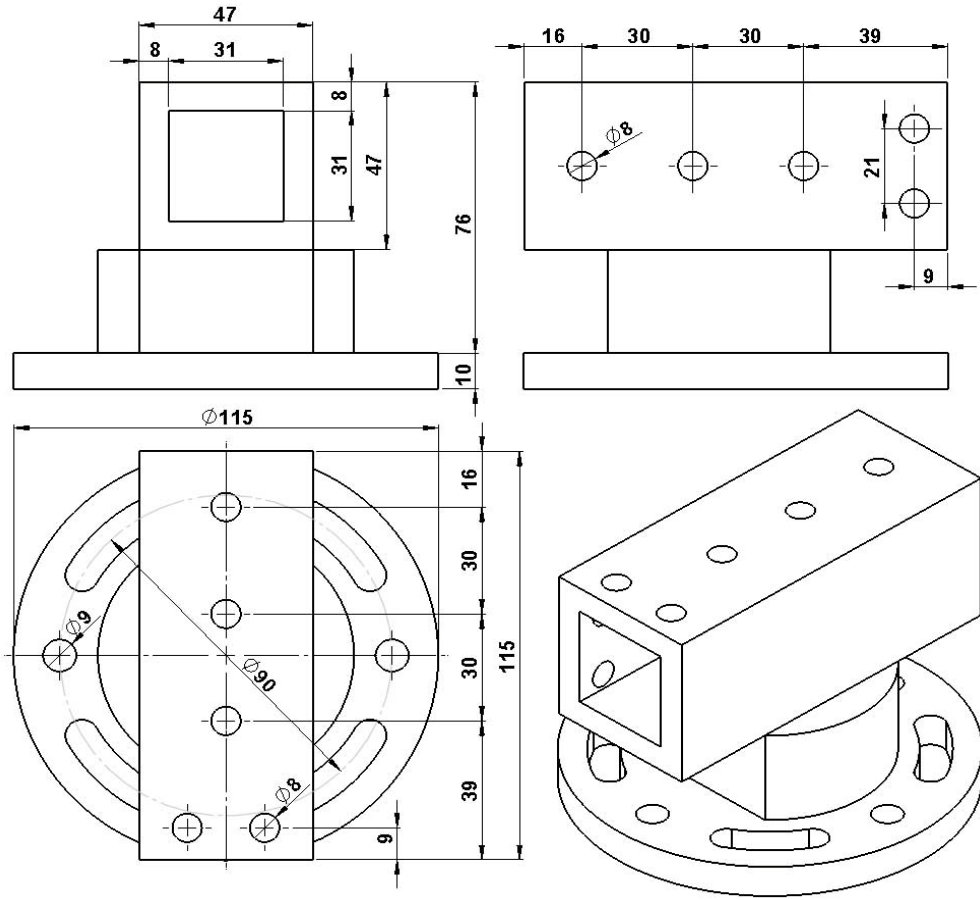
3.8 Dinamometrenin Tasarımı, Üretimi ve Kalibrasyonu

Deneyleerde beş farklı malzemenin boyuna tornalanarak işlenebilirlikleri araştırılmıştır. İşlenebilirlik için kesin bir tanım yapılamasa da kesme kuvvetleri çoğu araştırmacı tarafından önemli bir parametre olarak kabul etmektedir. Bu nedenle boyuna tornalama esnasında oluşan iki önemli kuvvetinin (kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti) ölçülebilmesi için iki eksenle ölçüm yapabilen uzama ölçer (strain gauge) esaslı yekpare bir dinamometrenin yapılarak elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması planlanmıştır.

3.8.1 Dinamometrenin Tasarımı

Uzama ölçerlerin çok küçük gerinim aralıklarında çalışmaları düşünüldüğünde cıvata, perçin vb. birleştirme elemanlarından kaynaklanan boşlukların ölçüm hassasiyetini bozma olasılığı vardır. Birleştirme elemanlarının bu kötü etkilerinden kaçınmak için dinamometre tek parça halinde tasarlanmıştır. Dinamometrenin alt kısmında büyük kesme kenarı açısını (BKKA) değiştirebilmek amacıyla ayar kanalları açılmıştır. Böylece değişik yanaşma açılarında tornalama imkanı sağlanmıştır.

Katerin (25x25 mm) oturacağı bölüm 32x32 mm ölçülerinde tasarlanarak takım ucunun gezer puntanın ucuyla aynı seviyeye getirilebilmesinde esneklik sağlanmıştır. Kesme kuvvetini ölçmek için katerin yerleştirildiği bölümün altına ve üstüne birer adet ve ilerleme kuvvetini ölçmek için katerin yerleştirildiği bölümün sağ ve soluna birer adet olmak üzere toplam dört adet uzama ölçer kullanılmıştır. Şekil 3.17'de tasarlanan dinamometrenin teknik resmi verilmiştir.



Şekil 3.17 Dinamometrenin teknik resmi

3.8.2 Dinamometrenin İmalatı

Tasarlanan dinamometre V.D.F. klasik kopya torna tezgahı, FIRST MCV 600 CNC freze tezgahı ve elektro erozyon tezgahı kullanılarak üretilmiştir. Dinamometrede katerin bağlanacağı kare deliğin işlenmesi için 7 mm kalınlığında 32x32 mm ölçülerinde iki adet bakır elektrot hazırlanmış ve kullanılmıştır. Tablo 3.20'de elektro erozyon tezgahının özellikleri verilmiştir [91].

Dinamometrenin imalat aşamaları maddeler halinde sıralanmıştır.

- a. Silindirik ham malzemenin klasik tornada alın yüzeylerinin tornalanması.
- b. Silindirik ham malzemenin klasik tornada istenilen çapa getirilmesi.
- c. Katerin bağlanacağı bölümün alt kısmının klasik tornada işlenmesi.
- d. Katerin bağlanacağı bölümün dış yüzeylerinin CNC frezede işlenmesi.
- e. Dinamometrenin alt kısmının CNC frezede işlenmesi.
- f. Katerin bağlanacağı bölümün iç yüzeylerinin elektro erozyonda işlenmesi.
- g. Katerin sıkı bir şekilde bağlanabilmesi için dikdörtgen bölümün iki yüzeyine civata deliklerinin matkapla açılması ve kılavuz çekilmesi.

Tablo 3.25 Elektro erozyon tezgahının özellikleri [91]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	1983
Model adı	-	FURKAN EDM V3 M 25 A
DC volt	V	100
DC amper	A	25
İç hazne	mm	600 x 470
Z stroku	mm	200
Ark süresi	-	1-10
Ark koruma	-	1-4
Bekleme süresi ayarı	-	1-8
Güç seviyesi ayarlama	-	1, 1/2, 1/4, 1/8
Kafa hız ayarı	-	Var
Başlık kodu		EDM M2 15 K

3.8.3 Dinamometrenin Uzama Ölçerlerinin Yapıştırılması

İmalatı tamamlanan dinamometrenin uzama ölçer (strain gauge) yapıştırılacak olan dört yüzü sırasıyla 80, 220 ve 400 µm boyutlu kağıt zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalanan yüzeylere aseton döküldükten sonra her defasında temiz bir gazlı bez kullanılarak temizlenmiştir. Temizlenen yüzeylerde uzama ölçerlerin yapıştırılacağı bölgeler markalanmıştır. Uzama ölçerlerin dinamometreye yapışacak yüzeyine el ile

temas etmemek ve kirlenmesini önlemek için küçük bir cam plaka aseton ile temizlenip kurutulmuş ve uzama ölçerlerin hassas yüzeyi bu camın üzerine konmuş oradan da bir taşıma bandına transfer edilmiştir. Bu taşıma bandı markalama yapılan yere göre yüzeylere yapıştırılmıştır. Böylece uzama ölçerlerin tam olarak markalandığı yere yapıştırılması sağlanmıştır. Son olarak uzama ölçerlerin altına bir iki damla yapıştırıcı damlatılmış ve uzama ölçerlere baskı uygulanarak yapıştırılmıştır. Baskı, taşıma bandının üzerine teflon bant ile uygulanarak taşıma bandının el ile yapışması engellenmiştir. Baskı kuvveti 30-40 saniye kadar devam ettirilmiştir. Böylece yapıştırıcının kürleşmesi sağlanmıştır. Daha sonra taşıyıcı bant kaldırılmış ve uzama ölçerler bu haliyle bir gün süreyle beklemeye bırakılmıştır. Uzama ölçerler yapıştırıldıktan bir gün sonra çıkış tellerinin bağlantılarının daha sağlam olarak yapılabilmesi amacıyla uzama ölçerlerin yanına iki adet pertinax yapıştırılmıştır. Uzama ölçerlerin uçları bu pertinakslara lehimlenmiştir. Bu lehimlerden gerekli kablo bağlantıları yapılmıştır. Ayrıca uzama ölçerlerin kesme işlemlerinde talaşlardan ve dış etkilerden zarar görmemesi için bir şeffaf muhafaza tasarlanmış ve imalatı yapılarak dinamometreye monte edilmiştir. Tablo 3.26'da uzama ölçerlerin özellikleri ile Şekil 3.18'de üzerine uzama ölçerler yapıştırılmış, lehim bağlantıları yapılmış ve muhafazası takılmış dinamometre görülmektedir.

Tablo 3.26 Uzama ölçerlerin (strain gauge) özellikleri [92]

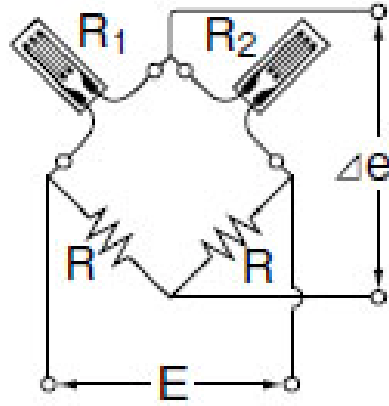
Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	TML-F serisi
Uzama ölçer tipi	-	FLA-10-11
Uzama ölçer ızgara uzunluğu	mm	10
Uzama ölçer ızgara genişliği	mm	2.5
Uzama ölçer gövde uzunluğu	mm	16.7
Uzama ölçer gövde genişliği	mm	5
Uzama ölçer direnci	ohm	120 ± 0.3
Uzama ölçer faktörü (Gauge factor)	-	2.09 ± % 1
Çapraz hassasiyet	%	-0.4
Uygulanabilir sıcaklık telafisi	ppm/°C	11 x10 ⁻⁶
Test edilmiş şartları	-	23 °C ve 50 % nem oranı



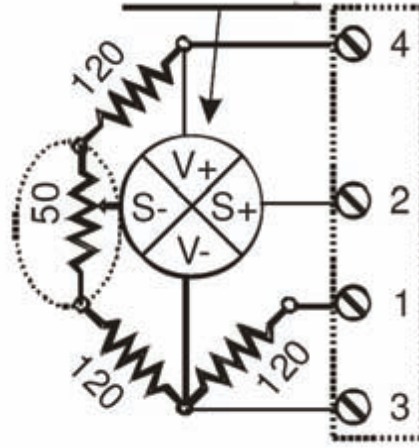
Şekil 3.18 Uzama ölçerli ve muhafazalı dinamometre

3.8.4 Wheatstone Köprü Devre Bağlantılarının Yapılması

Dinamometrenin üst ve alt yüzeyine yapıştırılan ve kesme kuvvetini ölçmek için kullanılacak olan uzama ölçerler yarım Wheatstone köprü devresi şeklinde bağlantıları yapılmıştır. Aynı işlem sağ ve sol yüzeylere yapıştırılan ve ilerleme kuvvetini ölçmek için kullanılacak olan uzama ölçerler için de yapılmıştır. Veri toplama sistemine uzama ölçerleri yarım Wheatstone köprü devresi şeklinde bağlamak için özel bir data kablosu kullanılmıştır. Kablo üzerinde bulunan bağlantı terminalleri yarım ya da çeyrek köprü bağlantısı için uygundur. Kablo içinde gerinim sıfırlama işlevli ayar trimpotu, köprü tamamlama dirençleri ve vidalı bağlantı terminalleri vardır. Data kablosu uzama ölçer ile veri toplama sistemi arasındaki kablolardan doğan elektriksel gürültü ve kablo direnci etkisini en aza indirmekte, sıcaklık kompanzasyonu sağlamakta ve düşük gürültü seviyeli ölçümleri olanaklı hale getirmektedir. Şekil 3.19'da yarım Wheatstone köprü devresinin çizimi, Şekil 3.20'de kablo içindeki gerinim sıfırlama işlevli ayar trimpotu ve Tablo 3.27'de kullanılan data kablosunun özellikleri verilmiştir [93].



Şekil 3.19 Yarım Wheatstone köprü devresi [93]



Şekil 3.20 Gerinim sıfırlama işlevli ayar trimpotu [93]

Tablo 3.27 Data kablosunun özellikleri [93]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	TDG Q-cable
Köprü tamamlama direnci	ohm	120 ± % 0.1 toleranslı 15 ppm sıcaklık katsayılı
Ayar trimpotu	-	15 turlu 50 ohm 100 ppm sıcaklık katsayılı
Uç tipi	-	Standart MIC tipi 4 uçlu
Uzunluk	m	3.3
Diğer	-	Kılıflı, 4 damarlı

3.8.5 Veri Toplama Sistemi ile Bilgisayar Bağlantısı

Dinamometreden gelen analog sinyalleri dijital sinyallere çevirip yükselterek bilgisayar ortamına aktarmak için sekiz kanallı bir veri toplama sistemi kullanılmıştır. Kesme kuvveti için bir kanal ilerleme kuvveti için de bir kanal ayarlanmıştır. Veri toplama sistemi bir aygıt geçidi ile bilgisayara kart gereksinimi olmadan USB bağlantısı ile yapılmıştır. Tablo 3.28'te genel amaçlı statik veri toplama sisteminin özellikleri verilmiştir[94].

Tablo 3.28 Genel amaçlı statik veri toplama sisteminin özellikleri [94]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	TESTBOX1001
Ölçüm çözünürlüğü	-	16 bit / ± 10 V ölçüm bölgesi /65536 adım / 0.000305 V hassasiyet
Kanal sayısı	adet	Tek cihazda 8 kanal
Sinyal işleme	-	Her kanal tümleşik bağımsız sinyal işleme altyapısına sahiptir
Veri toplama hızı	örnek/saniye	8
Düşük gürültü	dB	SNR \geq 72 (SNR,Signal-to-Noise Ratio)
Ölçüm aralığı	-	± 10 mV seviyesinden ± 10 V seviyesine kadar
Kanal kazançları	-	1/150/247/396/494/643/740/890 her kanal için bağımsız ayarlanabilir
İkaz gerilimi	V	5V/10V seçilebilir ikaz gerilimi her kanal için bağımsız ayarlanabilir
Polarite		Bipolar ± 10 V
Konnektör yapısı	-	DSUB9
Çalışma sıcaklığı	$^{\circ}$ C	10 -35 - Önerilen 25 $^{\circ}$ C

Aygıt geçidi, bilgisayar ile veri toplama birimleri arasındaki köprüdür. Aygıt geçidi üzerindeki ledli uyarılar, veri toplama birimleri ile bilgisayar arasındaki iletişim hakkında sürekli kullanıcıyı haberdar eder. Veri toplama sisteminin aygıt geçidi ile masa üstü bilgisayara bağlantısı yapılmıştır. Tablo 3.29'te aygıt geçidinin özellikleri verilmiştir [95].

Tablo 3.29 Aygıt geçidinin özellikleri [95]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	TDG Aygıt geçidi
USB 2.0 ara yüzü	-	Var
RS485 ara yüzü	-	Var
Veri akışı	-	Mikroişlemci kontrollü
Haberleşme alt yapısı	-	Optik izolasyonlu
Diğer	-	Haberleşme durumunu gösteren ledler, düşük güç tüketimi

Veri toplama sisteminden gelen verilerin bilgisayar ortamında değerlendirilmesi için veri toplama sistemi ile birlikte gelen ve bilgisayara kurulmuş olan bir yazılım kullanılmıştır. Bu sayede dinamometreden gelen verileri bilgisayar ortamında hem canlı olarak izleyebilme hem de kayıt altına alabilme olanağı sağlanmıştır. Tablo 3.30'da genel amaçlı veri toplama yazılımının özellikleri verilmiştir [96].

Tablo 3.30 Genel amaçlı statik veri toplama yazılımının özellikleri [96]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	TESTLAB BASIC
Haberleşme	-	64 kanala kadar
Veri toplama hızı	-	Kanal başı 8 örnek/saniye'den 1 örnek/saat'e
Veri kaydetme	-	MS EXCEL vb. programlarla açılabilen csv formatında
Grafik kaydetme	-	İstenildiği anda BMP formatında
Çoklu kanal sıfırlama	-	Var
Dil desteği	-	Türkçe, İngilizce
Kanallar arası matematiksel işlem oluşturma	-	Var
Kalibrasyon	-	Çok noktalı, Ax+B doğrusallaştırması, Sertifika bilgileri girilerek
Otomatik kanal kazancı hesaplama	-	mV çıkışlı algılayıcılarda
Dinamik olarak grafik eksenlerini ayarlayabilme	-	Var

3.8.6 Dinamometrenin Yük Dayanım Hesabı

Dinamometre üst kızağa tespit noktasından itibaren tamamıyla yekpare olup katerle birlikte rijit ve tek bir kütle gibi çalışmaktadır. Katerin standart uzunluğu dinamometre içerisinden boyuna geçmekte olup bulunduğu yerde dinamometre gövdesi ile oldukça sıkı bir bağlantı oluşturmaktadır. Kater birbirine dik iki yüzeyinden tamamen tüm yüzey boyunca boşluksuz temaslıdır. Diğer iki yüzey ise toplam 10 civata ile dinamometre gövdesine birlikte bağlıdır.

Dinamometre katerle birlikte sistem talaş kaldırmaya hazır haldeyken bir ucu yüklenen ankestre bir kesit halindedir ve bu duruma göre yük etkisiyle elastik salınım yapan elaman olarak düşünülebilir. Bu durumda eğilme gerilmesi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W} \leq \frac{\sigma_{ak}}{S} \quad (3.1)$$

Denklemden dinamometre malzemesi AISI 1020'nin akma dayanımı 2 kat emniyetle 147.4 MPa olarak alınmıştır. Emniyet dayanımına göre sisteme uygulanabilecek en büyük yük değeri 12883.904 N olarak hesaplanmıştır. Çalışmada 2.5 mm pasoda dahi tahmini 2000 N'un altında kuvvetlerle çalışılacağından dinamometre fazlasıyla yeterlidir.

En büyük gerilme ankestre nokta tarafında olacağından uzama ölçerler tasarıma ve talaşlı imalata engel olmayacak şekilde bu tarafa olabildiğince yakın yerleştirilmiştir. Dolayısıyla tam bu noktada algılanacak gerinim gerilme değerleri önemlidir. Bu da denklem 3.1 ile ilgili nokta dikkate alınarak ilgili yerdeki eğilme momenti hesabıyla hesaplanmıştır.

Örneğin 100 N için gerilme değeri 0.234 MPa ve gerinim ise 1.112×10^{-6} olarak hesaplanmıştır. Buradaki gerinim değerleri dikkate

alındığında yapılan tasarım dinamometre için olması gereken en küçük gerinim değerlerini ölçebilme kriterine uymaktadır.

Kater kesiti ile dinamometredeki uzama ölçerlerin yapıştırıldığı yerlerdeki kesitler farklıdır. Dolayısıyla bu noktalarda kesit dayanım kontrolü amacıyla yapılan hesaplamada çalışmada 2000 N değerine çıkılmamış olmasına rağmen bu değer dikkate alınarak emniyetli eğilme dayanımı 19.2 MPa olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla oldukça emniyetlidir.

3.8.7 Dinamometrenin Takım Ucundaki Sehim Hesabı

Sistemimizde kater kesiti ve uzama ölçerlerin yapıştırıldığı yerlerdeki kesitlerin tamamı kare kesitlidir. Bu nedenle ankastre dörtgen kesitli bir çubuğun ucuna yük etkidiğinde uçta oluşabilecek sehim aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f_{us} = \frac{4Fl^3}{EBH^3} \quad (3.2)$$

Burada maksimum yük dikkate alınmıştır ve buna göre uçta 0.001776 mm'lik bir sehim meydana gelebilir. Bu değer takım ucunda olmasında gereken kabul edilebilir sehim değerlerinin altındadır.

3.8.8 Dinamometrenin Doğal Frekansının Hesaplanması

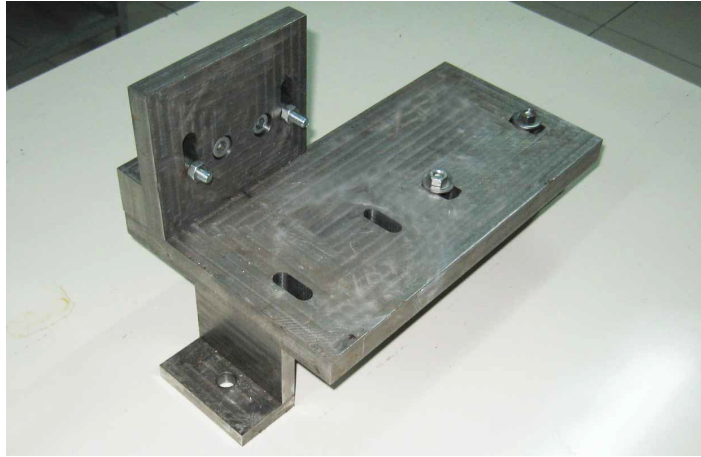
Bölüm 2.5.1'de bahsedildiği gibi dinamometrenin doğal frekansının çalışma frekansından olabildiğince uzak olması istenir. Sistem ankastre bir çubuk şeklinde olduğundan burada yay sabiti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$k_{tr} = \frac{EBH^3}{4.L^3} \quad (3.3)$$

Buradan yay sabiti 9241.573 MN/m olarak hesaplanmış ve denklem 2.31'de yerine konarak dinamometrenin doğal frekansı 784.482 Hz olarak bulunmuştur. Deneylerde kullanılan en büyük devir 1000 dev/dak ve frekansı 16.667 Hz olduğundan dinamometrenin doğal frekansı çalışma frekansından yaklaşık olarak 21 kat büyüktür. Böylece dinamometrenin doğal frekansının çalışma frekansından en az 4 kat büyük olması kriteri de fazlasıyla sağlanmıştır.

3.8.9 Dinamometrenin Statik Kalibrasyonu

Dinamometrenin statik kalibrasyonu için dinamometreye iki eksen de statik yükleme yapabilen bir *sistem* tasarlanmış ve üretilmiştir. Ayrıca statik yükleri uygulayabilmek için bir *kalibrasyon düzeneği* tasarlanmış ve üretilmiştir. Şekil 3.51'de statik yükleme sistemi ve Şekil 3.21'de statik yükleme kalibrasyon düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.21 Statik yükleme sistemi



Şekil 3.22 Statik yükleme kalibrasyon düzeneği

Statik yükleme sistemine bağlanan dinamometrenin ilk olarak kesme kuvveti kalibre edilmiştir. Dinamometre statik yükleme sistemine, statik yükleme sistemi de kalibrasyon düzeneğine sabitlenmiştir. Dinamometrenin bilgisayara bağlantısı veri toplama sistemi ile sağlanmıştır. Deney düzeneğinin ağırlığı 100 N olarak ayarlanmış ve 0 N'dan başlayarak 100'er N aralıklarla 1000 N'a kadar yükleme yapılmıştır. Her 100 N yüklemeye karşılık gelen mikro gerinimler bilgisayara kayıt edilmiştir. 1000 N'a geldikten sonra tekrar 100'er N aralıklarla 0 N'a inilmiştir. Her 100 N azaltmaya karşılık gelen mikro gerinimler bilgisayara kayıt edilmiştir. Her yüklemede 30 sn beklenmiştir.

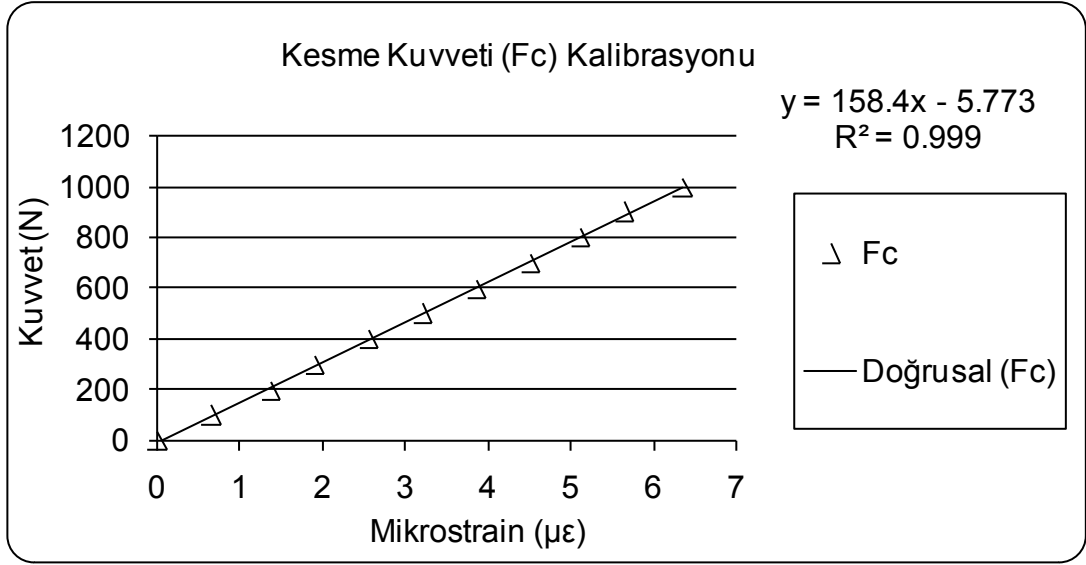
Deneyler her yükleme için 3 kez tekrarlanmıştır. Aynı işlemler ilerleme kuvvetinin kalibrasyonu için de yapılmıştır. Bunun için dinamometre statik yükleme sistemine 90° döndürülmüş şekilde tespit edilmiştir. Deneylerde her iki kuvvet için veri toplama sisteminin kazanç değeri 492.2 alınmıştır. Deneyler sonucunda her iki ekseninde dinamometrenin doğrusala çok yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Tablo 3.31'de kesme kuvveti kalibrasyon sonuçları, Tablo 3.32'de ilerleme kuvveti kalibrasyon sonuçları, Şekil 3.23'te kesme kuvveti kalibrasyon grafiği ve Şekil 3.24'te ilerleme kuvveti kalibrasyon grafiği görülmektedir.

Tablo 3.31 Kesme kuvveti statik kalibrasyon değerleri

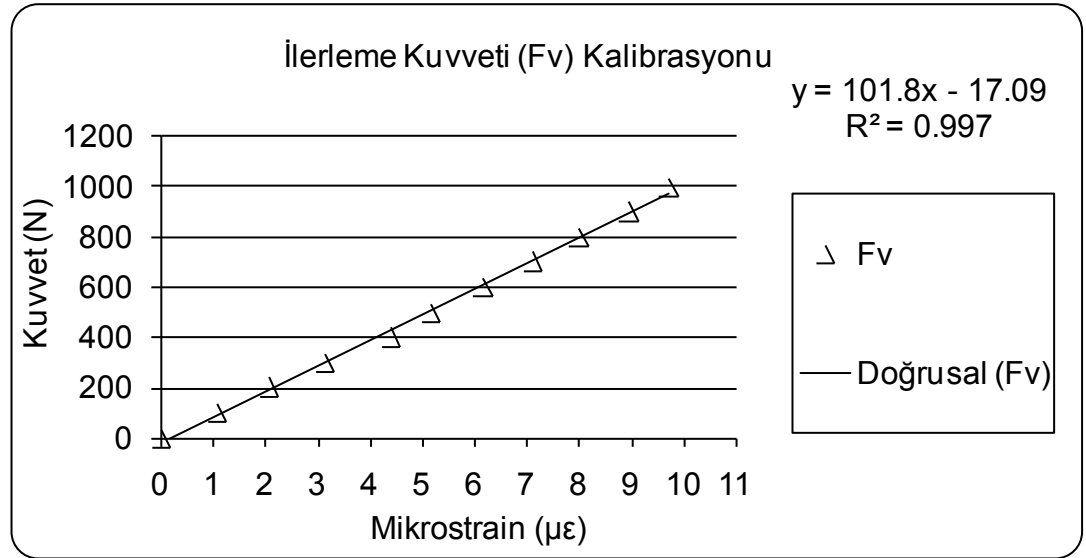
Yük (N)	Mikrostrain (küçükten büyüğe)		Mikrostrain (büyükten küçüğe)		0 'lı değerler	
	1nci ölçüm	Farkı	2nci ölçüm	Farkı	Ortalama	Farkı
0	0.0000		0.0000		0.0000	
100	0.7116	0.7116	0.5930	0.5930	0.6523	0.6523
200	1.5418	0.8302	1.1860	0.5930	1.3639	0.7116
300	2.0162	0.4744	1.7790	0.5930	1.8976	0.5337
400	2.7278	0.7116	2.3720	0.5930	2.5499	0.6523
500	3.4395	0.7117	2.9651	0.5931	3.2023	0.6524
600	4.0325	0.5930	3.6767	0.7116	3.8546	0.6523
700	4.7441	0.7116	4.2697	0.5930	4.5069	0.6523
800	5.2185	0.4744	4.9813	0.7116	5.0999	0.5930
900	5.6929	0.4744	5.5743	0.5930	5.6336	0.5337
1000	6.4045	0.7116	6.2859	0.7116	6.3452	0.7116
	1nci farklar ort.	0.6405	2nci farklar ort	0.6286	Fark ortalaması	0.6345

Tablo 3.32 İlerleme kuvveti statik kalibrasyon değerleri

Yük (N)	Mikrostrain (küçükten büyüğe)		Mikrostrain (büyükten küçüğe)		0 'lı değerler	
	1nci ölçüm	Farkı	2nci ölçüm	Farkı	Ortalama	Farkı
0	0.0000		0.0000		0.0000	
100	1.4238	1.4238	0.7119	0.7119	1.0679	1.0679
200	2.3730	0.9492	1.7798	1.0679	2.0764	1.0086
300	3.4409	1.0679	2.8476	1.0678	3.1443	1.0679
400	4.8647	1.4238	3.9155	1.0679	4.3901	1.2459
500	5.8139	0.9492	4.5087	0.5932	5.1613	0.7712
600	6.8817	1.0678	5.4579	0.9492	6.1698	1.0085
700	7.8309	0.9492	6.4071	0.9492	7.1190	0.9492
800	8.7801	0.9492	7.2387	0.8316	8.0094	0.8904
900	9.7293	0.9492	8.1869	0.9482	8.9581	0.9487
1000	10.4412	0.7119	9.0174	0.8305	9.7293	0.7712
	1nci farklar ort.	1.0441	2nci farklar ort	0.9017	Fark ortalaması	0.9729



Şekil 3.23 Kesme kuvveti statik kalibrasyonu



Şekil 3.24 İlerleme kuvveti statik kalibrasyonu

3.9 DeneYlerde Kullanılan Takımlar

Boyuna tornalama deneylerinde beş farklı malzemenin işlenebilirlik verilerine değişik takım tiplerinin etkisinin belirlenmesi amacıyla üç farklı kalite sert metal takımın (P, M ve K) kullanılması planlanmıştır.

Bu takımlar takım çeşitlerinin en genel tipleridir ve bir genel yargıya varabilmek için yeterlidir. Tablo 3.33'te sert metal takımların özellikleri [97-99] ile Şekil 3.25'te üç farklı kalite sert metal takımlar gösterilmiştir.

Tablo 3.33 Sert metal takımların özellikleri [97-99]

Özellik	Birimi	P kalite	M kalite	K kalite
Model yılı	yıl	2009	2009	2009
Model adı	-	ISCAR TPGN 160308	ISCAR TPGN 160308	ISCAR TPUN 160308
Kesme hızı	m/dak	80 - 110	150 - 250	80 - 110
İlerleme	mm/dev	0.15 - 0.40	0.15 - 0.40	0.15 - 0.40
Paso	mm	1 - 4	1 - 4	1 - 4
Kalınlık	mm	3.17	3.17	3.17
iç yarıçapı	mm	9.520	9.520	9.520
Kenar uzunluğu	mm	16	16	16
Uç yarıçapı	mm	0.8	0.8	0.8
Talaş açısı	°	0	0	0
Serbest açı	°	11	11	11
Kama açısı	°	79	79	79
Uç açısı	°	60	60	60
Ön serbest açı	°	11	11	11
Eğim açısı	°	0	0	0
Sınıfı	-	IC54	IC9054	IC520M
Kalite	-	P 30	M 30	K 30
Kaplama tipi	-	Kaplamasız	CVD	CVD
Kaplama özellikleri	-	-	TiCN Al ₂ O ₃ TiN	TiCN



Şekil 3.25 Sert metal (P, M ve K kaliteleri) takımlar

3.10 DeneYlerde Kullanılan Takım Tutucu

DeneYlerde kullanılacak olan sert metal takımlar için üstten tespitli bir takım tutucu seçilmiştir. Şekil 3.26'de üstten tespitli takım tutucu ile Tablo 3.34'de takım tutucunun özellikleri verilmiştir [100].



Şekil 3.26 Üstten tespitli takım tutucu

Tablo 3.34 Katerin özellikleri [100]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	CTGPR 2525M-16
Yükseklik	mm	25
Genişlik	mm	25
Kater uzunluğu	mm	150
Talaş açısı	°	6
Eğim açısı	°	0
Kater tipi	-	Sağ

3.11 DeneYlerde Kullanılan Torna Tezgahı

DeneYler Tezsan SN 45C üniversal torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.35'te torna tezgahının özellikleri verilmiştir [100].

Tablo 3.35 Ünlversal torna tezgahının özellikleri [101]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	1983
Model adı	-	Tezsan SN 45C
Maksimum tornalama çapı	mm	450
Maksimum tornalama boyu	mm	1500
Maksimum enine hareket	mm	300
Maksimum devir	dev/dak	2000
Güç	kW	5.5
Müsaade edilen maksimum döndürme momenti	Nm	1000
İş mili kademe sayısı Yavaş ve hızlı kademede	adet	12
Hızlı devirde iş mili devir sayıları aralığı	dev/dak	45-2000
Yavaş devirde iş mili devir sayıları aralığı	dev/dak	22-1000
İlerleme kademe sayısı	adet	38
Boyuna ilerleme aralığı	mm/dev	0.05-0.8
Enine ilerleme aralığı	mm/dev	0.025-0.4
Ağırlık	Kg	1815

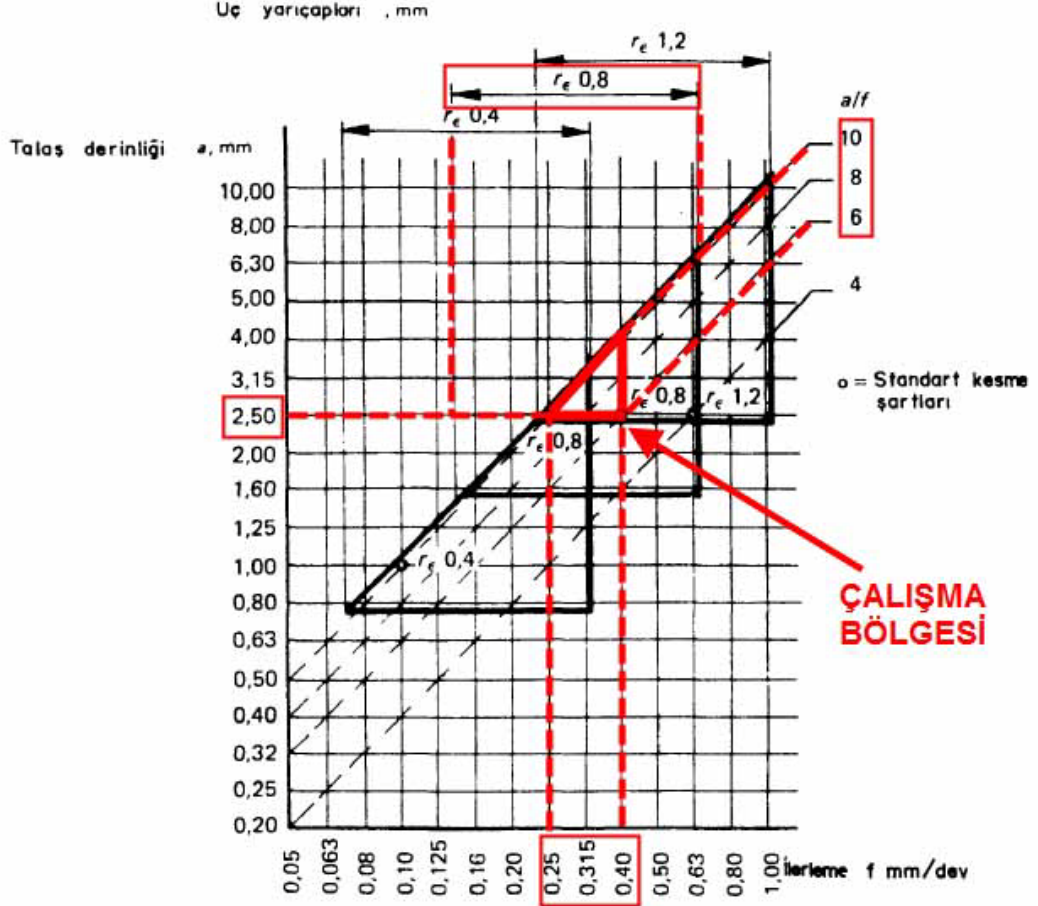
3.12 Deney Parametrelerinin Seçimi

Deneylerde kullanılan paso, ilerleme, büyük kesme kenarı açısı (BKKA), takım uç yarı çapı, kesme hızı vb. önemli parametreler *TS 10329 Torna Kalemleri-Ömür Deneyi* standardında belirtildiği şekilde seçilmiştir. Tablo 3.36'da standartta istenen değerler ile deneylerde kullanılan değerlerin kıyaslaması verilmiştir.

Tablo 3.36 Standart ile deneydeki parametrelerin karşılaştırması

Özellik	TS 10329	Deneyler
Uzunluk / ap oranı	Maksimum 10	110/43=2.56
Kater boyutları	25x25 mm	25x25 mm
Uç yarıçapı	0.4, 0.8, 1.2	0.8
Azami paso	İlerlemenin 10 katı	2.5 / 0.24= 10.42
Asgari paso	Uç yarıçapının 2 katı	0.24 > 1.6 (2x0.8)
Azami ilerleme	Uç yarıçapının 0.8 katı	0.40 < 0.64 (0.8x0.8)
BKKA	75°	75°
Kesme hızı	100 m/dak	100 m/dak

Şekil 3.27’de standartta kesme şartlarının sınırlarını belirleyen grafik gösterilmiştir. Yine grafikte deneylerde kullanılan parametreler kesik çizgilerle belirtilmiştir. Bu çizgilerin kesiştiği üçgen bir çalışma bölgesi oluşturmuştur ve bu bölge kesme şartlarının sınırları içerisinde.



Şekil 3.27 TS 10329'a göre çalışma sınırları

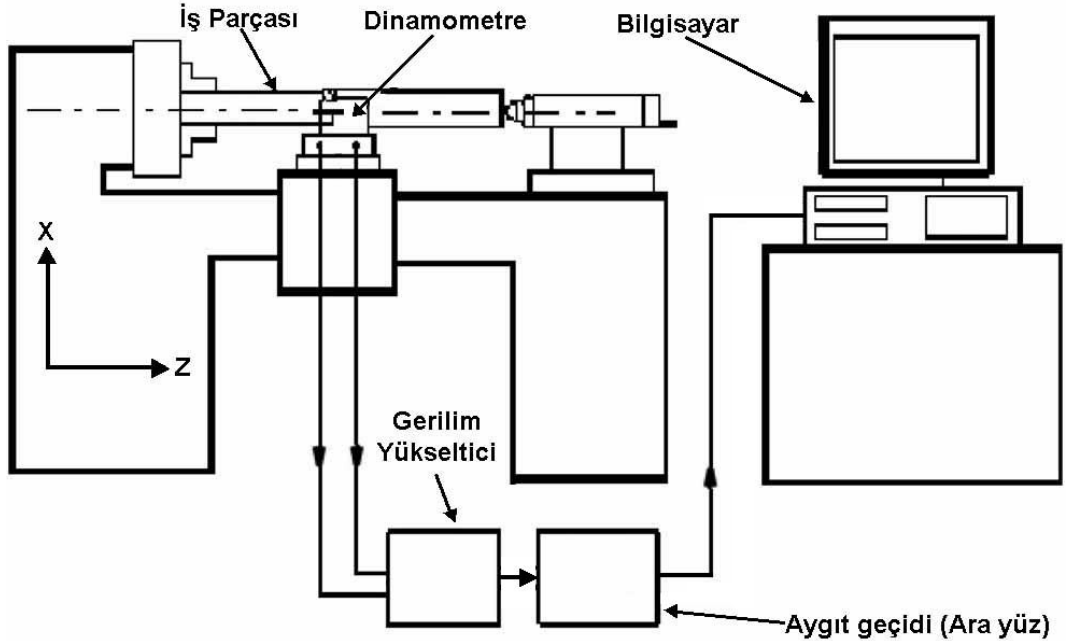
3.13 Deney Planı ve Deneylerin Yapılması

Deneylere başlamadan önce yapılan ön testler sonucunda parçacıklı kompozitin tüm takım kalitelerinde hızlı ve düzensiz takım aşınmasına sebep olduğu görülmüştür. Parçacıklı kompozit malzemede takviye elemanı olarak kullanılan kuvarsın çok sert olmasının bu aşınmaya sebep olduğu

düşünülmektedir. Bu nedenle parçacıklı kompozit malzeme deney kapsamında çıkartılmıştır.

AISI 1050 çeliği ile sade, tabakalı ve elyafli kompozitler sert metal P, M ve K kalitelerindeki takımlarla, 2.5 mm sabit pasoda, 75° sabit BKKA'da, 6° talaş açısında, 5° boşluk açısında, 100 m/dak kesme hızında ve 3 farklı ilerleme (0.24 mm/dev, 0.32 mm/dev ve 0.40 mm/dev) değerlerinde işlenmişlerdir. Deneyler sonucunda oluşan kesme ve ilerleme kuvvetleri bulgular bölümünde verilmiştir.

Numuneler işlenmeden önce deney düzeneği yarım saat çalıştırılarak sistemin kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Tüm malzemeler 42 mm çapa düşürülerek hem salgı önlenmiş hem de çap eşitlenmiştir. İşleme esnasında oluşan kesme ve ilerleme kuvvetleri dinamometre ile ölçülerek veri toplama sistemine, oradan da aygıt geçidi ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.28'de kurulan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.28 Kurulan deney düzeneği [36]

Takım aşınmaları 15 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 4 adet (AISI 1050, sade, tabakalı ve elyafli malzemeler için birer adet) sert metal M takım kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde paso 1.6 mm, BKKA 75° ve ilerleme 0.24 mm/dev alınmıştır. Kesme hızının 60-85 m/dak aralığında kalmasına dikkat edilmiştir. Deney süresi uzun olduğundan tüm numuneler 42 mm çaptan 19.6 mm çapa inene kadar işleme devam edilmiş kesme hızının 60-85 m/dak aralığında kalması için gerekli pasolarda devir sayıları değiştirilmiştir. Aşınma süresinin tamamlanması için her malzeme türünden 10 numune kullanılmıştır. Son numunede toplam süre 900 sn (15 dakika) olunca deney durdurulmuştur. Tablo 3.37’de tüm malzemeler için aşınma deney planı verilmiştir.

Tablo 3.37 Bir numune için aşınma deney planı

Paso	Devir (dev/dak)	Mesafe (mm)	Süre (sn)	Top. süre (sn)	Kesme hızı (m / dak)	İlk çap (mm)	Son çap (mm)	Ort. çap (mm)
İlk Numune (1)								
1	500	40	20	20	63.49	42	38.8	40.4
2	710	40	14	34	83.01	38.8	35.6	37.2
3	710	40	14	48	75.87	35.6	32.4	34
4	710	40	14	62	68.73	32.4	29.2	30.8
5	710	40	14	76	61.59	29.2	26	27.6
6	1000	40	10	86	76.69	26	22.8	24.4
7	1000	40	10	96	66.63	22.8	19.6	21.2
Son Numune (10)								
1	500	40	20	887	63.49	42	38.8	40.4
2	710	40	14	901	83.01	38.8	35.6	37.2

Aşınma deneyleri yapılırken takımdaki aşınmaların kesme ve ilerleme kuvvetlerine etkisini araştırmak amacıyla 0, 5, 10 ve 15nci dakikalarda kesme ve ilerleme kuvvetleri ölçülmüştür. Bu ölçümler bulgular bölümünde verilmiştir. Aşınma deneyleri sonrası tüm takımlara SEM incelemesi yapılarak takımlardaki aşınma mekanizmaları ve tipleri belirlenmeye çalışılmıştır. SEM görüntüleri bulgular bölümünde verilmiştir. Tablo 3.36’da SEM cihazının özellikleri verilmiştir [102].

Tablo 3.38 SEM cihazının özellikleri [102]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2008
Model adı	-	Carl Zeiss AG-EVO® 40 serisi
Çözünürlük	-	3nm-4.5@ 30 kV
İvmelenme voltajı	kV	0.2-30 kV
Büyütme	x	7x-1000000x
Basınç aralığı	Pa	5-750 (hava), 5-3000(hava) 5-2000(su buharı)
Tabla	mm	Çap 310, yükseklik 220
5 eksen motor	mm	X 80, Y 80, Z 35, T 0°-90°, R 360°
Görüntü işleme çözünürlüğü	piksel	3072x2304
Çalışma voltajı	V	100-240
Çalışma frekansı	Hz	50-60
Faz	-	Monofaze

Aşınma deneylerinden önce ve sonra tüm takımlar 1\10000 g hassasiyetli dijital terazi ile tartılarak ağırlıklarındaki değişimler ölçülmüştür. Takımlar tartılmadan önce alkol ile silinmiş ve kurumaları beklenmiştir. Ağırlıklar 3 kez yapılan ölçümlerin ortalamalarıdır. Tablo 3.37’de 1\ 10000 g hassasiyetli dijital terazinin özellikleri verilmiştir [103]. Aşınma deneyi öncesi ve sonrası yapılan ağırlık ölçüm sonuçları bulgular bölümünde verilmiştir.

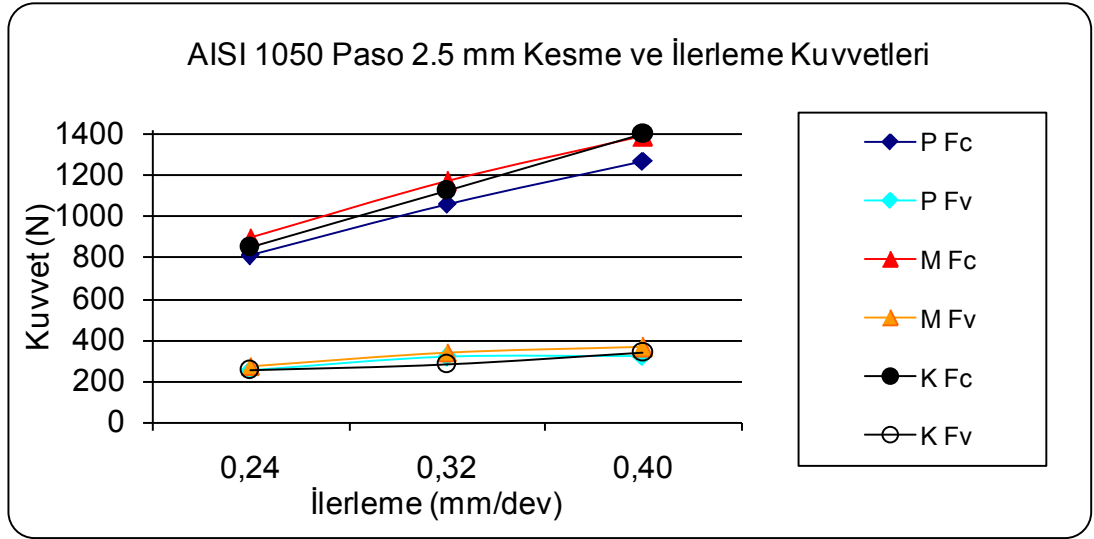
Tablo 3.39 1\10000 g hassasiyetli dijital terazinin özellikleri [103]

Özellik	Birimi	Değeri
Model yılı	yıl	2009
Model adı	-	AND 200
Kapasite	g	210
Hassasiyet	g	0.0001
Doğrusallık	mg	±0.2
Tekrarlanabilirlik	mg	0.1
Minimum Sayım	mg	0.1
Minimum	%	0.01% , 0.1% , 1% otomatik
Gösterge yinelemesi	adet	Kararlıyken sn’de 5 kez, Kararsızken sn’de 10 kez
Terazi Ebadı	mm	249 (G) X 330 (D) X 327 (Y)
Koruma Kabini	mm	178 (G) X 160 (D) X 233 (Y)
Ağırlık	Kg	6
Kalibrasyon standardı	-	ISO 9000

4. BULGULAR

4.1 Kuvvetler

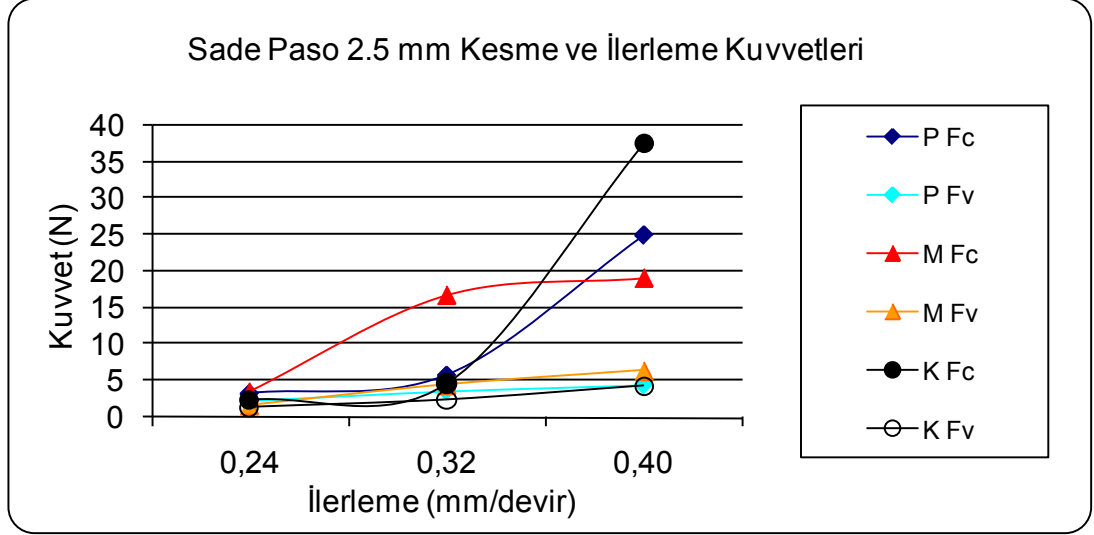
4.1.1 İlerlemenin AISI 1050 Malzemesinde Kuvvetlere Etkisi



Şekil 4.1 İlerlemenin AISI 1050 malzemedeki kuvvetlere etkisi

Şekil 4.1’de ilerlemenin 75° büyük kesme kenarı açısında AISI 1050 malzemesinde kuvvetlere etkisi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde her takım kalitesi için ilerleme değerinin artması ile kesme ve ilerleme kuvvetlerinin arttığı, en büyük kesme kuvvetinin (1395.668 N) 0.4 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu, en düşük kesme kuvvetinin (846.439 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu, en büyük ilerleme kuvvetinin (340.007 N) 0.4 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu ve en düşük ilerleme kuvvetinin (249.452 N) 0.4 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu görülmektedir.

4.1.2 İlerlemenin Sade Kompozitte Kuvvetlere Etkisi

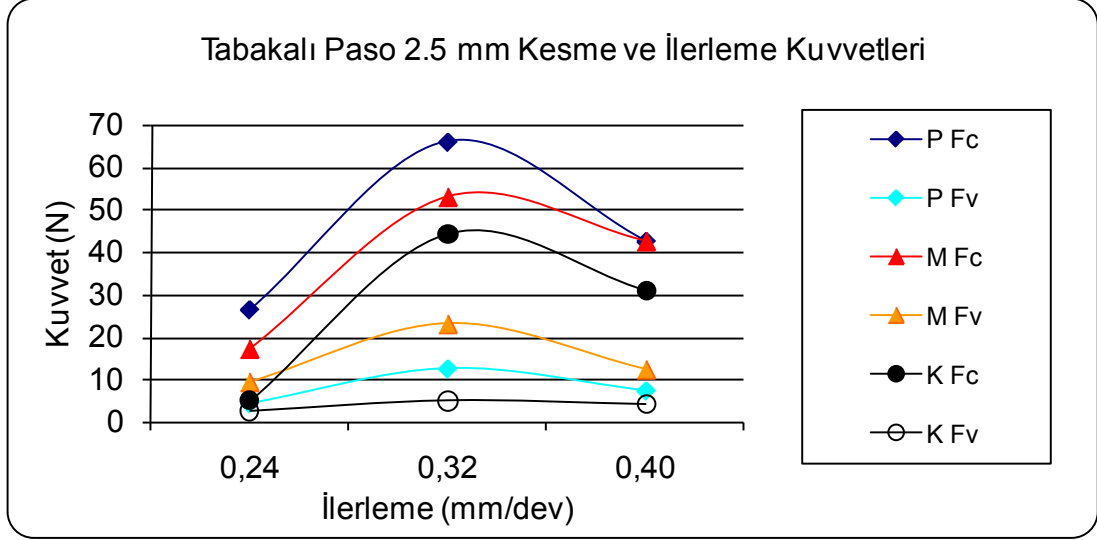


Şekil 4.2 İlerlemenin sade malzemede kuvvetlere etkisi

Şekil 4.2’de ilerlemenin 75° büyük kesme kenarı açısında sade kompozit malzemede kuvvetlere etkisi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kesme ve ilerleme kuvvetlerinin 1.5-40 N aralığında kaldığı, ilerleme değerinin artması ile her takım kalitesi için kesme kuvvetinin arttığı, en büyük kesme kuvvetinin (37.512 N) 0.4 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu, en düşük kesme kuvvetinin (2.345 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu, en büyük ilerleme kuvvetinin (6.457 N) 0.4 mm/dev ilerleme değerinde M takımında olduğu ve en düşük ilerleme kuvvetinin (1.453 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu görülmektedir.

Şekil 4.2 ile Şekil 4.1 kıyaslandığında sade kompozitten elde edilen kesme kuvvetlerinin AISI 1050 malzemesinden elde edilen kesme kuvvetlerinin % 0.4’ü ile % 2.7’si aralığında olduğu, sade kompozitin ilerleme kuvvetlerinin AISI 1050 malzemesinin ilerleme kuvvetlerinin % 0.6’sı ile % 1.8’i aralığında olduğu görülmektedir.

4.1.3 İlerlemenin Tabakalı Kompozitte Kuvvetlere Etkisi

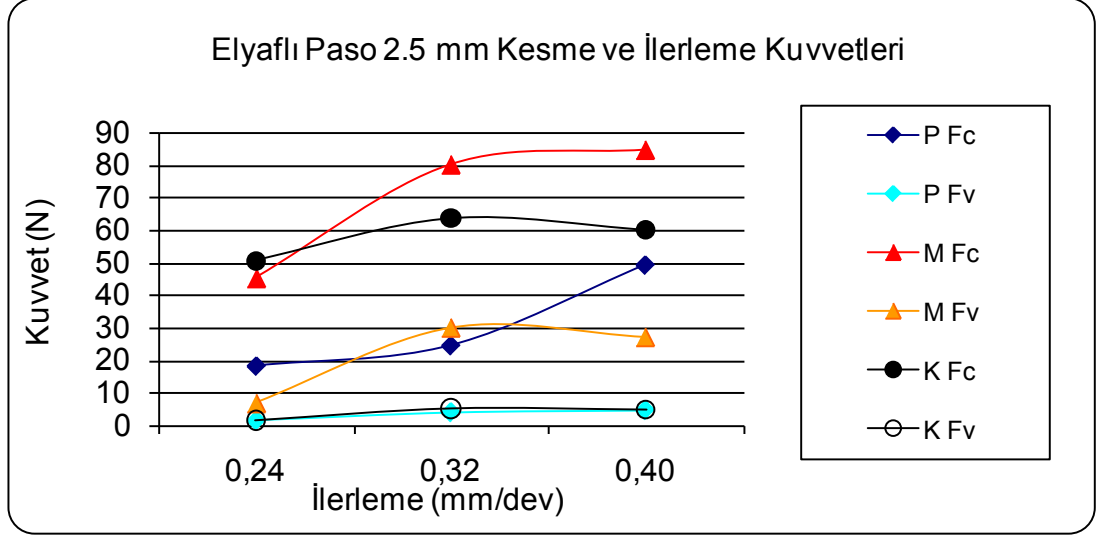


Şekil 4.3 İlerlemenin tabakalı malzemede kuvvetlere etkisi

Şekil 4.3'te ilerlemenin 75° büyük kesme kenarı açısında tabakalı kompozit malzemede kuvvetlere etkisi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kesme ve ilerleme kuvvetlerinin 2.5-70 N aralığında kaldığı, 0.40 mm/dev ilerleme değerinde K takımın ilerleme kuvveti dışında tüm kuvvetlerin 0.32 mm/dev ilerleme değerine göre düşük çıktığı, en büyük kesme kuvvetinin (65.978 N) 0.32 mm/dev ilerleme değerinde P takımında oluştuğu, en düşük kesme kuvvetinin (5.029 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde K takımında oluştuğu, en büyük ilerleme kuvvetinin (23.149 N) 0.32 mm/dev ilerleme değerinde M takımında oluştuğu ve en düşük ilerleme kuvvetinin (2,493 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde K takımında oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.3 ile Şekil 4.1 kıyaslandığında tabakalı kompozitten elde edilen kesme kuvvetlerinin AISI 1050 malzemesinden elde edilen kesme kuvvetlerinin % 0.6'sı ile % 6.3'ü aralığında olduğu, tabakalı kompozitin ilerleme kuvvetlerinin AISI 1050 malzemesinin ilerleme kuvvetlerinin % 1' ile % 6.9'u aralığında olduğu görülmektedir.

4.1.4 İlerlemenin Elyafli Kompozitte Kuvvetlere Etkisi



Şekil 4.4 İlerlemenin tabakalı malzemede kuvvetlere etkisi

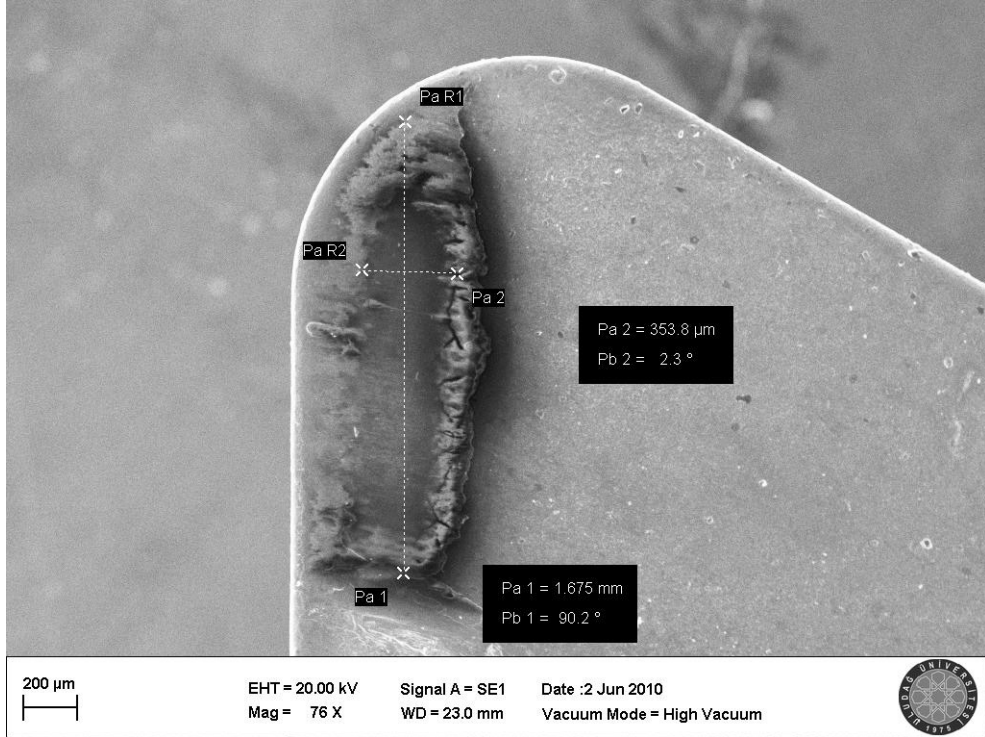
Şekil 4.4'te ilerlemenin 75° büyük kesme kenarı açısında elyafli kompozit malzemede kuvvetlere etkisi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kesme ve ilerleme kuvvetlerinin 1.2-85 N aralığında kaldığı, P takımın kuvvetleri dışında 0.40 mm/dev ilerleme değerinde tüm kuvvetlerin 0.32 mm/dev ilerleme değerindeki kuvvetlere yakın değer aldığı, en büyük kesme kuvvetinin (84.482 N) 0.40 mm/dev ilerleme değerinde M takımında olduğu, en düşük kesme kuvvetinin (18.264 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde P takımında olduğu, en büyük ilerleme kuvvetinin (30.056 N) 0.32 mm/dev ilerleme değerinde M takımında olduğu ve en düşük ilerleme kuvvetinin (1.243 N) 0.24 mm/dev ilerleme değerinde K takımında olduğu görülmektedir.

Şekil 4.4 ile Şekil 4.1 kıyaslandığında elyafli kompozitten elde edilen kesme kuvvetlerinin AISI 1050 malzemesinden elde edilen kesme kuvvetlerinin % 2.3'ü ile % 6.9'u aralığında olduğu, elyafli kompozitin ilerleme kuvvetlerinin AISI 1050 malzemesinin ilerleme kuvvetlerinin % 0.6'sı ile % 9'u aralığında olduğu görülmektedir.

4.2 Takım Aşınmaları

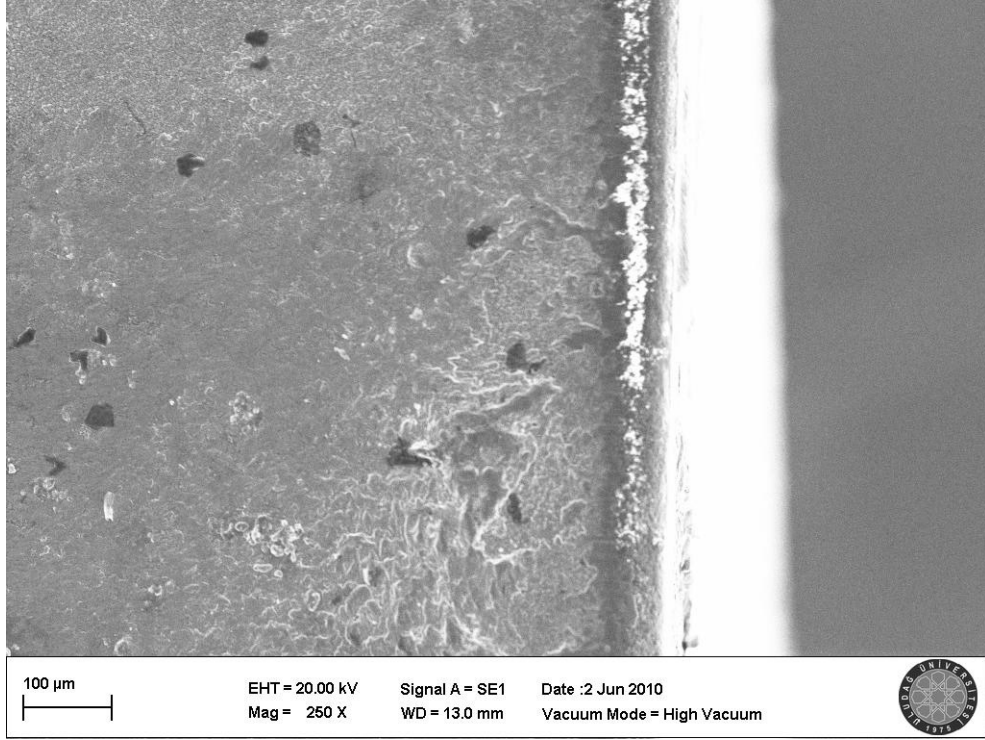
Takım aşınma deneyleri iki grupta değerlendirilmiştir. Birinci grupta 15 dakika süre ile talaş kaldırılmış takımların SEM incelemeleri yapılmıştır. İkinci grupta takım aşınmasının zamana bağlı (0-15 dak.) olarak kesme ve ilerleme kuvvelerine etkisi araştırılmıştır.

4.2.1 Takım Aşınmalarının SEM İncelemeleri



Şekil 4.5 AISI 1050 malzemede takım üst yüzeyi

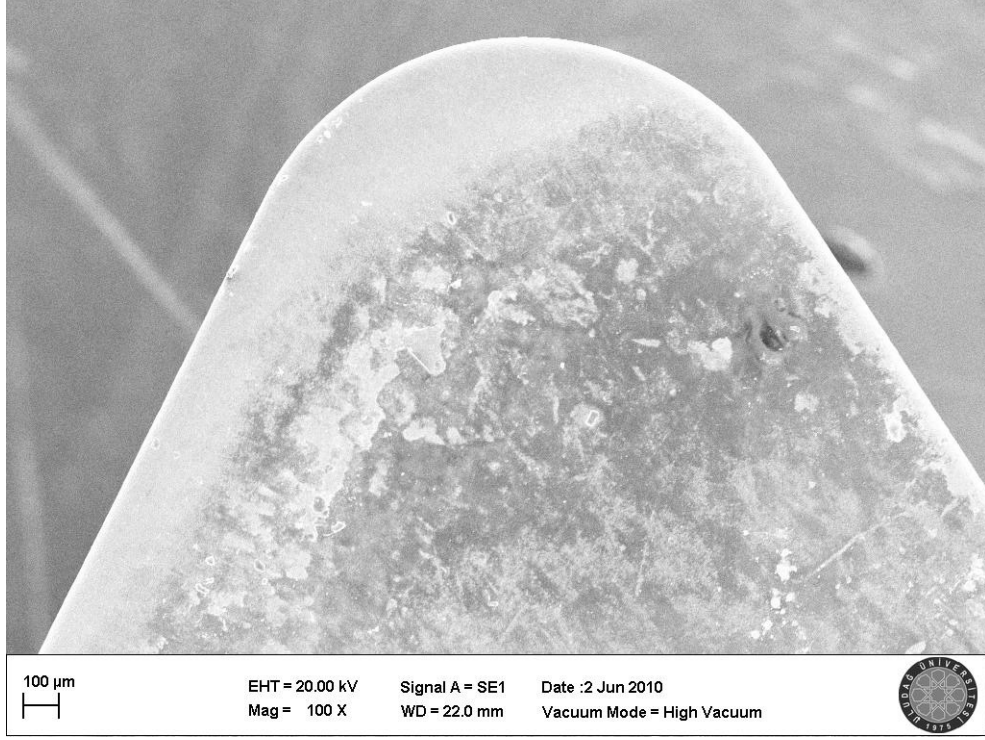
Şekli 4.5'te AISI 1050 malzemede 0-15 dakika aşınan M takım üst yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 76X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda takımında genel kabullere uygun krater aşınması gözükmemektedir. Oluşan kraterin eni ve uzunluğu sırasıyla 353.8 µm ve 1675 µm'dir. Krater etrafında talaş parçacıklarının cüzi miktarda toplandığı görülmektedir.



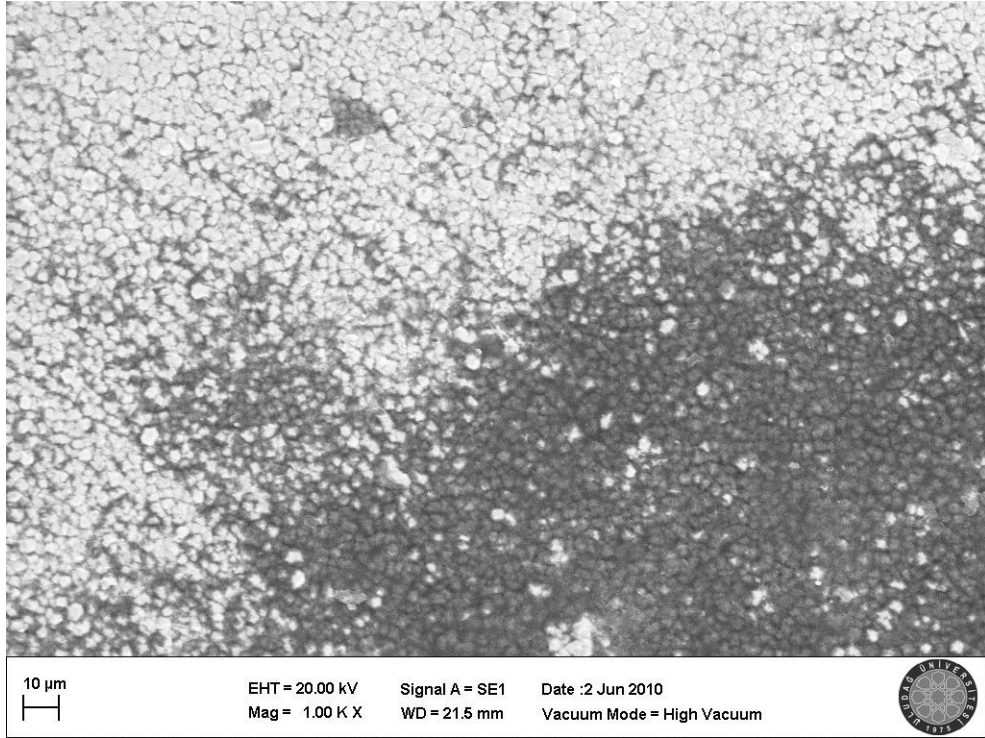
Şekil 4.6 AISI 1050 malzemede takım boşluk yüzeyi

Şekli 4.6'da AISI 1050 malzemede 0-15 dakika aşınan M takım boşluk yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 250X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda boşluk aşınma yüzeyinde uçtan katere doğru takımı aşındıramamış fakat genelde bir boşluk aşınma yüzeyinde oluşabilecek aşınma tipinin başlangıç seviyesinde bir etkileşim olduğu söylenebilir. İlgili süre bu yüzeyde boşluk yüzeyinin alt seviyelerine doğru bir bant genişliği halinde olumsuz etkiyi yaratamamıştır.

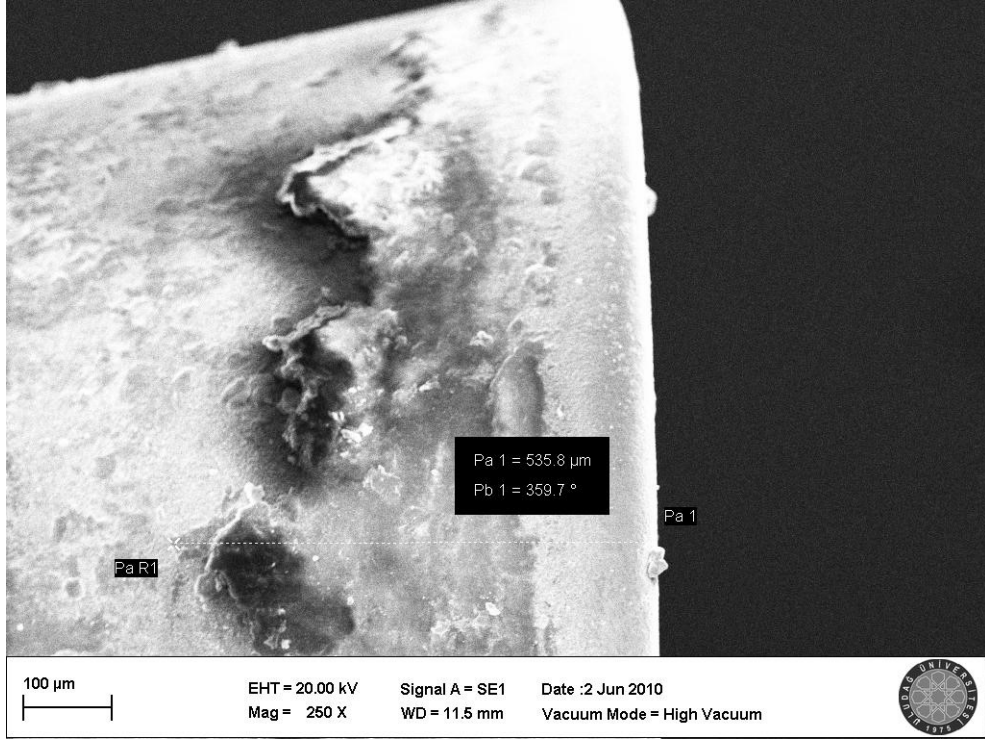
Şekli 4.7'de sade malzemede 0-15 dakika aşınan M takım üst yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 100X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda üst yüzeyde işlenmiş malzemenin şeffafa yakın yapısının ısı etkisiyle bozunup matlaşarak talaşın takım yüzeyinden geçerken özellikle etkilediği temas noktalarında sıvanmış hali belirgindir. Herhangi bir krater aşınması emaresi gözükmemektedir. Bu durum Şekil 4.8'de 1000X görüntüde daha detaylı görülmektedir.



Şekil 4.7 Sade malzemede takım üst yüzeyi



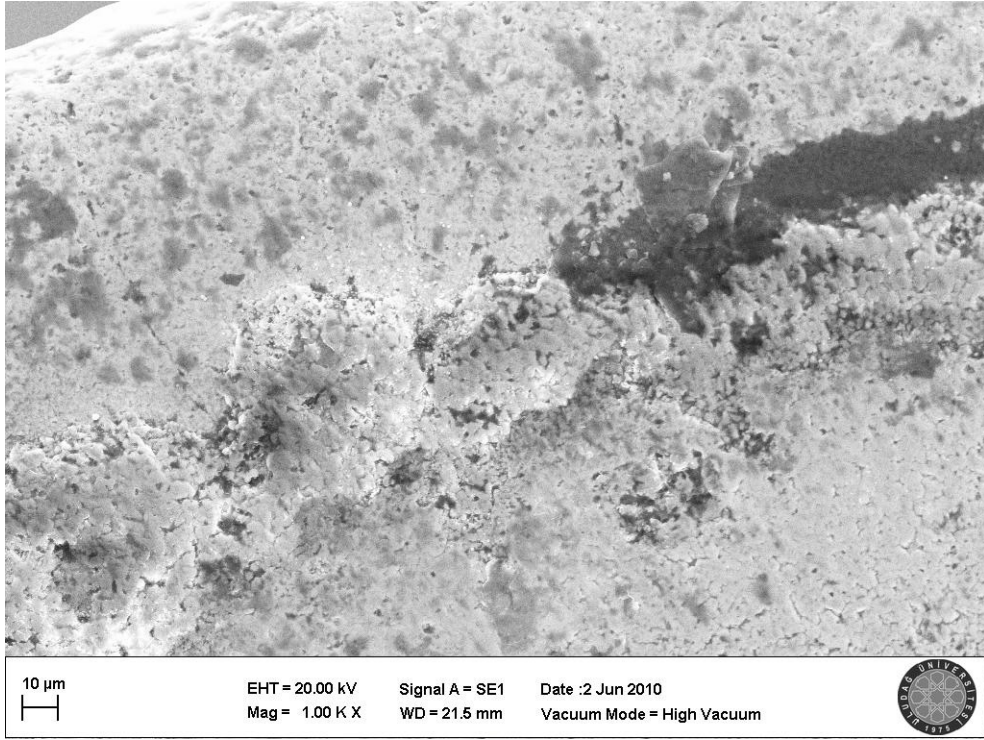
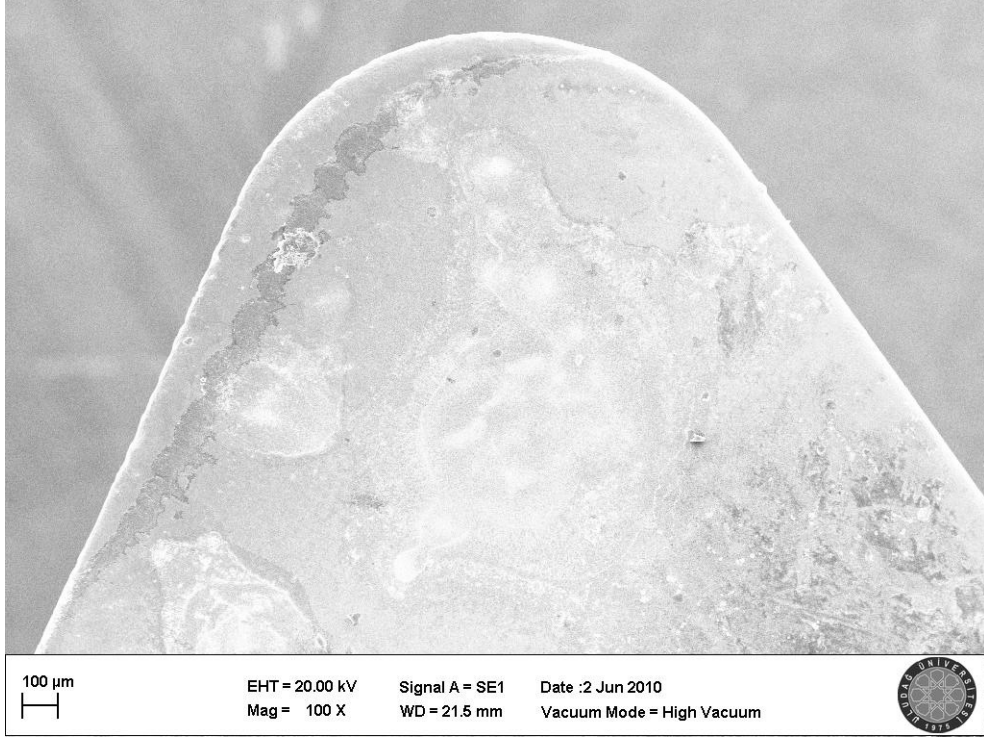
Şekil 4.8 Sade malzemede takım üst yüzeyi

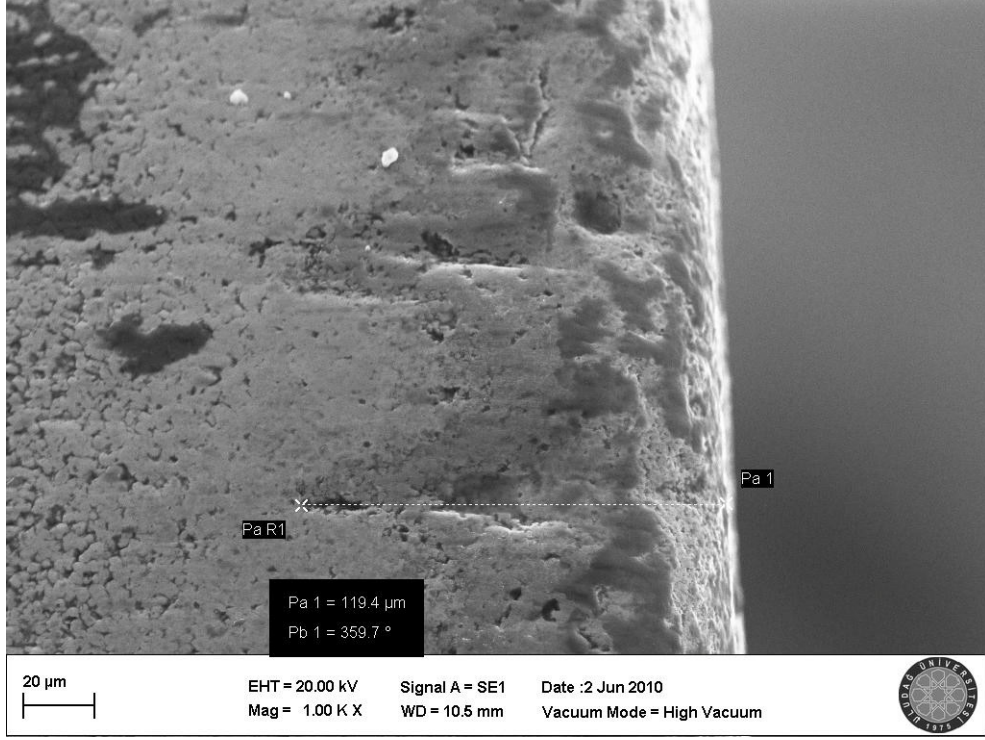


Şekil 4.9 Sade malzemede takım boşluk yüzeyi

Şekli 4.9'da sade malzemede 0-15 dakika aşınan M takım boşluk yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 250X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda boşluk yüzeyinde üst yüzeye benzer durum olduğu söylenebilir. Malzeme beklenen boşluk yüzeyi başlangıç çizgisinden itibaren aşağıya doğru yüzeyi kaplamıştır. Temasın azalarak açıldığı yüzeylere ise kitle halinde bölgesel birikintiler yer almaktadır.

Şekli 4.10'da tabakalı malzemede 0-15 dakika aşınan M takım üst yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 100X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda krater aşınması başlangıç hattı sıvanma ile birlikte bazı yerlerde bölgesel oyuklar halinde bir sonuç alınmıştır. Yapıda tabakalı malzeme işlenirken sürekli elyafa maruz kalma nedeni ile daha zorlu bir işleme olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 4.11'de 1000X görüntüde bölgesel bir oyuk halinde yüzey kenarında görülmektedir.

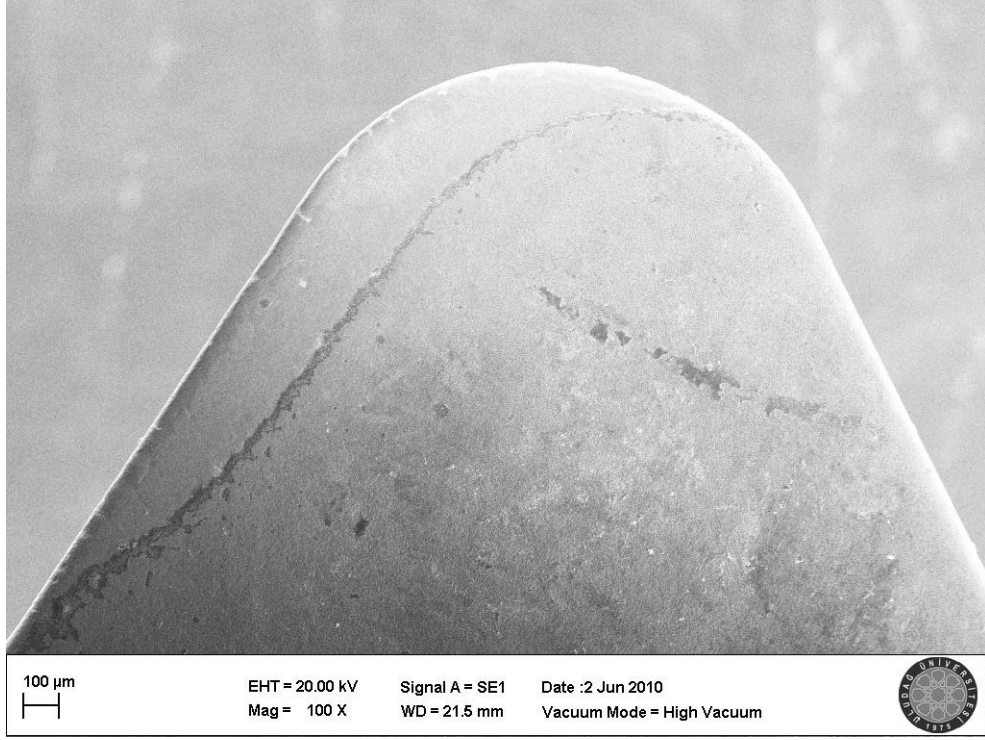




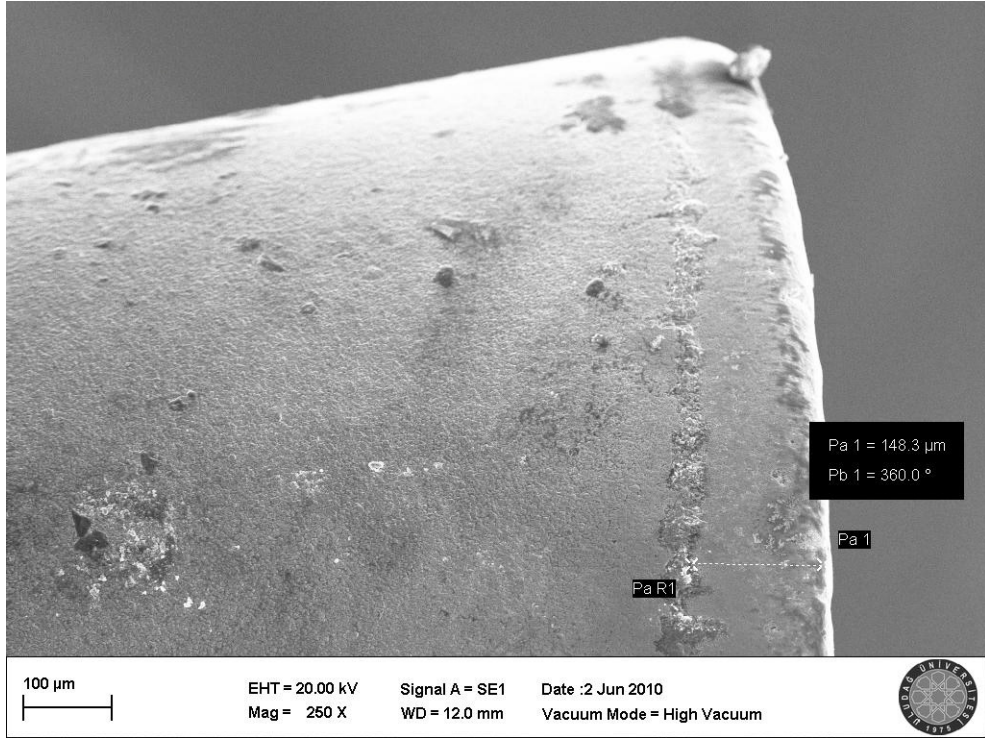
Şekil 4.12 Tabakalı malzemede takım boşluk yüzeyi

Şekli 4.12'de tabakalı malzemede 0-15 dakika aşınan M takım boşluk yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 1000X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda klasik boşluk aşınma yüzeyi görüntüsü alınamamıştır. Boşluk yüzeyi düzensiz ve özellikle kenar bölgeden başlayıp aşağıya doğru inen set ve yarıklar halinde bir hasarla kendini göstermiştir. İlgili sürede kenardan itibaren oluşan en büyük hasarın uzunluğu 119.4 µm'dir.

Şekli 4.13'te elyafli malzemede 0-15 dakika aşınan M takım üst yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 100X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda pasonun takıma temas ettiği talaş uzunluğu boyunca belirgin bir hasar oluşmadığı halde kalıcı bir iz bırakabilmiştir. Mevcut hat ilgili süre zarfında hat boyunca yüzeysel bir sıvama halindedir ve ilerleyen sürelerde daha belirgin hale gelerek hasarı artırabilir.



Şekil 4.13 Elyafli malzemede takım üst yüzeyi



Şekil 4.14 Elyafli malzemede takım boşluk yüzeyi

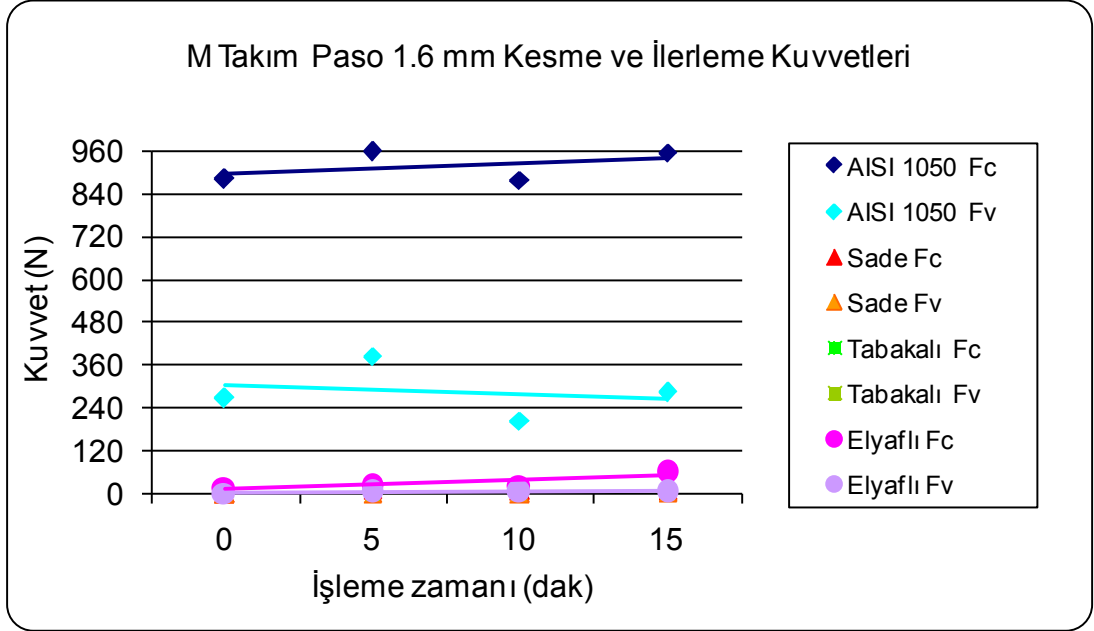
Şekli 4.14'te elyafli malzemede 0-15 dakika aşınan M takım boşluk yüzeyi gösterilmiştir. Görüntü 250X'de alınmıştır. 15 dakika sonunda boşluk yüzeyinde kenar hatta ilgili sürenin artması ile daha büyük hasarın oluşabileceği söylenebilir. Kenar bölgede buna neden olan yoğun elyaf parçacıklarıdır. Düzenli aşınmanın beklendiği boşluk aşınma biçiminin sadece genişliği olmadan ince bir hat şeklinde sıvanmış olarak kalması önemlidir. Fakat bu hattaki ilerleme ihtimali olan aşınma kenar bölgeye nazaran daha hafiftir. Bu hattın kenardan olan mesafesi 148.3 µm'dir.

Aşınma deneylerinden önce ve sonra takımlar 1/10000 g hassasiyetli dijital terazi ile tartılarak ağırlık değişimleri ölçülmüştür. Tablo 4.1'de aşınma deneyi öncesi ve sonrası takımların ağırlık değişimleri verilmiştir. Tablo 4.1'e bakıldığında takımlarda azalma yerine çok az da olsa artışlar meydana gelmiştir. SEM resimleri incelendiğinde sade, tabakalı ve elyafli kompozitlerde aşınma yok gibidir. Buna ilaveten matris malzemesinin takımlara yapıştığı yine SEM resimlerinden görülmektedir. Bu sebeple sade, tabakalı ve elyafli kompozitlerde aşınan takımlarda meydana gelen artışın bu yapışmış matris malzemesinden meydana geldiği söylenebilir. AISI 1050 malzemesinin SEM resimleri incelendiğinde bir krater aşınmasının yeni başlamakta olduğu görülmektedir. Bunun takım ağırlığında bir azalmaya yol açtığı açıktır. Fakat yine SEM resimlerinde aşınan takıma matris ve talaşların az da olsa yapıştığı da görülmektedir. AISI 1050 malzemesinde aşınan takıma yapışmış matris ve talaş kırıntılarının ağırlık kayıplarını dengelediği hatta geçtiği söylenebilir.

Tablo 4.1 Aşınma deneyi öncesi ve sonrası takım ağırlıkları

Malzeme	Süre (dak)	Deney öncesi ağırlığı (g)	Deney sonrası ağırlığı (g)	Fark (g)
AISI 1050	15	4.3530	4.3531	+ 0.0001
Sade	15	4.3379	4.3381	+ 0.0002
Tabakalı	15	4.3362	4.3275	+ 0.0013
Elyafli	15	4.3457	4.3460	+ 0.0003

4.2.2 Takım Aşınmasının Zamana Bağlı Kuvvetlere Etkisi



Şekil 4.15 Takım aşınmasının zamanla kuvvetlere etkisi

Şekil 4.15'te 0-15 dakika süre ile tüm malzemelerde talaş kaldırılan M takımlarda oluşan aşınmaların zamana bağlı kesme ve ilerleme kuvvetlerine etkisi gösterilmiştir. AISI 1050 malzemedeki kesme kuvveti zamana bağlı olarak % 8.3 artış (881-954 N) göstermiştir. İlerleme kuvveti ise % 6.1 (267-283 N) artış göstermiştir. Sade malzemedeki ilerleme ve kesme kuvvetleri yok sayılacak düzeydedir. Aynı durum tabakalı için de söylenebilir. Elyafli malzemedeki kesme kuvveti 20-61 N arası değişiklik göstermiştir. İlerleme kuvveti ise yine ihmal edilebilecek düzeydedir.

5. TARTIŞMA

5.1 Kuvvetler

Dinamometre ile kuvvet ölçüm çalışmasında referans malzeme olan AISI 1050, üretilmiş tüm kompozit tiplerinden belirgin bir ayrılıkla yüksek değerler almıştır. AISI 1050 malzemesinin kesme ve ilerleme kuvvetleri arasındaki oranları ile ilerleme miktarının artmasıyla kuvvetlerdeki artış literatüre uygunluk göstermektedir. Takım türü açısından AISI 1050 malzemesinde en düşük kesme ve ilerleme kuvvetleri P kalitede elde edilmiştir. M ve K kalitelerle elde edilen kuvvetlerle arasında fazla bir farkın olmaması nedeniyle ilgili takım kalitelerinin de AISI 1050 malzemesinin işlenmesinde rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.

Sade, tabakalı ve elyafli malzemelerin kesme ve ilerleme kuvvetleri tüm takım tiplerinde ve tüm ilerleme değerlerinde 1.2-85 N aralığında kalmıştır ki AISI 1050 malzemesinin kesme ve ilerleme kuvvetlerinin % 0.4 ile % 10'u aralığındadır. Bu yönüyle ilgili kompozitlerin kesme ve ilerleme kuvvetleri dikkate alındığında işlenebilirliklerinin iyi olduğu ve AISI 1050 malzemesine göre daha yüksek paso ve ilerleme değerlerinin seçilebileceği söylenebilir. Bu malzemelerde üretim hızı çeliğe nazaran daha fazla olabileceği görülmektedir.

Sade, tabakalı ve elyafli kompozit malzemelerde elde edilen kesme kuvvetleri ilerleme miktarının artması ile farklı eğilimler göstermişlerdir. Sade malzemedeki ilerleme değeri artarken kesme ve ilerleme kuvvetlerinin artması eğilimi AISI 1050 malzemesi ile paralellik gösterdiği söylenebilir. Bunun nedenini ise sade malzemenin yapısının da AISI 1050'de olduğu gibi izotropik yapıya olabildiğince yakın üretilmiş olması olarak gösterilebilir.

Tabakalı malzemede 0.24 mm/dev ilerleme değeri tüm takım kaliteleri için kesme ve ilerleme kuvvetleri açısından uygun görünmektedir. İkinci ilerleme değeri olan 0.32 mm/dev değerinin ise tüm takım kaliteleri için uygun olmadığı söylenebilir. Elyafli malzeme için 0.24 mm/dev ilerleme değeri en uygun çalışma parametresi olarak gözükmektedir.

5.2 Takım Aşınmaları

Takım aşınmasının tüm malzemeler için kesme ve ilerleme kuvvetlerine etkisine bakıldığında AISI 1050 malzemesinin kesme ve ilerleme kuvvetleri 0-15 dakika süre toplamında küçük olsa dahi belirli bir oranda (% 10) artışla tamamlanmıştır. Kesme ve ilerleme kuvvetleri arasındaki ilişki benzerdir. Takım talaş yüzeyi ve takım boşluk yüzeylerinde geleneksel aşınma biçimleri elde edilmiştir. Takımda aşınma sonucu kesici kenarın özelliğini yitirmesi nedeni ile kuvvetlerde artış meydana geldiği söylenebilir.

Sade, tabakalı ve elyafli malzemelerde ise ortak eğilim, eğrilerin neredeyse yatay bir seyir izlediğidir. Fakat kuvvetlerde çok düşük bir artışla, işleme zamanının artmasıyla aşınma oluştuğu söylenebilir. Elyafli malzeme buna en güzel örnek olmuştur.

SEM resimlerinde ise AISI 1050 için talaş yüzeyinde ilgili parametrelerle krater aşınması gerçekleşmiş fakat boşluk yüzeyi aynı oranda aşınmaya uğramamış ve henüz başlangıç safhasındadır. Kompozit malzemelerde ise AISI 1050 ile kıyaslamada en rahat işlenebilenden en zora doğru sade, elyafli ve tabakalı olarak söylenebilir. Sade ve elyafli de ilgili sürede takım hasar görmezken tabakalı yapıda ise düzensiz fakat hızlı olmayan bir aşınma oluşmaktadır.

6. SONUÇLAR

1. Sade, tabakalı ve elyafli kompozit malzemelerin kesme ve ilerleme kuvvetleri AISI 1050 malzemesinin kesme ve ilerleme kuvvetlerinin % 0.4'ü ile % 9'u aralığında kalmıştır.

2. Sade kompozit malzemenin kesme kuvvetleri AISI 1050 malzemesinin kesme kuvvetlerinin % 0.4'ü ile % 2.7'si aralığında, ilerleme kuvvetleri ise % 0.6'sı ile % 1.8'si aralığındadır.

3. Tabakalı kompozit malzemenin kesme kuvvetleri AISI 1050 malzemesinin kesme kuvvetlerinin % 0.6'sı ile % 6.3'ü aralığında, ilerleme kuvvetleri ise % 1'i ile % 6.9'u aralığındadır.

4. Elyafli kompozit malzemenin kesme kuvvetleri AISI 1050 malzemesinin kesme kuvvetlerinin % 2.3'ü ile % 6.9'u aralığında, ilerleme kuvvetleri ise % 0.6'sı ile % 9'u aralığındadır.

5. Parçacıklı kompozitlerin P, M, ve K takım kaliteleriyle işlenmesi takım aşınması yönünden zor görünmektedir. Tüm takımlar boşluk yüzeyinden başlayıp hızla gelişen aşınma ile kısa zamanda kullanılamaz hale gelmektedirler.

6. Kompozit malzemelerin işlenebilirliği kendi içerisinde kolaydan zora olmak üzere sade, elyafli ve tabakalı olarak sıralanabilir.

7. TS 10329 genel talaşlı imalat çalışma parametreleri dikkate alınarak yapılan çalışmalarda AISI 1050 malzemedan alınan kesme ve ilerleme kuvveti değerleri esas kabul edildiğinde ilerlemenin kesme kuvvetleri üzerine büyük etkisi vardır.

8. Sade, tabakalı ve elyafalı kompozit malzemelerin kesme ve ilerleme kuvvetleri tüm takım kalitelerinde ve tüm ilerleme değerlerinde 1.2-88 N aralığında kalmıştır

9. Sade, tabakalı ve elyafalı kompozit malzemelerin kesme ve ilerleme kuvvetleri tüm takım kaliteleri için 0.24 mm/dev değeri daha uygun olmuştur.

10. Kompozit malzemelerle işlemede takım boşluk ve talaş yüzeyinde yapışmalar oluşmaktadır. Bunlardan takım köşesinin alt bölgedeki birikintisi hayli büyüklüğüyle dikkat çekmiştir. Takım boşluk yüzeyinde ise birikintinin azaltılması (takım dayanımına da dikkat etmek şartıyla) boşluk açısının büyütülmesiyle sağlanabilir.

11. M takımla AISI 1050, sade, tabakalı ve elyafalı malzemelerde 15 dakika süreli yapılan aşınma deneylerinde termoset malzemenin (matris) ergime sıcaklık seviyesi kompozitlerin işlenmesinde oldukça önem kazanmaktadır. İşleme esnasında bu sıcaklık seviyeleri aşıldığında talaşlı imalat zorlaşmaktadır.

12. Kompozit malzemeler işlenerek yapılan aşınma deneylerinde takımlarda birikinti oluşumunun takımın ilgili bölgesinin belirli bir süre aşınmasını önleyen bir etki yarattığı da söylenebilir.

13. Takımların aşınmalarının ölçülebilmesi çerçevesinde çok hassas da olsa (1/10000 g) ağırlık kaybı çalışmasının takımında oluşan birikintiler nedeniyle çok anlamlı olmadığı söylenebilir.

14. Kompozit malzemeler işlenerek takımların aşındırılmasında 15 dakikalık süre kesin bir değerlendirme yapabilmek için yeterli değildir.

15. Aşınma deneyinde AISI 1050 malzemedeki özellikle takım talaş yüzeyi aşınmış, boşluk yüzeyi ise ilgili sürede çok fazla etkilenmemiştir.

16. Kompozit malzemeler 15 dakikalık aşınma süresinde takımları mutlaka etkilemektedir ve süre arttıkça takımlarda sıvanma emareleri yüzeylerden görülebilmektedir.

17. Aşınma deneyinde sade malzeme takımı en az etkilemiş, elyafli ikinci seviyede düzenli bir aşınma ile tabakalı kompozit ise takımı ilgili sürede yeterince hızlı olmayan düzensiz bir aşınmayla etkilemiştir.

7. ÖNERİLER

1. Çalışmada üretilmiş sade, tabakalı ve elyafli kompozitler oda sıcaklığında kemikleşmiştir. Bu polimerizasyon işleminin oda sıcaklığı yerine ısı kürü etkisinde gerçekleşmesi sağlanarak üretilecek numuneler ile çalışma tekrarlanabilir.

2. Çalışmada üretilmiş sade, tabakalı ve elyafli kompozitler vibrasyon işleminde takviye elemanlarının doğal yerleşimi ile elde edilmiştir. Aynı üretim yine vibrasyona ilave basınç altında kemikleşme sağlanabilecek bir yöntemle yapılabilir ve kompozitlerle çalışma tekrarlanabilir.

3. Çalışmada ilerleme ve kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde talaşlı imalatta işleme uzunlukları 15 mm alınmıştır. Bu uzunluk değerinin arttırıldığı parametrelerle çalışma yapılabilir.

4. Çalışmada P, M ve K takım kaliteleri kullanılmıştır. Tek bir takım kalitesinin kullanıldığı çok daha ayrıntılı çalışma parametrelerinin olduğu bir çalışma yapılabilir.

5. Çalışmada seçilmiş kompozit malzeme bileşenleri sanayide sık tercih edilen yapılardır. Bu malzemelerin geleneksel yöntemler dışında talaşlı imalat yöntemlerinden dış silindirik yüzey tornalama ile biçimlendirilebilirlikleri çalışılmıştır. Bu yöntem dışında diğer bir talaşlı imalat yöntemiyle de işlenebilirlik çalışmaları yapılabilir.

8. REFERANSLAR

- [1] Şahin, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitapevi, Ankara, (2000).
- [2] Çakır, M. C., *İşlenebilirlik, Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın no:140, Bursa, (1999), pp: 205-250.
- [3] Ateş, E., “The effect of temperature change on flexural strength of polymer concrete composites with polyester resin during hardening at furnace atmosphere”, *Science and Engineering of Composite Materials*, 14 (3), 205-217, (2007).
- [4] Ateş, E., “Optimization of compression strength by granulometry and change of binder rates in epoxy and polyester resin concrete”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28, 235-246, (2009).
- [5] Davim, J., P., “A new machinability index in turning fiber reinforced plastics”, *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 436–440, (2005).
- [6] An, S., Lee, E. and Noh, S., “A study on the cutting characteristics of glass fiber reinforced plastics with respect to tool materials and geometries”, *Journal of Materials Processing Technology*, 68, 60–67, (1997).
- [7] Sreejith, P. and S., Krishnamurthy, R., Narayanasamy, K. and Malhotra, S., K., “Studies on the machining of carbon:phenolic ablative composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 88, 43–50, (1999).
- [8] Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash J, R., S. and Tan, D., C., G., “Machinability study of carbon fiber reinforced composite”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89–90, 292–297, (1999).
- [9] Palanikumar, K., Karunamoorthy, L. and Karthikeyan, R., “Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of glass fiber-reinforced polymer composites”, *Materials and Design*, 27, 862–871, (2006).
- [10] Davim, J., P. and Mata, F., “New machinability study of glass fibre reinforced plastics using polycrystalline diamond and cemented carbide (K15) tools”, *Materials and Design*, 28, 1050-1054, (2007).
- [11] Ferreira, J., R., Coppin, N., L. and Neto, F., L., “Characteristics of carbon-carbon composite turning”, *Journal of Materials Processing Technology*, 109, 65–71, (2001).
- [12] Davim, J., P., Silva, L.R., Festas, A. and Abrao, A.M., “Machinability study on precision turning of PA66 polyamide with and without glass fiber reinforcing”, *Materials and Design*, Accepted Manuscript, Accepted Date: 1 May 2008.

- [13] Petropoulos, G., Mata, F. and Davim, J., P., "Statistical study of surface roughness in turning of peek composites", *Materials and Design*, 29, 218–223, (2008).
- [14] Davim, J., P., Reis, P., Lapa, V. and Antonio, C., C., "Machinability study on polyetheretherketone (PEEK) unreinforced and reinforced (GF30) for applications in structural components", *Composite Structures*, 62, 67–73, (2003).
- [15] Lanz, R., W., Melkote, S., N. and Kotnis, M., "Effect of process parameters and tool shape on the machinability of a particulates filled-polymer composite material for rapid tooling", *Machining Science And Technology*, 5(2), 217–237, (2001).
- [16] Varatharajan, R., Malhotra, S., K., Vijayaraghavan, L. and Krishnamurthy, R., "Mechanical and machining characteristics of GF/PP and GF/Polyester composites", *Materials Science and Engineering B*, 132, 134–137, (2006).
- [17] Piquet, R., Ferret, B., Lachaud, F. and Swider, P., "Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills", *Composites: Part A*, 31, 1107–1115, (2000).
- [18] Mohan, N., S., Ramachandra, A. and Kulkarni, S., M., "Influence of process parameters on cutting force and torque during drilling of glass–fiber polyester reinforced composites", *Composite Structures*, 71, 407–413, (2005).
- [19] Lanz, R., W., Melkotea, S., N. and Kotnisb, M., A., "Machinability of rapid tooling composite board", *Journal of Materials Processing Technology*, 127, 242–245, (2002).
- [20] El-Sonbaty, I., Khashaba, U., A., and Machaly, T., "Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites", *Composite Structures*, 63, 329–338, (2004).
- [21] Abrao, A., M., Faria, P., E., Rubio, J., C., C., Reis, P. and Davim, J., P., "Drilling of fiber reinforced plastics: A review", *Journal of Materials Processing Technology*, 186, 1–7, (2007).
- [22] Çiftçi, İ, Türker, M. and Şeker, U., "Evaluation of tool wear when machining SiCp-reinforced Al–2014 alloy matrix composites", *Materials and Design*, 25, 251–255, (2004).
- [23] Çiftçi, İ, Türker, M. and Şeker, U., "CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs", *WEAR*, 257, 1041-1046, (2004).
- [24] Derrico, G. E. and Calzavarini, R., "Turning of a metal matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 119, 257–260, (2001).
- [25] Davim, J., P., "Design of optimization of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays", *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 340–344, (2003).
- [26] Özben, T., Kılıçkap, E. and Çakır, O., "Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC", *Journal of Materials Processing Technology*, 198, 220–225, (2008).

- [27] Manna, A. and Bhattacharayya, B., "A study on machinability of Al/SiC-MMC", *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 711-716, (2003).
- [28] Gökkaya, H. ve Nalbant, M., "Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM ile incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 481-488, (2007).
- [29] Altın, A., Gökkaya, H. ve Nalbant, M., "İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğine etkisi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 581-586, (2006).
- [30] Kılıçkap, E., Özben, T. ve Çakır, O., "Al-SiCp MMK'lerde partikül takviye oranının mekanik özelliklere ve işlenebilirliğine etkisinin araştırılması", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 313-320, (2006).
- [31] Çiftçi, İ., "AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takım ile işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması", *Teknoloji / Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(3-4), 489-495, (2004).
- [32] Kök, M., Şahin, Y. ve Çelik, H., "Metal matrisli kompozit malzemelerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne takım ve malzeme özelliklerinin etkisi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 37-46, (2002).
- [33] Duran, A. ve Acır, A., "HSS torna kalemindeki talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 7(3), 211-215, (2004).
- [34] Şahin, Y., "Sertleştirilmiş Ç8660 alaşımlı çeliğin kaplamalı kesici takımlarla işlenebilirliği", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(4), 1339-1352, (2001).
- [35] Özçatalbaş, Y., "Kesici takım aşınması ve iş malzemesi mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 4(Öz.Say.), 47-52, (2002).
- [36] Işık, Y., Takım ömrü süresince kesici takım davranışlarının incelenmesi ve kırılma anının tahmini için bir erken uyarı modelinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, (2001).
- [37] Işık, Y. ve Çakır M.C., "Tornalama işlemlerinde hız çeliği takımların ömürlerini tamamladığı anın tespiti", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7, 1, (2002).
- [38] Işık, Y., "Talaşlı imalatta kesici takımların kırılma öncesi davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9, 1, (2004).
- [39] Çakır, M. C. and Işık, Y., "Finite element analysis of cutting tools prior to fracture in hard turning operations", *Materials and Design*, 26, 105-112, (2005).
- [40] Işık, Y., "Talaşlı imalatta on-line takım durumu izleme yöntemleri", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9, 1, (2004).

- [41] Çakır, M. C. and Işık, Y., “Detecting tool breakage in turning AISI 1050 steel using coated and uncoated cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 159, 191-198, (2005).
- [42] Günay, M., Şeker, U. and Sur, G., “Design and construction of a dynamometer to evaluate the influence of cutting tool rake angle on cutting forces”, *Materials and Design*, 27, 1097–1101, (2006).
- [43] Günay M. ve Şeker, U., “Kesici takım talaş açısının ilerleme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 8(4), 323-328, (2005).
- [44] Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ. and Şeker, U., “Investigation of the effect of rake angle on main cutting force”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44, 953-959, (2004).
- [45] Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ. and Şeker, U., “Investigation of the effect of rake angle on main cutting force”, *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 44-49, (2005).
- [46] Korkut, İ. ve Tekiner, Z., “Ç1010 ve Ç1050 çeliklerinin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetlerinin talaş derinliği ve ilerlemeye göre değişiminin belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 465-471, (1999).
- [47] Korkut, İ., “A dynamometer design and its construction for milling operation”, *Materials and Design*, 24, 631–637, (2003).
- [48] Axinte, D.A., Belluco, W. and De Chiffre, L., “Evaluation of cutting force uncertainty components in turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 4, 719–730,(2001).
- [49] Kim J., D. and Kim, D., S., “Development of a combined-type tool dynamometer with piezo-film accelerometer for an ultra-precision lathe”, *Journal of Materials Processing Technology*, 71, 360-366, (1997).
- [50] Yıldız, S., “Frezeleme için bir kesme kuvveti dinamometresinin geliştirilmesi ve test edilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 8(1), 61-68, (2005).
- [51] Duran, A., “Strain gauge esasına dayalı üç boyutlu torna dinamometresinin imali ve kuvvetlerin ölçülmesi”, *Politeknik Dergisi*, 2(2.), 63-72, (1999).
- [52] Sağlam, H. ve Ünüvar, A., “Uzama ölçer esaslı, üç-bileşenli frezeleme, dinamometresi tasarım ve imalatı”, *Politeknik Dergisi*, 2(2.), 73-81, (1999).
- [53] Özçatalbaş, Y. ve Ercan, F., “İki bileşenli gerinim ölçerli torna dinamometresi tasarımı, imalatı ve bilgisayara entegrasyonu”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1-2), 1-12, (1997).
- [54] Yıldız, S. and Ünsaçar, F., “A dynamometer design for measurement the cutting forces on turning”, *Measurement*, 39, 80–89, (2006).
- [55] Yıldız, S. and Ünsaçar, F., “Design, development and testing of a turning dynamometer for cutting force”, *Materials and Design*, 27, 839–846, (2006).

- [56] Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., “Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion”, *Materials and Design*, 23, 355–360, (2002).
- [57] Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., “The effect of feed rate on the cutting forces when machining with linear motion”, *Journal of Materials Processing Technology*, 146, 403-407, (2004).
- [58] Demir, H., Güllü, A. ve Şeker, U., “Düzlem taşlama işleminde taşlama kuvvetlerinin ölçülmesi için bir dinamometre tasarımı ve imalatı”, *Teknoloji Dergisi*, 9, 2, 111-118, (2006).
- [59] Karabay, S., “Design criteria for electro-mechanical transducers and arrangement for measurement of strains due to metal cutting forces acting on dynamometers”, *Materials and Design*, 28, 496–506, (2007).
- [60] Karabay, S., “Analysis of drill dynamometer with octagonal ring type transducers for monitoring of cutting forces in drilling and allied process”, *Materials and Design*, 28, 673–685, (2007).
- [61] Karabay, S., “Performance testing of a constructed drilling dynamometer by deriving empirical equations for drill torque and thrust on SAE 1020 steel”, *Materials and Design*, 28, 1780–1793, (2007).
- [62] Yaldiz, S., Ünsaçar, F. and Sağlam, H., “Comparison of experimental results obtained by designed dynamometer to fuzzy model for predicting cutting forces in turning”, *Materials and Design*, 27, 1139–1147, (2006).
- [63] Topal, E., S. and Çoğun, C., “A cutting force induced error elimination method for turning operations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 192–203, (2005).
- [64] Aran, A., *Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler*, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi Sayı: 1420, Gümüşsuyu-İstanbul, (1990), pp:1-15.
- [65] <http://www.trmilitary.com/forum/image-vp130045.html>, (Erişim Tarihi: 05.10.2009).
- [66] <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html>, (Erişim Tarihi: 05.04.2008)
- [67] Sayman, O. ve Aksoy S., *Kompozit Malzemeler*, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, (1995).
- [68] Askeland D., R., *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Cilt-2, Çev. Erdoğan, M., Nobel yay., Ankara, (2000), pp:444-450.
- [69] Ashby, F. and David, R., H., J., *Engineering Materials*, Cilt: 2, Butterworth-Heinemann, Oxford, (1999).
- [70] Kreith, F. and Goswami, D., *The CRC Handbook of Mechanical Engineering*, CRC press, Washington, (2005).

- [71] Smith, W., F., *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, Çev. Kınıkoğlu, N., G, literatür yay., İstanbul, (2001). pp:740-748.
- [72] Bratukhin, A.G. and Bogolyubov, V., S., *Composite Manufacturing Technology*, Chapman & Hall, Londra, (1995).
- [73] Şahin, Y., *Talaşlı Kaldırma Prensipleri*, Cilt-1, Nobel yayın dağıtım, İstanbul, (2000).
- [74] Akkurt, M., *Talaşlı Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgaahları*, Birsen yayınevi, İstanbul, (2000), pp: 23-44.
- [75] Childs, T., Katsuhiko, M., Toshiyuki, O. and Yasuo, Y., *Metal Machining Theory and Applications*, Arnold Publisher, New York, (2000), pp:34-57.
- [76] Boothroyd, G., *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, Scripta Book Company, Tokyo, (1975).
- [77] Kalpakjian, S. and Schmid, S., R., *Manufacturing, Engineering & Technology*, Pearson Education, Inc., New Jersey, (2006).
- [78] Tschätsch, H., *Applied Machining Technology*, Springer, New York, (2009).
- [79] Şeker, U., *Takım Tasarımı Ders Notları*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Bölümü, Ankara, (2008).
- [80] Shaw, M., C., *Metal Cutting Principles*, Clarendon Press, Oxford, (1984).
- [81] <http://www.kistler.com>, (Erişim Tarihi: 05.10.2009).
- [82] <http://www.spinner-wzm.de>, (Erişim Tarihi: 05.04.2008).
- [83] FIRST, *Operator's Manual MCV-600/800/1000 editon C02.*, Tayvan, (2003).
- [84] http://www.desis.com.tr/desis_nhb_hassas_tartim_terazisi.php, (Erişim Tarihi: 05.04.2009).
- [85] ELE International, *ADR 3000 BS/EN Compression Machine Product Data sheet*, Londra, (2003).
- [86] <http://www.endecotts.com/shakers/octagon.htm>, (Erişim Tarihi: 03.09.2009).
- [87] http://www.endecotts.com/sieves/lab_sieves.htm#certif, (Erişim Tarihi: 03.09.2009).
- [88] BAIRD, *Spectrovac Model DV-6 User's Guide*, (2002).
- [89] <http://www.nikoninstruments.eu/content/download/5120/47660/version/2/file/MA100.pdf> (Erişim Tarihi: 15.03.2010)
- [91] FURKAN, *EDM V3 M 25 A tel erozyon cihazı kullanım kılavuzu*, İstanbul, (1983).

- [92] TML Tokyo Sokki Kenkyuujo Co., Ltd., *TML Preciese & Flexible Strain Gauges*, Tokyo, (2009).
- [93] Teknik Destek Grubu, Ltd. Şti., *TDG Q-cable gerinim pulu için köprü tamamlama kablosu kullanım kılavuzu*, Ankara, (2009).
- [94] Teknik Destek Grubu, Ltd. Şti., *Genel amaçlı statik veri toplama sistemi broşürü*, Ankara, (2009).
- [95] Teknik Destek Grubu, Ltd. Şti., *TDG AygıtGeçidi kullanım kılavuzu*, Ankara, (2009).
- [96] Teknik Destek Grubu, Ltd. Şti., *Genel amaçlı statik veri toplama yazılımının özellikleri broşürü*, Ankara, (2009).
- [97]<http://www.iscar.com/Ecat/greades.asp/grade/IC520M/GFSTYP/M/lang/EN/app//mapp/ML>, (Erişim Tarihi: 06.05.2009).
- [98] <http://www.iscar.com/Ecat/greades.asp/grade/IC54/GFSTYP/M/lang/EN/app//mapp/ML>, (Erişim Tarihi: 06.05.2009).
- [99]<http://www.iscar.com/Ecat/greades.asp/grade/IC9054/GFSTYP/M/lang/EN/app//mapp/ML>, (Erişim Tarihi: 06.05.2009).
- [100]<http://www.iscar.com/Ecat/familyHDR.asp/fnum/71/mapp/IS/app/12/GFSTYP/M/type/1/lang/EN>, (Erişim Tarihi: 06.05.2009).
- [101] Üniversal Torna Tezgahları SN 40C SN 45C SN 50C kullanma ve bakım el kitabı, 1983, TEZSAN Takım Tezgahları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- [102] <http://www.speciation/appl/Companies/index.html>, (Erişim Tarihi: 15.02.2010)
- [103] A&D Company, *Analytical Semi-Micro Balances GR series User's Guide*, Tokyo, (2009).