

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

**TORNALAMA TAKIMLARINA NANO GRAFEN VE KARBON NANOTÜP
KATKILI EPOKSİ KULLANILARAK YAPIŞTIRILMIŞ KESİCİ UCUN
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

ERDEM ERYILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ERHAN ALTAN**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TORNALAMA TAKIMLARINA NANO GRAFEN VE KARBON NANOTÜP
KATKILI EPOKSİ KULLANILARAK YAPIŞTIRILMIŞ KESİCİ UCUN
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Erdem ERYILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 25.11.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR
Uludağ Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için her türlü desteği veren; yardım, öneri ve teşviklerini esirgemeyen değerli Hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasında tez konusunun seçiminden çalışmaların tamamlanmasına ve yazılmasına kadar olan süreçte tecrübe ve bilgisiyle bana destek olan Arş. Gör. Dr. Alper UYSAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince gösterdiği sabır ve ettiği tüm yardımlar için meslektaşım ve nişanlım Arş. Gör. Meltem DEMİRCİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2016

Erdem ERYILDIZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	14
1.3 Hipotez.....	15
BÖLÜM 2	
YAPIŞTIRMA YÖNTEMİ	17
2.1 Yapışma İşlemi ve Yapıştırıcı	17
2.2 Yapıştırıcı Malzemeler.....	19
2.3 Yapıştırma İşleminde Yüzey Hazırlama	19
2.4 Yapıştırma Bağlantılarda Geometri ve Bağlantı Dayanımı.....	21
BÖLÜM 3	
YAPIŞTIRMA İŞLEMİ İÇİN PARAMETRELERİN DENEYSEL BELİRLENMESİ.....	23
3.1 Malzeme ve Ekipman	23
3.1.1 Yapıştırıcı Malzeme.....	23
3.1.2 Birleştirilen Çelik Yassı Çubuk Malzeme ve Tungsten Karbür (WC) Kesici Uç	24
3.1.3 Nano Parçacıklar	25
3.1.4 Hassas Terazî	27

3.1.5	Kurutma Fırını	27
3.1.6	Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	28
3.1.7	Üniversal Test Cihazı.....	29
3.2	Yapıştırma Deneyleri.....	30
3.2.1	Tek Katlı Bindirme Bağlantılar	30
3.2.2	Çelik – Sert Metal (WC) – Çelik Yapıştırma Bağlantılar.....	38
3.2.3	Nano Parçacıkların Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Dağılımlarının İncelenmesi	41
BÖLÜM 4		
KESİCİ UCUN TAKIM TUTUCUYA TUTTURULMASINDA NANO KOMPOZİT YAPIŞTIRICILARIN KULLANILMASI		
44		
4.1	Tornalama Deneylerinde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar	44
4.1.1	İş Parçası Malzemesi.....	44
4.1.2	Kesici Uç ve Takım Tutucu	45
4.1.3	Takım Tezgâhları	46
4.1.4	Kuvvet Dinamometresi	47
4.1.5	Termokupl ve Takımla İlişkilendirilmesi	48
4.1.6	Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	50
4.2	Tornalama Deneylerinin Uygulanması.....	51
4.2.1	Kesici Uçların Takım Tutucuya Yapıştırılması	51
4.2.2	Deney Düzenegi ve Talaş Kaldırma Parametrelerinin Seçimi.....	51
4.3	Tornalama Deneyi Sonuçları	53
4.3.1	Kesme Kuvvetleri	54
4.3.2	Ölçülen Sıcaklık	60
4.3.3	Yüzey Pürüzlülüğü.....	63
BÖLÜM 5		
5.1	Malzeme Maliyeti	44
5.2	Direkt İşçilik Maliyeti	44
5.3	Kurutma ve Kürlemede Kullanılan Elektrik Giderinin Maliyeti	44
5.4	Genel Giderler	44
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		71
KAYNAKLAR.....		755
ÖZGEÇMİŞ.....		79

SİMGE LİSTESİ

a	Kesme derinliği
f	İlerleme
F	Kuvvet
F_y	Kesme kuvveti
F_x	İlerleme kuvveti
F_z	Radyal kuvvet
F_{ty}	Metal akma noktası
l	Bindirme uzunluğu
Ra	Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğu
V	Kesme hızı
WC	Tungsten karbür
T	Sıcaklık
t	Parça kalınlığı
λ_c	Kesme uzunluğu
ϕ	Çap uzunluğu
Ω	Ohm
μm	Mikrometre
τ	Kayma gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	American Society of Testing (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
CBN	Kübik Bor Nitrür
ESP110	Loctite ESP110 Yapıştırıcı
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlık Örgütü)
MWCNT	Multi-Walled Carbon Nanotube (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp)
PE	Polietilen
PHBV	Polihidroksibütirat
PMMA	Polimetil metakrilat
PVA	Polivinil alkol
PVP	Polivinilpirolidon
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 PHBV'ye katılan tozların miktarına bağlı olarak çekme mukavemet değişimleri [5]	3
Şekil 1. 2 Yalın epoksi ve ağırlıkça %1 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozitin gerilme-gerinim grafiği [9]	5
Şekil 1. 3 Tek katlı bindirme bağlantı [10]	6
Şekil 1. 4 Farklı oranlarda MWCNT katılan epoksinin kayma dayanımı [10]	6
Şekil 1. 5 Farklı oranlarda MWCNT katılan epoksi nanokompozit filmlerin kayma dayanımı [11]	7
Şekil 1. 6 Yapıştırıcı sönümlenme deney numunesi [13].....	8
Şekil 1. 7 Yapıştırıcı çeşidinin sönümlenme kabiliyeti üzerindeki etkisi [13]	9
Şekil 1. 8 Sıcaklığın kayma gerilmesi üzerindeki etkisi [13].....	9
Şekil 1. 9 Sıcaklığın soyulma gerilmesi üzerindeki etkisi [13].....	10
Şekil 1. 10 İş parçası yüzey pürüzlülüğünün talaş kaldırma süresine bağlı değişimi [12]	11
Şekil 1. 11 Mekanik sıkmalı takımında takım talaş ara yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımı [13]	12
Şekil 1. 12 Yapıştırma takımında takım talaş ara yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımı [13] ..	12
Şekil 2. 1 Birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması [18]	17
Şekil 2. 2 Yapıştırma bağlantısının halkalı zincir modeli [21]	19
Şekil 2. 3 Yüzey hazırlama işleminin yüzey ıslatma açısına etkisi [24]	20
Şekil 2. 4 Yapıştırma bağlantı çeşitleri [26]	21
Şekil 2. 5 Yapıştırma bağlantılarda (a) çekme gerilmesi (b) çekme-kayma gerilmesi oluşturan kuvvet sistemleri [18]	22
Şekil 2. 6 Yapıştırma bağlantıda soyulma ve ayrılma kuvveti oluşturacak kuvvet uygulamaları [18]	22
Şekil 3. 1 ASTM D1002 standardına göre hazırlanan numunelerin a) teknik çizimi, b) görseli.....	24
Şekil 3. 2 Deneylerde kullanılan nano grafenin SEM görüntüsü	26
Şekil 3. 3 Deneylerde kullanılan MWCNT'nin SEM görüntüsü	27
Şekil 3. 4 Radwag® PS510.R1 hassas terazi	27
Şekil 3. 5 Termal® etüv fırın.....	28
Şekil 3. 6 Time® TR200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	28
Şekil 3. 7 Testlerde kullanılan Instron® 5982 üniversal test cihazı	30
Şekil 3. 8 Tek katlı bindirme bağlantı için çelik yassı çubuk pürüzlendirme yönleri ...	31

Şekil 3. 9	Tek katlı bindirme bağlantı oluşturulmasında metal klips kullanımı	32
Şekil 3. 10	Klips ağız açıklığı – baskı kuvveti grafiği	33
Şekil 3. 11	Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numunelerine ait kayma deneyi grafikleri, a) yalın epoksi yapıştırıcı, b) %0.5 nano grafen parçacık katkılı, c) %0.5 MWCNT parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcı kullanılması hali... 34	34
Şekil 3. 12	Nano grafen parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcılar ile hazırlanan numunelere kürlenme süresince uygulanan baskı kuvvetinin etkisi, a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı.....	35
Şekil 3. 13	MWCNT parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcılar ile hazırlanan numunelere kürlenme süresince uygulanan baskı kuvvetinin etkisi, a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı.....	36
Şekil 3. 14	Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantılarında nano grafen ve MWCNT parçacıkların katkı oranlarının etkisi a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı	38
Şekil 3. 15	Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantı numunesi.....	39
Şekil 3. 16	Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantılarında nano grafen ve MWCNT parçacıkların katkı oranlarının etkisi a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı	40
Şekil 3. 17	Nanokompozit yapıştırıcının metal yüzeyine tutunması (%0,5 MWCNT katkılı yalın epoksi yapıştırıcı) a) çelik-yapıştırıcı-çelik, b) sert metal (WC)-yapıştırıcı-çelik.....	41
Şekil 3. 18	Yalın epoksi yapıştırıcı ve çeşitli oranlarda nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcıların kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri, a) yalın, b) %0.1, c) %0.3, d) 0.5, e) %1, f) %5	42
Şekil 3. 19	Yalın epoksi yapıştırıcı ve çeşitli oranlarda MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcıların kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri, a) yalın, b) %0.1, c) %0.3, d) 0.5, e) %1, f) %5	43
Şekil 4. 1	Tornalama deneylerinde kullanılan iş parçasının teknik resmi.....	45
Şekil 4. 2	Tornalama deneylerinde kullanılmak üzere tasarlanan takım tutucu.....	46
Şekil 4. 3	Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhı	46
Şekil 4. 4	Kistler® 9257BA dinamometre, a) teknik resmi, b) görseli.....	47
Şekil 4. 5	Tornalama deneyleri esnasında dinamometreden alınmış bir kuvvet grafiği	48
Şekil 4. 6	Ordel® K tipi NiCr-Ni Termokupl	48
Şekil 4. 7	Termokupl takılabilecek şekilde tasarlanan takım tutucu teknik resmi	49
Şekil 4. 8	Mitutoyo® SJ 210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	50
Şekil 4. 9	Yapıştırma yöntemi ile tutturulmuş kesici uç ve şematik detay resmi	52
Şekil 4. 10	Tornalama deney düzeneği.....	53
Şekil 4. 11	Mekanik sıkmalı kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a= 0.25 mm), b) kesme kuvveti (a= 0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a= 0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a=0.50 mm), e) radyal kuvvet (a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a= 0.50 mm)	54
Şekil 4. 12	Yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a=0.25 mm), b) kesme kuvveti (a=0.50 mm), c) ilerleme	

	kuvveti (a=0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a=0.50 mm), e) radyal kuvvet (a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a=0.50mm)	55
Şekil 4. 13	Nano grafen katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a= 0.25 mm), b) kesme kuvveti (a= 0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a= 0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a= 0.50 mm), e) radyal kuvvet (a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a= 0.50 mm)	56
Şekil 4. 14	MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a= 0.25 mm), b) kesme kuvveti (a= 0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a= 0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a= 0.50 mm), e) radyal kuvveti(a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a= 0.50 mm)	57
Şekil 4. 15	Dinamometreden elde edilen kuvvet grafikleri (V=100 m/dak, f=0.2 mm/dev, a=0.25 mm), a) mekanik sıkmalı, b) yalın epoksi ile yapıştırılmış, c) nano grafen parçacık katkılı nanokompozit ile yapıştırılmış, d) MWCNT parçacık katkılı nanokompozit ile yapıştırılmış kesici uç kullanılması hali ...	59
Şekil 4. 16	Mekanik sıkmalı kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıklarının kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	61
Şekil 4. 17	Yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıklarının kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	61
Şekil 4. 18	Nano grafen katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	61
Şekil 4. 19	MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıkların kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	62
Şekil 4. 20	İş parçası yüzey pürüzlülüğü ölçümü	63
Şekil 4. 21	Mekanik sıkmalı kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	64
Şekil 4. 22	Yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	64
Şekil 4. 23	Nano grafen katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	64
Şekil 4. 24	MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm	65
Şekil 5. 1	Kesici ucun takım tutucuya yapıştırılmasındaki maliyetler	65

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1 Takviyesiz epoksi ve epoksi nanokompozitler için dayanım değerleri [8].....	4
Çizelge 1. 2 Farklı oranlarda MWCNT katılan epoksi nanokompozit filmlerin mekanik özellikleri [11].....	8
Çizelge 3. 1 Loctite® ESP110 epoksi yapıştırıcının sıcaklığa bağlı kürlenme süreleri [29].	24
Çizelge 3. 2 Loctite® ESP110 epoksi yapıştırıcının teknik özellikleri [29].....	24
Çizelge 3. 3 DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği malzemenin kimyasal bileşimi	24
Çizelge 3. 4 Deneyleerde kullanılan nano grafenin özellikleri	25
Çizelge 3. 5 Deneyleerde kullanılan MWCNT özellikleri	26
Çizelge 3. 6 Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri.....	29
Çizelge 3. 7 Baskı kuvvetinin etkinliğinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri	33
Çizelge 3. 8 İdeal nano parçacık katkı oranlarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri.....	37
Çizelge 3. 9 Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantı numuneleri.....	39
Çizelge 4. 1 AISI 1040 çeliği kimyasal özellikleri	44
Çizelge 4. 2 Kistler 9257BA dinamometre teknik özellikleri.....	47
Çizelge 4. 3 Ordel® UDL100-5 veri toplama cihazının teknik özellikleri	50
Çizelge 4. 4 Mitutoyo® SJ 210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri	51
Çizelge 4. 5 Tornalama deneyleerinde kullanılan talaş kaldırma parametreleri	53
Çizelge 4. 6 Nanokompozit yapıştırıcı hazırlamada kullanılan malzemelerin maliyetler	53
Çizelge 4. 7 Asgari ücretli çalışan bir işçinin işverene maliyeti	53
Çizelge 4. 8 Bir kesici ucun takım tutucuya yapıştırılmasında işlem süresi.....	67

**TORNALAMA TAKIMLARINA NANO GRAFEN VE KARBON NANOTÜP
KATKILI EPOKSİ KULLANILARAK YAPIŞTIRILMIŞ KESİCİ UCUN
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Erdem ERYILDIZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Kaynak, lehim, perçin, cıvata gibi çeşitli yöntemler endüstriyel alanlardaki yapısal elemanların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yapıştırma yöntemi, geleneksel birleştirme yöntemlerine önemli bir alternatif oluşturmakta ve sağladığı avantajlardan dolayı endüstriyel uygulamalarda yer almaktadır. İşlem hızı, uygulama kolaylığı, düşük maliyet, düşük gerilim konsantrasyonu ve çeşitli malzemelere uygulanabilirliği yapıştırma bağlantılarının avantajlarına örnek olarak verilebilir. Yapıştırma bağlantılarının dayanımları, yapıştırma işlem parametreleri, yapıştırılan malzemelerin çeşitleri gibi faktörlere bağlı olmalarına rağmen, bağlantı dayanımını belirleyen en önemli faktör, yapıştırıcının dayanımıdır. Yapıştırıcıların dayanımını arttırmak, günümüze kadar pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Günümüzde de yapıştırıcıların mekanik dayanımlarını arttırmak için çalışmalar devam etmektedir. Yapıştırıcıların mekanik dayanımlarını arttırmak için uygulanan yöntemlerden birisi de, yapıştırıcı içerisine dayanımı yüksek çeşitli tozlar ilave etmektir.

Bu çalışmada, sıcaklıkla kürlenmiş tek bileşenli epoksi yapıştırıcı içerisine, dayanımı yüksek olan nano grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) parçacıklar katılarak nanokompozit yapıştırıcılar üretilmiştir. Yapıştırıcı içerisine katılan nano parçacıkların ergime sıcaklıkları, yapıştırıcının kürlenme sıcaklığından daha yüksek olduğu için nano parçacıkların yapısında bir bozulma olmamıştır. Bu nanokompozit yapıştırıcılar, çelik-çelik ve çelik-sert metal (Tungsten Karbür) tek katlı bindirme bağlantılarının

oluşturulmasında kullanılmıştır. Küçük miktarda nano parçacık ilave edilerek hazırlanan nanokompozit yapıştırıcılarla hazırlanan numunelerin bağlantı dayanımları, yalın epoksi yapıştırıcı ile hazırlanan numunelerin dayanımından daha yüksek çıkmıştır.

Talaşlı şekillendirmede, kesici uçların takım tutucusuna tutturulmasında genellikle mekanik sıkma ve sert lehimleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlere alternatif olarak yapıştırma yöntemiyle tutturulmuş kesici uçlarla işlenen iş parçalarının daha iyi yüzey kalitesi sunduğu bilinmektedir. Ancak; yapıştırma bağlantıların dayanımları sınırlıdır. Bu sebeple, bu çalışmada, yalın epoksi yapıştırıcıya göre daha üstün mekanik özelliklere sahip olan nanokompozit yapıştırıcılar, kesici uçların takım tutucuya tutturulmasında kullanılmıştır. Mekanik sıkma yöntemi, yalın epoksi yapıştırıcı veya MWCNT parçacık takviyeli ve nano grafen parçacık takviyeli nanokompozit yapıştırıcılar kullanılarak takım tutucuya tutturulmuş kesici uçlar kullanılarak AISI 1040 çeliğin silindirik tornalamasında oluşan kesme kuvvetleri, sıcaklık ve iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapıştırılmış kesici uç kullanıldığı durumda ölçülen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri, yapıştırıcı tabakanın sönümlenme özelliğinden dolayı C tipi mekanik sıkma yöntemi ile tutturulmuş kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen değerlere göre daha az çıkmıştır. Ancak sıcaklıklar, yapıştırma tabakasının ısı iletkenliğinin az olması nedeniyle yapıştırılmış kesici uçlarda mekanik sıkmalı kesici uçlara göre daha yüksek ölçülmüştür. Yalın epoksi yapıştırıcı içerisine katılan nano parçacıklar, epoksinin viskozitesinin artmasına ve sönümlenme özelliğinin azalmasına neden olduğundan kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüklerini bir miktar arttırmıştır. Ayrıca yüksek ısı iletkenliğine sahip nano parçacıklar, yalın epoksi yapıştırıcının ısı iletkenliğini arttırarak nanokompozit yapıştırıcılar ile takım tutucuya tutturulmuş kesici uçlarda ölçülen sıcaklıkların azalmasını sağlamışlardır. Takviye malzemesi olarak kullanılan nano parçacıklar arasında karşılaştırma yapıldığında ise, yapıştırılan yüzeylere daha iyi tutunan ve matris içerisinde daha homojen bir dağılım sağlayan nano grafen parçacıklar, MWCNT parçacıklara göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Yapıştırma yönteminin mekanik sıkmaya göre maliyetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Kesici ucun takım tutucuya yapıştırma yöntemiyle tutturulması nedeniyle oluşan maliyet incelemesinde, nano kompozit yapıştırıcının yalın yapıştırıcıya göre maliyeti bir miktar daha arttırdığı belirlenmiştir. Ancak; hassas parçaların bitirme işlemlerinde, kesici ucu yapıştırılmış takımların kullanılmasının, ilave maliyetine rağmen tercih edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırılmış kesici uç, tornalama, nano grafen, MWCNT, epoksi yapıştırıcı

**AN INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF CUTTING TOOLS WITH
BONDED INSERT BY NANO GRAPHENE AND CARBON NANOTUBE
REINFORCED EPOXY**

Erdem ERYILDIZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Various methods such as welding, soldering, riveting, bolt etc. are widely used for joining structural components in the industrial areas. However the bonding method has been an important alternative to the traditional joining methods and gained a place in the industrial applications due to offering some advantages. The process speed, ease of application, low cost, low stress concentration and applicability to the various materials can be given as examples to these advantages, although the joint strength depends on the factors such as bonding parameters, type of adherents etc. the most important factor indicating the joint strength is the strength of adhesive. An improvement on the strength of adhesive has been a subject for many researches up to the present. And nowadays these studies have been continued. The reinforcement of the adhesive with various high strength particles is one of the methods to enhance the strength of adhesives.

In this study, nanocomposite adhesives were produced by reinforcing the one part heat epoxy adhesive with high strength nano graphene and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) particles. There is not any failure in the structure of the nano particles due to the fact that the melting temperatures of nano particles are higher than the curing temperature of the adhesive. These nanocomposite adhesives were applied to produce steel-steel and steel-hard metal (Tungsten Carbide) single lap

joints. The joint strength of the samples bonded by nanocomposite adhesives prepared with small amount of nano particles were higher than that of the samples bonded by pure epoxy adhesive.

In machining, mechanical clamping and brazing methods are usually applied to attach the cutting inserts to the tool holder. It is known that the workpieces machined with bonded cutting tools as an alternative of these methods providing better surface quality. However, the strength of the bonded joints is limited. Therefore, in this study, nanocomposite adhesives having better mechanical properties than pure epoxy adhesive were used to attach the cutting inserts to the tool holder. The cutting forces, cutting temperature and workpiece surface roughness values occurring in the cylindrical turning of AISI 1040 steel by using cutting tools attached with mechanical clamping method, pure epoxy adhesive or MWCNT particle reinforced and nano graphene particle reinforced nanocomposite adhesives to the tool holder were measured and the results were compared by each other. The cutting forces and surface roughness values measured in the case of performing bonded cutting tools were lower than the values measured in the case of performing C type mechanical clamping method due to damping properties of the adhesive layer. But the cutting temperatures measured on the bonded cutting tools were higher than that measured on the mechanical clamped cutting tools because of the low thermal conductivity of the adhesive layer. The nano particles reinforcing the pure epoxy adhesive increased the cutting forces and surface roughness' a little due to increasing the viscosity of the epoxy and decreasing the damping properties. In addition, the nano particles having high thermal conductivity caused a decrease in the cutting temperatures measured on the cutting tools attached with nanocomposite adhesives to the tool holder by increasing the thermal conductivity of pure epoxy adhesive. When compared between nano particles as reinforcement materials, nano graphene particles adsorbing better on the adherend surface and providing more homogeneous distribution in the matrix gave better results than MWCNT particles.

It is seen that the cost of the bonding method is higher than that of the mechanical clamping. In the cost analysis due to the attachment of cutting inserts to the tool holder by bonding method, it was determined that the nanocomposite adhesive increased the cost slightly more than the pure adhesive. However, in finishing operations of precision parts, the use of bonded cutting tools could be preferred despite the additional cost.

Keywords: Bonded cutting tool, turning, nano graphene, MWCNT, epoxy adhesive

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yapıştırma yöntemi, iki ya da daha fazla malzemeyi bir yüzey birleştiricisi kullanarak bir araya getirme, birleştirme yöntemidir. Yapıştırma yöntemi, diğer birleştirme yöntemlerine göre pek çok avantaj sunmaktadır. Bunlara örnek olarak düşük maliyet, küçük gerilim konsantrasyonu, yüksek işlem hızı, sızdırmazlık verilebilir. Pek çok farklı tipte yapıştırıcı mevcuttur ve bu yapıştırıcılar çeşitli modifikasyonlarla geliştirilmektedir. Yapıştırma performansı, birleştirilecek olan malzeme, parçanın çalışacağı ortam koşulları, parçanın maruz kalacağı yük miktarı ve bu yükün dinamiği gibi pek çok etkene bağlıdır. Bu nedenle, tüm bu faktörler göz önünde bulundurularak birleştirme işleminde en uygun yapıştırıcı kullanılmalıdır. Termoset bir polimer olan epoksi yapıştırıcılar, sahip oldukları yüksek gerilme dayanımı, yüksek sertlik, kütleme esnasındaki düşük büzülme oranı, iyi derecede kimyasal ve ısıl direnç, yüksek yapıştırma kuvveti gibi özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan yapıştırma yöntemi, cıvata, perçin, kaynak gibi birleştirme yöntemlerine alternatif oluşturmaktadır; ayrıca bu birleştirme yöntemleriyle birlikte hibrit olarak da kullanılabilir. Doğaları gereği görece daha düşük dayanım gösteren yapıştırma bağlantılarının dayanımını arttırmak için yapışkan tabakaya tozlar, tanecikler, rastgele ve dokuma elyaflar ekleme gibi çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve bu yöntemlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır [2].

Partikül takviyeli kompozitler, çeşitli teknolojik alanlarda sahip olduğu potansiyelden dolayı yoğun bir araştırma konusu olmuştur. Takviye malzemesinin türü, şekli, boyutu, yönelimi, dağılımı ve miktarı, kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Ayrıca, takviye malzemesi katılarak oluşturulan

kompozit malzemelerin, yüksek sıcaklık ve basınç altındaki koşullarda daha yüksek dayanım göstermesi öngörülmektedir [3,4].

1.1 Literatür Özeti

Zhai ve arkadaşları [5,6], yapmış oldukları çalışmada epoksi içerisine nano Al_2O_3 ekleyerek yapıştırıcı dayanımını incelemişlerdir. Araştırmalarında en yüksek dayanım artışını %2 nano parçacık ilavesinde elde etmişlerdir. %2 nano parçacık ilavesi ile epoksi dayanımı 3.8 MPa'dan 18.4 MPa'a yükselmiştir.

Kim ve arkadaşları [7], epoksi içerisine nano parçacık ilave ederek kırılma tokluğu değerindeki değişimi incelemişlerdir. Takviye malzemesi olarak nano karbon kullanmışlardır. %3 oranındaki ilave ile epoksi malzemenin kırılma tokluğunda %23 oranında artış gözlemlemişlerdir.

Shokrieh ve arkadaşları [8] epoksi içerisine nano grafen tabakaları katmış ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %0,05; 0,1; 0,25; 0,5 oranlarında ilaveler ile yaptıkları incelemelerde epoksinin elastiklik modülünde artış gözlemlemişlerdir. En yüksek artış ağırlıkça %0,2 nano parçacık ilavesi ile %15,7 olarak kaydedilmiştir.

Montazeri ve arkadaşları[9], epoksi içerisine MWCNT ilave ederek epoksinin mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. %1.5 MWCNT ilavesi ile epoksinin elastiklik modülünde %20'lik artış olduğunu belirtmişlerdir.

Gallego ve arkadaşları [10] yapmış oldukları bir çalışmada, nanokompozitlerde karbon nanotüpün etkisini incelemişlerdir. Epoksi içerisine katılan ağırlıkça %1 oranındaki MWCNT parçacıkların ısı iletkenlik katsayısının %70 oranında arttırdığını belirlemişlerdir.

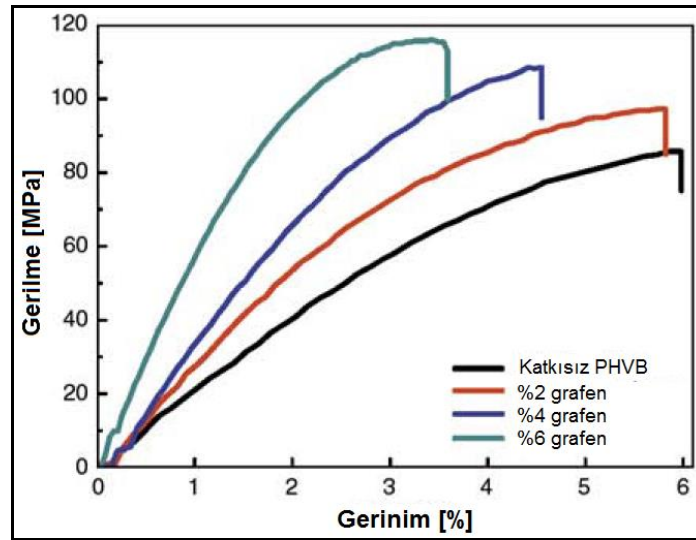
Salam ve arkadaşları [11], çift bileşenli epoksi içerisine çok duvarlı karbon nanotüp katarak ultrasonik ve mekanik olarak karıştırmışlardır. En yüksek dayanım artışını %0.2 nano parçacık ilavesinde elde etmişlerdir. Elastiklik modülünde %11'den %37'ye kadar artış gözlemlemişlerdir.

Das ve arkadaşları [12], yapmış oldukları bir çalışmada polivinil alkol (PVA) ve polimetil metakrilat (PMMA) malzemeyi fonksiyonelleştirilmiş grafen ile takviye ederek mekanik

özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda ağırlıkça %0,6 oranında grafen takviyesi ile her iki malzemenin de elastiklik modülünde önemli oranda artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Shridar ve arkadaşları [13], biyoçözünür bir malzeme olan polihidroksibütiratı nano grafen kullanarak takviyelendirmiş ve elde ettiği nanokompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Şekil 1.1'de PHBV'ye katılan tozların miktarına bağlı olarak çekme mukavemet değişimleri verilmiştir. PHBV içerisine katılan ağırlıkça %2 grafenin, malzemenin elastiklik modülünü 85,7 MPa'dan 97,3 MPa'ya çıkardığı görülmektedir. Bu artış, oran olarak %10,2'ye karşılık gelmektedir. PHBV'nin ağırlıkça %4 grafen ile takviyelendirilmesi sonucu çekme mukavemeti 85,7 MPa'dan 108,7 MPa'ya %19,7 oranında bir artış göstermiştir. Ağırlıkça %6 grafen takviyesi ile birlikte %25,71 artış ile çekme mukavemeti 115 MPa değerine yükselmiştir.



Şekil 1. 1 PHBV'ye katılan tozların miktarına bağlı olarak çekme mukavemet değişimleri [13]

Fan ve arkadaşları [14], nano grafen takviyeli kitosan üretmişlerdir ve nano inceleme teknikleri kullanarak bu malzemeyi incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ağırlıkça %0,1 ile %0,3 arasındaki grafen takviyelerinde, kitosanın elastiklik modülünde %200 civarında bir artış gözlemlemişlerdir.

Chatterjee ve arkadaşları [15,16], grafen epoksi nanokompozitte takviye malzemesi olan grafenin, kompozit üzerindeki mekanik ve termal etkilerini incelemişlerdir. Üç

nokta eğme ve çentik darbe deneyleriyle takviyesiz epoksiye göre epoksi nanokompozitin mekanik özelliklerinde önemli miktarda artış olduğunu göstermişlerdir.

King ve arkadaşları [17], EPON 862 ticari adlı epoksi kullanarak takviyesiz, ağırlıkça %1, %2, %3, %4, %5 ve %6 grafen takviyeli epoksi kompozit üretmişlerdir. Kürlenme işlemi iki basamakta gerçekleştirilmiştir. İlk adımda 120 °C'de 2 saat bekletilen numuneler ardından aynı süre boyunca 177°C'de kürlenmiştir. Ürettikleri bu malzemeleri makroskopik çekme testlerine tabi tutmuşlardır. Yapılan çekme testleri sonucunda, takviyesiz epoksi ve epoksi nanokompozitler için dayanım değerleri çizelge 1.1'de gösterilmiştir.

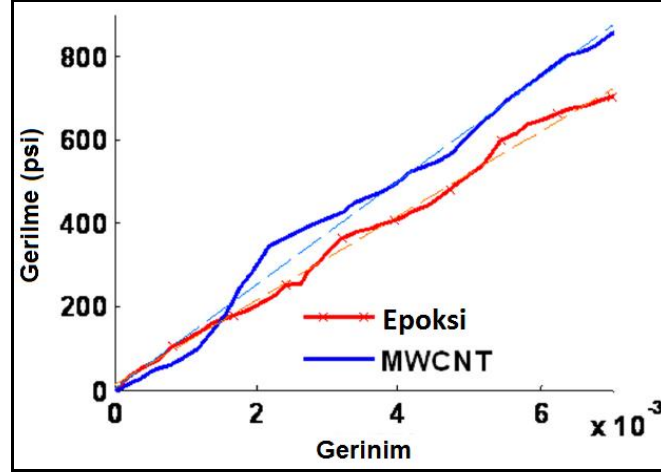
Çizelge 1. 1 Takviyesiz epoksi ve epoksi nanokompozitler için dayanım değerleri [17]

Formül	Ağırlıkça% Nano Grafen	Hacimce% Nano Grafen	Elastiklik Modülü (GPa)
Epoksi	0	0.0	2.72
1	1	0.60	2.82
2	2	1.21	2.92
3	3	1.82	3.04
4	4	2.44	3.15
5	5	3.06	3.26
6	6	3.69	3.36

Yalın epoksi numune üzerinde gerçekleştirilen çekme testi sonuçlarına göre 2,72 GPa ölçülen elastiklik modülü, ağırlıkça %0,1 grafen takviyesiyle 2,82 GPa, %0,2 grafen takviyesiyle 2,92 GPa, %0,3 grafen takviyesiyle 3,04 GPa, %0,4 grafen takviyesiyle 3,14 GPa, %0,5 grafen takviyesiyle 3,26 GPa ve %0,6 grafen takviyesiyle 3,36 GPa olarak ölçülmüştür.

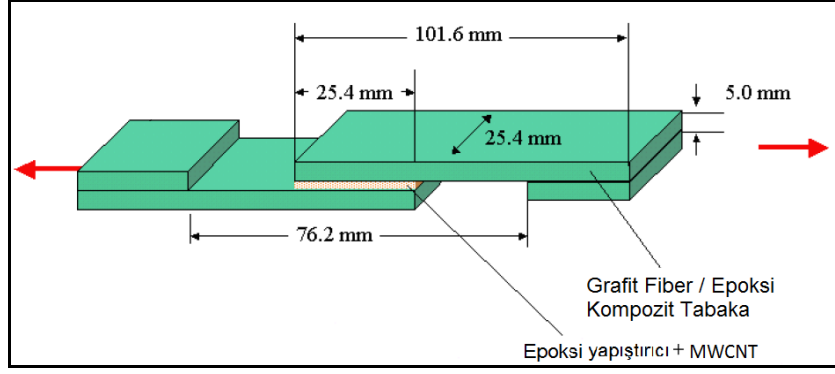
Leininger ve arkadaşları [18], %1 çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) takviyeli epoksi nanokompozit malzemenin mekanik özelliklerini, mikro/nano çekme yükleri etkisi altında, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanarak incelemişlerdir. Test numuneleri iki parçalı silikon kalıba dökülerek hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında çift bileşenli epoksi kullanılmıştır. Karışım, mekanik karıştırma yöntemi ile karıştırılmış ve 10 dakika süreyle vakum altında bekletilerek içerisindeki hava kabarcıklarının uzaklaşması sağlanmıştır. Hazırlanan karışım silikon kalıba doldurulup kürlenerek çekme testinde kullanılacak numuneler üretilmiştir.

Çekme yükü altında, malzeme yüzeyinde AFM kullanılarak yapılan tarama sonucunda mikro/nano deformasyon gözlemlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, ağırlıkça %1 MWCNT katkısının epoksi malzemenin elastiklik modülünde %23 oranında bir artış sağladığını tespit etmişlerdir. Şekil 1.2'de yalın epoksi ve ağırlıkça %1 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozitin gerilme-gerinim grafiği görülmektedir. Test, 0,001 sürekli gerinim altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. 2 Yalın epoksi ve ağırlıkça %1 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozitin gerilme-gerinim grafiği [18]

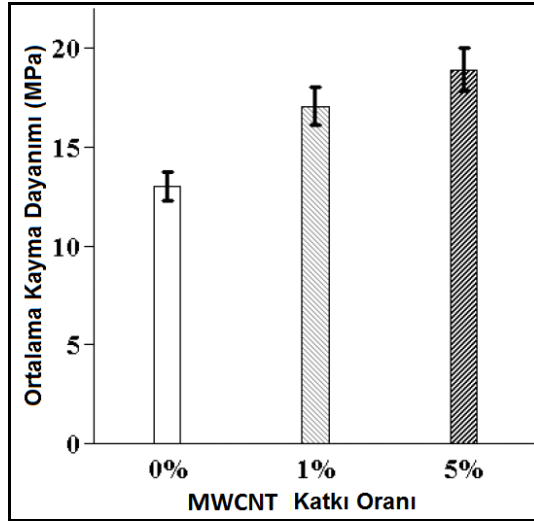
Hsiao ve arkadaşları [19], epoksi yapıştırıcıyı MWCNT ile takviyelendirerek yalın epoksiye göre daha dayanıklı bir yapıştırıcı elde etmeye çalışmışlardır. Yapıştırıcı olarak SC-15 ticari adlı çift bileşenli epoksi kullanmışlardır. Epoksi içerisine ağırlıkça %1 ve %5 MWCNT katarak oda sıcaklığında 20 dakika süreyle ultrasonik olarak karıştırmışlardır. Karıştırma işlemi esnasında oluşan kabarcıkların uzaklaştırılması için karışıma 20 dakika süreyle vakum uygulamışlardır. Grafit/epoksi malzemeyi yapıştırmak için yalın, ağırlıkça %1 ve %5 MWCNT ile takviyelendirilmiş epoksi kullanarak bu malzemelerden hazırlanan yassı çubukları tek katlı bindirme bağlantı şeklinde Şekil 1.3'de görüldüğü gibi yapıştırmışlardır.



Şekil 1. 3 Tek katlı bindirme bağlantı [19]

Üç ayrı yapıştırıcı kullanarak tek katlı bindirme bağlantı şeklinde hazırladıkları deney numunelerini 150°C'de iki saat süreyle kürlemişlerdir.

Şekil 1.4'de de görüldüğü üzere hazırlanan numuneler ile gerçekleştirilen deneylerde, MWCNT ile takviyelendirerek hazırlamış oldukları numunelerin kayma dayanımları, yalın epoksi kullanılarak yapıştırılmış numunelerin kayma dayanımına göre belirgin bir artış göstermiştir.

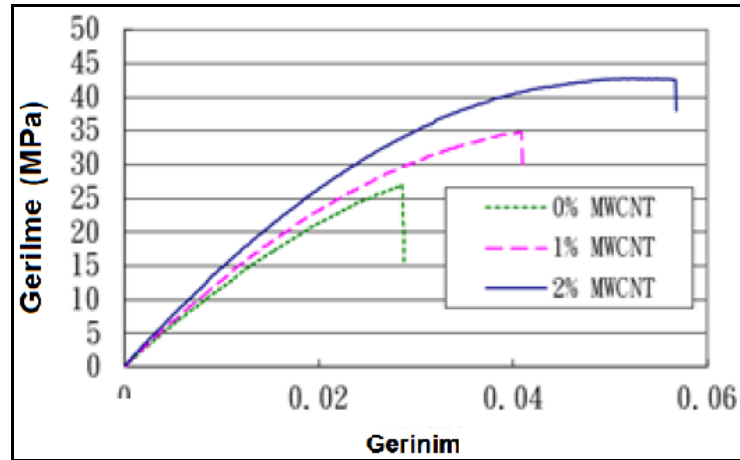


Şekil 1. 4 Farklı oranlarda MWCNT katılan epoksinin kayma dayanımı [19]

Yalın epoksi kullanılarak yapıştırılmış deney numunelerinin kayma dayanımları kıyaslandığında, ağırlıkça %1 MWCNT ile takviyelendirilmiş epoksi kullanılarak yapıştırılan deney numunelerinin kayma dayanımı %31,2; ağırlıkça %5 MWCNT ile takviyelendirilmiş epoksi kullanılarak yapıştırılan deney numunelerinin kayma dayanımında %45,6 oranında artış gözlenmiştir.

Her ve Shiu [20], MWCNT ile takviye edilmiş epoksi nanokompozit film üretmek için bu malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler için çift bileşenli epoksi kullanmışlardır. Nanokompozit malzemeyi hazırlamak için MWCNT'yi doğrudan epoksi içerisine katarak homojen bir dağılım sağlamak için 5 saat süreyle ultrasonik olarak karıştırmışlardır. Ardından epoksi reçinenin sertleştiricisi eklenerek hafif bir şekilde 5 dakika süreyle karıştırmışlardır. Karıştırma işleminden sonra epoksi içerisinde oluşan hava kabarcıklarını 30 dakika süre ile vakumlayarak gidermişlerdir. Film üretimi için hazır hale gelen karışımı kalıba dökerek 50 °C'de 100 N/cm² basınç ile preslemişlerdir. Üç saatlik kütleme işlemi sonrasında 200 µm kalınlığında film elde etmişlerdir. Toplamda üç farklı film üretilmiş olup ikisi ağırlıkça %1 ve %2 MWCNT takviyeli nanokompozit, üçüncü film ise bu iki farklı nanokompozit filmle karşılaştırmak için üretilen yalın epoksi filmidir.

Üretilen filmler test standartlarına göre 185x15 mm boyutlarında kesilmiştir. Hazırlanan bu numuneler ile gerçekleştirilen çekme testlerine ait sonuçlar Şekil 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1. 5 Farklı oranlarda MWCNT katılan epoksi nanokompozit filmlerin kayma dayanımı [20]

Malzemelerin gerilme gerinim eğrilerinden yararlanılarak elastiklik modülü hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 1.2'de verilmiştir.

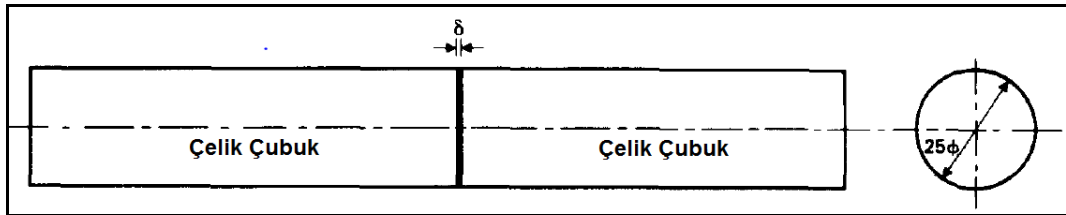
Çizelge 1. 2 Farklı oranlarda MWCNT katılan epoksi nanokompozit filmlerin mekanik özellikleri [20]

Ağırlıkça % MWCNT	0	1	2
Elastiklik Modülü (GPa)	1.15	1.35	1.52
Kayma Dayanımı (MPa)	23.07	25.97	27.50
Çekme Dayanımı (MPa)	31.51	35.65	42.80

Yalın epoksi ile karşılaştırıldığında, epoksi nanokompozitlerin elastiklik modülünde belirgin bir artış gözlenmiştir. Yalın epoksi için 1,15 GPa olarak hesaplanan elastiklik modülü, ağırlıkça %1 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozit için 1,35 GPa, ağırlıkça %2 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozit için 1,52 GPa olarak hesaplanmıştır.

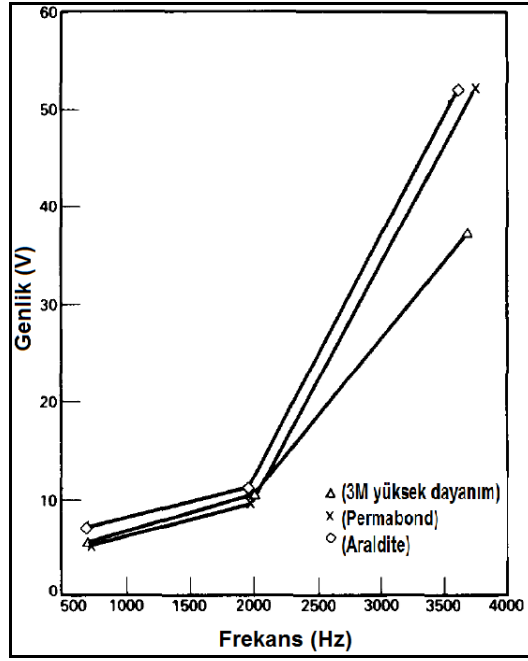
Çekme dayanımları incelendiği zaman yalın epoksi 31,51 MPa ölçülürken ağırlıkça %1 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozit için 35,65 MPa, ağırlıkça %2 MWCNT takviyeli epoksi nanokompozit için 42,80 MPa olarak ölçülmüştür.

Kesici takımların yapıştırılmasında yaygın olarak, mekanik sıkma ve sert lehimleme yöntemleri kullanılır. Bu iki yöntem dışında kullanılmaya başlanan bir yöntem olarak yapıştırma yöntemi, ilk olarak 1980 yılında Rusya'da rapor edilmiştir[21]. Darwish ve Davies [22], metal yapıştırmada kullanılabilecek üç farklı yapıştırıcıyı test etmişlerdir; Araldite 2004, 3M yüksek dayanımlı yapıştırıcı ve Loctite ESP110. İlk olarak bu yapıştırıcıların metal işleme esnasında maruz kalacağı kuvvetleri sönümleyebilme kabiliyetleri incelenmiştir. Bunun için Şekil 1.6'da görülen iki adet eşit uzunluktaki silindirik çubuk, sırasıyla bu üç yapıştırıcı ile eşit yapıştırıcı kalınlıklarında yapıştırılmıştır ve bu numunelerin sönümleme özellikleri belirlenmiştir.



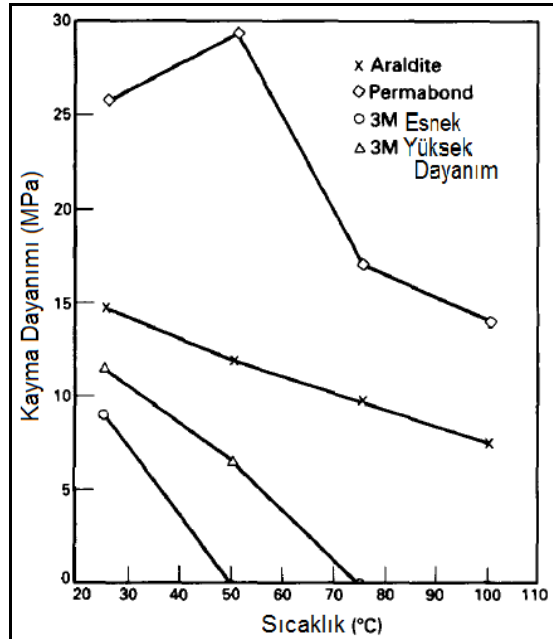
Şekil 1. 6 Yapıştırıcı sönümleme deney numunesi [22]

Şekil 1.7'de Araldite 2004, 3M yüksek dayanımlı yapıştırıcı ve Loctite ESP 110'a ait sönümleme özellikleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 3M yüksek dayanımlı yapıştırıcı, diğerlerine göre daha yüksek sönümleme özelliği göstermiştir.



Şekil 1. 7 Yapıştırıcı çeşidinin sönümlenme kabiliyeti üzerindeki etkisi [22]

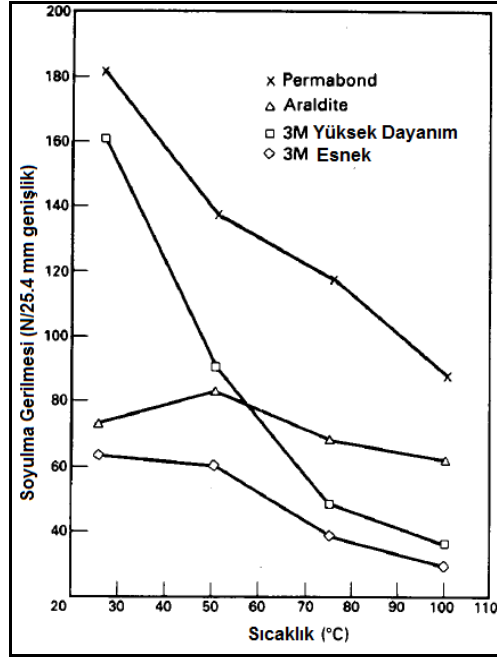
Seçilen farklı yapıştırıcıların ısı etkisi altındaki mekanik özelliklerini belirlemek için tek katlı bindirme bağlantı numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 1.8'de yapıştırıcıların kayma dayanımlarının sıcaklık artışıyla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1. 8 Sıcaklığın kayma gerilmesi üzerindeki etkisi [22]

Loctite ESP1110 diğer yapıştırıcılar arasında en yüksek dayanımı göstermiştir. Ayrıca kayma dayanımı 50°C'ye kadar artış göstermiştir.

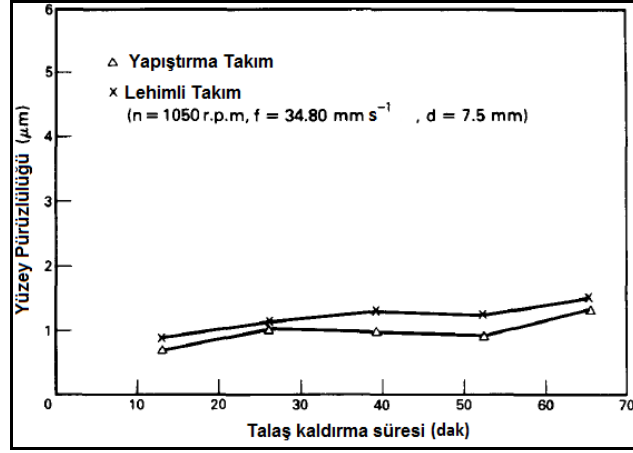
Şekil 1.9'da farklı yapıştırıcıların çekme dayanımlarının sıcaklık artışıyla değişimi gösterilmiştir. Loctite ESP110 tüm sıcaklık değerlerinde en yüksek çekme dayanımı gösteren yapıştırıcı olmuştur.



Şekil 1. 9 Sıcaklığın soyulma gerilmesi üzerindeki etkisi [22]

Darwish ve Davies [12], tek katlı bindirme bağlantı şeklinde hazırladıkları 6 adet numunenin üçünü Araldite yapıştırıcı ile, diğer üçünü ise Loctite ESP 110 ile yapıştırmıştır. Hazırlanan bu numuneleri 75°C suyun içerisinde 1,3 N/mm² kayma gerilmesi altında bekletilmiştir. Numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda, Araldite ile yapıştırılan bağlantının 72 saat sonra dayanımını kaybettiği görülmüştür. Loctite ESP110'un ise sahip olduğu dayanımın %22'sini 264 saat sonra kaybettiği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda en iyi dayanım değerlerini gösteren Permabond ESP110 epoksi yapıştırıcı, K10 tipi sinterlenmiş karbür uçların freze gövdesine bağlanmasında kullanılmıştır. Kesme şartları olarak iki farklı bağlantı (lehimleme ve yapıştırma), üç farklı devir sayısı (845, 1050 ve 1300 dev/dak), iki farklı ilerleme hızı (34,80 ve 44,45 mm/dak) ve sabit keme derinliği (7,5 mm) kullanılarak 100 mm çaplı yumuşak çelik üzerinde talaşlı işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Talaşlı

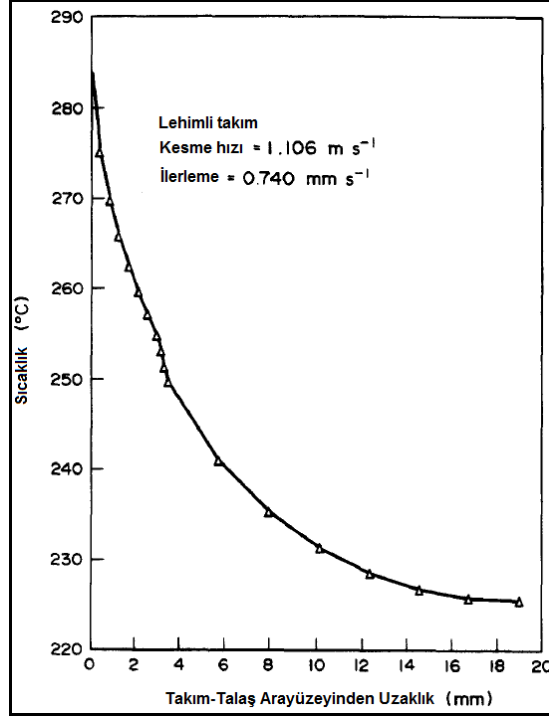
işleme sonucunda iş parçası yüzey pürüzlülüğünün talaş kaldırma süresine bağlı değişimi yapıştırma ve lehimli bağlantılar için Şekil 1.10'da gösterilmiştir.



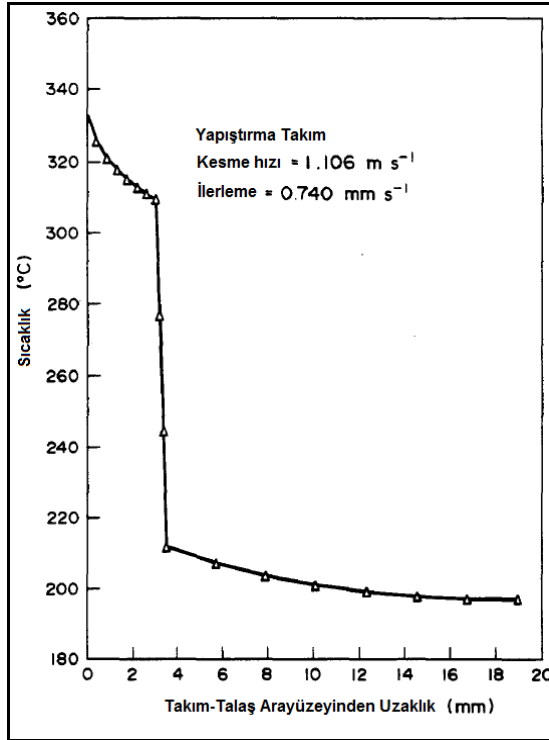
Şekil 1. 10 İş parçası yüzey pürüzlülüğünün talaş kaldırma süresine bağlı değişimi [21]

Yaptıştırma bağlantılarda yüzey pürüzlülük değeri işleme süresinin artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Aynı talaş kaldırma parametrelerinde kesici ucu yapıştırma yöntemiyle tutturulmuş takım, lehimle tutturulmuş takımlara göre daha küçük yüzey pürüzlülük değerleri vermiştir.

Darwish ve Davies [22], yapıştırma takım ile lehimli takım arasındaki ısı akışını karşılaştırmak için ortogonal tornalama deneyleri yapmışlardır. Tornalama deneylerinde iş parçası olarak dış çapı 46,9 mm, cidar kalınlığı ise 7,01 mm olan çelik boru kullanmışlardır. Deneylerde sabit ilerlemeye karşılık (0,81mm/dev) üç farklı kesme hızı ile (66,36 m/dak, 85,8m/dak ve 102m/dak) işleme gerçekleştirilmiştir. Şekil.14'te lehimli takımların, Şekil 1.11'de ise yapıştırma takımların takım-talaş ara yüzeyindeki sıcaklıklar gösterilmiştir.



Şekil 1. 11 Mekanik sıkmalı takımda takım talaş ara yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımı [22]



Şekil 1. 12 Yapıştırma takımında takım talaş ara yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımı [22]

Şekil 1.12'de görüldüğü üzere kesici uç ile takım tutucu arasında ısı akışı, yapıştırıcı tabakada kesintiye uğrar. Bu duruma yapıştırıcı malzemenin küçük ısıl iletkenlik katsayısı neden olur. Yapıştırıcı tabaka termal bariyer oluşturur.

Darwish ve arkadaşları [23], sıcaklığa karşı hassasiyeti olan duralumin malzemeyi yapıştırma takımlarla işlemişlerdir. Duralumin, fiziksel ve kimyasal aşındırıcılara dayanıklı bir alüminyum alaşımıdır. İşleme sırasında oluşan sıcaklığın, malzemenin mikro sertlik ve iç yapısına etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, yapıştırma takımlarla işlenen duraluminin faz yapısı kararlılığını koruduğu ve bu işlem için güvenli olduğunu göstermişlerdir.

Darwish [24], kesici takımların takım tutucuya bağlanma yöntemlerinin iş parçasının geometrik tolerans ve boyutsal hassasiyet üzerindeki etkilerini incelemiştir. Talaşlı işleme, üç farklı ilerlemede (0.075, 1.0, 0,15 mm/dev), üç farklı devirde (400, 500 ve 600 dev/dak) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) yumuşak çelik üzerinde gerçekleştirilmiştir. Lehimli ve mekanik sıkımalı takımlarla kıyaslandığında, yapıştırıcı tabakanın sönümlenme kabiliyeti sayesinde yapıştırma takım ile işlenen iş parçasının boyutsal hassasiyetlerinin daha yüksek, geometrik toleranslarının daha dar olduğu görülmüştür.

Darwish [25], yapmış olduğu bir çalışmada nikel esaslı süper alaşım bir malzeme olan süpermet 718'i yapıştırılmış kesici uca sahip takımlarla işlemiştir. Deneylerde 50 mm çapındaki iş parçası, iki farklı devirde (200 ve 800 dev/dak), iki farklı ilerleme hızında (0,15 ve 0,6 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliğinde (0,5 ve 2 mm) işlenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, aynı parametrelerde mekanik sıkımalı takımla işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğüyle karşılaştırılmıştır. Kesici takım olarak CBN, P10 sert metal ve seramik kullanılmıştır. Yapıştırılmış kesici uca sahip takımla işlenen iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünde iyileşme görülmüştür ancak, sert iş parçasının işlenmesi esnasında ortaya çıkan ısı sebebiyle yapıştırma takımlarda serbest yüzey aşınmasının arttığı belirlenmiştir.

Kavak ve Altan [26], yapmış oldukları çalışmada, sıcaklıkla kürleşen tek bileşenli epoksi yapıştırıcı (Loctite ESP110) içerisine yumuşak lehim tozu (63/37 kalay kurşun) ilave ederek yeni bir hibrit bir yöntem (yapıştırma-yumuşak lehimli) geliştirmişlerdir. Geliştirilen hibrit yöntem, talaşlı imalatta kullanılan torna takımlarında kesici ucun takım tutucuya tutturulması için kullanılmıştır.

Deneylerde dört farklı kesme hızında (150, 168, 187 ve 210 m/dak), üç farklı ilerlemede (0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliğinde (1,5 ve 2,5 mm) AISI 1040 çelik iş parçası işlenmiştir. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık aynı parametrelerde mekanik sıkımalı takımla işlenen iş parçasının deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çelik – çelik yapıştırma yumuşak lehim birleştirmelerinde 180°C kütleme sıcaklığında lehim alaşımının ergimedığı, birleştirmede sadece metal toz etkisi yarattığı belirtilmiştir. En iyi dayanım değerinin ağırlıkça %5 lehim tozu ilavesi ile elde edildiği, bu oranın aşağısı ve yukarısındaki ilavelerde dayanımın düştüğü görülmüştür.

Çelik – çelik yapıştırma yumuşak lehim birleştirmelerinde 200°C kütleme sıcaklığında yumuşak lehim alaşımının ergidiğini ve hibrit birleştirme sağlandığını belirtmişlerdir. Ağırlıkça %5 lehim tozu ilavesi ile 200°C kütleme sıcaklığında hazırlanan bağlantılar, aynı oranda lehim tozu ilavesi ile 180°C kütleme sıcaklığında hazırlanan bağlantılardan yüksek dayanım vermiştir.

Mekanik sıkımalı ve hibrit yöntemle oluşturulan takımlarla yaptıkları tornalama deneylerinde elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde küçük bir iyileşme yönünde farklılık olduğunu görmüşler ve bu sonuçlar ile beraber hibrit yöntemin kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Yapıştırma yöntemi, diğer bağlantı yöntemleri ile kıyaslandığında sunmuş olduğu avantajlardan dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Yapıştırıcıların çok farklı çeşitleri bulunmakla beraber fiziksel yapıları, kimyasal özellikleri uygulama yöntemleri değişkenlik göstermektedir. Yapıştırma bağlantıların dayanımına yapıştırıcının ve yapıştırılacak malzemelerin cinsi ve yüzey hazırlama kriterleri doğrudan etki etmektedir. En uygun şartlarda bile yapıştırma bağlantılarının dayanımı, yapıştırıcıların doğası gereği sınırlıdır. Yapıştırıcıların dayanımını arttırmak için yapılan çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Yapıştırma bağlantılarının mekanik dayanımlarını arttırmak için yapıştırıcı içerisine farklı boyut ve özelliklerde parçacıkların ilave edilmesi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu

çalışmada, ısıyla kürlenmiş tek bileşenli epoksi yapıştırıcı içerisine mekanik dayanımları yüksek olan MWCNT ve nano grafen parçacıklar katılmıştır. Bu ilave malzemeler ile dayanımı arttırılmış nanokompozit yapıştırıcılar üretilmiş ve bu nanokompozit yapıştırıcılar tornalama işleminde kesici ucun takım tutucuya tutturulmasında kullanılmıştır. Bu sayede, kesici takımların takım tutucuya tutturulmasında kullanılan mekanik sıkma ve sert lehimleme yöntemlerine alternatif olarak kullanılan yapıştırma yönteminin yaygınlaştırılması ve özellikle hassas talaşlı işleme yöntemlerinde kullanımının arttırılması amaçlanmıştır.

Kesici uçların tutturulmasında alternatif olarak kullanılacak bu yöntemin, mekanik sıkma ve sert lehimleme yöntemlerine göre bir takım avantajlar sağladığı bilinmektedir. Bu avantajlar, mekanik sıkmalı takımlarda parça işleme sırasında oluşan titreşimin azaltılması ve sert lehimleme sırasında oluşan sıcaklıklardan dolayı kesici uçta meydana gelen mikro çatlakların önüne geçilmesi olarak belirtilebilir. Ancak, talaşlı şekillendirme sırasında oluşan ısı nedeniyle, ısının yüksek olması durumunda yapıştırıcının dayanımının düştüğü ve bağlantının koptuğu da bilinmektedir. Bu sebeple, yapıştırma yönteminin sunduğu avantajlardan yararlanabilmek amacıyla bağlantının dayanımını arttırmak ve talaşlı işleme sırasında oluşan ısının yapıştırıcı tabaka üzerinden takım tutucuya iletilebilmesini sağlayabilmek için yalın epoksi yapıştırıcı içerisine nano grafen ve MWCNT parçacıkların ilavesi ile nanokompozit yapıştırıcılar üretilmiştir. Bu amaçla, öncelikle geliştirilen nanokompozit yapıştırıcılar kullanılarak hazırlanan tek katlı bindirme bağlantı numunelerine kayma deneyleri uygulanmıştır. Daha sonra, üretilen bu nanokompozit yapıştırıcılar, kesici uçların takım tutucuya tutturulmasında kullanılmış ve hazırlanan takımların talaşlı işleme performansları araştırılmıştır. Kesici ucun takım tutucuya tutturulmasında kullanılan yöntemlerinin maliyetleri incelenmiş olup birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

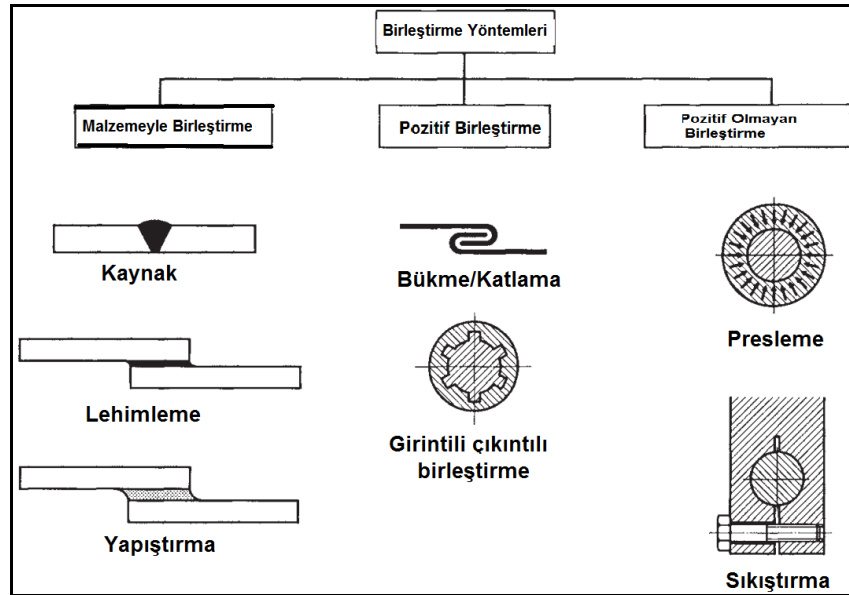
Yapıştırıcıların doğaları gereği sınırlı olan dayanımlarını arttırmaya yönelik çalışmalar, yapıştırıcıların endüstriyel alanda kullanılabilirliğini arttırmak için oldukça önemlidir. Yapıştırıcıların endüstriyel alanda kullanılmasıyla birlikte başlayan süreçte, pek çok farklı kimyasal yapıda ve fiziksel özelliklerde yapıştırıcı geliştirilmiş ve günümüzde de

araştırmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, ısıyla kürlenen tek bileşenli epoksi yapıştırıcı içerisine nano grafen ve MWCNT parçacıklar katılarak daha üstün mekanik özelliklere sahip nanokompozit yapıştırıcılar oluşturulması varsayılmıştır. Bu nanokompozit yapıştırıcılar ile takım tutucuya tutturulan kesici uçlar kullanılarak gerçekleştirilen tornalama işlemlerinde ise yapıştırıcı tabakanın titreşim snleme özelliğinden ve nano parçacıkların yüksek ısı iletkenliği ve üstün mekanik özelliklerinden faydalanılması varsayıldığından, mekanik sıkma yöntemine, özellikle ince paso talaş kaldırma ve mikro talaş kaldırma işlemlerinde alternatif olacağı öngörülmüştür.

YAPIŞTIRMA YÖNTEMİ

2.1 Yapışma İşlemi ve Yapıştırıcı

İki veya daha fazla malzemeyi, ilave malzeme kullanarak ya da kullanmadan bir araya getirme, birleştirme olarak adlandırılır. Malzemeleri kullanım süreleri içerisinde bir arada tutmak için kullanılan birleştirme teknikleri çeşitlilik göstermekle beraber Şekil 2.1’de bu teknikler şematik olarak gösterilmiştir.



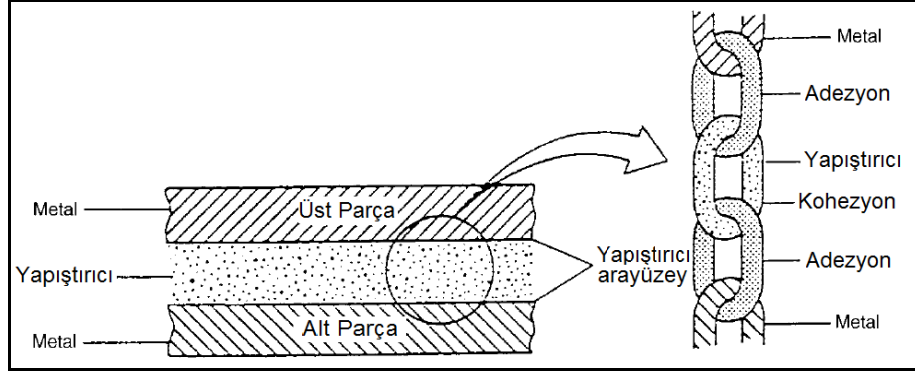
Şekil 2. 1 Birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması [27]

Kaynak, lehim, civata gibi bağlantı yöntemlerine göre daha pratik ve ucuz olan yapıştırma yönteminin tarihi antik çağlara kadar uzanır. Yapıştırıcı kullanımı çeşitli hayvanların ürettiği mukoza, bitki özleri gibi doğal yapışkanların kullanımıyla

başlamıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte doğal yapıştırıcılar yerini sentetik yapıştırıcılara bırakmıştır. İlk ticari yapıştırıcı örnekleri 19. yy başlarında görülmektedir. 20. yy'da ise çeşitli endüstriyel alanda kullanımı yaygınlaşan yapıştırıcılar, günümüzde önemli birleştirme yöntemleri arasındadır [28].

Yapıştırma işlemi, iki ya da daha fazla parçanın yüzey teması ile bir araya getirilmesi işlemidir. Temas eden yüzeylere uygulanan ve parçaların bir arada durmasını sağlayan malzemeye yapıştırıcı denir. Birleştirilecek yüzeylere uygulanan sıvı formdaki yapıştırıcı, birtakım kimyasal reaksiyonlardan sonra katı forma geçer. Bu işlemin adı kürlemedir. Kürleme, yapıştırılacak olan malzemelerin yüzey birleştirilmesinin sağlandığı prosestir. Kürleme, ısıyla veya bir katalizörle bazen de ikisinin birlikte uygulanmasıyla gerçekleşir. Yapıştırılacak olan yüzeylere uygulanan basınç ise yapıştırıcı kalınlığını ayarlamak için olduğu gibi bazı durumlarda kürleme için de gereklidir. Kürleme, belirli bir sürede gerçekleşir. Bu süreye kürleme zamanı denilmektedir. Kürlemenin doğru ve tam yapılması, yapıştırılan parçaların bağlantı dayanımını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapıştırıcı tipine en uygun kürleme yöntemi ve süresi belirlenmelidir [29].

Yapıştırılan parçada yüzey ile yapıştırıcı arasındaki bağlantı adhezyon, yapıştırıcının kendi içerisindeki bağlantı kuvveti ise kohezyon olarak adlandırılır. Adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin sonucunda yapışma işlemi meydana gelir. Bu durum fiziksel ve kimyasal bir olaydır. Yapıştırılan parça yüzeyindeki korozyon, oksit ve yağ tabakası gibi durumlarda yapıştırıcı ile yapıştırılan parça yüzeyi arasındaki bağlantı zayıflayabilir ve bu durum bağlantı dayanımının düşmesine neden olabilir. Bunun yanında yapıştırıcının kendi içerisindeki dayanımı da zincir halkalarından birini oluşturur. Uygun olmayan yapıştırıcı çeşidi ve yapıştırma kalınlığıyla, bu halkanın en zayıf halka konumuna geçmesi de söz konusudur. Bağlantı dayanımının en zayıf halka dayanımı ile sınırlı olduğu Şekil 2.2'de görülmektedir. Bu nedenle, her bir halkanın gerekli dayanımı göstermesi için yapıştırma işlemi uygun malzeme ve tekniklerle gerçekleştirilmelidir [30].



Şekil 2. 2 Yapıştırma bağlantısının halkalı zincir modeli [30]

2.2 Yapıştırıcı Malzemeler

Yapıştırıcı malzemeler doğal, inorganik ve sentetik yapıştırıcılar olmak üzere üç gruba ayrılır [29].

Doğal yapıştırıcılar; reçine nişasta dekstrin, soya unu ve kollajen içeren bitkiler ve hayvanlar gibi doğal kaynaklardan üretilmiş malzemelerdir. Bu kategorideki yapıştırıcılar genelde mukavva kutu, mobilya, ciltçilik gibi veya kontrplak gibi büyük yüzey alanları içeren küçük gerilme uygulamalarıyla sınırlıdır. İnorganik yapıştırıcılar; genellikle sodyum silikat ve magnezyum oksiklorür esaslıdır. Maliyetin nispeten az olmasıyla beraber bu yapıştırıcı türünün dayanımı da azdır. Sentetik yapıştırıcılar, üretimde en önemli kategoriyi oluştururlar. Termoplastikler ve termoset polimerlerin farklı çeşitlerini kapsarlar. Önemli sentetik yapıştırıcılar; anaerobik yapıştırıcılar, modifiye edilmiş akrilik, siyanoakrilat, epoksi, sıcaklıkla eriyen yapıştırıcı, basınç hassasiyetli filmler ve bantlar, silikon, üreterandır. Bu yapıştırıcılar ile değişik mekanizmalarla kürlleme gerçekleştirilebilir. Uygulamadan hemen önce polimere katalizör veya reaktif bileşenin karıştırılmasıyla, kimyasal reaksiyonu başlatmak için ısıtma işlemi uygulanmasıyla, ışınım kürlleme-ultraviyole ışık kullanılmasıyla, macun veya sıvı yapıştırıcıdan suyun buharlaştırılması yoluyla kürlleme gerçekleştirilebilir [26].

2.3 Yapıştırma İşleminde Yüzey Hazırlama

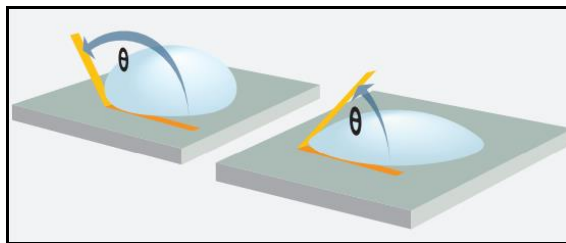
Yapıştırma yönteminin dezavantajları arasında sayılabilecek bir durum da yapıştırılacak malzemelerin işlem öncesinde yüzey temizliği gerektirmesidir. Yapıştırılacak yüzey ile bağlantı dayanımı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Yapıştırma işleminin

sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, yapıştırılacak yüzeylerin temizliğinin doğru ve yeterli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yapıştırıcı uygulanmadan önce yüzeyde yağ alma, temizleme gibi işlemler yapılmalıdır. Bundan dolayı aşağıda belirtilen işlemlerinin biri veya birkaçının kombinasyonu, yapıştırılacak olan yüzeylere yapıştırma işlemi öncesinde uygulanmalıdır [31].

- Malzeme kaldırma (yağ, oksit tabakası, toz vs.)
- Yüzey kimyasının modifikasyonu
- Yüzey topografyasını değiştirme (pürüzlendirme)

Yüzey hazırlama teknikleri, yapıştırılacak olan malzemeye göre çeşitlilik gösterir. Yapıştırılacak olan malzeme yüzeylerinin temizlenmesindeki amaç, yüzeyde bulunan ve bağlantı dayanımını düşürebilecek oksit tabakası, yağ, toz gibi maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Yüzeyde kalıntı bırakmadan uçucu özellik gösteren çözücüler bu amaçla kullanılabilir. Örneğin; hidrokarbonlar, ketonlar, alkoller yüzeyin yağdan arındırılması için kullanılan çözücülerdir. Yapıştırılacak olan yüzeydeki yağ, gres gibi maddeler deterjanlı su kullanılarak da temizlenebilir. Bu amaçla kullanılan deterjanların alkali olması tavsiye edilir. Çünkü alkali bazlı sulu temizleyiciler her zaman korozyon önleyici bir etkiye sahiptir. Yüzeyde deterjan kalması, yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzey arasındaki adhezyon kuvvetinin azalmasına neden olabileceği için temizleme sonrası deterjan, yüzeyden saf su ile durulanarak uzaklaştırılır [32].

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, iyi bir yüzey hazırlama işleminden sonra yapıştırıcının yüzey ıslatma kabiliyeti artmaktadır. Bu durum bağlantı durumunu doğrudan etkilemekte, arttırmaktadır.



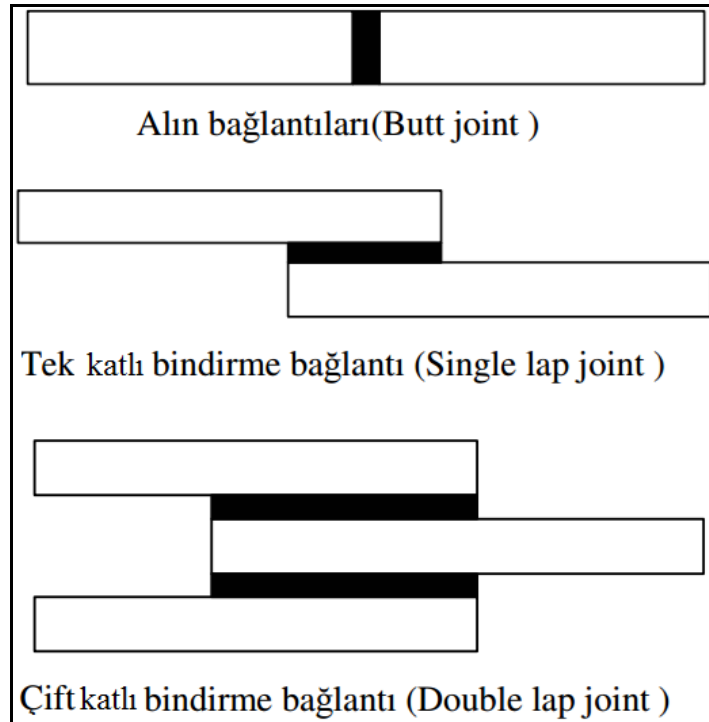
Şekil 2. 3 Yüzey hazırlama işleminin yüzey ıslatma açısına etkisi [32]

Yüzey temizleme işlemi gerçekleştirildikten hemen sonra yapıştırma yapılmalıdır. Çünkü geçen süre zarfında yüzeyde oksidasyona bağlı yeni bir tabaka oluşumu, kir

toplanması söz konusu olabilir. Yüzeyin yapıştırmaya en elverişli olduğu zaman, temizlik işlemlerinden hemen sonradır. Yapıştırma işleminin yüzey temizlendikten hemen sonra yapılamayacağı durumlarda yapıştırılacak olan malzeme uygun koşullarda muhafaza edilmelidir. Muhafaza esnasında yapıştırılacak yüzeyin hava ile temas ederek oksitlenmesi önlenmelidir. Ayrıca, yapıştırılacak parça yüzeyi toz vs maruz bırakılmamalıdır. Özellikle çelik gibi kolay oksitlenen malzemelerin, temizlendikten sonra kurutmasının hızlı bir şekilde yapılması gerekir. Yapıştırılacak numuneleri yıkadıktan sonra suyun hızlı bir şekilde yüzeyden uzaklaştırılmasına alkolle çalkalama gibi işlemler de yardımcı olmaktadır [33].

2.4 Yapıştırma Bağlantılarda Geometri ve Bağlantı Dayanımı

Uygun bir tasarım, yapıştırıcı bağlantılarındaki gerilme dağılımı ve bağlantının hasar mukavemeti hakkında yeterli bilgiye sahip olmayı gerektirir. Bağlantının davranışı, geometri ve malzeme davranışı gibi birçok parametreye bağlıdır. Şekil 2.4'de en çok karşılaşılan bağlantı tiplerine örnek verilmiştir.

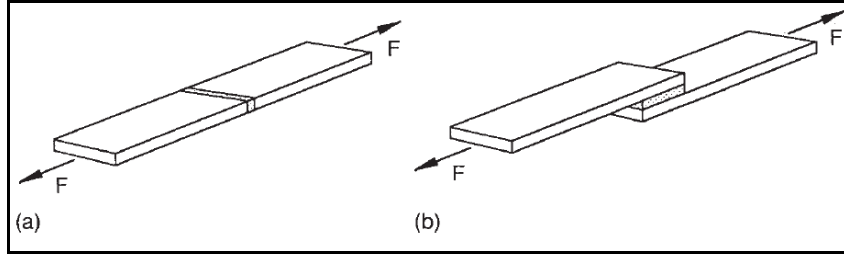


Şekil 2. 4 Yapıştırma bağlantı çeşitleri [34]

Şekil 2.5 tek katlı bindirme bağlantısını göstermektedir. Bu bağlantı tipi yapıştırıcıların test edilmesinde en fazla kullanılan bağlantı tipidir. Tek katlı bindirme bağlantıların

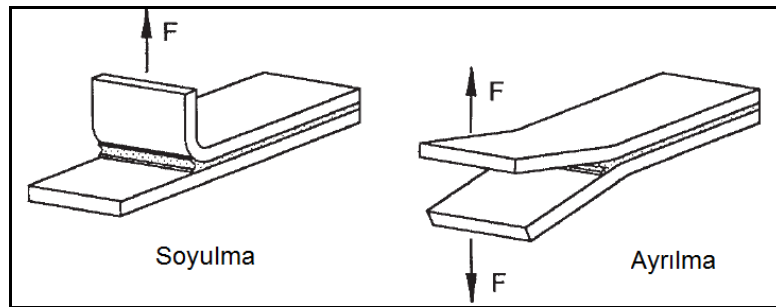
kalite kontrolünde numuneler test edilir. Bağlantının yapılışı basittir ve elde edilen sonuçlar hem yapıştırıcı kalitesi hem de malzeme yüzey işlemleri açısından hassastır [35].

Yapıştırma bağlantının çekme gerilmesine maruz kalması, yapıştırıcının doğası gereği çok tercih edilen bir durum değildir. Çekme gerilmesinin kaçınılmaz olduğu durumlarda bağlantıya çekme-kayma gerilmesi uygulanacak şekilde tasarımın yapılması daha dayanıklı bir yapışma sağlar. Şekil 2.5 (a)'da yapıştırıcı tabaka maruz kaldığı kuvvet sonucu ayrılacaktır. Şekil 2.5 (b)'de ise yapıştırıcı tabaka F kuvveti etkisi altında bir miktar uzama gösterecek ve daha yüksek miktarda kuvveti yapıştırılan malzemeye aktarabilecektir. Bu nedenle kopma durumu daha yüksek F kuvvetlerinde gerçekleşecektir [27].



Şekil 2. 5 Yapıştırma bağlantılarda (a) çekme gerilmesi (b) çekme-kayma gerilmesi oluşturan kuvvet sistemleri [27]

Şekil 2.6'da görülen soyulma ve ayrılma, bağlantı bölgesinde görülmek istenmeyen gerilme tipleridir[18].



Şekil 2. 6 Yapıştırma bağlantıda soyulma ve ayrılma kuvveti oluşturacak kuvvet uygulamaları [27]

YAPIŞTIRMA İŞLEMİ İÇİN PARAMETRELERİN DENEYSEL BELİRLENMESİ

Yapıştırma yönteminin uygulanması esnasında kullanılan yapıştırıcı ve yapıştırılacak malzemelere bağlı olarak seçilebilecek pek çok parametre vardır. Yapıştırıcının kürlenme sıcaklığı, kürlenme süresi, yapıştırılacak parçanın yüzey hazırlama işlemleri vb. bu parametrelere örnek olarak verilebilir. Bu nedenle, kesici ucun takım tutucuya tutturulmasından önce yapıştırma parametrelerinin belirlenebilmesi için bir takım ön deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.1 Malzeme ve Ekipman

Bu bölümde, yapıştırma işlemlerinde kullanılan malzeme ve ekipmanlara ait özellikler verilmektedir.

3.1.1 Yapıştırıcı Malzeme

Deneylerde, yapıştırıcı olarak tek bileşenli ısıyla kürlenene Loctite ESP110 epoksi yapıştırıcı ve bu yapıştırıcıya nano parçacık katılarak üretilen nanokompozit yapıştırıcılar kullanılmıştır. Loctite ESP110 epoksi yapıştırıcı, dayanımı yüksek bir yapıştırıcı olduğu için endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmakta ve yüksek sıcaklık değerlerinde dayanımını kaybetmemektedir. Yapıştırıcının kürlenme süreleri ve sıcaklıkları Çizelge 3.1’de ve teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmektedir [36]. Ayrıca, Loctite ESP110 epoksi yapıştırıcının Tungsten Karbür kesici uçların ve endüstriyel elmas uçların yapıştırılmasında kullanılabilceği üretici firma tarafından belirtmektedir [36].

Çizelge 3. 1 Loctite® ESP110 epoksi yapıştırıcının sıcaklığa bağlı kürleme süreleri [36]

Kürleme sıcaklığı (°C)	100	120	150	180
Kürleme süresi (dak)	240	60	45	20

Çizelge 3. 2 Loctite® ESP110 epoksi yapıştırıcının teknik özellikleri [36]

Isı iletkenlik katsayısı (W/m°K)	0.70
Genleşme katsayısı (10 ⁻⁶ /K)	60
Poisson oranı	0.38

3.1.2 Birleştirilen Çelik Yassı Çubuk Malzeme ve Tungsten Karbür (WC) Kesici Uç

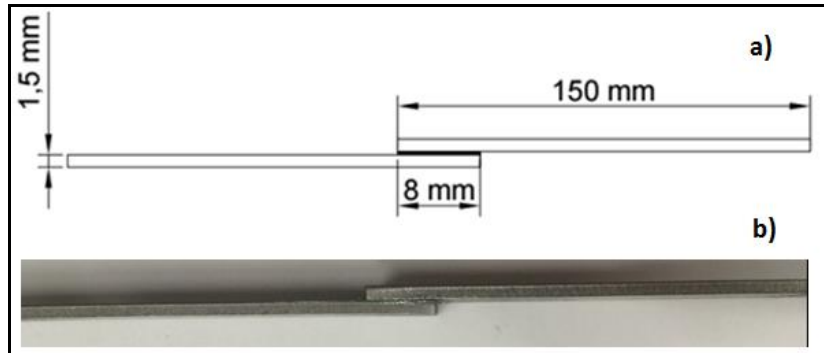
Kayma deneylerinde, tek katlı bindirme bağlantı numuneleri hazırlamak için kullanılan malzeme, kimyasal bileşimi Çizelge 3.3'te verilen DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğidir.

Çizelge 3. 3 DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği malzemenin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1,52	0,35	0,28	0,022	0,0013	11,14	0,72	0,73

Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri ASTM D1002 standardına göre hazırlanmış olup, maksimum bindirme boyu denklem (3.1)'e göre 11 mm hesaplanmış ve nano toz ilavesi ile kayma dayanımı artan yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan bağlantılarda kopmanın çelik malzeme akmadan gerçekleşebilmesi için 8 mm olarak seçilmiştir. Hazırlanan numunenin şematik resmi ve fotoğrafı Şekil 3.1'te verilmektedir.

$$L = F_{\text{çy}} \cdot t / \tau \quad (3.1)$$



Şekil 3. 1 ASTM D1002 standardına göre hazırlanan numunelerin a) teknik çizimi, b) görseli

3.1.3 Nano Parçacıklar

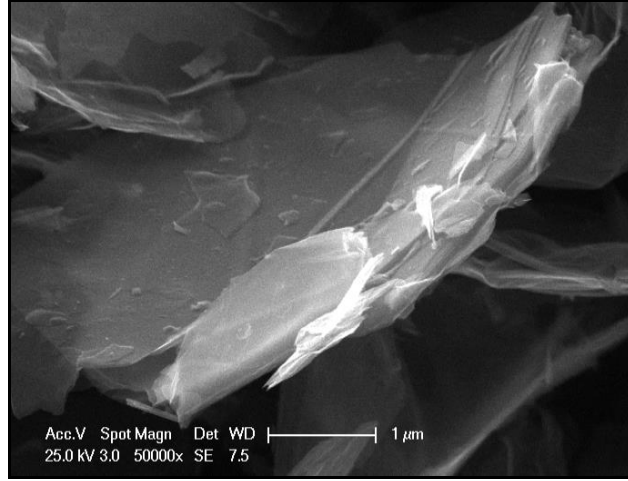
Nanokompozit yapıştırıcıların üretilebilmesi için yalın epoksi yapıştırıcı içerisine nano grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) olmak üzere iki çeşit nano parçacık ilave edilmiştir.

Grafen, bir karbon allotropu olup 2004 yılında grafitin katmanlarına ayrılarak tek katmanlı hale getirilmesi ile elde edilmiştir. İki boyutlu bir element olan grafen, keşfinden bu yana pek çok araştırmanın odağı haline gelmiştir.

Deneylerde kullanılan ve özellikleri Çizelge 3.4'te verilen nano grafen, %99 saflıkta olup Şekil 3.2'de gösterilen SEM görüntüsü FEI Philips XL30 ESEM-FEG cihazı kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 3. 4 Deneylerde kullanılan nano grafenin özellikleri

Ortalama parçacık çapı	7 μm
Ortalama parçacık kalınlığı	6 nm
Yüzey alanı	130 m^2/g
Yoğunluk	$\sim 2.00 \text{ g}/\text{cm}^3$
Isıl İletkenlik	3000 W/mK
Isıl Genleşme	4-6 $10^6 \text{ m}/\text{m}/\text{dg-K}$
Elastiklik Modülü	1000 GPa
Çekme Dayanımı	10-20 GPa
Elektriksel iletkenlik	$10^7 \text{ siemens}/\text{m}$
Elektriksel direnç	$5 \times 10^{-5} \Omega.\text{cm}$

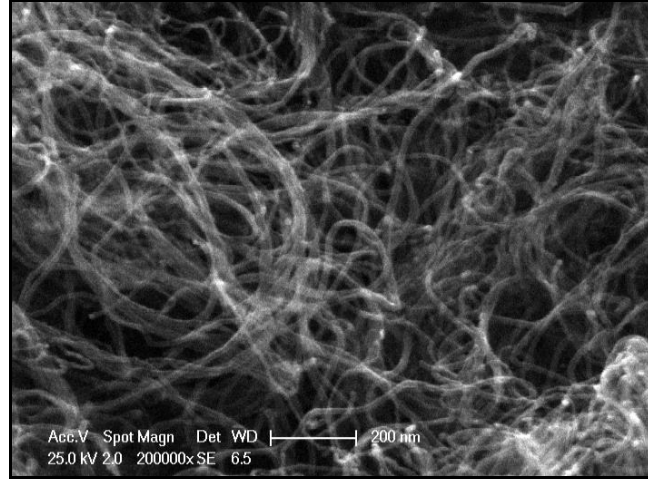


Şekil 3. 2 Deneşlerde kullanılan nano grafenin SEM görüntüsü

Karbon nanotüp, karbonun bir başka allotropudur. İki boyutlu grafenin kıvrılarak uçlarının bağlanması ile oluşan tüp şeklindeki yapıdır[37]. Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüpler mevcuttur. Deneşlerde, %90 saflıkta katalitik karbon buhar biriktirme işlemleri ile üretilmiş özellikleri Çizelge 3.5'te ve SEM görüntüsü Şekil 3.3'de verilen çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) kullanılmıştır.

Çizelge 3. 5 Deneşlerde kullanılan MWCNT özellikleri

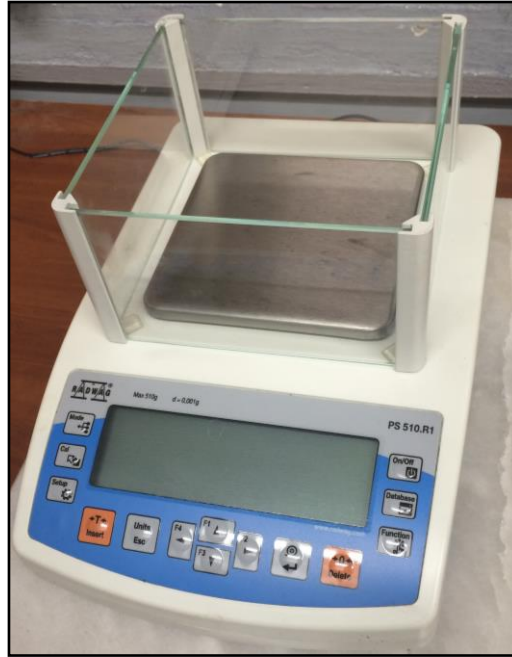
Ortalama parçacık çapı	9.5 nm
Ortalama parçacık kalınlığı	1.5 μm
Yüzey alanı	275 m ² /g
Yoğunluk	~2.10 g/cm ³
Isıl İletkenlik	~3000 W/mK
Isıl Genleşme	4-6 106 m/m/dg-K
Elastiklik Modülü	0.2-0.8-0.95 TPa / 0.3 – 1 TPa (910 GPa)
Çekme Dayanımı	11-63-150 GPa / 10 – 60 GPa
Elektriksel iletkenlik	10 ⁶ - 10 ⁷ siemens/m
Elektriksel direnç	5x10 ⁻⁵ Ω.cm



Şekil 3. 3 Deneilerde kullanılan MWCNT'nin SEM görüntüsü

3.1.4 Hassas Terazi

Nanokompozit yapıştırıcıların hazırlanmasında 0.001 gram hassasiyetli Radwag® marka, PS510.R1 model Şekil 3.4'de gösterilen hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3. 4 Radwag® PS510.R1 hassas terazi

3.1.5 Kurutma Fırını

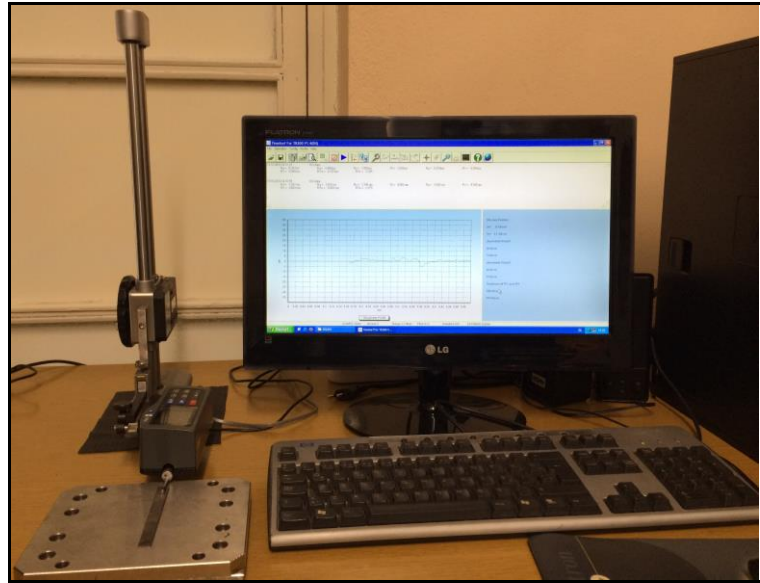
Nano parçacıkların neminin alınması amacıyla yapılan kurutma işlemlerinde ve yapıştırma sırasında kütleme işlemlerinde, maksimum çalışma sıcaklığı 290°C olan ve Şekil 3.5'de gösterilen etüv kullanılmıştır.



Şekil 3. 5 Termal® etüv fırın

3.1.6 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Tek katlı bindirme bağlantı numunelerinin hazırlanması esnasında yapıştırılacak olan yüzeylerin pürüzlülükleri, Time marka TR200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu cihazın bilgisayar ile bağlantısı yapılmış olup Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3. 6 Time® TR200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Cihazın kalibrasyonu gerçekleştirilerek ölçümlere başlanmıştır ve kesme uzunluğu değeri 0.8 mm olarak ayarlanmıştır. Bu cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3. 6 Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri

Ölçüm Parametreler	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmax, Rv, R3z, RS, RSm, RSk, Rmr
Ölçüm Aralığı	Ra, Rq: 0.01-40 µm, Rz, Ry, Rp, Rt, R3z, : 0.02-160 µm, Sm, S: 2-4000 µm, tp: 1-100%(%Ry)
Pickup Ölçüm Aralığı (Z Eksen)	±20 µm, ±40 µm, ±80 µm,
Kesme Uzunlukları	0.25mm (Ra: 0.02- 0.32 µm), 0.8 mm (Ra: 0.32- 2.50 µm), 2.5 mm (Ra: 2.5- 15.00 µm)
Profiller	Pürüzlülük Profili(R), Birincil Profil(P)
Birim	µm/µinch
Değerlendirme Boyu	1-5L (seçilebilir)
Toplam Hareket Boyu	(1-5L) + 2L (seçilebilir)
Dijital Filtreler	RC, PC-RC, Gauss, D-P
Max Ölçme Boyu	17.5mm
Min Ölçme Boyu	1.3mm
Standart Prob	TS100 Elmas, radius:5µm
Hassasiyet	≤±10%
Tekrarlanabilirlik	<6%

3.1.7 Üniuersal Test Cihazı

Kayma deneyleri, Şekil 3.7’de gösterilen Instron® 5982 üniuersal test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çekme hızı, ASTM D1002 standardına göre sabit 1.3 mm/dak olarak ayarlanmıştır.



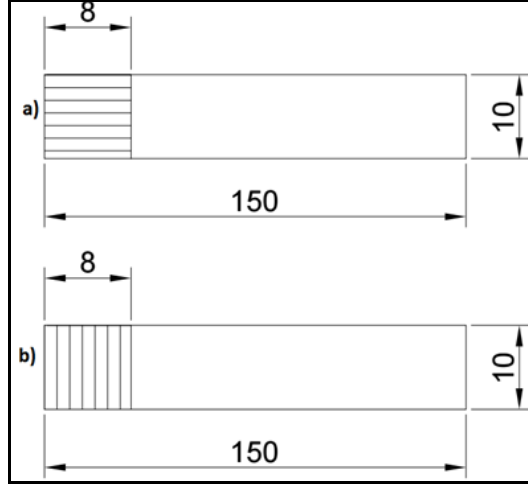
Şekil 3. 7 Testlerde kullanılan Instron® 5982 üniversal test cihazı

3.2 Yapıştırma Deneyleri

3.2.1 Tek Katlı Bindirme Bağlantılar

3.2.1.1 Numunelerin Hazırlanması

Kayma deneyine tabii tutulacak tek katlı bindirme bağlantı numunelerinin hazırlanması için kullanılacak çelik yassı çubukların yapıştırılacak yüzeyleri mekanik olarak aşındırılmıştır. Yapıştırılacak olan yüzeyler, mekanik olarak aşındırılmadan önce 150 numara SiC (Silisyum Karbür) zımpara ile oksit tabakasından arındırılmıştır. Oksit temizleme işleminden sonra 24 numara SiC zımpara kullanarak pürüzlendirilmiştir. Pürüzlendirme işlemi yapılırken tek katlı bindirme bağlantısı oluşturmak için kullanılacak olan çelik yassı çubuklardan biri dikey olarak pürüzlendirilirken diğeri yatay olarak pürüzlendirilmiştir. Pürüzlendirme yönleri şematik olarak Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3. 8 Tek katlı bindirme bağlantı için çelik yassı çubuk pürüzlendirme yönleri

Pürüzlendirme işlemi sonrasında çelik yassı çubuklar ılık su ve alkali sabun kullanılarak yıkanmıştır. Yıkama sonrasında saf su ile durularak asetonda 5 dakika bekletilmiştir. Asetonda bekletilen çelik yassı çubuklar saf suya daldırılmış ve sıcak hava ile kurutulmuştur [38].

3.2.1.2 Hazırlanan Numunelerin Yüzey Pürüzlük Ölçümleri

Tek katlı bindirme bağlantılarda kullanılacak çelik yassı çubukların sadece yapıştırılacak yüzeyleri pürüzlendirilmiştir. Üst üste yapıştırılacak olan çelik yassı çubukların mekanik olarak aşındırılan yapışma yüzeylerinin pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yapıştırılacak olan her bir çubuğun pürüzlendirilen yüzeylerinden beşer defa ölçüm yapılmış ve bu değerlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Yapıştırılacak çelik yassı çubukların ideal yüzey pürüzlülük değerlerinin 2.5-3 μm arasında olması gerektiği literatürden belirlenmiştir [39]. Yapıştırılacak olan çelik yassı çubukların her birinin ideal pürüzlülük değerinde olması gerektiğinden, çelik yassı çubukların yüzey pürüzlülük değerleri ortalama 2.8 μm olana kadar yüzey hazırlama işlemleri uygulanmaya devam edilmiştir. İstenilen yüzey pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü çelik yassı çubuklar, yapıştırma işlemine kadar geçecek olan sürede korozyona uğramaması için polietilen streç film ile sıkıca sarılmıştır.

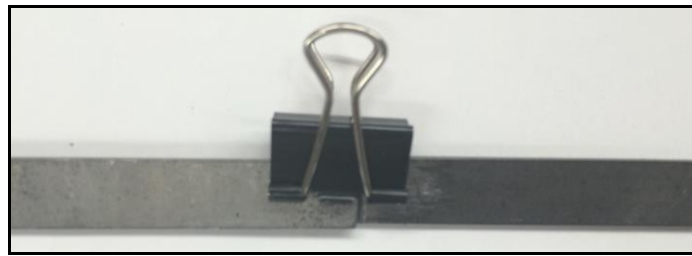
3.2.1.3 Nano Parçacık Katkılı Epoksi Bazlı Nanokompozit Yapıştırıcıların Hazırlanması

Kayma deneylerinin uygulanacağı tek katlı bindirme bağlantılarının hazırlanması için yalın epoksi yapıştırıcıya, ağırlıkça farklı oranlarda nano grafen ve MWCNT parçacıklar ilave edilerek nanokompozit yapıştırıcılar üretilmiştir. Nanokompozit yapıştırıcılar hazırlanmadan önce nano parçacıklar, neminin alınması amacıyla 120°C'de 1 saat süre ile etüvde bekletilerek kurutulmuştur.

Nanokompozit yapıştırıcı hazırlanırken, öncelikle yalın epoksi yapıştırıcı hassas terazide tartılmış, daha sonra önceden belirlenmiş oranda yine hassas terazide tartılmış olan nano parçacıklar bu yalın epoksi yapıştırıcı içerisine ilave edilmiştir. Ayrıca, karbon esaslı nano parçacıkların epoksi matris içerisinde homojen dağılmasını sağlamak amacıyla karışıma, nano parçacık ağırlığı ile eşit miktarda PVP (Polivinilpirolidon) ilave edilmiştir [40]. Daha sonra oluşturulan karışım mekanik olarak karıştırılmış ve yapıştırılacak yüzeye uygulanmıştır.

3.2.1.4 Yapıştırma İşlemi

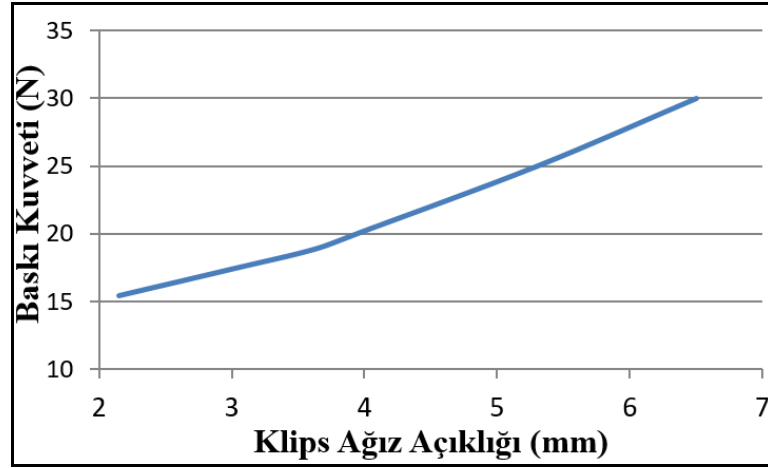
Hazırlanan numunelerde kütleme esnasında yapıştırılan bölgeye uygulanan baskı kuvvetinin bağlantı dayanımına etkisinin incelenmesi için numuneler, kütleme süresince baskı kuvveti uygulanan ve uygulanmayan olmak üzere iki ayrı şekilde hazırlanmışlardır. Birçok araştırmada [41, 42] kullanım kolaylığı nedeniyle tercih edilen metal kağıt klipsleri, bu çalışmada da yapıştırma bölgesine baskı kuvvetinin uygulanmasında Şekil 3.9'da gösterildiği gibi kullanılmıştır.



Şekil 3. 9 Tek katlı bindirme bağlantı oluşturulmasında metal klips kullanımı

Metal kâğıt klipsinin kullanılması durumunda, tek katlı bindirme bağlantı numunelerine uygulanan baskı kuvvetinin belirlenmesi amacıyla klipse farklı miktarda kuvvetler uygulanarak klips ağız açıklığı ve baskı kuvveti arasında Şekil 3.10'da verilen grafik

oluşturulmuştur. Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantıları hazırlanırken kullanılan metal klipslerin ağız açıklığı yaklaşık 3.1 mm olduğundan yapıştırma bölgesine uygulanan baskı kuvveti de yaklaşık 17.7 N olarak bulunmuştur.



Şekil 3. 10 Klips ağız açıklığı – baskı kuvveti grafiği

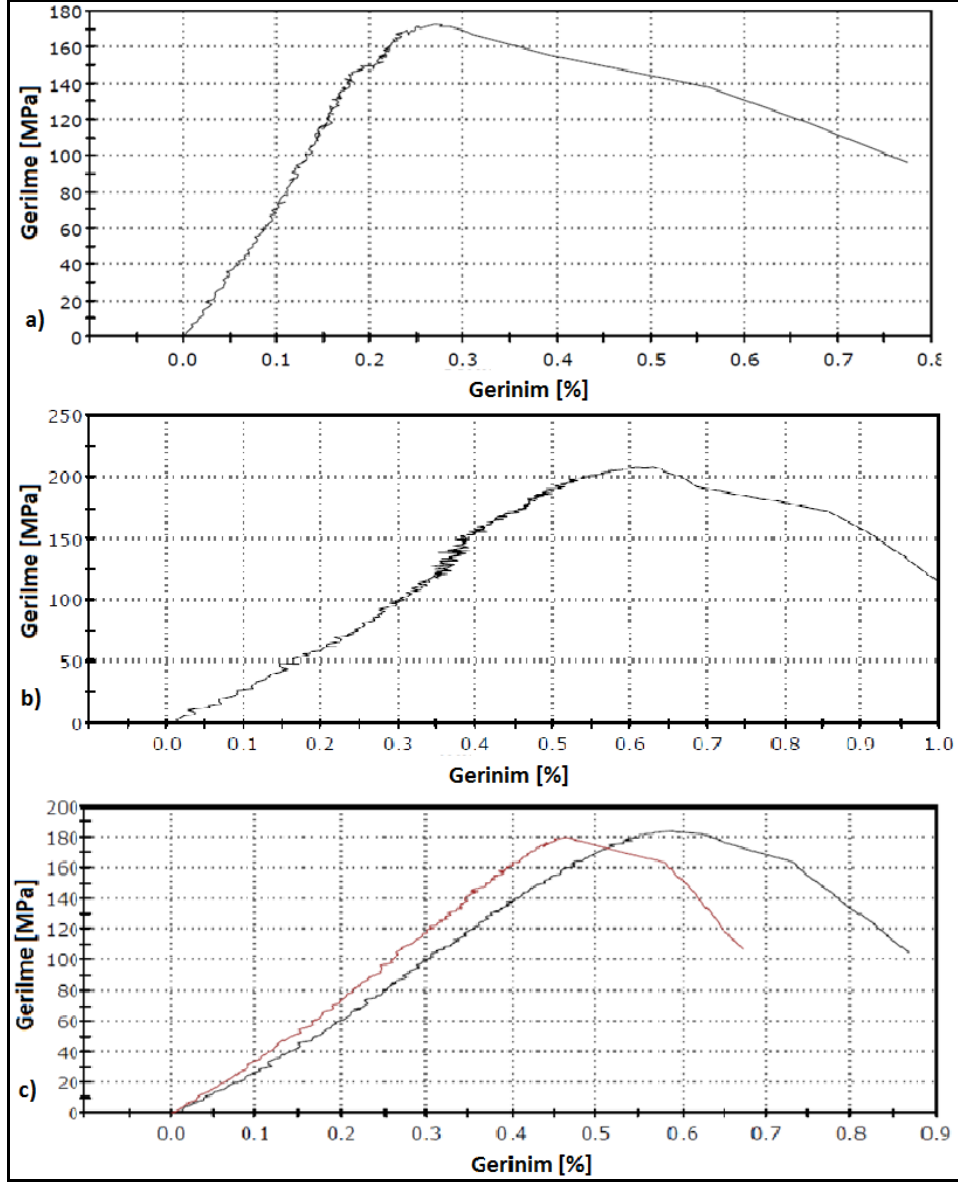
3.2.1.5 Tek Katlı Bindirme Bağlantılı Numunelerin Kayma Deneyi Sonuçları

Kürleme süresince uygulanan baskı kuvvetinin etkinliğinin belirlenmesi amacıyla, öncelikle Çizelge 3.7’de verilen değerler kullanılarak çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri hazırlanmıştır.

Çizelge 3. 7 Baskı kuvvetinin etkinliğinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri

Deney No	Epoksi Yapıştırıcı	Nano Parçacık	Katkı Oranı [%]	Baskı Kuvveti [N]
1	ESP110	-	-	Klips kullanılmamış
2	ESP110	Grafen	0.1	Klips kullanılmamış
3	ESP110	Grafen	0.5	Klips kullanılmamış
4	ESP110	Grafen	5	Klips kullanılmamış
5	ESP110	MWCNT	0.1	Klips kullanılmamış
6	ESP110	MWCNT	0.5	Klips kullanılmamış
7	ESP110	MWCNT	5	Klips kullanılmamış
8	ESP110	-	-	17.7
9	ESP110	Grafen	0.1	17.7
10	ESP110	Grafen	0.5	17.7
11	ESP110	Grafen	5	17.7
12	ESP110	MWCNT	0.1	17.7
13	ESP110	MWCNT	0.5	17.7
14	ESP110	MWCNT	5	17.7

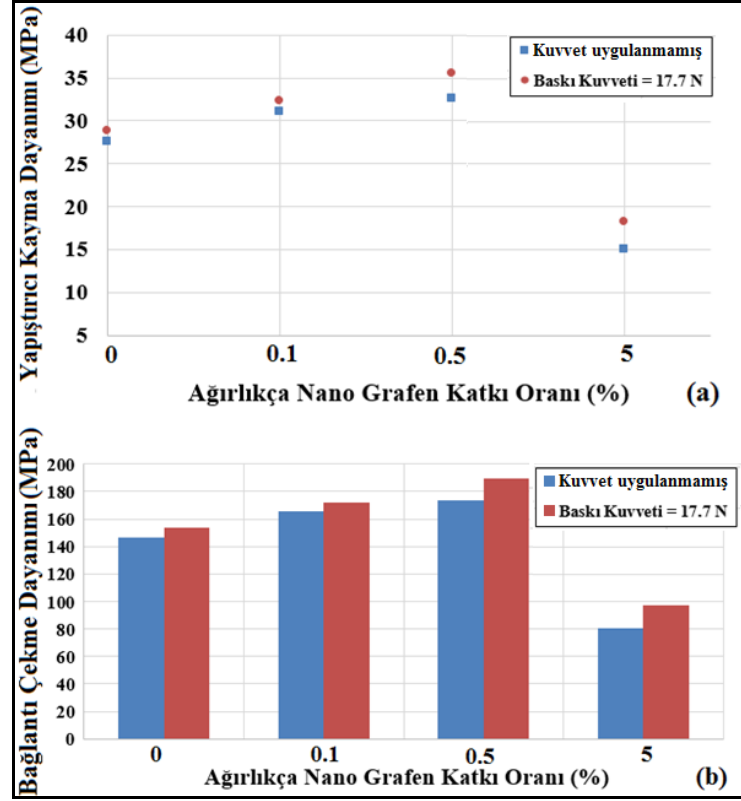
Yalın epoksi yapıştırıcı ve nano grafen ve MWCNT parçacık katkıli nanokompozit yapıştırıcılar kullanılarak hazırlanmış çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numunelerine uygulanan kayma deneyleri sonucu elde edilen grafiklere ait örnekler Şekil 3.11’de verilmektedir.



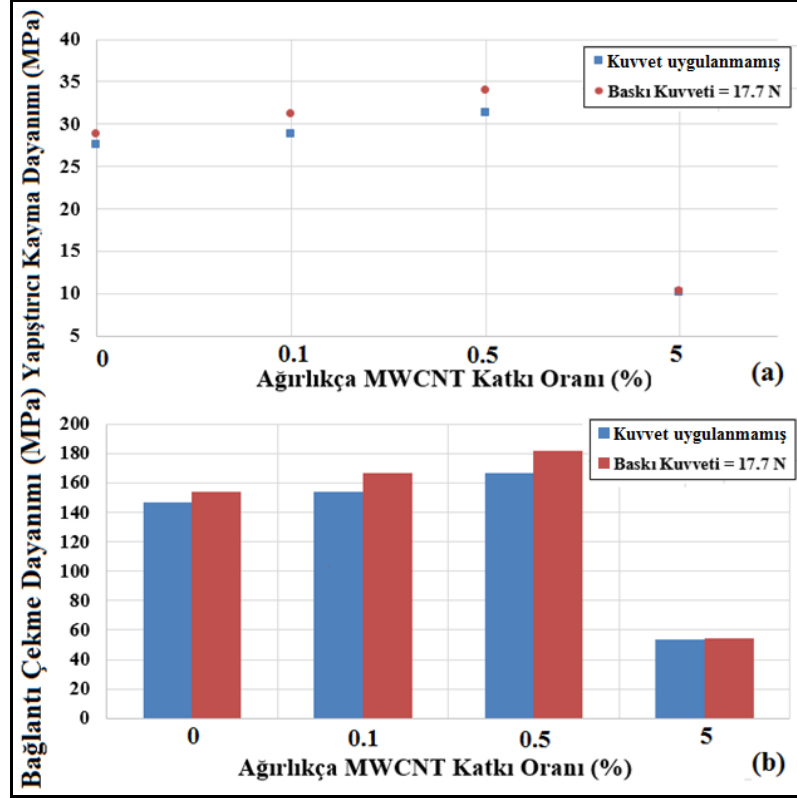
Şekil 3. 11 Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numunelerine ait kayma deneyi grafikleri, a) yalın epoksi yapıştırıcı, b) %0.5 nano grafen parçacık katkıli, c) %0.5 MWCNT parçacık katkıli nanokompozit yapıştırıcı kullanılması hali

Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numunelerine uygulanan kayma deneyleri sonucunda, aynı yapıştırıcılar ile hazırlanan numunelerde kütleme süresince baskı kuvveti uygulanması, baskı kuvveti uygulanmayan bağlantılara göre her zaman daha iyi sonuçlar vermiştir. Baskı kuvveti uygulanan ve uygulanmayan numunelerden ölçülen

yapışkan kayma dayanımı ve bağlantı çekme dayanımı değerleri Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de verilmektedir.



Şekil 3. 12 Nano grafen parçacık katkıli nanokompozit yapıştırıcılar ile hazırlanan numunelere kürlleme süresince uygulanan baskı kuvvetinin etkisi, a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı



Şekil 3. 13 MWCNT parçacık katkıli nanokompozit yapıştırıcılar ile hazırlanan numunelere kürlleme süresince uygulanan baskı kuvvetinin etkisi, a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı

Çizelge 3.7’de verilen değerler kullanılarak gerçekleştirilen kayma deneyleri sonucunda, kürlleme süresince baskı kuvveti uygulanmasının mekanik dayanım açısından avantaj sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, yalın epoksi yapıştırıcı içerisine ilave edilen nano parçacık katkı oranlarının mekanik dayanım üzerine etkileri incelendiğinde, ağırlıkça %0.1 ve %0.5 nano parçacık ilavesinin yalın epoksi yapıştırıcıya göre dayanımı arttırdığı Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’den görülmektedir. Ancak katkı oranı daha da arttırıldıkça (%5) dayanım değerleri yalın epoksi yapıştırıcı kullanılan durumda ölçülen değerlerden de daha az çıkmıştır. Katkı oranının arttırılmasına devam edilmesi ise matris içerisindeki nano parçacıkların toplanması sonucunda homojen bir dağılımın sağlanamamasına ve matrisin yapısının bozulmasına ve dolayısıyla mekanik dayanım değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır [9]. Ayrıca yapılan ilk grup deneyler sonucunda, yalın epoksi yapıştırıcıya katılan nano grafen parçacıkların, MWCNT parçacıklara göre daha yüksek mekanik dayanım değerleri sağladığı görülmüştür.

Yukarıda belirtilen sonuçlar ışığında, nano parçacık katkı oranlarının etkisinin daha detaylı incelenebilmesi ve ideal nano parçacık katkı oranlarının belirlenmesi amacıyla

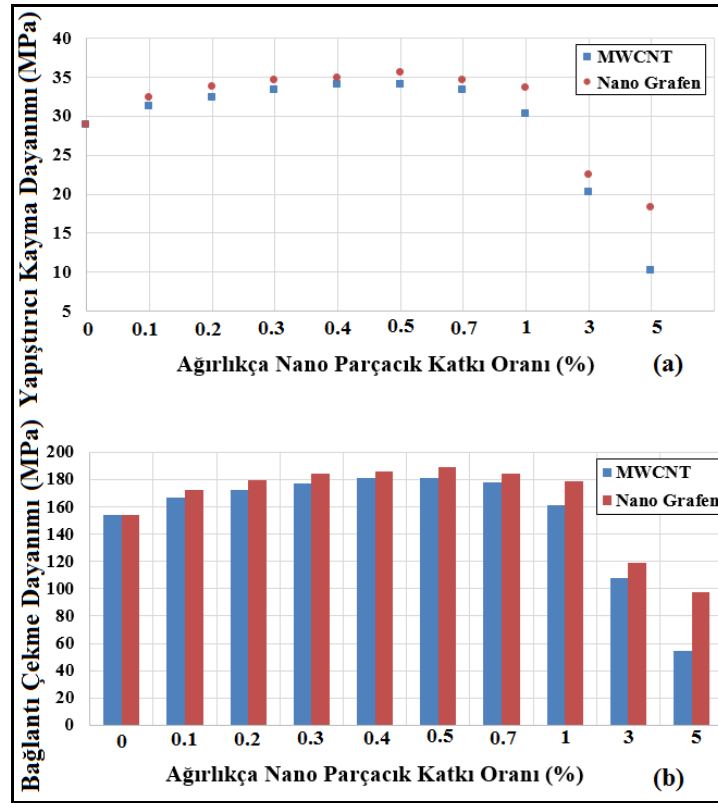
Çizelge 3.8’de verilen değerler kullanılarak çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler hazırlanırken kütleme süresinde yapıştırma bölgesine baskı kuvveti uygulanmıştır.

Çizelge 3. 8 İdeal nano parçacık katkı oranlarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantı numuneleri

Deney No	Epoksi Yapıştırıcı	Nano Parçacık	Katkı Oranı [%]	Baskı Kuvveti [N]
1	ESP110	-	-	17.7
2	ESP110	Grafen	0.1	17.7
3	ESP110	Grafen	0.2	17.7
4	ESP110	Grafen	0.3	17.7
5	ESP110	Grafen	0.4	17.7
6	ESP110	Grafen	0.5	17.7
7	ESP110	Grafen	0.7	17.7
8	ESP110	Grafen	1	17.7
9	ESP110	Grafen	3	17.7
10	ESP110	Grafen	5	17.7
11	ESP110	MWCNT	0.1	17.7
12	ESP110	MWCNT	0.2	17.7
13	ESP110	MWCNT	0.3	17.7
14	ESP110	MWCNT	0.4	17.7
15	ESP110	MWCNT	0.5	17.7
16	ESP110	MWCNT	0.7	17.7
17	ESP110	MWCNT	1	17.7
18	ESP110	MWCNT	3	17.7
19	ESP110	MWCNT	5	17.7

Çizelge 3.8’de verilen değerler kullanılarak hazırlanan numunelerden elde edilen sonuçlar Şekil 3.14’de verilmektedir. Nano parçacık katkı oranı, ağırlıkça %0.5 değerine kadar arttırıldıkça mekanik dayanım değerleri artmakta, %0.5 katkı oranında maksimum değere ulaşmakta ve bu orandan sonra azalma eğilimi göstermektedir. Katkı oranı daha da arttırıldıkça (%3 ve %5) mekanik dayanım değerleri, yapı içerisindeki nano parçacıkların topaklanma eğiliminden dolayı yalın epoksi yapıştırıcının kullanılması durumunda oluşan değerlerin de altına düşmektedir [43]. Bu sebeple, çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantıları için gerçekleştirilen deney şartlarında nano parçacık katkı oranlarının %0.3 - %0.7 olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. En ideal değer ise %0.5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yüzeye daha iyi tutunma ve yapı içerisinde daha homojen bir dağılım sağlayan nano grafen parçacıkların, MWCNT parçacıklarına göre mekanik dayanım değerlerini bir miktar daha fazla arttırdığı da gözlemlenmiştir.

Bu durum, nano grafen parçacıkların, epoksi yapıştırıcının viskozitesini MWCNT parçacıklara göre daha az arttırması ve dolayısıyla ıslatma kabiliyetini daha az etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, nano grafen katkıli nanokompozit yapıştırıcılar, pürüzlendirilmiş yapıştırma bölgesine daha iyi nüfuz ederek daha etkin bir yapıştırma işlemi sağlamaktadır. Ayrıca, MWCNT parçacıkların yapı içerisinde toplanma eğilimlerinin fazla olduğu bilinmektedir. Yapıştırıcı tabaka içerisinde oluşan toplanmalar, yapıştırıcı tabakanın bağlantı dayanımını azaltmakta ve nano grafen parçacık katkıli nanokompozit yapıştırıcılara göre MWCNT parçacık katkıli nanokompozit yapıştırıcıların kayma ve bağlantı dayanımları küçük çıkmaktadır.

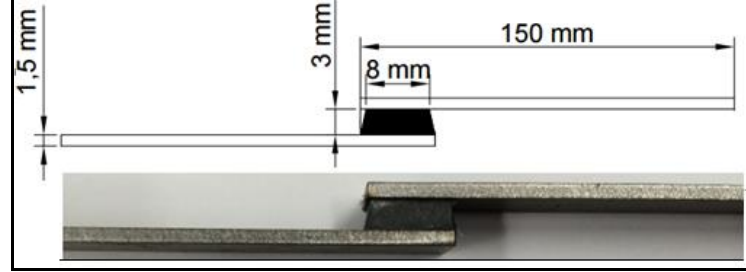


Şekil 3. 14 Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantılarında nano grafen ve MWCNT parçacıkların katkı oranlarının etkisi a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı

3.2.2 Çelik – Sert Metal (WC) – Çelik Yapıştırma Bağlantılar

Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantıları için %0.3, %0.5 ve %0.7 olarak belirlenen ideal nano parçacık katkı oranları kullanılarak çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantıları hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen bu deneyler ile tornalama deneylerinde kullanılacak olan WC (Tungsten Karbür) kesici uçların yapıştırılmasında kullanılması

gereken en ideal nano parçacık katkı oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantıları hazırlanırken yapıştırma bölgesine küreleme süresince metal klips aracılığıyla baskı kuvveti uygulanmıştır. Hazırlanan çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantı örneği ve boyutları Şekil 3.15’de verilmektedir.



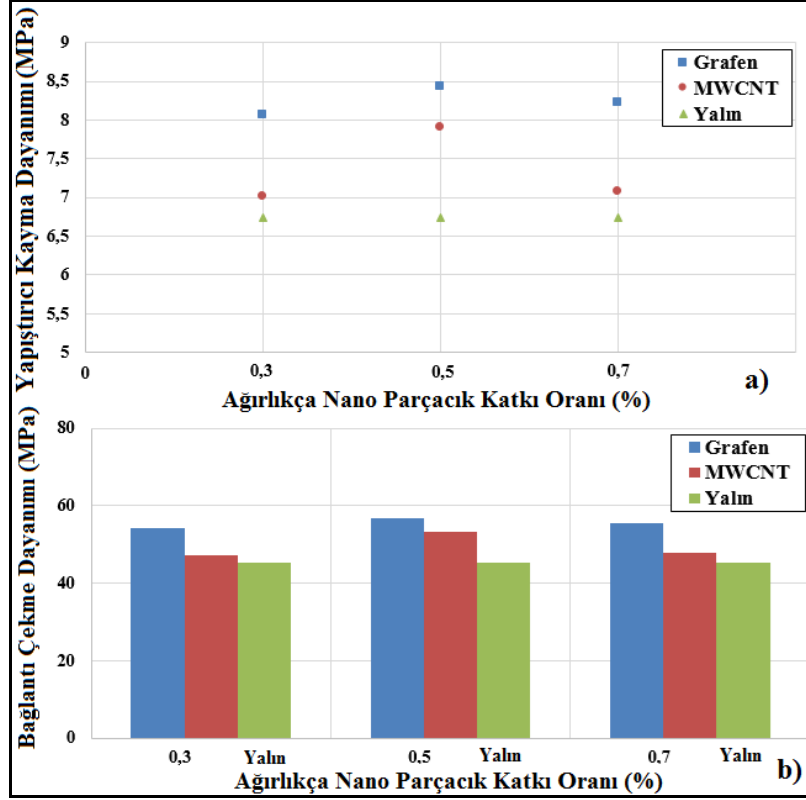
Şekil 3. 15 Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantı numunesi

Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantılarının hazırlanmasında Çizelge 3.9’da verilen değerler kullanılmıştır. Baskı kuvveti uygulanması için kullanılan metal klips ağız açıklığı yaklaşık 6.2 mm olduğundan uygulanan baskı kuvveti yaklaşık 28.6 N olarak bulunmuştur (Şekil 3.10).

Çizelge 3. 9 Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantı numuneleri

Deney No	Epoksi Yapıştırıcı	Nano Parçacık	Katkı Oranı [%]	Baskı Kuvveti [N]
1	ESP110	-	-	28.6
2	ESP110	Grafen	0.3	28.6
3	ESP110	Grafen	0.5	28.6
4	ESP110	Grafen	0.7	28.6
5	ESP110	MWCNT	0.3	28.6
6	ESP110	MWCNT	0.5	28.6
7	ESP110	MWCNT	0.7	28.6

Gerçekleştirilen kayma deneyleri sonucunda, tek katlı bindirme bağlantı deneylerinden elde edilen sonuçlarda olduğu gibi en yüksek yapışkan kayma ve bağlantı çekme dayanımı değerleri ağırlıkça %0.5 nano parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcıların kullanılmasıyla elde edilmiştir (Şekil 3.16). Eşit nano parçacık katkı oranlarında, nano grafen parçacıkların MWCNT parçacıklara göre yine bir miktar daha fazla mekanik dayanım sağladığı görülmüştür. Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantılarına uygulanan kayma deneyleri sonucunda seçilen değerler içerisinde en ideal sonucun ağırlıkça %0.5 nano parçacık katkı oranı olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, tornalama işlemlerinde kullanılacak kesici uçların bu oran kullanılarak üretilen nanokompozit yapıştırıcılar ile takım tutucuya tutturulmasına karar verilmiştir.

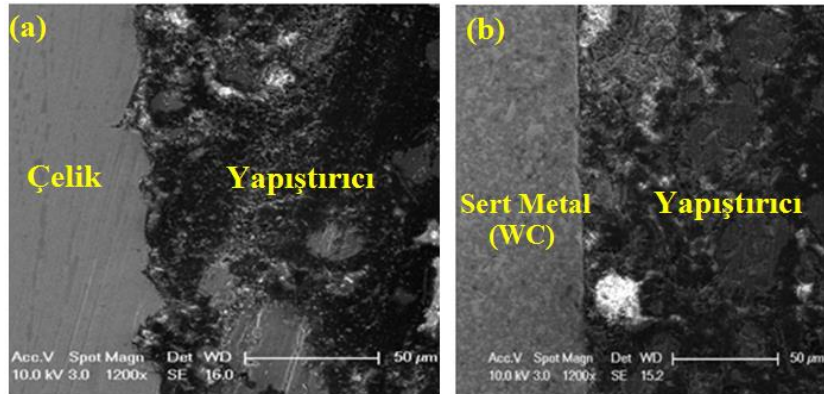


Şekil 3. 16 Çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantılarında nano grafen ve MWCNT parçacıkların katkı oranlarının etkisi a) yapışkan kayma dayanımı, b) bağlantı çekme dayanımı

Şekil 3.14 ve Şekil 3.16 incelendiğinde, çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantılarında ölçülen yapışkan kayma dayanımı ve bağlantı çekme dayanımı değerlerinin çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantılarından daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin araştırılması amacıyla numunelerin yapışma yüzeyleri SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile incelenmiştir. SEM incelemeleri için numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur.

Bilindiği gibi yapıştırma bağlantılarda yapıştırılacak olan malzemelerin pürüzlendirilmesi ile artan yüzey alanı sayesinde yapıştırıcının yüzeye daha etkin bir şekilde tutunmasını sağlamak ve pürüzlendirme işlemi ile bağlantı dayanımına doğrudan etki edilebilmektedir [28]. Çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantılarında pürüzlendirilmiş yüzeyde yapıştırıcı daha iyi tutunma sağlamak (Şekil 3.17(a)) ve çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantılarında parlak olan sert metal yüzeyine yapıştırıcının çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantısına göre daha az tutunduğu (Şekil

3.17(b)) görülmektedir. Bu sebeple, çelik-çelik tek katlı bindirme bağlantılarının mekanik dayanımları daha iyi çıkmıştır.



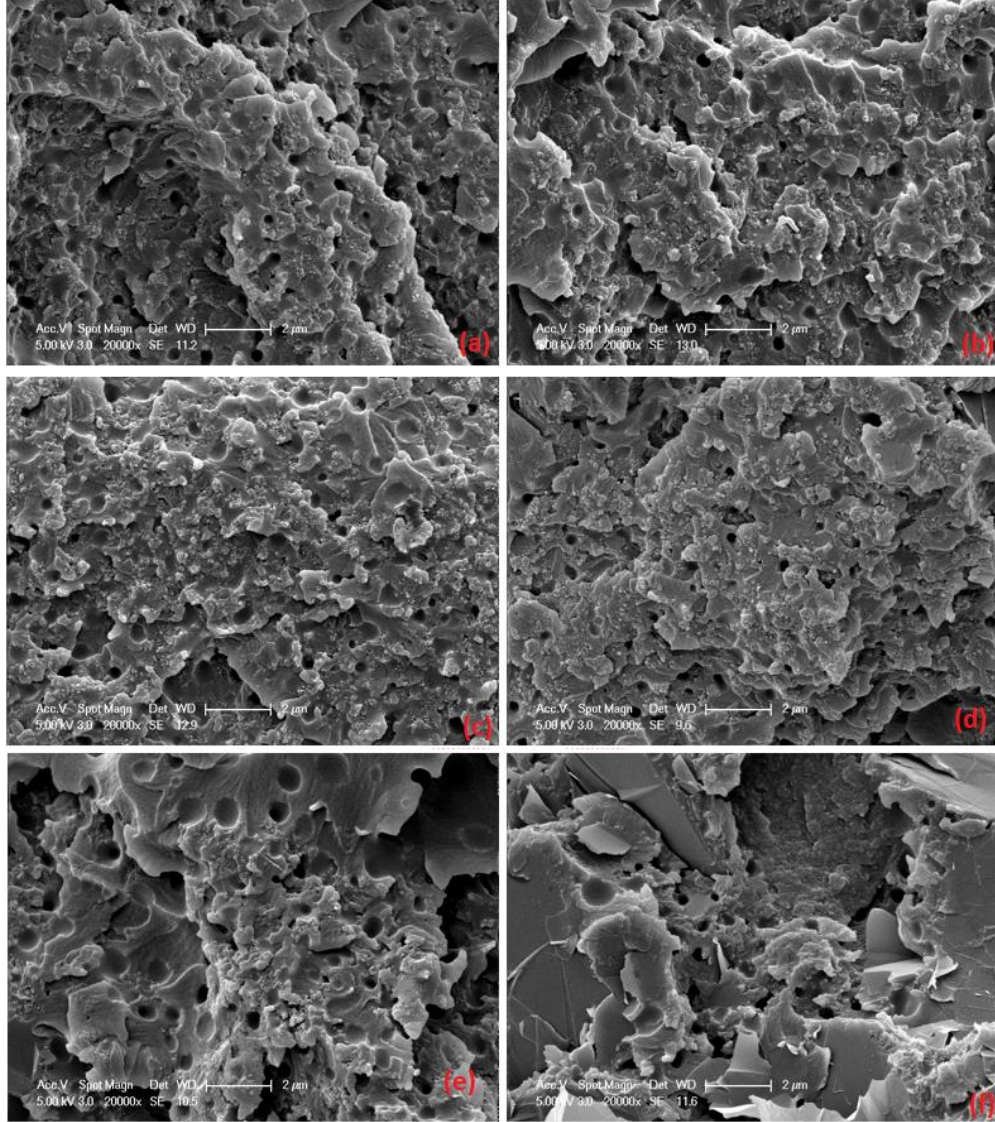
Şekil 3. 17 Nanokompozit yapıştırıcının metal yüzeyine tutunması (%0,5 MWCNT katkılı yalın epoksi yapıştırıcı) a) çelik-yapıştırıcı-çelik, b) sert metal (WC)-yapıştırıcı-çelik

3.2.3 Nano Parçacıkların Epoksi Yapıştırıcı İçerisinde Dağılımlarının İncelenmesi

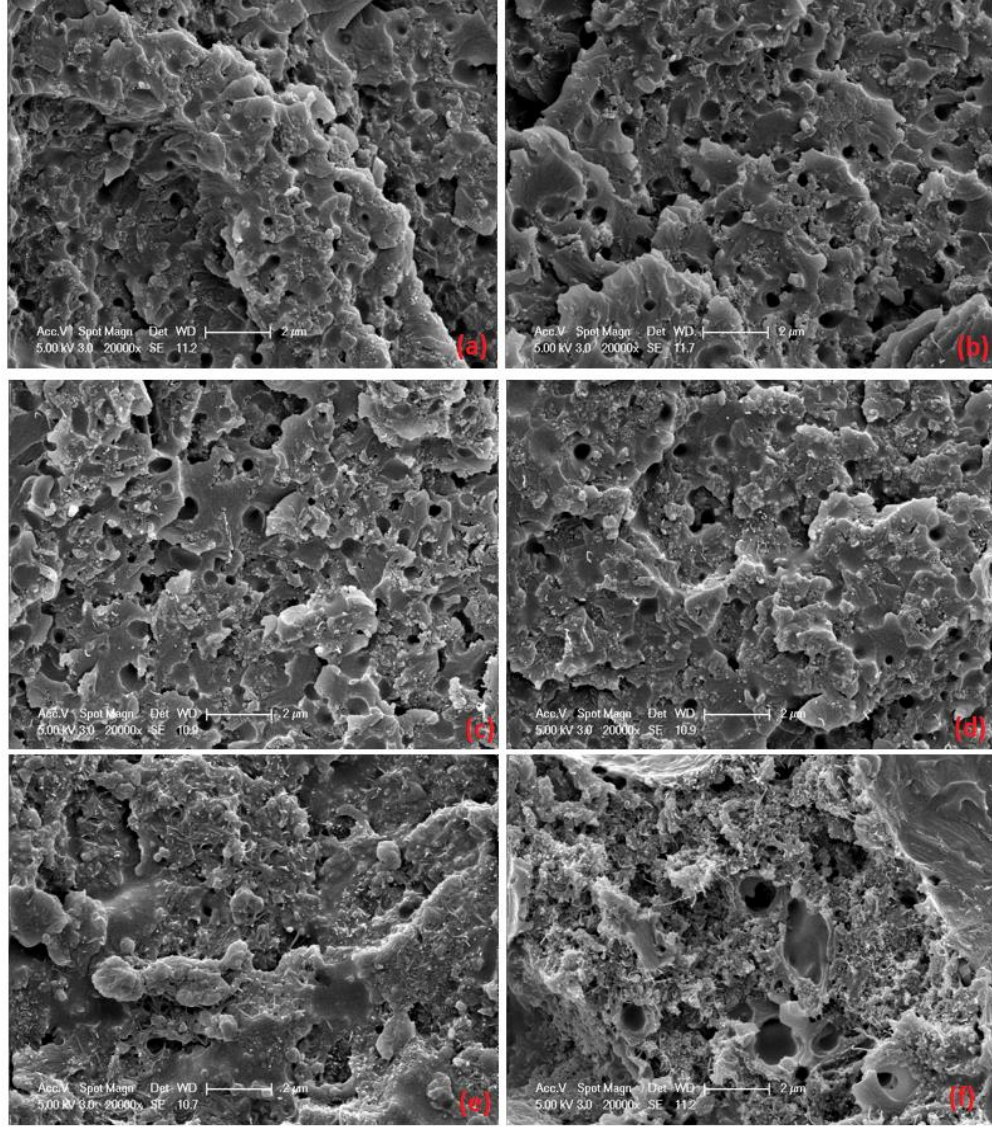
Yalın epoksi yapıştırıcı içerisindeki nano parçacıkların dağılımının incelenmesi amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler, üzerinde yağlı kağıt bulunan cam numune kabına spatula yardımıyla dökülmüş ve 120°C sıcaklıkta 1 saat süreyle etüvde kürlenmiştir. Kürlenme işleminden sonra numuneler rastgele kırılmış ve kırılma yüzeylerinden birine nano parçacık dağılımının incelenmesi amacıyla herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Diğer yüzey ise SEM cihazında ölçüm alınabilmesi için düzgün bir alt oturma temas yüzeyi elde edilmesi amacıyla zımparalanmıştır. Ayrıca, SEM cihazında görüntü alabilmek için numuneler platin ile kaplanmıştır. SEM görüntüleri, FEI Philips XL30 ESEM-FEG cihazı kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 3.18'de yalın epoksi yapıştırıcı ve çeşitli oranlarda nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcıların kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri ve Şekil 3.19'da eşitli oranlarda MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcıların kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri verilmektedir. SEM görüntüleri incelendiği zaman ağırlıkça %0.5 üzerindeki nano parçacık ilavelerinde epoksi yapıştırıcının yapısında bozulma meydana geldiği görülmektedir. Artan nano parçacık oranı ile birlikte epoksi yapıştırıcının viskozitesi artmakta ve yüzey ıslatma kabiliyetini düşmektedir. Bu sebeple, yapıştırıcı numune yüzeyindeki çukur noktalara nüfuz edememekte ve etkin bir yapışma

sağlayamamaktadır. Ayrıca, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da görüldüğü gibi nano parçacık oranının artırılmasının yapı içerisinde homojen dağılım oluşmasını engellemekte ve topaklanmalar oluşmaktadır [41]. Bu durum, Şekil 3.18(f) ve Şekil 3.19(f)’de açıkça görülebilmektedir.



Şekil 3. 18 Yalın epoksi yapıştırıcı ve çeşitli oranlarda nano grafen katkıli nanokompozit yapıştırıcıların kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri, a) yalın, b) %0.1, c) %0.3, d) 0.5, e) %1, f) %5



Şekil 3. 19 Yalın epoksi yapıştırıcı ve çeşitli oranlarda MWCNT katkıli nanokompozit yapıştırıcıların kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri, a) yalın, b) %0.1, c) %0.3, d) 0.5, e) %1, f) %5

**KESİCİ UCUN TAKIM TUTUCUYA TUTTURULMASINDA NANO KOMPOZİT
YAPIŞTIRICILARIN KULLANILMASI**

Bölüm 3’de gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda ağırlıkça %0.5 nano parçacık ilavesinin maksimum bağlantı çekme dayanımı ve yapışkan kayma dayanımı değerleri verdiği belirlenmiştir. Bu bölümde, ağırlıkça %0.5 nano parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcılar tornalama işleminde kesici ucun takım tutucuya tutturulmasında kullanılmıştır. Yapıştırılmış takımlar ve mekanik sıkmalı takımlarla tornalama işlemi gerçekleştirilmiş ve bu takımların işleme performansları, talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri, sıcaklıklar ve elde edilen iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenerek karşılaştırılmıştır.

4.1 Tornalama Deneplerinde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar**4.1.1 İş Parçası Malzemesi**

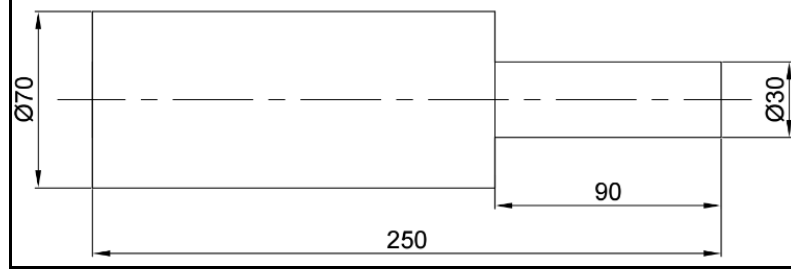
Yapılan deneysel çalışmalarda $\phi 70 \times 250$ boyutlarında AISI 1040 karbon çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. Deney malzemesi olarak kullanılan düşük karbonlu çeliğin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 AISI 1040 çeliği kimyasal özellikleri

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
%0.38	%0.60	%0.04	%0.05

Üniversal torna tezgâhında AISI 1040 malzemenin yüzeyi temizlenmiş ve CNC torna tezgâhında karşı hareketli puntanın rahat oturabilmesi için punta deliği açılmıştır. Ayrıca, deneyler sırasında kuvvet ölçümleri için kullanılacak olan dinamometrenin

alışmasına engel olmamak için iş parçasının çapı, karşı punta yüzeyinden 90 mm boyunca 30 mm'ye düşürülmüştür. Deneyde kullanılacak iş parçasının teknik resmi Şekil 4.1'de verilmiştir.

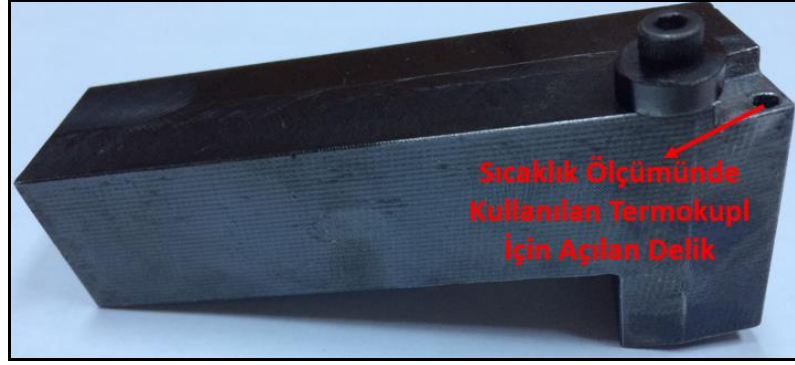


Şekil 4. 1 Tornalama deneylerinde kullanılan iş parçasının teknik resmi

4.1.2 Kesici Uç ve Takım Tutucu

Talaş kaldırma deneylerinde AISI 1040 eliğin işlenmesinde 11° boşluk açısına sahip HYPERION SPHN 090304 HP701 kaplamasız sert metal (WC, Tungsten Karbür) kesici uç kullanılmıştır. Deneylerde, karşılaştırma yapabilmek amacıyla mekanik sıkma ve yapıştırma olmak üzere iki farklı tutturma yöntemi kullanılmıştır. Yapıştırma yönteminde yapıştırıcı olarak yalın epoksi (Loctite® ESP110) ve iki farklı nano parçacık ile ağırlıkça %0.5 oranında katkılı nanokompozit yapıştırıcı olmak üzere toplam üç farklı yapıştırıcı kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılacak olan takım tutucu, işleme esnasında sıcaklık değişimlerinin ölçülüp kaydedilebilmesi için takım ucuna temas edecek Şekilde termokupl yerleştirilmesini mümkün kılan Şekil 4.2'de verilen özel tasarım CSBPL 2525 C tipi mekanik sıkmalı, 75° yaklaşma açısına sahip takım tutucudur. Şekil 4.2'de görülen üsten sıkma civatası, mekanik sıkmalı takımlarda tornalama işlemi boyunca kesici ucu tutturmak için kullanılmakta ancak yapıştırmalı takımlarda torkmetre ile yapıştırma işlemi için gerekli baskı kuvvetinin ayarlanmasında kullanılmakta ve sadece kürleme süresince bu kuvvet uygulanmaktadır. Kürleme işlemi tamamlandıktan sonra bu civata sklp tornalama işlemi bu Şekilde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4. 2 Tornalama deneylerinde kullanılmak üzere tasarlanan takım tutucu

Kesici ucun takım tutucuya kontrollü bir şekilde yapıştırılması esnasında deney süresince doğabilecek zaman kayıplarını en aza indirmek için özel olarak tasarlanan bu takım tutuculardan 10 adet üretilmiştir.

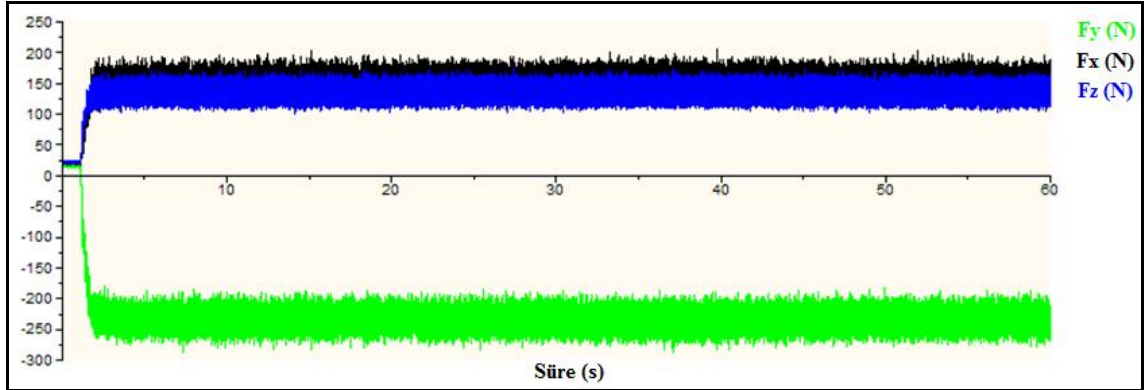
4.1.3 Takım Tezgâhı

Yapılan deneysel çalışmalarda, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojileri Anabilim Dalı Takım Tezgâhları Laboratuvarında bulunan Trens marka SN-50C/1500 model universal torna tezgahı ve Şekil 4.3'de Goodway marka GA-230 model CNC torna tezgâhı kullanılmıştır.



Şekil 4. 3 Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhı

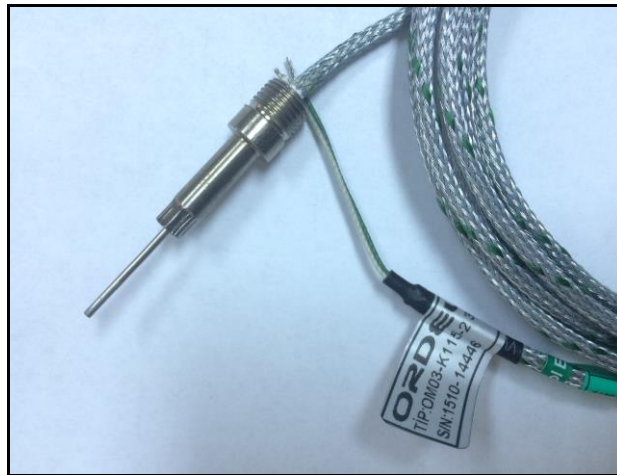
ilerleme kuvveti F_x ve radyal kuvvet F_z olarak gösterilmiştir. Şekil 4.5’de tornalama deneyleri esnasında dinamometreden alınmış bir grafik verilmektedir.



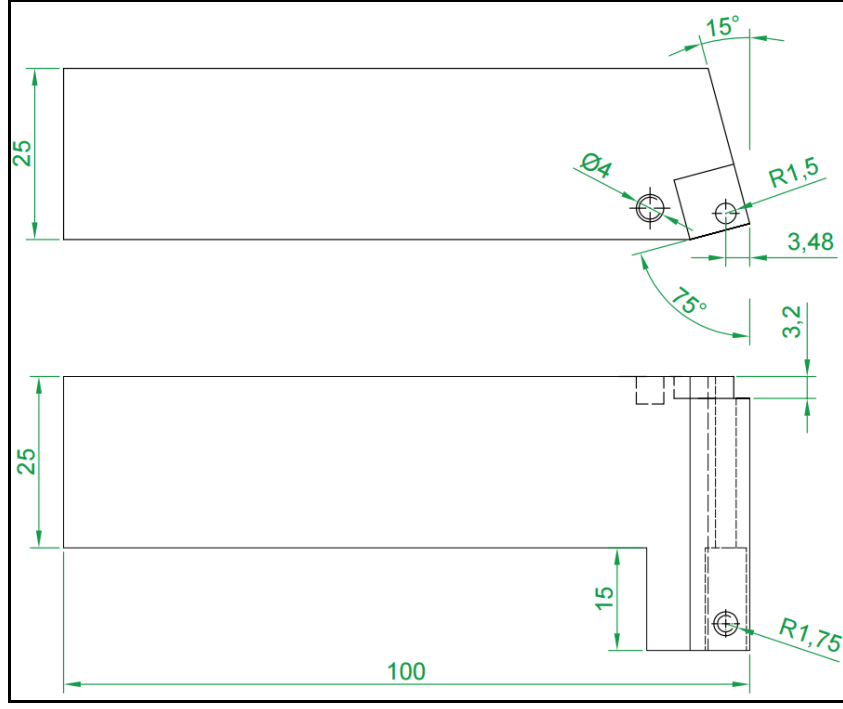
Şekil 4. 5 Tornalama deneyleri esnasında dinamometreden alınmış bir kuvvet grafiği

4.1.5 Termokupl ve Takımla İlişkilendirilmesi

Sıcaklıkların ölçülmesi için Şekil 4.6’da verilen Ordel marka K tipi NiCr-Ni termokupl kullanılmıştır. Termokupl uç çapı 1.5 mm ve kablo uzunluğu 3 m’dir. Kullanılan termokupldan veri toplamak üzere 5 kanallı Ordel marka UDL100-5 model veri toplama cihazı temin edilmiş ve verilerin bilgisayar ortamına aktarılmasında Data Acquisition & Logging Interface (DaLi) 08 yazılımından yararlanılmıştır.



Şekil 4. 6 Ordel® K tipi NiCr-Ni Termokupl



Şekil 4. 7 Termokupl takılabilecek şekilde tasarlanan takım tutucu teknik resmi

Termokupl, Şekil 4.7’de gösterilen takım tutucuya açılan delik içerisine yerleştirilmiş ve termokupl ucunun takıma doğrudan temas etmesi sağlanmıştır. Takım tutucuya yerleştirilen Termokupl sabitleme vidası ile tutturulmuştur. Termokupl ucunun, yapıştırılmış takımlarda takıma doğrudan temas etmesini sağlamak için, kesici uç takım tutucuya yapıştırılırken yapıştırıcının takım tutucuda bulunan termokupl deliğini kapatmaması için delik bölgesine yapıştırıcı uygulanmamıştır.

Ordal UDL100-5 veri toplama cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve sıcaklık eş zamanlı olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4. 3 Ordel® UDL100-5 veri toplama cihazının teknik özellikleri

En Fazla Kanal Sayısı	5
Besleme Gerilimi	USB üzerinden (5Vdc, +/- 5%)
Güç Tüketimi	1W
Hafıza	100 yıl, 100.000 yenileme
Doğruluk	+/- %0.2
Örnekleme Zamanı	750ms
Çalışma Ortam Sıcaklığı	-10....+55°C
Depolama Ortam Sıcaklığı	-20....+65°C
PC Bağlantısı	USB 1.1 ve USB 2.0
Ölçüler	72x112x26 mm

4.1.6 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

İş parçası üzerinde yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için Şekil 4.8’de görülen Mitutoyo® marka SJ 210 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaza ait teknik özellikler ise Çizelge 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4. 8 Mitutoyo® SJ 210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Çizelge 4. 4 Mitutoyo® SJ 210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri

Ölçüm Profilleri	Ham Profil (P), Pürüzlülük Profili (R), R-Motif, DF-Profil
Pürüzlülük Standartları	DIN EN ISO, VDA, JIS, ANSI ve özelleştirilmiş ayarlar
Pürüzlülük Parametreleri	Ra, Rc, Ry, Rz, Rt, Rmax, Rp, Rv, R3z, Rsk, R _{Pc} , R _{sm} , Rz1max, S, HSC, RzJIS, R _{ppi} , R _{Δa} , R _{Δq} , R _{Lr} , R _{mr} , R _{mr(c)} , R _{δc} , R _k , R _{pk} , R _{vk} , Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, R _{pm} , t _p , H _{tp} , R, R _x , AR, R _{ku} , R _c
Ölçüm Mesafesi (Z)	360µm (-200µm ile +160µm)
Tarama Mesafesi (X)	17.5 mm
Dijital Filtre	Gauss, 2CR75, PC75
Cutt-off Mesafesi	λ _c : 0,08 mm, 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm
Örnekleme Mesafesi	0.08, 0.25, 0.8, 2.5, 8mm
Örnekleme Sayısı	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10 veya serbest giriş
Kalibrasyon	Ra mastarı ile otomatik kalibrasyon
Çıkış/Giriş	USB, Digimatic, RS-232C, Ayak Şalteri
Dil seçenekleri	16 Dil (Türkçe dahil)
Detektör Baskı Kuvveti	0,75 mN
Ölçüm Ucu ve Açısı	Elmas Uç - 60°
Ölçüm Ucu Radyusu	2 µm
Sürücü Ünite Hızı	0,25 mm/s ; 0,5 mm/s; 0,75 mm/s

İş parçası yüzey pürüzlülüğü ölçümünde kesme uzunluğu (cut-off) 0.8 mm olarak seçilmiştir.

4.2 Tornalama Deneylerinin Uygulanması

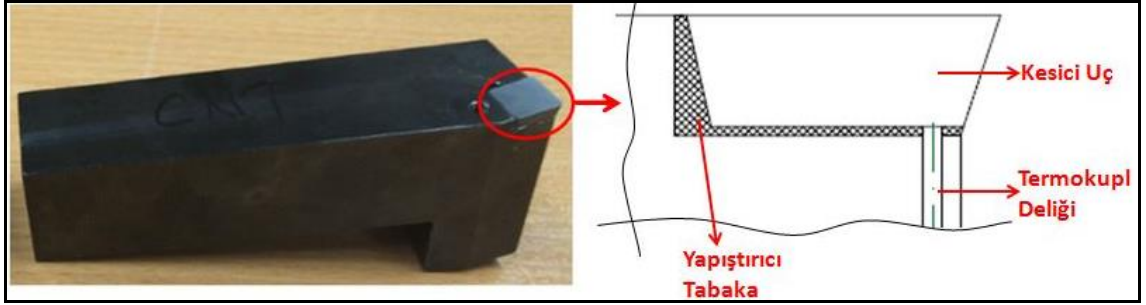
Tornalama deneylerine başlanılmadan önce kesici uçlar takım tutuculara yapıştırılmış, literatür araştırması yapılarak talaş kaldırma parametreleri belirlenmiş ve daha sonra deneylere başlanılmıştır.

4.2.1 Kesici Uçların Takım Tutucuya Yapıştırılması

Mekanik sıkımalık takımlarda, kesici ucu takım tutucuya tutturmadan önce herhangi bir ön işleme gereksinim duyulmamaktadır. Kesici uçlar takım tutucuya, tutturma civatası ile üstten sıkılarak tutturulmuştur. Ancak kesici uçların yapıştırma yöntemiyle

tutturulmasından önce takım tutucunun yüzeyine, yüzey hazırlama işlemleri uygulanmıştır.

Kesici uçların takım tutuculara yapıştırılmasından önce kesici uç yuvası pürüzlendirilmiştir. Daha sonra temizlemek amacıyla aseton ile silinip saf su ile durularak sıcak havayla kurutulmuştur. Yalın veya ağırlıkça %0.5 nano parçacık ilave edilmiş epoksi yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılan kesici uçlara kütleme süresince tutturma civatası ile 28.6 N kuvvet uygulanmıştır. Uygulanan kuvvet miktarı 0-30 N arası ölçüm yapabilen torkmetre ile ayarlanmıştır. Torkmetre ile baskı kuvveti ayarlanmış kesici uçlar 120°C kütleme sıcaklığında 1 saat süre ile etüvde kürlenmişler ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılmışlardır. Şekil 4.9'da yapıştırma yöntemi ile tutturulmuş kesici takım görülmektedir.



Şekil 4. 9 Yapıştırma yöntemi ile tutturulmuş kesici uç ve şematik detay resmi

4.2.2 Deney Düzeneği ve Talaş Kaldırma Parametrelerinin Seçimi

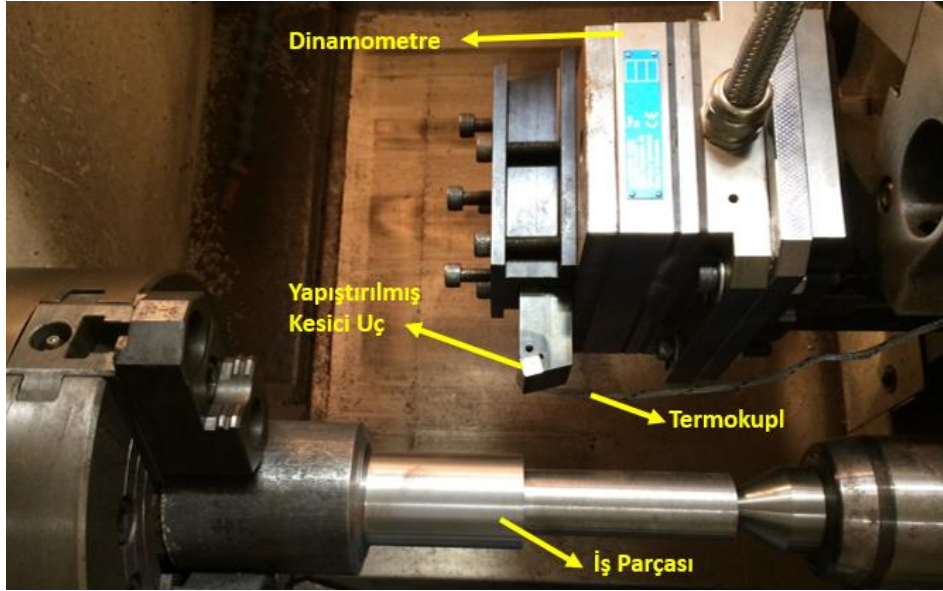
Talaş kaldırma parametrelerinin yapıştırılmış ve mekanik sıkımalı kesici uçlar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Çizelge 4.5'de verilen parametreler kullanılarak talaş kaldırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Talaş kaldırma parametrelerinin seçiminde kesici takımın yapıştırma yöntemi ile tutturulmuş olması göz önüne alınmış, kesici uç üreticisinin önerdiği değerler aralığında olmasına dikkat edilmiş ve literatür ile uyumlu olacak şekilde üst sınırlarda seçilmiştir [15,16]. Tornalama işlemlerinin kuru gerçekleştirileceği de talaş kaldırma parametrelerinin seçiminde göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 4. 5 Tornalama deneylerinde kullanılan talaş kaldırma parametreleri

Talaş Kaldırma Parametreleri		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)
75	0.1	0.25
100	0.15	0.50
125	0.20	

Her bir deney için yeni bir kesici uç kullanılmış ve her bir deney setinde iş parçası 75 mm aksenal olarak işlenmiştir. Tornalama deney düzeneği Şekil 4.10'da görülmektedir.



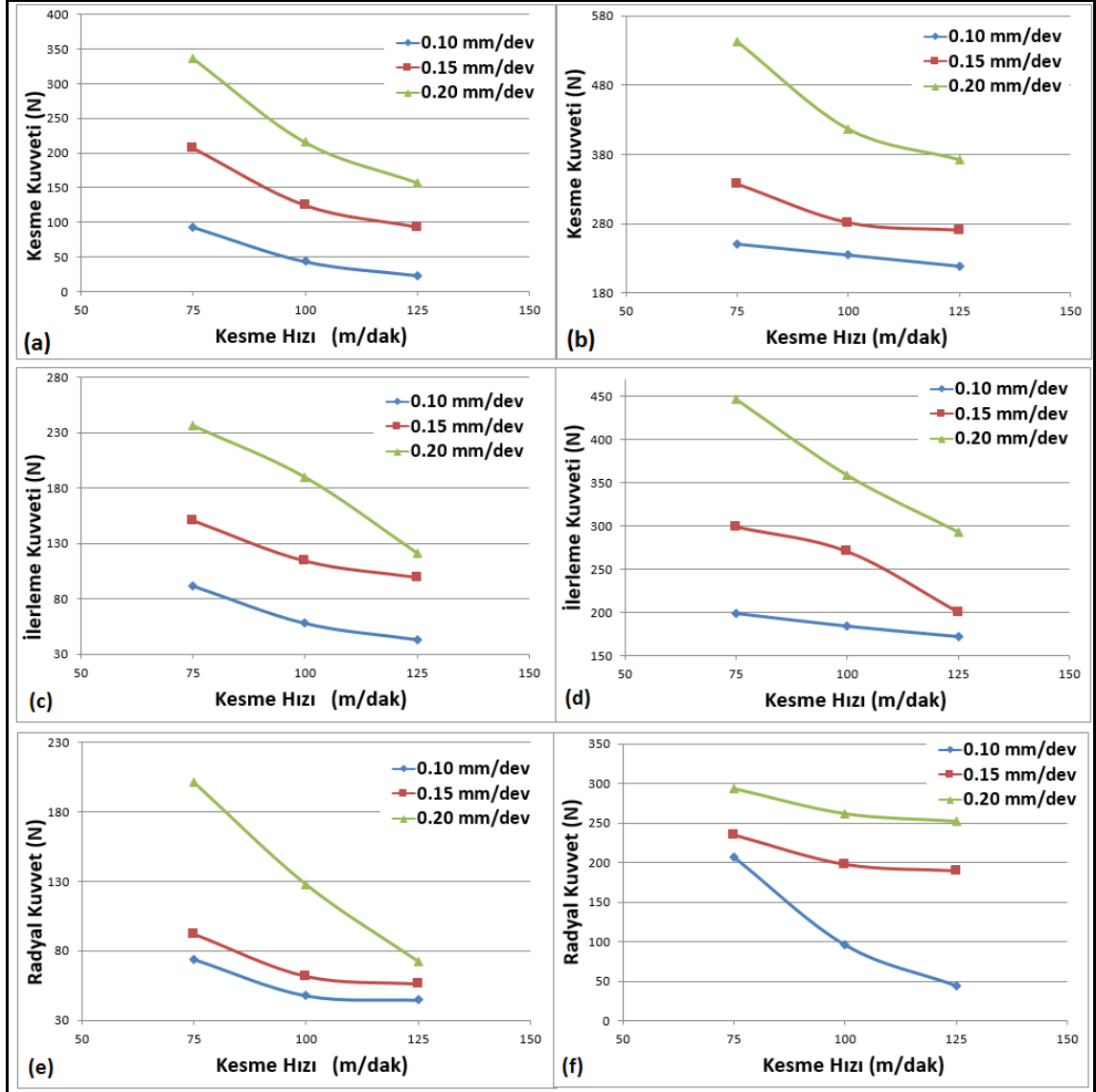
Şekil 4. 10 Tornalama deney düzeneği

4.3 Tornalama Deneyi Sonuçları

Mekanik sıkı malı olarak tutturulmuş ve yalın epoksi yapıştırıcı, ağırlıkça %0.5 nano grafen takviyeli nanokompozit yapıştırıcı ve ağırlıkça %0.5 MWCNT takviyeli nanokompozit yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış kesici uçlar kullanılarak üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve iki farklı kesme derinliğinde yapılan deneyler sonucunda oluşan kesme kuvvetleri, sıcaklıklar ve iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri bu bölümde incelenmektedir.

4.3.1 Kesme Kuvvetleri

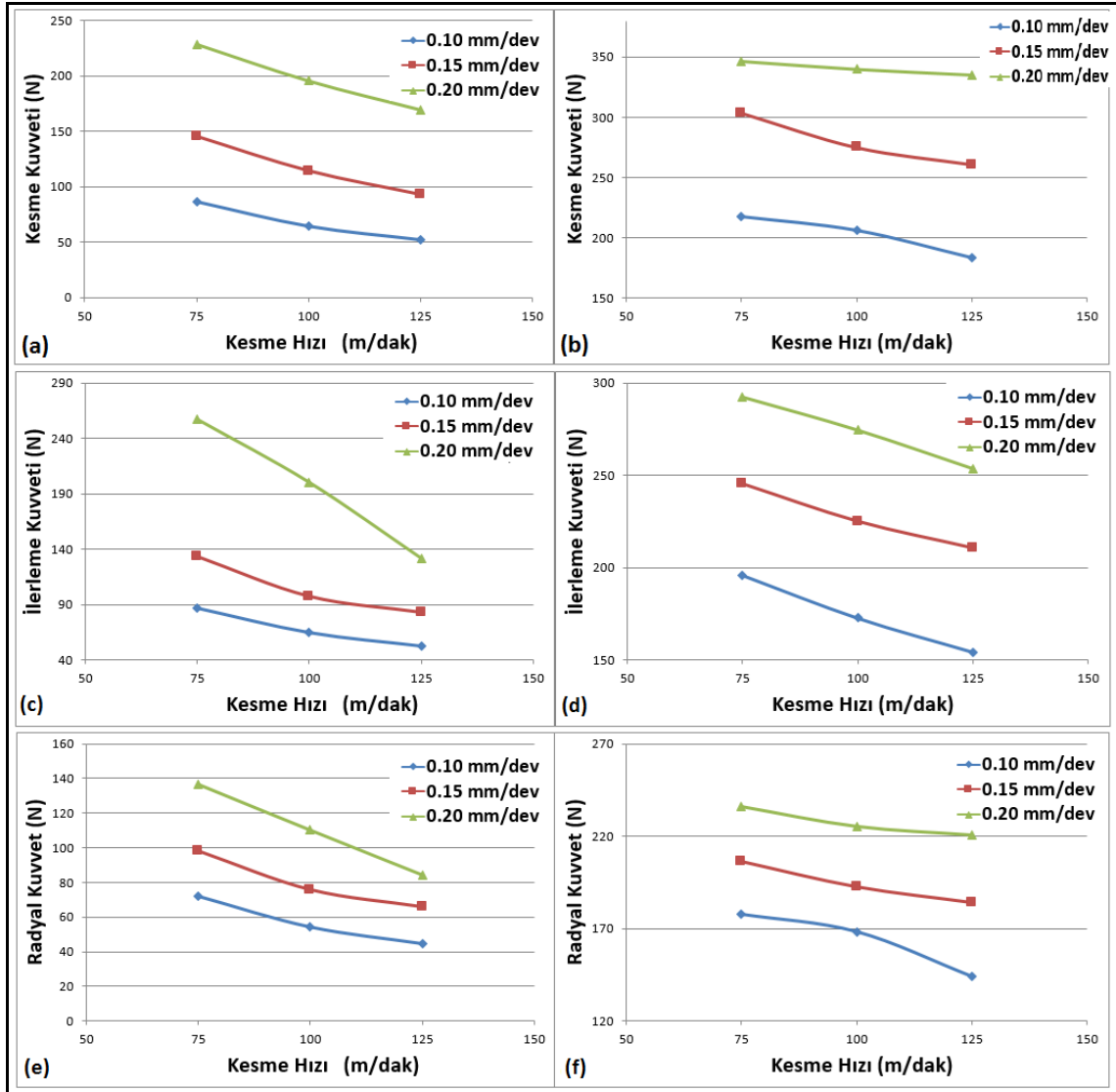
Mekanik sıkımalı kesici uçlarla işlenen AISI 1040 çeliğinin işlenmesi sırasında elde edilen kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvet değerlerinin farklı kesme derinlikleri için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi Şekil 4.11’de verilmektedir.



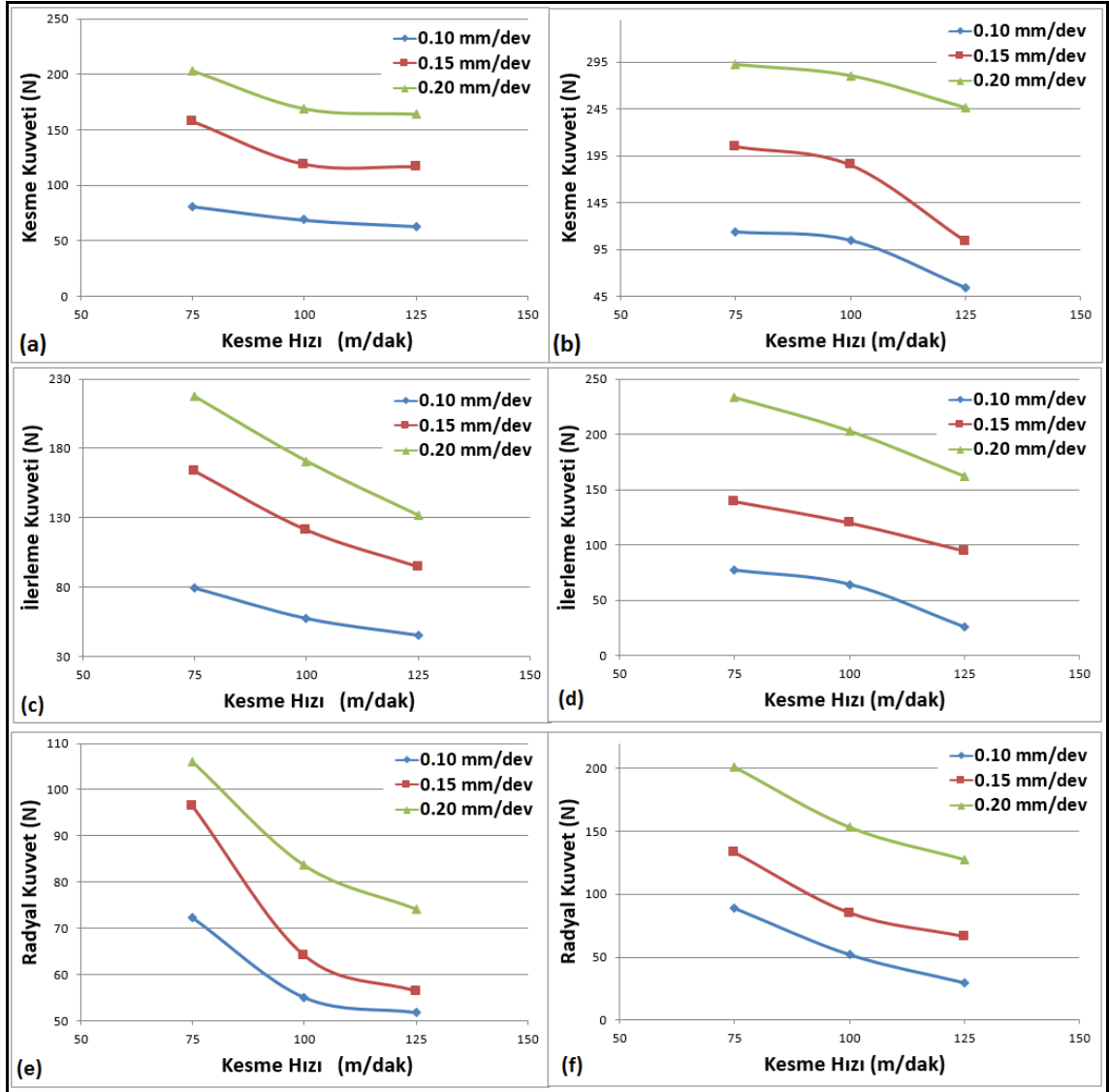
Şekil 4. 11 Mekanik sıkımalı kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a= 0.25 mm), b) kesme kuvveti (a= 0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a= 0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a=0.50 mm), e) radyal kuvvet (a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a= 0.50 mm)

Yalın epoksi yapıştırıcı (Loctite® ESP110) ve ağırlıkça %0.5 nano grafen katkılı epoksi ve ağırlıkça %0.5 MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcılar ile yapıştırılmış kesici uçların kullanılması sırasında oluşan kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvet

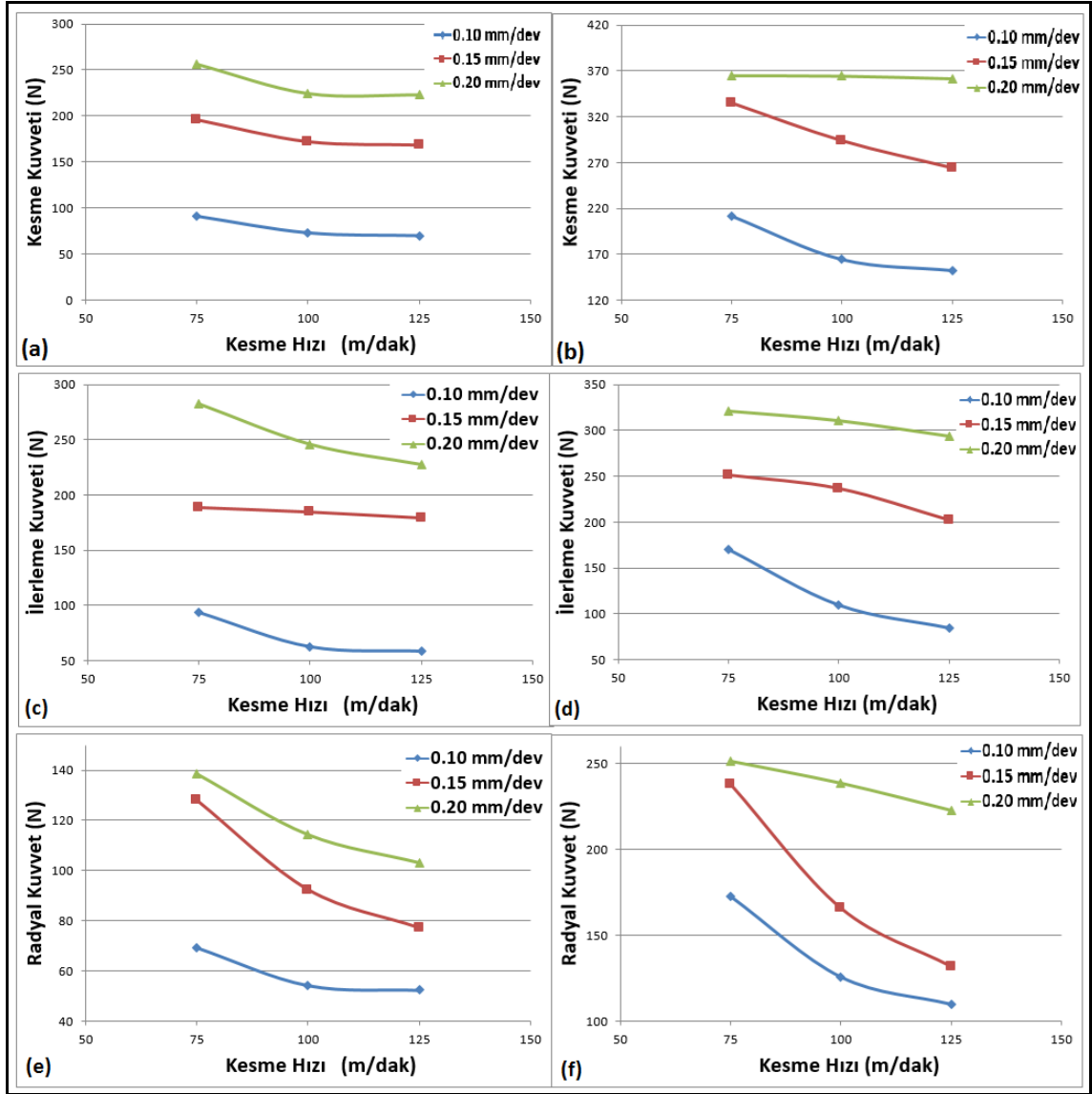
değerlerinin farklı kesme derinlikleri için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmektedir.



Şekil 4. 12 Yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a=0.25 mm), b) kesme kuvveti (a=0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a=0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a=0.50 mm), e) radyal kuvvet (a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a=0.50mm)



Şekil 4. 13 Nano grafen katkıli epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a= 0.25 mm), b) kesme kuvveti (a= 0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a= 0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a= 0.50 mm), e) radyal kuvvet (a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a= 0.50 mm)

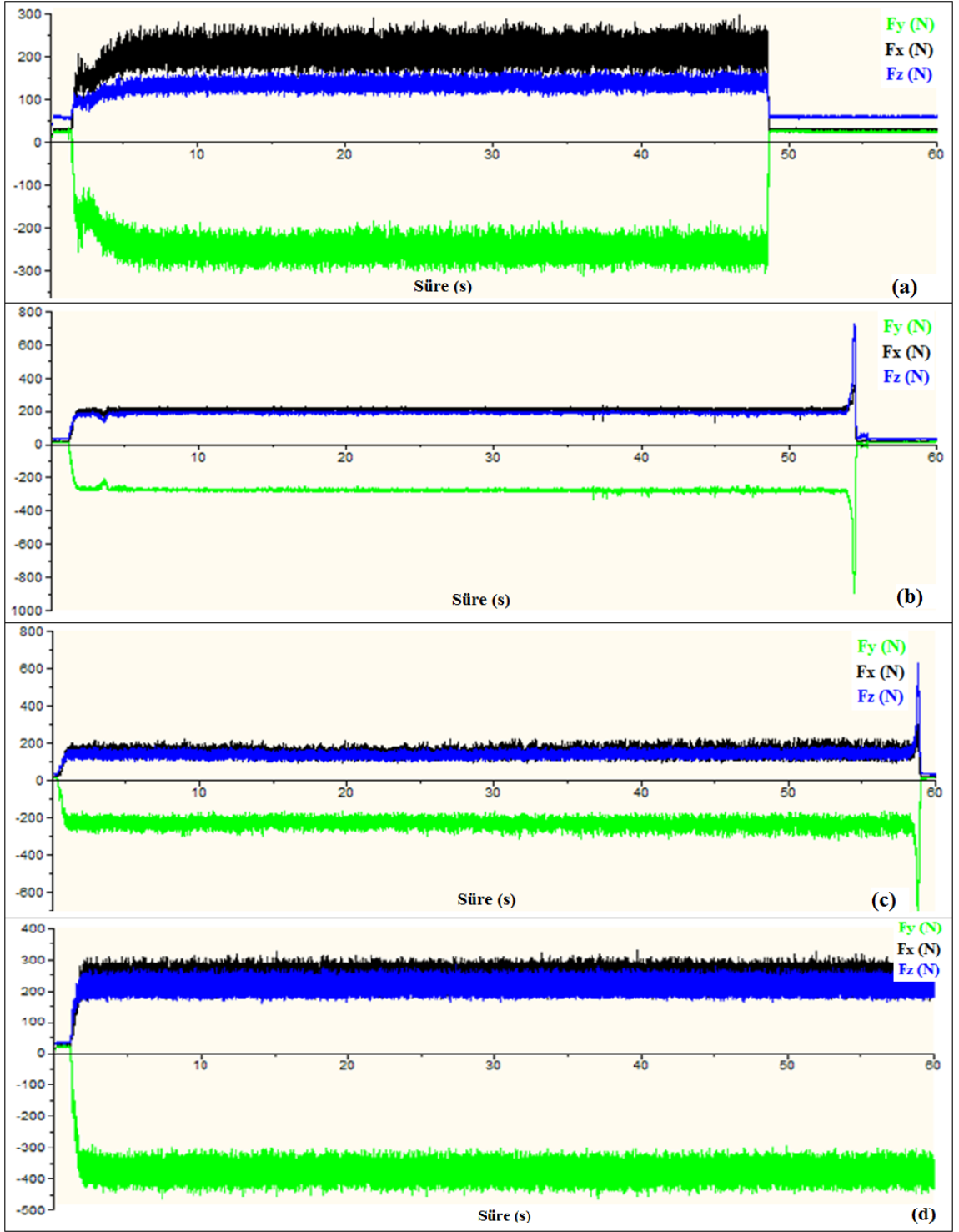


Şekil 4. 14 MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) kesme kuvveti (a= 0.25 mm), b) kesme kuvveti (a= 0.50 mm), c) ilerleme kuvveti (a= 0.25 mm), d) ilerleme kuvveti (a= 0.50 mm), e) radyal kuvveti(a= 0.25 mm), f) radyal kuvvet (a= 0.50 mm)

Mekanik sıkımlı olarak tutturulmuş ve yalın epoksi yapıştırıcı, nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcı ve MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmış kesici uçlar kullanılarak gerçekleştirilen tornalama deneyleri sonucu oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde, kesme hızlarının arttırılması sonucu takım-talaş temas boyu azaldığı ve dolayısıyla sürtünmenin azalmasından dolayı kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir [26]. Tüm şartlarda en yüksek kesme kuvvetlerinin deney süresince çalışılan en düşük kesme hızında (75 m/dak) elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, kesme derinliği ve ilerlemeye bağlı olan talaş kesit alanının kesme kuvvetlerini

etkileyen önemli faktörlerden biri olduğu bilinmektedir. Şekil 4.11 – Şekil 4.14'den kesme derinliği ve ilerleme arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Kesme derinliği arttıkça artan kesici takım üzerindeki takım-talaş ara yüz temas uzunluğu, işlem sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin artmasına neden olmakta ve bu durum da kesme kuvvetlerini arttırmaktadır [26].

Mekanik sıkma ve yapıştırma yöntemleri arasında karşılaştırma yapıldığında, aynı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği değerlerinde mekanik sıkmalı kesici uçlarla daha yüksek kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumlarda ise yapıştırıcı tabakanın sönümlenme özelliğinden dolayı kesme kuvveti değerlerinin ve genliklerin daha küçük çıktığı belirlenmiştir [25]. Bu durum Şekil 4.15'de verilen kuvvet grafiklerindeki genliklerden de görülmektedir.



Şekil 4. 15 Dinamometreden elde edilen kuvvet grafikleri ($V=100$ m/dak, $f=0.2$ mm/dev, $a=0.25$ mm), a) mekanik sıkmalı, b) yalın epoksi ile yapıştırılmış, c) nano grafen parçacık katkılı nanokompozit ile yapıştırılmış, d) MWCNT parçacık katkılı nanokompozit ile yapıştırılmış kesici uç kullanılması hali

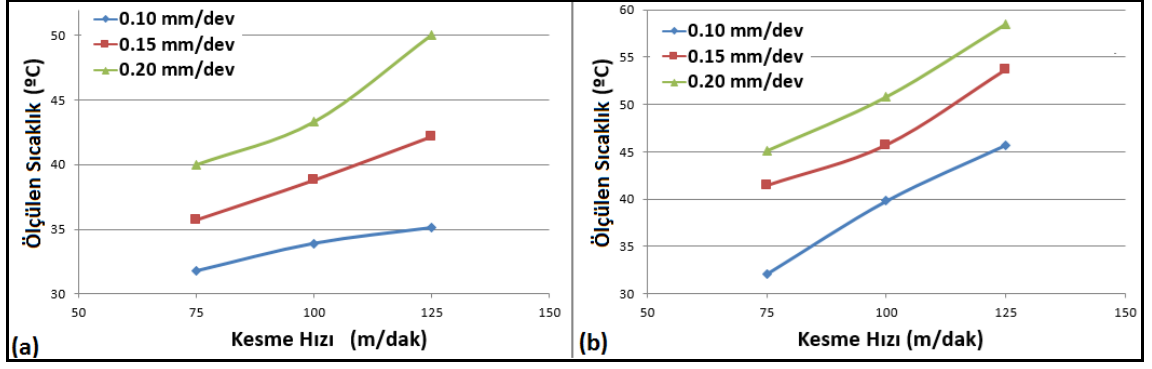
Yapıştırma yönteminde kullanılan yapıştırıcılar karşılaştırıldığında ise en düşük kesme kuvveti değerleri en iyi sönümlenme özelliği gösteren yalın yapıştırıcının kullanıldığı durumlarda ölçülmüştür. Yalın epoksi yapıştırıcı içerisine katılan nano parçacıklar epoksi yapıştırıcının viskozitesini arttırarak sönümlenme kabiliyetini düşürdüğü için tornalama işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri yalın epoksi ile yapıştırılmış takımlara göre daha yüksek ancak mekanik sıkmalı kesici uçlara göre daha düşük ölçülmüştür. MWCNT takviyeli nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçlar ile tornalama işleminde ölçülen kesme kuvvetleri, aynı oranda MWCNT parçacıkların nano grafen parçacıklara göre yalın epoksi yapıştırıcının viskozitesini daha fazla arttırdığı ve dolayısıyla sönümlenme özelliğini daha fazla düşürdüğü için nano grafen takviyeli yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen değerlerden daha yüksek elde edilmiştir. Sonuç olarak minimum kesme kuvvetleri yalın epoksi yapıştırıcı ile elde edilmiş daha sonra nano grafen katkılı ve MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcılar gelmiştir. En büyük kesme kuvvetleri değerleri ise mekanik sıkma yönteminin kullanıldığı durumda elde edilmiştir.

En yüksek kesme kuvvetlerinin ölçüldüğü talaş kaldırma parametreleri ($V=75$ m/dak, $f=0.2$ mm/dev, $a=0.5$ mm) için karşılaştırma yapılacak olursa, kesme kuvvetinin mekanik sıkmalı takımlara göre yalın epoksi yapıştırıcı kullanıldığında %36, nano grafen parçacık takviyeli nanokompozit yapıştırıcı kullanıldığında %33 ve MWCNT parçacık takviyeli nanokompozit yapıştırıcı kullanıldığında ise %28 azalma gösterdiği belirlenmiştir. Bu azalma değerleri, ilerleme kuvveti için sırasıyla %35, %30 ve %28 olarak hesaplanırken radyal kuvvet için ise sırasıyla %31, %19 ve %14 olarak hesaplanmıştır.

4.3.2 Ölçülen Sıcaklık

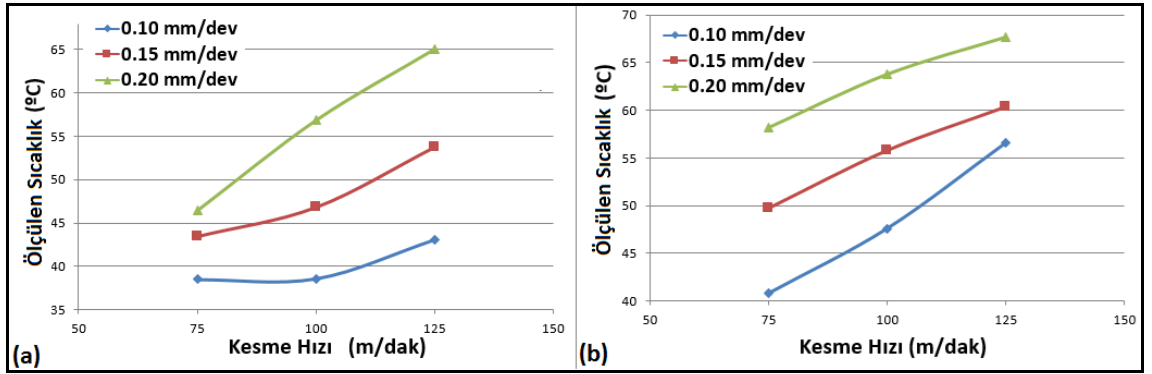
Tornalama deneylerinde, mekanik sıkmalı ve yapıştırılmış kesici uçlarda oluşan sıcaklıklar, 40 saniye süreyle ölçülmüş ve ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sıcaklık ölçümleri, kesme kuvvetlerinin ölçümleriyle eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Mekanik sıkmalı kesici uçlarda ölçülen sıcaklık değerlerinin farklı kesme derinlikleri için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi Şekil 4.16'da verilmektedir.

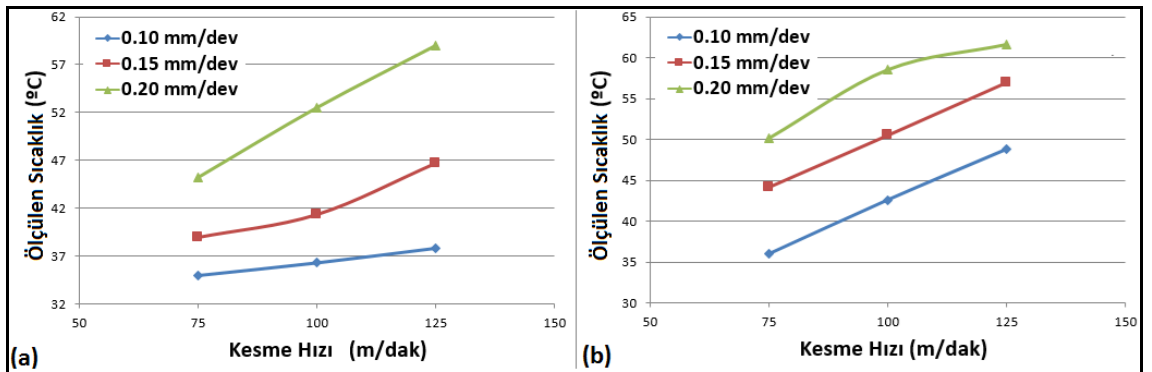


Şekil 4. 16 Mekanik sıkmalı kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıkların kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm

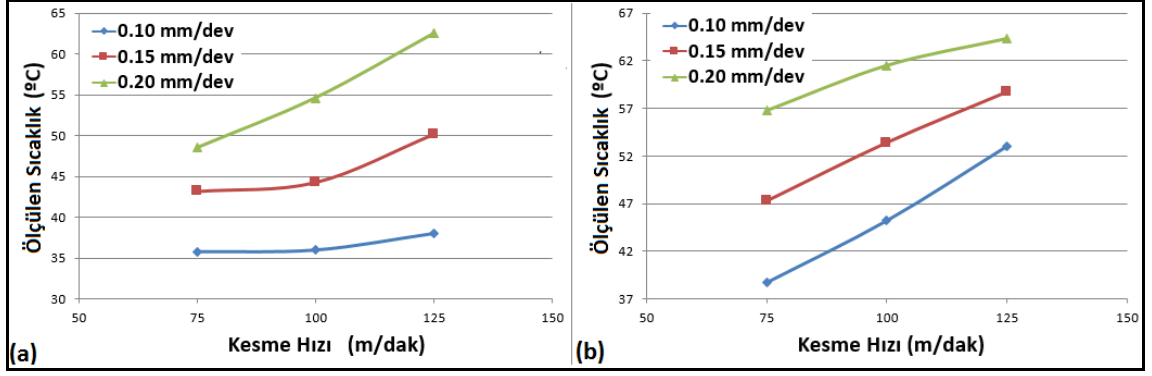
Yalın epoksi yapıştırıcı (Loctite® ESP110) ve ağırlıkça %0.5 nano grafen katkılı epoksi ve ağırlıkça %0.5 MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcılar ile yapıştırılmış kesici uçların kullanılması sırasında oluşan sıcaklıkların farklı kesme derinlikleri için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’de verilmektedir.



Şekil 4. 17 Yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıkların kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm



Şekil 4. 18 Nano grafen katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıkların kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm



Şekil 4. 19 MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıkların kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm

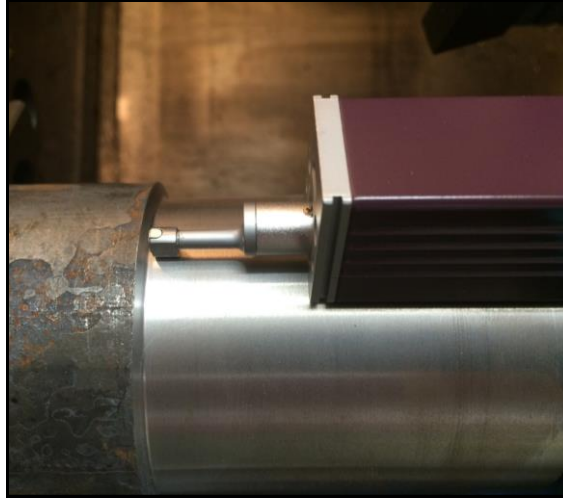
Yapıştırma yönteminde kullanılan ve kesici uç ile takım tutucu arasında yalıtkan bir tabaka oluşturan epoksi yapıştırıcı, işlem sırasında oluşan ısının kesici uçtan takım tutucuya geçmesini, iletilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, Şekil 4.16 – Şekil 4.19'den de görüldüğü gibi mekanik sıkma yöntemi kullanıldığı durumda ölçülen sıcaklıkların yapıştırma yöntemine göre daha düşük olmaktadır [22].

Yapıştırma yönteminde kullanılan üç ayrı yapıştırıcı arasında karşılaştırma yapıldığında ise en yüksek sıcaklık değerleri yalın epoksi ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülmüştür. Yalın epoksi içerisine katılan nano parçacıkların epoksinin ısı iletkenliğini arttırdığı bilinmektedir [7, 10, 22]. Bu sebeple, nanokompozit yapıştırıcıların kullanıldığı durumlarda oluşan sıcaklıklar yalın epoksi ile yapıştırılmış kesici uçlarda ölçülen değerlerden daha düşük çıkmıştır. Yalın epoksi yapıştırıcı içerisine katılan nano grafen ve MWCNT parçacıkların ısı iletkenlikleri yaklaşık 3000 W/mK'dir. Ancak yalın epoksi içerisinde homojen bir şekilde dağılımları, farklı boyutsal ve yapısal özelliklerinden dolayı farklılık göstermekte ve bu durum, ağırlıkça eşit miktarda nano parçacık katılarak üretilen nanokompozit yapıştırıcıların ısı iletkenliklerinin aynı olmamasına sebep olmaktadır. Ayrıca, MWCNT parçacıkların topaklanma eğilimi göstermesi de üretilen nanokompozit yapıştırıcıların ısı iletkenlik değerlerinin farklı olmasına yol açmaktadır [42, 43]. Bu sebeple, %0.5 nano grafen ve %0.5 MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcılar ile yapıştırılmış kesici uçlardan ölçülen sıcaklıklar karşılaştırıldığında, nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcı üzerinden işlem sırasında oluşan ısı daha etkin bir şekilde takım tutucuya iletilebildiğinden oluşan sıcaklıklar da MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcı kullanılan durumdan daha düşük

ölçülmüştür. Epoksi yapıştırıcıya katılan nano grafen ve MWCNT parçacıkların aynı ısı iletim katsayısına sahip olmalarına rağmen, bu malzemelerin geometrileri ve topaklanma eğilimleri, yapıştırıcı tabakanın ısı iletme özelliğini farklı oranlarda etkilemektedir. Nano grafen parçacıkların yapraksı yapısı ve matris içerisinde daha homojen dağılabilmelerinden dolayı MWCNT parçacıklar ile karşılaştırıldığında yapıştırıcı tabakanın ısı iletkenliğini daha çok arttırdığı görülmüştür. Buna karşılık MWCNT parçacıkların topaklanma eğiliminin nano grafen parçacıklardan daha fazla olması, epoksi matris içerisinde homojen dağılmamasına neden olmakta ve yapıştırıcı tabakanın ısı iletkenliğini nano grafen parçacıklara göre daha küçük oranda arttırmaktadır.

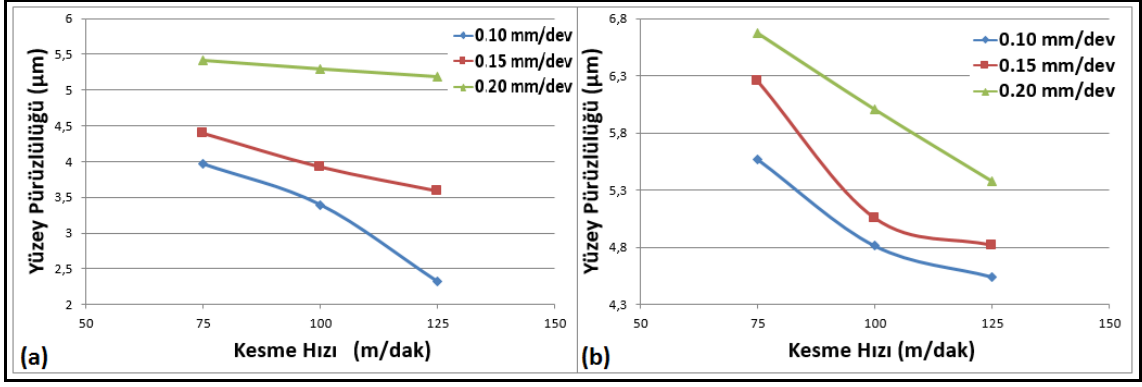
4.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü

Mekanik sıkmalı ve yapıştırılmış kesici uçlar ile işlenen iş parçasının yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.20’de gösterildiği gibi ölçülmüştür. İşlenen her yüzeyde farklı noktalardan olmak üzere beş yüzey pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiş ve bu beş ölçüm değerinin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçüm parametresi olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra kullanılmıştır.



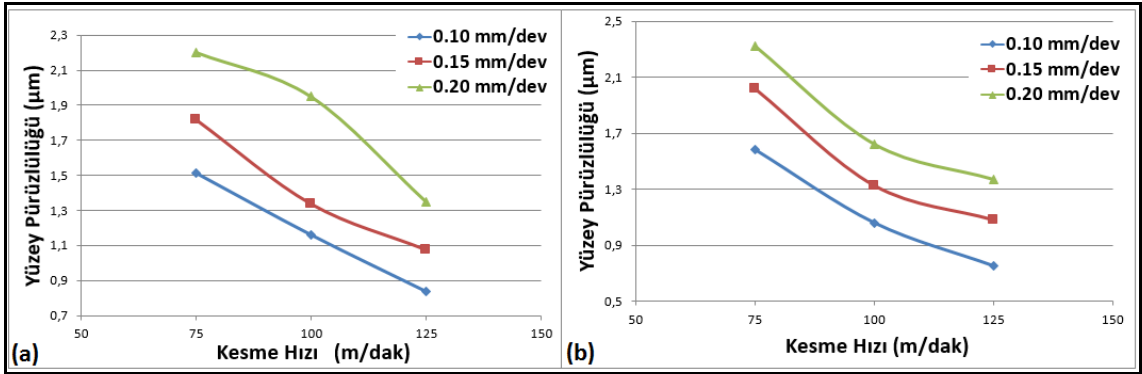
Şekil 4. 20 İş parçası yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Mekanik sıkmalı kesici uçların kullanıldığı durumda ölçülen iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin farklı kesme derinlikleri için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi Şekil 4.21’de verilmektedir.

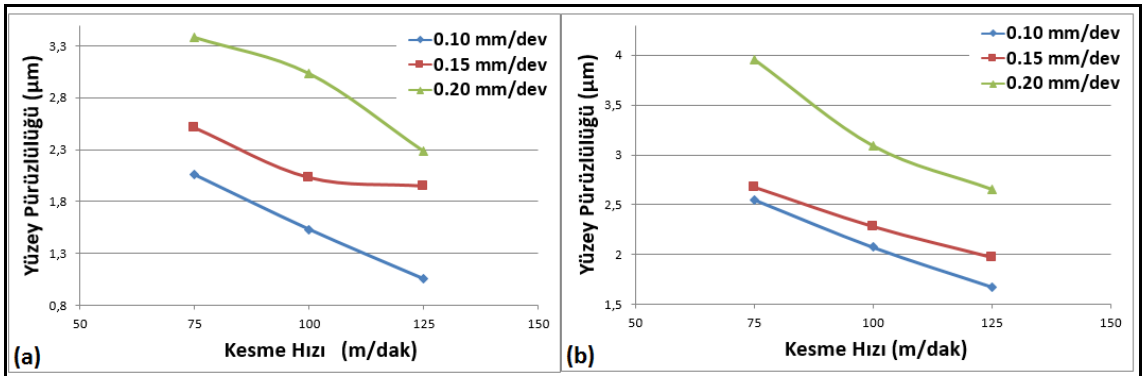


Şekil 4. 21 Mekanik sıkmalı kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm

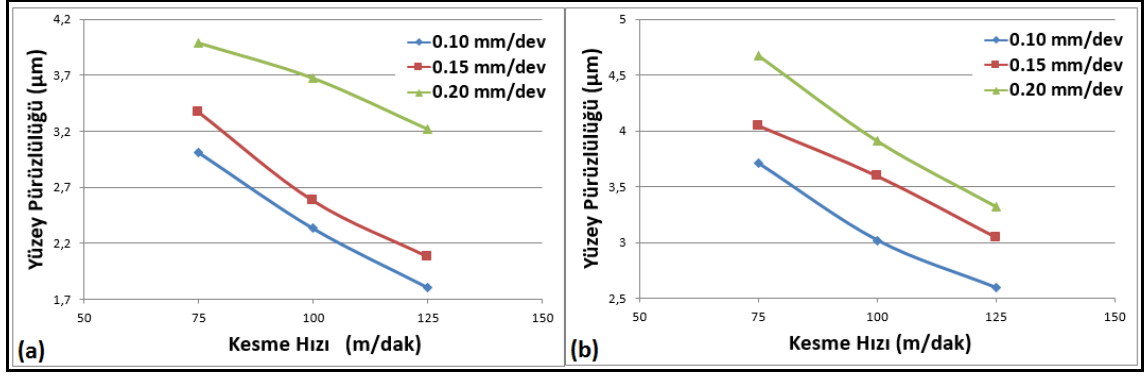
Yalın epoksi yapıştırıcı (Loctite® ESP110) ve ağırlıkça %0.5 nano grafen katkılı epoksi ve ağırlıkça %0.5 MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcılar ile yapıştırılmış kesici uçların kullanılması durumunda ölçülen iş parçası ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin farklı kesme derinlikleri için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de verilmektedir.



Şekil 4. 22 Yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm



Şekil 4. 23 Nano grafen katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm



Şekil 4. 24 MWCNT katkılı epoksi nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçların kullanıldığı durumda yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak değişimi, a) a= 0.25 mm, b) a= 0.50 mm

Şekil 4.21 – Şekil 4.24 incelendiğinde, mekanik sıkma ve yapıştırma yöntemlerinin hepsi için en düşük yüzey pürüzlülüğün 125 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme ve 0.25 mm kesme derinliğinde ve en yüksek yüzey pürüzlülüğün ise 75 m/dak kesme hızı, 0.2 mm/dev ilerleme ve 0.5 mm kesme derinliğinde olduğu görülmektedir. Bu değerler; mekanik sıkmalı kesici uçlar için 2.326 µm ve 6.669 µm (Şekil 4.21), yalın yapıştırıcı ile yapıştırılan kesici uçlar için 0.835 µm ve 2.322 µm (Şekil 4.22), nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılan kesici uçlar için 1.051 µm ve 3.957 µm (Şekil 4.23) ve MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcı ile yapıştırılan kesici uçlar için 0.835 µm ve 4.674 µm (Şekil 4.24) olarak ölçülmüştür.

Yapıştırma yönteminin kullanıldığı deneylerde, mekanik sıkma yönteminin kullanıldığı deneylere göre iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri daha küçük çıkmıştır. Ayrıca, yapıştırma yönteminde kullanılan yalın epoksi yapıştırıcı ve nanokompozit yapıştırıcılar arasında bir karşılaştırma yapıldığında, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin daha iyi sönümlenme özelliği gösterebilen yalın epoksi yapıştırıcı ile tutturulan kesici uçların kullanıldığı durumlarda olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, yalın epoksi yapıştırıcıya katılan nano parçacıkların yapıştırıcının viskozitesini artırması ve sönümlenme özelliğini olumsuz etkilemesinden dolayı oluşmaktadır [25]. Yalın epoksi yapıştırıcı içerisine katılan nano parçacık türleri karşılaştırıldığında ise takviye malzemesi olarak nano grafen parçacıkların kullanılmasının MWCNT parçacıkların kullanılmasına göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri verdiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak daha fazla yüzey alanına sahip MWCNT parçacıkların (275 m²/g) epoksi yapıştırıcının viskozitesini nano grafen parçacıklara (130 m²/g) göre daha fazla artırması gösterilebilir. Artan

viskozite, yapıştırıcının yüzey ıslatma kabiliyetini azaltmaktadır. Yüzey ıslatma kabiliyeti azalan yapıştırıcının, pürüzlendirilmiş olan yapıştırma bölgesine tutunması ve homojen bir şekilde dağılması olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Bu sebeple, talaş kaldırma esnasında oluşan titreşimler, nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcıların kullanılması durumunda MWCNT parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcı kullanılması durumuna göre daha iyi sönümlenebilmiştir.

**NANO GRAFEN VE KARBON NANOTÜP KATKILI EPOKSİ KULLANILARAK
YAPIŞTIRILMIŞ KESİCİ UÇLU TAKIMIN YAPIŞTIRMA NEDENİYLE OLUŞAN
MALİYETİNİN İNCELENMESİ**

Bu bölümde, kesici ucun takım tutucuya tutturulmasında mekanik sıkma ve yapıştırma yöntemlerinin kullanılması durumundaki maliyetler incelenmiş olup birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Maliyetlerin karşılaştırılması için malzeme, işçilik, elektrik gideri ve genel gider maliyetleri incelenmiştir.

5.1 Malzeme Maliyeti

Kesici ucun, takım tutucuya yapıştırılması için hazırlanan nanokompozit yapıştırıcılarda 2 g epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Çizelge 4.6'da kullanılan malzemelerin kg maliyetleri verilmektedir.

Çizelge 4. 6 Nanokompozit yapıştırıcı hazırlamada kullanılan malzemelerin maliyetleri

Epoksi yapıştırıcı	1750 TL/kg
Nanografen	3098,68 TL/kg
MWCNT	2470,92 TL/kg
PVP	499,1 TL/kg

- 2 g epoksi yapıştırıcı maliyeti : $1750 \text{ (TL/kg)} \times 0.002 \text{ (kg)} = 3,5 \text{ TL}$
- Ağırlıkça %0.5 nanografen maliyeti : $3098,68 \text{ (TL/kg)} \times (0.002 \times 0.005) \text{ (kg)} = 0,031\text{TL}$
- Ağırlıkça %0.5 MWCNT maliyeti : $2470,92 \text{ (TL/kg)} \times (0.002 \times 0.005) \text{ (kg)} = 0,025 \text{ TL}$
- Ağırlıkça %0.5 PVP maliyeti : $499,1 \text{ (TL/kg)} \times (0.002 \times 0.005) \text{ (kg)} = 0,005 \text{ TL}$

5.2 Direkt İşçilik Maliyeti

Kesici ucun, takım tutucuya tutturulmasında yapıştırma yöntemini uygulamak için bizzat çalışan işçinin emeğinin maliyeti direkt işçilik maliyeti olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 4.7’de asgari ücretli çalışan bir işçinin işverene maliyeti detaylı olarak verilmekte ve 1.935,2 TL olarak hesaplanmaktadır. Haftalık çalışma saati 45 saat ve haftada 1 gün tatil olduğundan günlük normal çalışma saati 7,5 saat ve aylık çalışma saati 225 saat olmaktadır. Bu durumda, asgari ücretli bir çalışanın işverene saatlik maliyeti 8,6 TL’dir.

Çizelge 4. 7 Asgari ücretli çalışan bir işçinin işverene maliyeti

Asgari Ücret	1.647,00 TL
SGK Primi % 15.5 (İşveren Payı)	255,29 TL
İşveren İşsizlik Sigorta Fonu % 2	32,94 TL
İşverene Toplam Maliyet	1.935,2 TL

Çizelge 4.8’de bir kesici ucun, takım tutucuya yapıştırılarak tutturulmasında gerçekleştirilen hazırlık ve yapıştırma işlemlerinin süreleri verilmektedir. Bu durumda, yapıştırıcı hazırlama süresi olmayan yalın epoksi yapıştırıcı için yapıştırma işleminde bir işçinin işverene maliyeti 1,15 TL ve nanokompozit yapıştırıcı için yapıştırma işleminde bir işçinin işverene maliyeti 2,15 TL’dir (Denklem 5.1 ve 5.2).

$$(1935,2/225) \text{ (TL/sa)} \times (8/60) \text{ (sa)} = 1,15 \text{ TL}$$

$$(1935,2/225) \text{ (TL/sa)} \times (15/60) \text{ (sa)} = 2,15 \text{ TL}$$

Çizelge 4. 8 Bir kesici ucun takım tutucuya yapıştırılmasında işlem süresi

İşlem	İşlem Süresi (dak)
Yüzey hazırlama	6
Yapıştırıcı hazırlama	7
Yapıştırma	2

5.3 Kurutma ve Kürlenmede Kullanılan Elektrik Giderinin Maliyeti

Kesici ucun, takım tutucuya tutturulması için epoksi nanokompozit yapıştırıcı kullanılması durumunda nano parçacıkların kurutulması ve epoksi nanokompozitin kürlenmesi için etüvde harcanan elektrik enerjisi tutarı hesaplanmıştır. Kurutma ve kürlenme işlemi birer saat süre ile gerçekleştirilmiştir.

- Ticarethane elektrik kWh fiyatı (fon ve vergiler dahil) : 0,42 TL

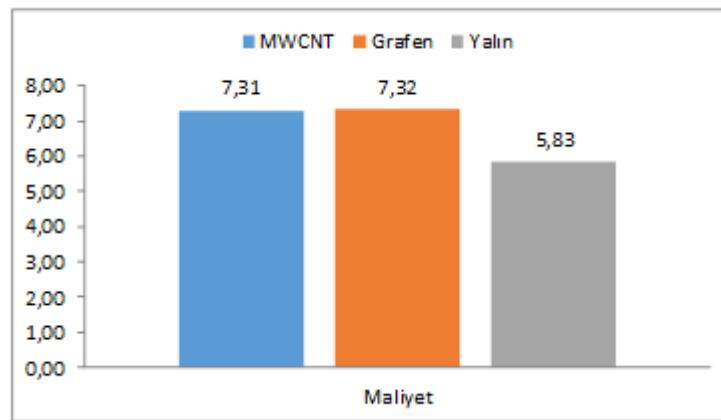
- Etüvde kullanılan elektrik enerjisi miktarı (120°C sıcaklık için) : 0.5 kW
- 1 saatlik kurutma süresince tüketilen elektrik enerjisi miktarı : 1 x 0.5 kW = 0.5 kWh
- 1saatlik kütleme süresince tüketilen elektrik enerjisi miktarı : 1 x 0.5 kW = 0.5 kWh
- Yapıştırma süresince etüvde tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarı : 1 kWh
- Yapıştırma süresince toplam elektrik enerjisi maliyeti : 1 kWh x 0,42 TL/kWh =0,42 TL

5.4 Genel Giderler

Genel giderler, toplam üretim maliyetinin yaklaşık %20'si kadardır. Toplam üretim maliyeti ise malzeme, direkt işçilik ve elektrik gider maliyetlerinin toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Yalın epoksi yapıştırıcı için toplam üretim maliyeti 4,86 TL, MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcı için toplam üretim maliyeti 6,095 TL ve nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcı için toplam üretim maliyeti 6,1 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durumda genel giderler, yalın epoksi yapıştırıcı için 0,972 TL, MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcı için 1,219 TL ve nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcı için 1,22 TL olmaktadır.

5.5 Nano Grafen ve Karbon Nanotüp Katkılı Epoksi Kullanılarak Yapıştırılmış Kesici Uçlu Takımın Yapıştırma Nedeniyle Oluşan Toplam Maliyeti

Bir kesici ucun takım tutucuya yapıştırılarak tutturulmasında toplam maliyet, yalın epoksi yapıştırıcı kullanıldığında 5,83 TL, MWCNT katkılı nanokompozit yapıştırıcı kullanıldığında 7,31 TL ve nano grafen katkılı nanokompozit yapıştırıcı kullanıldığında 7,32 TL olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Kesici ucun takım tutucuya yapıştırılmasındaki maliyetler

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere kesici ucun tutturulmasında yalın yapıştırıcı veya nanokompozit yapıştırıcı kullanılması arasında yaklaşık olarak 1,49 TL maliyet farkı oluşmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ısı ile kürlenmiş tek bileşenli epoksi yapıştırıcı içerisine MWCNT ve nano grafen katılarak elde edilen ve birleştirme işlemlerinde kullanılabilen nanokompozit yapıştırıcılar geliştirilmiştir. Bu nanokompozit yapıştırıcıların kayma dayanımları ve bağlantı çekme dayanımları, yalın epoksi yapıştırıcının dayanım değerleri ile tekli bindirme bağlantılara uygulanan kayma deneyleri uygulanarak karşılaştırılmıştır. Nanokompozit yapıştırıcılar, yalın epoksi yapıştırıcıya ağırlıkça farklı oranlarda nano parçacık katılarak üretilmiş ve kayma deneyleri uygulanarak en iyi sonucu veren oran her iki nano parçacık için de belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen oranda nano parçacık katkılı üretilen nanokompozit yapıştırıcılar kullanılarak kesici uçlar takım tutucuya yapıştırılmış ve tornalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla yalın epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılmış kesici uçlar ve mekanik sıkımalı kesici uçlar kullanılarak da tornalama deneyleri tekrarlanmıştır. Talaş kaldırma deneyleri, üç farklı kesme hızı ve ilerleme ve iki farklı kesme derinliği parametreleri kullanılarak uygulanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- Çelik-çelik tekli bindirme yapıştırma bağlantılarında, üretilen nanokompozit yapıştırıcıların yalın epoksi yapıştırıcıya göre daha yüksek kayma dayanımı ve bağlantı çekme dayanımı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca, yapıştırma işleminde kürlenme sırasında uygulanan baskı kuvvetinin dayanım değerlerinin artırılmasında ve yapıştırma kalınlığının daha homojen bir dağılım göstermesinde avantaj sağladığı gözlemlenmiştir. Nano parçacık takviye oranı ağırlıkça %0.5 değerine kadar

arttırıldığında yapıştırıcı kayma dayanımı ve bağlantı çekme dayanımında artış gözlemlenirken bu değerden sonra dayanımda azalma gözlemlenmiş ve %3 ve %5 takviye oranlarında dayanım değerleri yalın epoksi yapıştırıcı kullanılan duruma göre de daha az çıkmıştır. Nano grafen ve MWCNT parçacıkların etkisi karşılaştırıldığında ise nano grafen parçacıkların yapıştırılan malzemenin yüzeylerine daha iyi tutunması ve matris içerisinde daha homojen dağılım göstermesinden dolayı MWCNT parçacıklara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

- Çelik-çelik tekli bindirme yapıştırma bağlantılarından elde edilen sonuçlar ışığında, üretilen nanokompozit yapıştırıcılar ile çelik-sert metal (WC)-çelik bindirme bağlantıları oluşturulmuş ve kayma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantı çeşidinde de en iyi kayma dayanımı ve bağlantı çekme dayanımı değerleri ağırlıkça %0.5 takviye oranında elde edilmiş ve nano grafen parçacıklar MWCNT parçacıklara göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
- Nano parçacık takviye oranının ağırlıkça %0.5 olarak belirlenmesinden sonra üretilen nano grafen ve MWCNT parçacık katkılı nanokompozit yapıştırıcılar, yalın epoksi yapıştırıcı ve mekanik sıkma yöntemi kullanılarak takım tutucuya tutturulan kesici uçlar ile gerçekleştirilen tornalama deneyleri sonucunda, kesme hızının arttırılmasıyla kesme kuvvetlerinin ve iş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı ve kesici uç alt yüzeyinden ölçülen sıcaklığın arttığı gözlemlenmiştir. İlerleme ve kesme derinliği arttırıldıkça kesme kuvvetleri, kesici uç alt yüzeyinden ölçülen sıcaklık ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı belirlenmiştir.
- Gerçekleştirilen tornalama deneyleri sonucunda, kesme kuvvetleri değerlerinin en iyi sönümlene özelliğine sahip yalın epoksi yapıştırıcı kullanılması durumunda en az çıktığı, mekanik sıkma yöntemi kullanıldığında ise en büyük kesme kuvvetlerinin oluştuğu görülmüştür. Yalın epoksi yapıştırıcı içerisine katılan nano parçacıkların yapıştırıcının viskozitesini arttırması ve sönümlene kabiliyetini azaltmasından dolayı olumsuz etki göstermesine rağmen mekanik sıkma yöntemine göre avantaj sağlamıştır. Ayrıca, nano grafen parçacıklar MWCNT parçacıklara göre daha küçük kesme kuvvetlerinin oluşmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

- Ölçülen sıcaklıklar değerlendirildiğinde, mekanik sıkma yönteminde en az sıcaklık oluştuğu ve yalıtkan özellik gösteren yalın epoksi yapıştırıcının kullanıldığı durumda ise ölçülen sıcaklıkların en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Yalın epoksi yapıştırıcıya katılan nano parçacıkların matris malzemesinin ısı iletkenliğini arttırmamasından dolayı yapıştırıcı tabakanın kesici uç ile takım tutucu arasında oluşturduğu ısı bariyerin etkinliği azalmıştır. Bu sebeple, ölçülen sıcaklıkların yalın epoksi yapıştırıcı kullanıldığı durumdan daha az ancak mekanik sıkma yönteminin kullanıldığı duruma göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, takviye malzemesi olarak nano grafen parçacık kullanılmasının MWCNT parçacık kullanılmasına göre daha az sıcaklık oluşmasını sağladığı görülmüştür.
- İş parçası yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde ise daha iyi sönümlene kabiliyeti gösteren yalın epoksi yapıştırıcının en küçük yüzey pürüzlülüğü değerlerini sağladığı ve en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ise mekanik sıkma yönteminde oluştuğu gözlemlenmiştir. Nanokompozit yapıştırıcıların viskozitelerinin yalın epoksi yapıştırıcıya göre daha yüksek olması ve azalan sönümlene kabiliyetleri, yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Ancak nanokompozit yapıştırıcı kullanılan uygulamalarda mekanik sıkma yöntemine göre daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Ayrıca nano grafen parçacık takviyeli nanokompozit yapıştırıcılar, MWCNT parçacık takviyeli nanokompozit yapıştırıcılara göre daha küçük yüzey pürüzlülüklerinin oluşmasını sağlamıştır.
- Toplam maliyet hesaplamasından elde edilen sonuçlara göre kesici ucun takım tutucuya mekanik sıkmalı olarak tutturulması yerine yapıştırılarak tutturulması kesici uç başına yalın epoksi yapıştırıcı kullanıldığında yaklaşık 5,8 TL ve nanokompozit yapıştırıcı kullanıldığında yaklaşık 7,3 TL maliyet artışına neden olmaktadır. Ancak boyutsal hassasiyetin yüksek, geometrik toleransların dar ve yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olması istenen endüstriyel alanlardaki hassas parçaların bitirme işlemlerinde kesici ucu yapıştırılmış takımların kullanılması, ilave maliyetine rağmen teknolojik yönden getirdikleri ile tercih edilebilir.

Yukarıda bahsedilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere belirli oranda nano parçacık katkılı epoksi bazlı nanokompozit yapıştırıcıların bağlantı kayma ve çekme dayanımları,

yalın yapıştırıcıların dayanım değerlerinden daha yüksek olmaktadır. Bu durum nano parçacıkların üstün mekanik özelliklerinden ve pürüzlendirilmiş yüzeye tutunarak daha iyi yapışma sağlamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kesici ucu yapıştırılmış ve mekanik olarak tutturulmuş kesici takımların tornalama işleminde kullanılmasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü ele alındığında yapıştırılmış kesici uçların; bağlantı dayanımı ve sıcaklık ele alındığında ise mekanik sıkmalı kesici takımların avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Nanokompozit yapıştırıcılar ise yalın yapıştırıcılara göre daha yüksek bağlantı dayanımı göstermekte ve içerisine katılan takviye malzemesinin yüksek ısı iletkenliği (~2000 W/mK) sayesinde daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaktadır. Bu nedenle, yalın epoksi yapıştırıcı içerisine katılan nano parçacıklar sayesinde bu yapıştırıcıların bağlantı dayanımı ve ısı iletkenlik konusundaki dezavantajları belirli seviyelerde giderilebilmektedir. Ayrıca, nanokompozit yapıştırıcıların işlem sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü açısından mekanik sıkma yöntemine göre avantaj sağladığı da belirlenmiştir. Bu sebeplerden dolayı, hassasiyetin oldukça önemli olduğu havacılık, askeri, otomotiv ve tıp uygulamalarında yapıştırılmış kesici uçların kullanım alanlarının geliştirilmesi ve artırılması mümkün olabilecek ve hassas bir şekilde işlenmesi gereken parçaların daha hızlı bir şekilde işlenebilmesi, bu tezde belirtilen, kesici uç tutturma işleminde gerçekleştirilen iyileştirme ile sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Bakhtiar, N.S.A.A., Akil, H.M., Zakaria, M.R., Kudus, M.H.A. ve Othman, M.B.H., (2016). "New Generation of Hybrid Filler for Producing Epoxy Nanocomposites with Improved Mechanical Properties", *Materials and Design*, 91:46-52.
- [2] Khoramishad, H. ve Razavi, S.M.J., (2014). "Metallic Fiber-Reinforced Adhesively Bonded Joints", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 55:114-122.
- [3] Singh, I.V., Shedbale A.S. ve Mishra B.K., (2015). "Material Property Evaluation of Particle Reinforced Composites using Finite Element Approach", *Journal of Composite Materials*, 50(20):2757-2771.
- [4] Cognard, P. (2006). "Handbook of Adhesives and Sealants", Volume 2 - General Knowledge, Application of Adhesives, New Curing Techniques, Versailles, France
- [5] Zhai, L., Ling, G., Li, J. ve Wang, Y., (2006). "The Effect of Nanoparticles on the Adhesion of Epoxy Adhesive" *Materials Letters*, 60:3031-3033.
- [6] Zhai, L.L., Ling, G.P. ve Wang, Y.V., (2007). "Effect of Nano-Al₂O₃ on Adhesion Strength of Epoxy Adhesive and Steel" *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 28:23-28.
- [7] Al-Samhan, A.M. 2012. "Thermal-Stresses in Carbide-Tip Bonded Face Milling Cutters", *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24:85-94.
- [8] Shokrieh, M., Esmkhani, M. ve Vahedi, F., (2012). "Effect of Graphene Nanosheets (GNS) and Graphite Nanoplatelets (GNP) on the Mechanical Properties of Epoxy Nanocomposites" *Science of Advanced Materials* 5:1-7.
- [9] Ramana, G.V., Padya, B., Kumar, R.N., Prabhakar, K.V.P. ve Jain, P.K., (2010). "Mechanical Properties of Multi-Walled Carbon Nanotubes Reinforced Polymer Nanocomposites" *Indian Journal of Engineering and Material Sciences*, 17:331-337.
- [10] Gallego, M. M., Verdejo, R., Khayet, M., Zarate, J.M.O, Essalhi, M. ve Machado, M.A.L., (2011). "Thermal Conductivity of Carbon Nanotubes and Graphene in Epoxy Nanofluids and Nanocomposites", *Nanoscale Research Letters*, 6:610-616.

- [11] Salam, M. B. A., Hosur, M. V., Zainuddin, S. ve Jeelani, S., (2013). "Improvement in Mechanical and Thermo-Mechanical Properties of Epoxy Composite Using Two Different Functionalized Multi-Walled Carbon Nanotubes" *Open Journal of Composite Materials*, 3:1-9.
- [12] Das, B., Prasad, K.E., Ramamurty, U. ve Raol, C.N.R., (2009). "Nano-Indentation Studies on Polymer Matrix Composites Reinforced by Few-Layer Graphene" *Nanotechnology*, 20(12):1-5.
- [13] Sridhar, V., Lee, I., Chun, H.H. ve Park H., (2013). "Graphene Reinforced Biodegradable Poly(3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) Nano Composites", *eXPRESS Polymer Letters* 7:300-307.
- [14] Fan, H., Wang, L., Zhao, K., Li, N., Shi, Z., Ge, Z. ve Jin, Z., (2010). "Fabrication, Mechanical Properties, and Biocompatibility of Graphene-Reinforced Chitosan Composites" *Biomacromolecules*, 11(9):2345-2351.
- [15] Chatterjee, S., Nafezarefi, F., Tai, N.H., Schlagenhauf, L., Nüesch, F.A. ve Chu, B.T.T., (2012). "Size And Synergy Effects Of Nanofiller Hybrids Including Graphene Nanoplatelets And Carbon Nanotubes In Mechanical Properties Of Epoxy Composites" *Carbon*, 50:5380-5386.
- [16] Chatterjee, S., Wang, J.W., Kuo, W.S., Tai, N.H., Salzmann, C., Li, W.L., Nüesch, F.A. ve Chu, B.T.T., (2012). "Mechanical Reinforcement and Thermal Conductivity in Expanded Graphene Nanoplatelets Reinforced Epoxy Composites" *Chemical Physics Letters*, 531:6-10.
- [17] King, J.A., Klimek, D.R., Miskioglu, I. ve Odegard G.M., (2014). "Mechanical Properties Graphene Nanoplatelet/Epoxy Composites", *Journal of Composite Materials*, 128(6):4217-4223.
- [18] Leininger, W., Wang, X. ve Tangpong, W., (2012). "Nanoscale Structural and Mechanical Characterization of MWCNT-Reinforced Polymer Composites", *Journal of Engineering Materials and Technology*, 134(2):1-6.
- [19] Hsiao, K.T., Alms, J. ve Advani, S.G., (2003). "Use of Epoxy/Multiwalled Carbon Nanotubes as Adhesives to Join Graphite Fibre Reinforced Polymer Composites", *Nanotechnology*, 14:791-793.
- [20] Her, S.C. ve Shiu, T.Y., (2014). "Mechanical Properties of MWCNT/Epoxy Nanocomposite Films", *Applied Mechanical Engineering*, 3:1-7.
- [21] Darwish, S. ve Davies, R., (1989). "Adhesive Bonding of Metal Cutting Tools", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 29:141-152.
- [22] Darwish, S. ve Davies, R., (1989). "Investigation of the Heat Flow Through Bonded and Brazed Metal Cutting Tools" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 25:379-388.
- [23] Darwish, S.M., Niazi, A. ve Ghaneya, A., (1992). "Phase Stability of Duralumin Machined with Bonded and Brazed Carbide Tools", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32:593-600.

- [24] Darwish, S.M., (2000). "Effect of Tool Bit Insert – Holder Assembly on the Quality of Machined Workpieces", Journal of Materials Processing Technology, 105:230-236.
- [25] Darwish, S.M., (2000). "Machining of Difficult - to - Cut Materials with Bonded Tools", International Journal of Adhesion and Adhesives, 20:279-289.
- [26] Kavak, N., (2013). Yapıştırma-Yumuşak Lehim Hibrit Bağlantı Yöntemi Geliştirilmesi ve Kesici Takımlara Uygulanması, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Ahner, C., (2009). Applied Adhesive Bonding: A Practical Guide for Flawless Results, WILEY- VCH Verlag GmbH & Co.KGaA Weinheim.
- [28] Mittal, K. L., (2003). Handbook of Adhesive Technology, Second Edition, Taylor & Francis Group, LLC, New York.
- [29] Groover, M. P., (2010). Fundamentals of Manufacturing, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., Amerika Birleşik Devletleri.
- [30] Petrie, E. M., (2000). Handbook of Adhesives and Sealants, McGraw-Hill, Amerika Birleşik Devletleri.
- [31] Nedukanjirathingal, S. K., (2006). Characterization of Adhesives at Room and Elevated Temperatures, Yüksek Lisans Tezi, Wichita State Üniversitesi, Uzay Mühendisliği Bölümü, Amerika Birleşik Devletleri.
- [32] Şekercioğlu, T. ve Özenç, M., (2012). "Metallerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi", TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, 627:43-50.
- [33] Hunstman, (2016). Araldite Adhesives, Yapıştırıcı Seçimi Rehberi, http://www.huntsman.com/advanced_materials/Media%20Library/a_MCED5570E284BD76EE040EBCD2B6B7A1B/Your%20Industry_MCEFD19E1A181BDB8E040EBCD2B6B77C9/Marine_MD0AB2CDC727E93DBE040EBCD2C6B1FB1/file_s/SELECTOR%20GUIDE%20Adhesives%20Araldite%C2%AE%202000plus%20range.pdf, 25 Eylül 2016.
- [34] Yazıcı, T.Y., (2007), Tübüler Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [35] Solmaz, Y.M., (2008). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [36] Glueonline, (2016). Loctite ESP 110, One Part Epoxy Adhesives, http://www.glueonline.co.uk/shop/One_Part_Epoxies.html, 09 Ağustos 2016.
- [37] Kaushik, B.K. ve Majumder, M.K., (2015) "Carbon Nanotube Based VLSI Interconnects" Springer, Applied Sciences and Technology, 2:17-37.
- [38] Kavak, N., Şeker, U. ve Altan, E., (2012). "Tornalama İşleminde Kesici Uç Tutturma Yönteminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi" 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye.

- [39] Uehara, K. ve Sakurai M., (2002). "Bonding Strength of Adhesives and Surface Roughness of Joined Parts" *Journal of Materials Processing Technology*, 127:178-181.
- [40] Wernik, J.M. ve Meguid S.A., (2014). "On the Mechanical Characterization of Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Adhesives" *Materials and Design*, 59:19-32.
- [41] Lunder, O., Olsen, B. ve Nisancioglu, K., (2002). "Pre-treatment of AA6060 Aluminium Alloy for Adhesive Bonding", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 22:143-150.
- [42] Silva, L.F.M., Adams, R.D. ve Gibbs, M., (2004). "Manufacture of Adhesive Joints and Bulk Specimens with High-Temperature Adhesives", *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 24:69-83.
- [43] Pilawka, R., Paszkiewicz, S. ve Rostaniec, Z., (2012). "Epoxy Composites with Carbon Nanotubes" *Advances in Manufacturing Science and Technology*, 36:67-79.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Erdem Eryıldız
Doğum Tarihi ve Yeri :12.05.1990
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :erdemeryildiz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmal Usulleri	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Malz. Ve İmalat ABD.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013

Lise

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. Eryildiz E. ve Akdoğan Eker A., (2015). “Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları”, Uluslararası Katılımlı 1. Savunma Sanayi Sempozyumu, Kırıkkale Üniversitesi, International Journal of Engineering Research and Development, Vol 7, Sayı 4, Savunma Sanayi Sempozyumu Özel Sayısı.

Bildiri

1. Eryıldız, E., Uysal, A. ve Altan, E. (2016). “MWCNT Katkılı Nanokompozit İle Kesici Ucu Yapıştırılmış Takımların Tornalama Performanslarının Deneysel İncelenmesi”, 7. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul
2. Eryıldız, E., Uysal, A. ve Altan, E. (2016). “A Study on Shear Strength of Single-Lap Joints Bonded By Nano Graphene Reinforced Epoxy Adhesive”, Conference on Advances in Mechanical Engineering– ICAME2016, Istanbul, Turkey, Proceedings Book, sayfa 117-120.
3. Eryildiz E. ve Demirci M., (2016). “Properties of Nitinol Materials And Comparing Them With Other Materials For Stent Applications”, Academic Journal of Science, CD-ROM. ISSN: 2165-6282, sayı 05(01), sayfa 141–146.
4. Demirci M. ve Eryildiz E., (2015). “Design Parameters of a Stent Manufacturing and Their Effects on Mechanical Behaviour of Stents”, International Journal of Arts & Sciences Conference (IJAS), Germany, Proceedings ISSN: 1943-6114, Sayı 8(4), sayfa 3-8.