

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YILDIZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa YILDIZ

(503111310)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAKKAL

MAYIS 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111310 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa YILDIZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa BAKKAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Umut KARAGÜZEL
Işık Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **14 Haziran 2019**





Çekirdek ve Geniş Aileme,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlamasından sonuçlanmasına kadar tam desteğini sürdüren değerli hocam ve danışmanım Prof.Dr. Mustafa BAKKAL'a içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca test süreçlerinde bana çok yardımcı olan Arş.Gör.Mete KAYIHAN'a, sonuçların yorumlanması ve çıktıların alınması konusunda destek olan Dr. Ali Taner KUZU'ya teşekkürü borç bilirim.

İyi kötü her koşulda yanımda olan, desteğini sürekli yanımda hissettiğim hayat arkadaşım Merve YILDIZ'a, bu akademik çalışma esnasında oyun vaktinden çaldığım biricik kızım Mihrimah YILDIZ'a, tüm bu süreçte dualarını esirgemeyen annem Sevim YILDIZ'a, mühendislik yaşamımın mimarı babam Ömer YILDIZ'a, hayat neşeleriyle bana ilham veren kardeşlerim Rümeysa ve Beyza YILDIZ'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca, çalıştığım işyerim olan ve bu tez çalışmasına fırsat veren Morgan Karbon Grafit San. A.Ş. firmasına, deney düzeneklerinin hazırlanması ve iş yeri organizasyonunun yapılması adına kıymetli desteklerini esirgemeyen İmalat Müdürü. Güray ÜNSAL'a, CNC operatörü Cengiz COŞKUN' a teşekkür ederim. Ayrıca matkap takımlarının ve numunelerin ölçümlerinde yardımcı olan Toolex ve AGCO Tarım firmalarına destekleri için çok teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Mustafa YILDIZ
(Makina Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xii
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ... ..	xv
ÖZET	xxii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1 Grafitler	5
2.2. Özel(Sentetik)Grafitler	9
2.2.1. Ekstrüde grafitler.. ..	14
2.2.2. İzostatik grafitler.....	14
2.2.3. Kalıplama yöntemiyle üretilen grafitler	15
2.3.Özel Grafitlerin Mekaniksel ve Fiziksel Özellikleri.....	16
2.4. Özel Grafitlerin Uygulama Alanları.....	22
2.5. Özel Grafit Sektöründeki Yenilikler.....	29
2.6. Özel Grafitlerin Talaşlı İşlenmesi	31
2.7. Delik Delme İşlemi	36
2.8. Talaşlı İmalatta Sıcaklık Oluşumu	38
3. ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİ.....	45
3.1 Delik Delme İşleminde Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi.....	45
3.1.1 Delik delme deneyleri	46
3.1.1.1. Kesici takımlar	46
3.1.1.2. Numune malzemelerin özellikleri	47

3.1.1.3. Test parametreleri.....	48
3.1.1.4. Deney kurulumu-düzenekler.....	49
3.2 MSG215 Malzemenin Kesme Kuvvet Sonuçları	51
3.3 MSG30 Malzemenin Kesme Kuvvet Sonuçları	54
3.4 MSG46 Malzemenin Kesme Kuvvet Sonuçları	58
4. GRAFİTLERİN DELİK DELMESİNDE SICAKLIĞIN İNCELENMESİ...	63
4.1 Delik Delme İşleminde Sıcaklık Oluşumu.....	63
4.2 Delik Delme İşleminde Sıcaklıkların Ölçülmesi.....	64
4.2.1 Kesici takımlar	65
4.2.2 İş parçası malzemelerinin özellikleri.....	65
4.2.3 Test parametreleri.....	66
4.2.4 Deney kurulumu-düzenekler	68
4.3. HSS takım sıcaklık sonuçları.....	68
4.4. Karbür takım sıcaklık sonuçları	71
5.DELİK DELME İŞLEMİ SONRASI İŞLENEBİLİRLİK İNCELEMELERİ.	73
5.1.Takım Aşınmaları.....	73
5.2.Yüzey pürüzlülüğü.....	74
5.3.Delik Boyutsal Doğruluğu-Daireselliği.....	76
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

MKGS	: Morgan Karbon Grafit San.A.Ş.
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
WC-Co	: Wolfram Karbür
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
EDM	: Elektroerozyonla İşleme
SiC	: Silisyum Karbür
PyC	: Prolitik Karbon
VCI	: Camsı Karbon Kaplama
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
CTE	: Isıl Genleşme Katsayısı
CMM	: Koordinat Ölçüm Cihazı
CAD	: Bilgisayar Destekli Dizayn
PCD	:Çok Taneli Elmas
DLC	: Elmas Benzeri Karbon



SEMBOLLER

κ : Isıl iletkenlik
 $\mu\Omega m$: Elektriksel direnç birimi





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Elmas, grafit ve siyah karbonun mekanik özellikleri.....	7
Çizelge 2.2 : Doğal grafitlerin özellikleri.....	8
Çizelge 2.3 : Özel grafitlerin tane büyüklüğü ve karakteristik özellikleri	12
Çizelge 2.4 : İmalat yöntemine göre özel grafitlerin karakteristik özellikleri.....	13
Çizelge 2.5 : Oda koşullarında (20 °C) farklı malzemelerin ısı iletkenlik değeri...17	
Çizelge 2.6: Özel grafitlerin ısı ıl genleşme katsayılarının karşılaştırması.....	19
Çizelge 2.7 : Özel grafitlerin sertlik değeri aralıkları.....	21
Çizelge 2.8 : Grafitlerin diğeri malzemelerle elektriksel dirençlerin kıyaslanması.....	21
Çizelge 2.9 : Özel grafitlerde önerilen delik delme parametreleri.....	33
Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan matkap geometrileri.....	47
Çizelge 3.2 : HSS takım için delik delme parametreleri.....	48
Çizelge 3.3 : Karbür takım için delik delme parametreleri.....	49
Çizelge 3.4 : İş parçası malzemelerin teknik özelliklerinin kıyaslanması.....	50
Çizelge 4.1 : Sıcaklık deneylerinde kullanılan matkap geometrileri.....	65
Çizelge 4.2 : HSS matkap takımı için deney parametreleri.....	67
Çizelge 4.3 : Karbür matkap takımı için deney parametreleri.....	67
Çizelge 5.1 : Pürüzlülük ölçümleri deney parametreleri.....	75
Çizelge 5.2 : Delik delme parametrelerine bağılı olarak CMM ölçümleri.....	77
Çizelge 5.3 : Delik çapları hata oranlarının hesap tablosu.....	78



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Karbon, elmas ve grafit için basınç-sıcaklık geçiş diyagramı	5
Şekil 2.2 : Grafitin Kafes Yapısı	6
Şekil 2.3 : Grafitlerin ısıtılma işlemi sırasında faz oluşumları.....	9
Şekil 2.4 :Özel (Sentetik) grafitlerin üretim akış şeması	11
Şekil 2.5 :Ekstrüde grafit üretimi ve şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.6 : Soğuk izostatik presleme şematik gösterimi	15
Şekil 2.7 : İzostatik(a) ve anizotropik(b) grafitlerin mikro yapı görüntüsü.....	15
Şekil 2.8 : Özel grafitlerin kalıplama üretim yöntemi şematik gösterimi	16
Şekil 2.9 : Grafitlerin termal iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	18
Şekil 2.10 : Grafitlerin ısı genleşme değerlerinin sıcaklıkla değişimi.....	18
Şekil 2.11 : Özel grafitlerin mekanik dayanımlarının sıcaklıkla değişimi.....	19
Şekil 2.12 : Grafitlerin sıcaklığa bağlı olarak spesifik dayanımlarının kıyası...20	
Şekil 2.13 :Karbon kömür fırça çeşitleri	23
Şekil 2.14 : Grafitlerin dökümde kokil kalıp olarak kullanılması	24
Şekil 2.15 : Alüminyum için degazer şaft-rotor sistemi ve döküm halkaları.....24	
Şekil 2.16 : Silisyum tek kristal eldesi için Czochralski yöntemi.....	25
Şekil 2.17 : Grafitlerden üretilen tepsi, rezistans ve bağlayıcı elemanlar.....	26
Şekil 2.18 : EDM şematik gösterim ve elektrotlarda grafit kullanılması.....	26
Şekil 2.19 : Cam tutucu grafit ürünler	27
Şekil 2.20 : Grafitlerin pompa yatakları ve mekanik salmastra uygulamaları...27	
Şekil 2.21 : Yüksek sıcaklık test reaktör(HTTR) kesit görünüşü	29
Şekil 2.22 : Çok kristalli silisyum üretim cihazı ve grafit parçalar	31
Şekil 2.23 : Helisel matkap görüntüsü.....	37
Şekil 2.24 : Talaşlı imalatla oluşan ısının dağılımı.....	39
Şekil 2.25 :Talaşlı imalatla sıcaklık ölçüm yöntemleri.....	40

Şekil 3.1 : Talaşlı imalatta modelleme yöntemleri	45
Şekil 3.2 : HSS takımın CAD görüntüsü	46
Şekil 3.3 : Karbür takımın CAD görüntüsü	46
Şekil 3.4 : Delik delme iş parçasına ait teknik resimler.....	47
Şekil 3.5 : Delik delme iş parçasının öncesi-sonrası izometrik görünüşü	48
Şekil 3.6 :Deney kurulumu CAD çizimi.....	49
Şekil 3.7 : Deney düzeneğinin görüntüsü.....	51
Şekil 3.8 : MSG215 malzeme-HSS takım(a)d.momenti(b)kuvvet grafiği.....	52
Şekil 3.9 : MSG215 malzeme HSS takım-kesme kuvvet regresyon grafiği.....	53
Şekil 3.10 : MSG215 malzeme-karbür takımkesme kuvvet regresyon grafiği..	53
Şekil 3.11 : MSG215 malzeme-karbür takım(a)d.momenti(b)kuvvet grafiği... 	54
Şekil 3.12 : MSG30 malzeme-HSS takım(a)d. momenti(b)kuvvet grafiği.....	55
Şekil 3.13 : MSG30 malzeme-HSS takım kesme kuvvet regresyon grafiği.....	56
Şekil 3.14 : MSG30 malzeme-karbür takım(a)d. momenti(b)kuvvet grafiği....	57
Şekil 3.15 : MSG30 malzeme-karbür takım kesme kuvvet regresyon grafiği... 	58
Şekil 3.16 : MSG46 malzeme-HSS takım(a)d.momenti(b)kuvvet grafiği.....	59
Şekil 3.17 : MSG46 malzeme-HSS takım kesme kuvvet regresyon grafiği.....	60
Şekil 3.18 : MSG46 malzeme-karbür takım kesme kuvvet regresyon grafiği... 	60
Şekil 3.19 : MSG46 malzeme-karbür takım(a)d.momenti(b)kuvvet grafiği.....	61
Şekil 4.1 : Delik delme işleminde kesme işlemi esnasında ısı kaynakları	64
Şekil 4.2 : Delik delme iş parçasının ölçüleri.....	66
Şekil 4.3 : Delik delme iş parçasının deney kurulumu.....	66
Şekil 4.4 : Sıcaklık ölçüm deney düzeneği görüntüsü.....	68
Şekil 4.5 : 1 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.....	69
Şekil 4.6 : 2 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.....	69
Şekil 4.7 : 3 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.....	70
Şekil 4.8 : 4 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.....	70
Şekil 4.9 : 5 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.....	71
Şekil 4.10 : 6 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.....	72

Sayfa

Şekil 5.1 : Takımların deneyler sonrasında radyal ağız aşınmaları.....	73
Şekil 5.2 : Takımların deneyler sonrasında sağ serbest yüzey aşınmaları.....	74
Şekil 5.3 : Takımların deneyler sonrasında sol serbest yüzey aşınmaları.....	74
Şekil 5.4 : Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği.....	75
Şekil 5.5 : R_a yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları.....	76
Şekil 5.6 : Delik çaplarının CMM cihazında ölçümü.....	77





ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Malzeme sektörü, ekonomide tüm faaliyetlere girdi sağlayan temel alanlardan biridir. Bu özelliği açısından diğer sektörlerle yön verme kabiliyeti bulunmaktadır. Özellikle üretim sektöründe kullanılan ileri malzeme bilgilerine sahip olmak, üretim sektörlerinin verimliliğinin artması açısından önem taşımaktadır. Grafit, karbon ailesinden olup karbonun allotropu bir malzemedir. Doğada yüksek saflıkta elde edilebilme imkanları mevcuttur. Ülkemizde şu an için sınırlı olsa da grafit madenciligi yapılmaktadır. İnsan yapımı olan özel grafitler ise, özel hammadde (grafit menşeli) ve proseslerle birlikte uygun koşullar altında elde edilirler. Bu malzemeler; genel olarak yüksek sıcaklık, elektrik iletim isteyen uygulamalarda, bunun yanında birçok üretim faaliyetinde yardımcı malzeme olarak kullanılan kendine has özellikleri ve mühendislik metallerine oranla avantajları olan malzemelerdir. Kendisine rakip olan malzemelere kıyasla düşük yoğunluklarda olması, malzeme yapısının istenilen şartlarda yönlendirilmiş elde edilebilmesi, termal ve elektriksel özelliklerinin iyi olması, ayrıca kimyasal olarak nötr olması gibi özellikleri nedeniyle birçok sektörde kendilerine yer bulmuşlardır. Bu malzemeler tüm dünyada üretim yöntemlerine göre adlandırılırlar. Çünkü üretim yöntemleri malzeme karakteristiklerini doğrudan etkileyerek malzemenin davranışına karar veren en önemli parametrelerden biridir.

Malzemeleri üreten firmaların üretim tesisleri çoğunlukla Çin, ABD, Japonya ve Avrupa ülkelerindedir. Bu malzemeler ingot kütük ya da bloklar halinde üretilirler. Fabrika testleri ve kalite kontrollerinden sonra malzemeler bloklar halinde diğer ülkelere gönderilmektedirler. Bu blokların istenilen boyut ve toleranslarda son ölçülere getirilmesi ise genelde son kullanıcı tarafından ya da son kullanıcı lokasyonunda bulunan firma şubesi tarafından gerçekleştirilir. Bu son ölçüye getirilme işleminde ise talaşlı imalat işlemleri tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Fakat bu kapsamda üretilen ürünlerin detay imalat işleme bilgileri vs. gibi bilgileri üretici firmalarda olup, bu bilgileri kendi rekabetleri açısından piyasayla paylaşmamaktadırlar. Malzemelerin talaşlı işlemeyle ilgili literatür kayıtları, araştırmalar ve tezler yok denecek kadar azdır. Malzemelerin talaşlı işleminde sıvı soğutma-yağlama sistemleri kullanılmamaktadır. Malzemelerden çıkan talaşların formu geleneksel yöntemlerde meydana gelen talaşlardan daha farklıdır. Bu kapsamda talaşlı işleme prosesi kendilerine has yaklaşımlar üretilmesi gerektirir. Özel grafit malzemelerinin döküm kalıp, kömür fırça, ısıtıcı rezistans malzemesi vb. alanlarda kullanılması için (montaj gerektiren uygulamalarda) delik delme işlemi yoğunlukla kullanılmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında delik delme prosesinin incelenmesi uygun görülmüştür.

Tez çalışmasında kullanılmış olan malzemelerin kodları MSG215, MSG30 ve MSG46 malzemeleridir. Bu malzemelerden MSG215 malzemesi ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş-kaba taneli (ortalama tane büyüklüğü 0,9 mm), MSG30 ve MSG46 malzemesi ise soğuk izostatik presleme yöntemi ile üretilmiş- ince taneli (ortalama tane büyüklüğü 0,08 mm) özellikte olan özel grafitlerdir. MSG46 ile MSG30 malzemeleri birbirine benzer malzemelerdir, fakat dayanım özellikleri açısından MSG46 malzemesi daha üstün bir malzeme olarak göze çarpmaktadır. Bu farklı malzemelerden kuvvet- dönme momenti ve sıcaklık tespitleri için farklı

geometrilere parçalar hazırlanmıştır. Bu parçaların tezgaha bağlanması için aparatlar dizayn edilmiş ve bu aparatların üretimi gerçekleştirilmiştir.

Matkap takımları, radyal ve kesme ağız olarak iki ana kesme bölgesinden oluşur. Radyal ağız matkabın ortasında yer alır ve matkabın iş parçası üzerinde merkezleme vazifesini görür. Matkap radyal ağız ise aşınmanın yüksek oranda meydana geldiği bölgedir. Radyal ağız, düzgün bir merkezde delik delme işlemini sağlarken kesme ağız ise asıl kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada kesme kuvvet değerleri üç farklı grafit malzeme için iki farklı matkap (yüksek hız çeliği ve karbür) takımıyla belirlenen parametrelerde delik delme işlemi yapılmıştır. Bu deliklerin hızlı bir şekilde delinebilmesi için Spinner CNC dik işlem merkezinde G kodları yazılmış, böylece bir malzeme-takım çifti için 27 adet yan yana delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Özel bir dinamometre, yükseltici ve bilgisayar vasıtasıyla bu kuvvet verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu veriler MATLAB ve Excel'e aktarılmış, çıkan grafikler kesme işlemlerinin yorumlanması için kullanılmıştır. Sonrasında ise MATLAB'in Curve Fitting modülüyle polinomial regresyon gerçekleştirilmiş ve kesme kuvvetlerine dair bir yorum alabilmek amaçlanmıştır. Böylece grafitlerin delik delmesi için genel bir perspektif çizilmeye çalışılmıştır.

Delik delme işlemi sırasında iş parçası sıcaklıklarının bilinmesi imal edilen parçanın teknik özelliklerini etkilediği için önemlidir. Delik delme esnasında meydana gelen ısı; iş parçası, tezgah ve takımın genleşmelere neden olabilmektedir. Özellikle hassas işlemlerde imalat toleransının belirlenen değerden sapmasına sebep olabilmektedir. Talaşlı imalat işlemlerinden meydana gelen ısının ne kadarının takım, iş parçası ve talaşla atıldığı sorusu ise bilim adamlarınca hala tartışılan konulardan biridir. Bu bölümde özel grafitlerin delik delmesi esnasında ortaya çıkan kuvvetlerin neticesinde sıcaklıkların ne kadar arttığı anlaşılmak istenmiştir. Ayrıca grafit malzemelerin yüksek termal ısı iletkenliğinden ötürü kesme bölgesinde oluşan ısının parça tarafından iletileme oranının yüksek olacağı düşünülmüştür. Deney parçaları silindirik olarak dizayn edilmiştir. Farklı malzemeler ve parametreler için deney düzenekleri hazırlanmıştır. Böylece her parçanın tek bir delik delmesinde sıcaklıklar ölçülmeye çalışılmıştır. Delik derinliği ise testlerde (D/L oranı) 3,5 olarak tasarlanmıştır. 9 mm aralıklarla parça üzerine açılan deliklerden veriler gömülü termal elemanlar yardımıyla ısı çiftlerinden sıcaklık verileri alınmıştır. Toplamda dört farklı derinlik bölgesinden veriler alınmıştır. 1 mm çapında olan deliklerin delme bölgesine uzaklığı 0,2 mm olarak ayarlanmaya gayret edilmiştir. HIOKI datalogger tarafından 50 Hz frekansında alınan veriler MATLAB programının grafik modülüyle grafiğe dökülmüştür. Elde edilen grafikler, malzemeler ve parametrelere bağlı kalınarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

Tezin son bölümünde ise kesme kuvvetlerinin temini için 81 adet delik delme işleminin sonrasında meydana gelen takım aşınmaları optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Karbür ve yüksek hız çeliği takımlarında görülen aşınma oranları yorumlanmış, takım ömrü üzerine fikir edinilmeye çalışılmıştır. Ek olarak, grafit malzemelerin hassas yüzey olarak çalıştığı/hassas toleranslarda montajının olduğu yerlerde son kullanıcı tarafından yüzey pürüzlülüğü değerleri istenmektedir. Genellikle grafit piyasasında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri olan R_a değeri kullanılır, bu kapsamda ısı deneyleri sonrasında elde edilen numunelerin iç yüzeyinden 10 mm derinliğinde 120 derece açıyla tüm numuneyi tarayacak şekilde üç farklı noktadan Mitutoyo SJ201 cihazı yardımıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

alınmıştır. Bu değerler tablo haline getirilerek parametreler ve malzemelerle birlikte yorum yapılmaya çalışılmıştır. Son olarak ise delik kalitesini-boyutsal doğruluğu anlamak amacıyla işlenmiş numuneler üzerinden delik çapları ölçülmüştür. Ölçüm işlemi ise ZEISS Contura CMM ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Matkap çapları ve elde edilen veriler yorumlanarak sapma oranı bulunmuştur.





INVESTIGATION OF DRILLING PROCESS ON SPECIALITY GRAPHITES

SUMMARY

Material sector is the basic area which contributes inputs to economics. Thanks to this attribute, it ables to give directions to other sectors. Especially, advanced materials information is important to improve efficiency on production industry. Graphite belongs to carbon family and allotrope of carbon element. It can be mined high purity from natural sources. The speciality graphite which is man made is manufactured by special raw materials and processes. This materials generally get used on high temperature application, electric electronic industry etc. as auxiliary materials. The advantages of this materials in comparison with competitors is that, low density, good structure orientation and high thermal features. This materials named as production method. The production technique indicates material characteristic. Extruded, isostatic and molded type are the production types and names of te speciality graphites. Carbon and graphite materials are manufactured according to processes based on conventional ceramic technologies. Raw materials such as petroleum cokes, pitch cokes, carbon black or graphite materials with a defined grain size distribution are mixed with a thermoplastic binder at elevated temperatures. Coal tar or petroleum based pitches as well as synthetic resins are used as binders. Mineral additives or metal powders can be employed to achieve special material properties. Natural graphite, which is found in abundance in many areas of the world, has been used since historical times, but its applications always were and still are limited. In the last century, the advent of synthetic graphite and carbon has considerably increased the scope of applications, although natural graphite still remains the material of choice in a few cases. A large majority of graphite and carbon products are now synthetic and these products are continuously being improved and upgraded.

The production facilities of the materials producing companies mostly are in China, USA, Japan and European countries.. These materials are produced in ingots or blocks. After quality control, the materials are sent to other countries as blocks. The final dimensions of these blocks to final dimensions and tolerances are usually carried out by the end user or company branch there. In this final measure, machining operations are widely used all over the world. However, the detailed production and processing information of the products produced within this scope are in the manufacturer companies and they do not share this information with the market in terms of their competitiveness. The literature works on the machining of materials - the theses are almost negligible. Liquid cooling-lubrication systems are not used in the machining of materials. The form of the chip from the materials is different from the metal engineering materials. In this context, the machining process requires specific approaches. Drilling is used intensively on materials of mold, carbon brush, heater resisting material and so on. Therefore, the drilling process of these materials was considered on this thesis.

The materials used in the thesis study are MSG215, MSG30 and MSG46 materials. MSG215 material is produced by extrusion method - coarse grained (average grain size 0.9 mm), MSG30 and MSG46 material is produced by cold isostatic pressing method - fine grained (average grain size 0.08 mm) special graphite. Although MSG46 and MSG30 materials are similar materials, MSG46 material stands out as a superior

material in terms of their strength properties. Parts of different geometries were prepared from these different materials for strength-torque and temperature determinations. Apparatus was designed for connecting these parts to the machine and the production of these apparatus was realized.

Solid twist drill tools consisting of two main cutting zones, the cutting lips and the chisel edge. The chisel edge is located at the center position, which strategically provides the necessary center position for the workpiece. The chisel edge influences the provision of a smooth and stable cutting. In most instances, the chisel edge has a large rake angle influencing the plastic deformation through the integration of inward indentation and the consequent ploughing of the material. Cutting lips are identified as the primary cutting edges of the drill, vital for the cutting process. Oblique cutting mechanics are regarded as the cutting lips due to the variation of the rake and inclination angle. The identification of rake and inclination angles are vital in the calculation of cutting forces and torque along the cutting lip. Oblique cutting mechanics are regarded as the cutting lips due to the variation of the rake and inclination angle. The identification of rake and inclination angles are vital in the calculation of cutting forces and torque along the cutting lip. Because of the different cutting behaviors, cutting forces were analyzed at the chisel and cutting lips separately.

In chapter 3, the study contains of an analysis of the thrust force and torque when the drilling process of speciality graphites. In this study, the drilling force values were determined by two different drill tool material (high speed steel, carbide) for three different graphite materials. So, the opportunity was found to compare of the thrust force and torque values according to workpiece and drill tool material. This force data was transferred to the computer via a special dynamometer, amplifier and computer. These data were transferred to MATLAB and Excel and the resulting graphs were used to interpret the cutting process. After that, regression was performed with the Curve Fitting module of MATLAB and the cutting force coefficients were determined, so that a general perspective was tried to be made for drilling operations of the graphites.

Knowing workpiece temperatures during drilling is important because it affects the parameters that occur in the machined part. The heat generated during drilling may cause expansion of workpiece, workbench and tool and production tolerance in sensitive processes. The question of how much of this heat is shared by tool, workpiece and chip is still one of the issues discussed. It was aimed to understand how the temperatures increased as a result of the forces that emerged during hole drilling of graphite. In addition, due to the high thermal conductivity of the graphite materials, it is thought that the rate of heat transfer in the cutting zone will be high. The test pieces are designed cylindrical. Experimental setups were prepared for different materials and parameters. Thus, it has been tried to measure temperatures in a single hole drilling of each part. The D / L ratio is considered to be 3.5. The data from the holes drilled on the pieces at 9 mm intervals were taken from the thermocouples with the help of embedded thermal elements. In total, data were obtained from four different regions. The distance of the holes having a diameter of 1 mm to the drilling zone was set to 0.2 mm. Data received by the HIOKI datalogger at the frequency of 50 Hz are plotted on the graphical module of the Excel. The resulting graphs, materials and parameters are tried to be interpreted by the values. In the last part of the thesis, after the 81 hole drilling process, tool wear was examined

with the help of optical microscope. Wear rates in carbide and high speed steel tools were examined. In addition, especially on some special applications, surface roughness values are requested by the end user. The Ra value is generally used in industry. In this context, average surface roughness values were taken from three different points by using Mitutoyo SJ201 device to scan the whole sample at a 120-degree angle at a depth of 10 mm from the inner surface of the samples.. Finally, hole diameters were measured over the processed samples in order to understand the dimensional accuracy. The measurement was performed with the ZEISS Contura CMM measuring table.







1. GİRİŞ

Grafit; element ve malzeme olarak dünya piyasasında değerli olan, fakat Türkiye’de üretiminin azlığından ötürü bilinirliği az olan bir malzemedir. Birçok üretim prosesinde yardımcı malzeme olarak kullanılan bu ürünlerin kullanımı gün geçtikçe daha fazla önem arz etmektedir. Demir çelik üretiminde, nükleer uygulamalarda, elektrik motorlarında, kurşun kalem imalatında, döküm sektöründe, pil sanayisinde ve uçak sanayisinde farklı amaçlarda farklı uygulama alanlarında kullanımları mevcuttur. Grafitlerin özellikleri, kullanım amaçları, üretim yöntemleri ve işlemleri bu tezde anlatılacaktır. Özel grafitler ise kısaca bir takım proseslerle ve katkılarla insanoğlu tarafından son yüzyılda geliştirilen ileri malzemelerdir. Özel grafitler kendi içinde üretim yöntemlerine göre izostatik, ekstrüde ve kalıp yöntemiyle üretilen grafitler olmak üzere sınıflandırabiliriz.

Bu ürünler kullanılacak parçanın montaj yerine, uygulamasına göre son ölçüye getirilirken talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat özel grafitlerin piyasada az kullanılması, ayrıca özel grafitlerin talaşlı işlenmesi açısından farklı bir malzeme oluşu sebebiyle bu konu üzerinde literatür araştırması oldukça az miktardadır.

Özel grafitlerin malzeme karakteristikleri düşünüldüğünde ısıl şok dayanımı yüksek, ısıl genleşme katsayısı düşük, gevrek ve kırılma tokluğu düşük bir malzeme akla gelmektedir. Bu karakteristik özellikler talaşlı imalat esnasında diğer mühendislik malzemelere kıyasla daha farklı tepkilere neden olmaktadır. Ayrıca talaşlı işlemler sonucunda oluşan talaş yapısı ve grafit tozlarının üst düzeyde olması nedeniyle işleme tezgahlarına zarar verme durumu söz konusudur. Grafitlerin talaşlı işlenmesinde soğutucu sıvıların genelde grafit yapısına zarar verebilmesi nedeniyle tercih edilmemektedir. Genellikle talaşlı işlemlerinde kuru kesme tercih edilmektedir, soğutmaya ihtiyaç olan zamanlarda ise sadece hava ile soğutma gerçekleştirilmektedir.

Talaşlı imalatta sıcaklığın ortaya çıkarttığı problemlerden kurtulmak için genelde kesme sıvıları kullanılmaktadır. Fakat grafitin işlenmesinde yukarıda bahsedildiği gibi bu sıvıların kullanılması sakıncalıdır. Kesme sıvısı kullanımı; kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın aşağı çekilmesi dışında, meydana gelen talaş kesme

bölgesinden uzaklaştırıp, takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmaktadır. Bunun yerine grafitin işlenmesinde basınçlı hava ile soğutma takıma uygulanmaktadır.

Tüm bu etkenler düşünüldüğünde özel grafitlerin talaşlı olarak işlenmesinde kullanılması gereken takım malzemeleri, işlemde kullanılacak olan tezgah ve bakımı, talaşlı işlem parametreleri farklı olarak düşünülmeli ve yorumlanmalıdır.

Bu çalışmada ise özel grafitleri delik delerken, meydana gelen kuvvet ve sıcaklık ölçümleri yapılmış ve ortaya çıkmış olan sonuçlar irdelenmiştir. Delik delme performansı belirlenirken, işlenen malzeme ve kesici takım(matkap)özellikleri önemli etkilere sahiptirler. Bu yüzden; belirli kesme parametreleri altında, üç farklı özel grafit malzemesine delik delme işlemi uygulanmıştır. Çapı 12 mm olan iki farklı malzemeye sahip olan takımlarla bu testler gerçekleştirilmiştir. Takım malzemeleri HSS ve karbür (WC-Co)dür. Özel grafit malzemeleri ise MSG30, MSG46 ve MSG215 kodlu malzemeleridir. Malzemelerin temini Morgan Karbon Grafit San.A.Ş.(MKGS) tarafından sağlanmıştır. İlgili çalışmalar MKGS çalışma sahasında ve İTÜ Talaşlı İşlem Laboratuvar'ında gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle testler yapılırken dik işleme merkezinde farklı üç malzemeye ait delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delik delme testlerinde her malzeme tek tek farklı takımlarla delinerek toplamda altı malzeme-takım çiftine ait kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Daha sonra, üç farklı özel grafitin delik delmesinde ortaya çıkan kuvvetler yorumlanmış, matkapla delik delme işlemine ait olan kesme kuvvet regresyon sonuçları elde edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; belirlenmiş parametrelerde kesme işlemi esnasında parça üzerinde oluşan sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Isıl çiftler vasıtasıyla alınan sıcaklık değerleri gözlemlenmiş, tabloya aktarılarak o malzemenin belirli kesme koşulları altında ortaya çıkan sıcaklık etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Son olarak ise, kesme kuvvet testlerinin ardından takım aşınmaları incelenmiş, sıcaklık deney parçaları üzerinden yüzey pürüzlülüğü değerleri alınmıştır. Ayrıca ,boyutsal doğruluk adına delik delme işleminin ardından delik delinen çap CMM cihazı yardımıyla ölçülmüş, hata oranları bulunmuştur.

Bu tezin ardından özel grafitlerin delik delmesine dair incelemeler yapılmış olacak, bu malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkabilecek olumsuz durumlar üzerinde durulacak, böylece doğru kesme parametrelerinin seçimi gerçekleştirilmesine imkan

bulunacaktır. Bu malzemelerin işlenebilmesi için gerekli bilgi dağarcığı oluşturabilmek adına bu tez çalışması oluşturulmuştur.





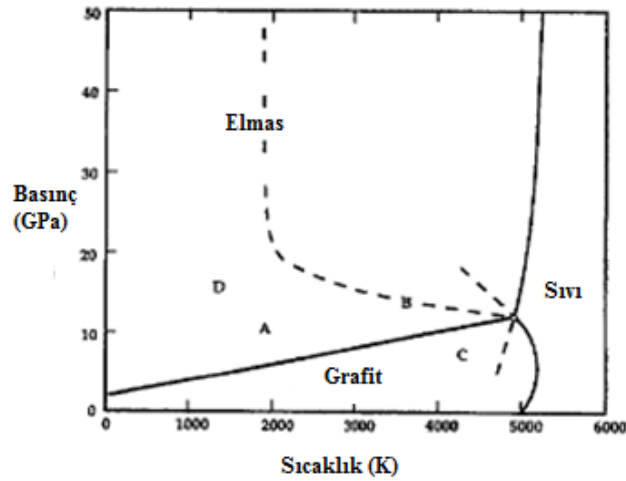
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Grafitler

Karbon, periyodik tablonun altıncı sırasında yer alan doğada farklı formlarda bulunabilen bir elementtir. Atom numarası 6 olan bu elementin kristal yapısı kübik ya da hegzagonal olup, renk olarak siyah ya da gri renktedirler. Organik kimya karbon ve bileşenlerini inceleyen bilim dalıdır. [1]

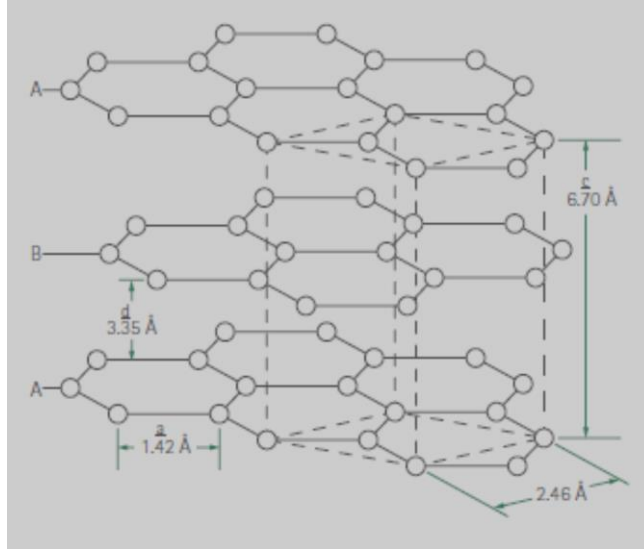
Grafit, Yunanca yazma manasına gelen “Graphein” isminden türetilen bir isimdir. Grafit malzemedan ilk kurşun kalem imalatı 15. yy’da İngiltere’de gerçekleştirilmiştir. 18. yy’da ise karbonun allotropu olduğu ispat edilmiştir. [2]

Termodinamik olarak grafit atmosferik basınçta karbondan daha kararlı bir yapıya sahiptir, elmas grafit yapıya 1500 °C’nin üstünde geçer. [3]



Şekil 2.1. Karbon, elmas ve grafit için basınç-sıcaklık geçiş diyagramı. [3]

Hegzagonal kafes yapısında yer alan grafitler, yatay düzleme paralel şekilde birbirine takip edecek şekilde sıralanmışlardır.[4]



Şekil 2.2. Grafitin kafes yapısı. [4]

Bilinen en yumuşak malzemelerden biri olan grafit karbonun farklı bir formudur ve özellikle yağlama amacıyla kullanılırlar. Grafit doğal bir biçimde doğada bulunmasına rağmen, ticari amaçlı kullanılan grafitler oksijensiz fırınlarda petrol kokunun(petroleum coke) işlenmesiyle elde edilirler. Grafit Alfa ve Beta formunda doğada bulunurlar. Bu iki form fiziksel olarak aynı özelliklere sahip olsalar da farklı kristal yapılarına sahiptirler. Yapay olarak üretilen grafit Alfa tip grafit olarak anılır. Yağlayıcı amaçlı kullanımının yanı sıra, kullanımının büyük kısmı çelik üretimindedir.

Karbonun farklı atomik dizilişte olan iki allotropu vardır. Bunlar; grafit ve elmadır. Dolayısıyla; grafit, elmas ve siyah karbon farklı özellikler gösteren malzemelerdir. [3]

Doğal grafit, elektriksel ve ısı iletkenliği iyi olan bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda durumunu koruyabilme gibi özelliği de vardır. 3650 °C gibi yüksek sıcaklıklarda refrakter özelliklerini iyi şekilde gösterirler.

Grafit, keşfedildiği zamandan beri insanlık yararına birçok uygulamada kullanılan ilginç bir malzemedir. Bugün hala grafitin sentetik uygulamaları popüler olsa da, doğal grafitler bazı uygulamalarda halen tercih edilmektedirler. Doğal grafitler üç tipe ayrılırlar. Taneli (flake), kristalli (vein) ve amorf. Bu isimler aynı zamanda formları hakkında bilgi verirler. [5]

Çizelge 2.1. Elmas, grafit ve siyah karbonun mekanik özelliklerinin kıyaslanması. [3]

Özellik	Elmas	Grafit	Siyah Karbon
Bağ Uzunluğu	154	142,335	146,144
Yoğunluk(g/cm^3)	3,52	2,26	1,72
Bulk Modulus(GPa)	442	286	6,8
Young Modulus(GPa)	1054	1020	16
Kaynama Noktası(K)	4500	4450	1180
Isıl İletkenlik($Wm^{-1}K^{-1}$)	15000	2800	0,8

Taneli grafit zengin silisyum içeren kuvarsitlerde, granit taşlarında ve mermer içlerinde yaygın olarak bulunur. Kristalli grafit çarpaz, volkanik ve metamorfik kayalardan elde edilir. Amorf grafitler ise yeryüzündeki bulunan taş kömürlerinin yüksek basınç altında dönüşümü sonrasında elde edilirler.

Doğal grafitler doğal kaynak olarak dünyanın dört bir yanına dağılmış durumdadır. Fakat, maden kaliteleri ve nitelikleri değişkenlik göstermektedirler. ABD'nin yanı sıra, dünyanın önemli grafit üretici ülkeleri; Brezilya (taneli), Kanada (taneli), Çin (taneli ve amorf), Kore (amorf), Madagaskar (taneli), Meksika (amorf), Sri Lanka (taneli) olarak sayılabilir. MTA araştırmaları sonucunda; Balıkesir-Susurluk, İnebolu, Yozgat ve Adıyaman şehirlerinin grafit oluşumlarının Türkiye'nin en iyi grafitleşmiş karbon içeren bölgeler olduğu anlaşılmıştır. [6]

Doğal grafitler maden olarak doğadan çıkarıldıktan sonra, taneli ve kristalli yapıda olanlar öğütme işlemine maruz kalırlar. Taneli yapıda olan grafitler yüksek bir kısmı metal endüstrisinde refrakter malzeme olarak kullanılırlar. Grafit tozları ise doğada bulunan hidrokarbonların kısıtlı bir hava altında yanmasıyla elde edilirler. Genel manada siyah karbon (carbon black) olarak tanınırlar. Siyah karbon partikülleri grafit mikrokristallerinin bir araya toplanmasıyla elde edilirler. Genelde; boyalarda ve sentetik grafitlerin elde edilmesinde katkı maddesi kullanılırlar. [5]

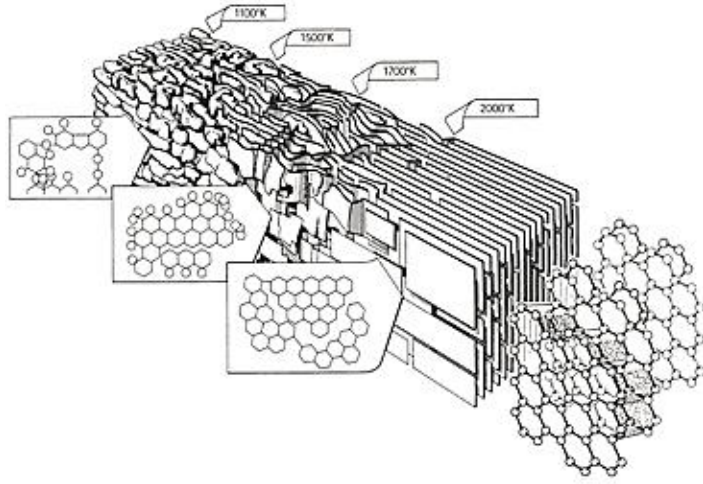
Çizelge 2.2. Doğal grafitlerin özellikleri.[5]

Özellikler	Doğal Grafit Tipi		
	Grafit Tipi	Taneli(Flake)	Kristalli (Vein) Amorf (Amorphous)
Malzeme Bileşimi (% Karbon-% Sulfür)		90- 0,1	96-0,7 81-0,1
Yoğunluk (g/cm ³)		2,29	2,26 2,31
Grafitizasyon Derecesi %		99,99	100 28
İç Direnç (Ω cm)		0,031	0,029 0,091
Kristal Morfoloji		Düzlem	İğne Düzlem Tanecikli

Grafitin üretim süreci 19.yy’da karbon üretim teknolojilerine doğan ilgiyle başladı. İlk olarak, elektriksel direnç malzemesi olarak endüstriyel fırınlarda kullanılmak üzere geliştirilen sentetik grafitler sonraki süreçlerde daha hızlı gelişimler göstermiştir.

Özel grafitlerin üretiminde karbon malzemelerin grafitleştirme işlemleri 2600-3300 °C’de ısıtılarak işlem olarak uygulanarak elde edilir. Grafitleştirme prosesinde ön sıralı karbon kümeleri üç-boyutlu grafit yapıya dönüşürler. Hammaddeler, katkı malzemeleri ve proses parametrelerine göre kristalize yapıları farklı grafit malzemeler elde edilir. İlerleyen bölümlerde işlemlerin detaylarına inilecektir. [7]

Sıcaklıkla birlikte grafitlerin kristal yapısı ve dislokasyonlar arası mesafeler değişir. Bu katmanlar arası mesafe ısıtılarak işlem sıcaklığı arttıkça azalır. 1500 °C’de başlayan grafitleşme işlemi ile bu mesafe 3.50 Å’den 2000 °C’de 3.40 mertebelerine düşer. 2000 °C üzerinde ise mesafe 3.35 Å’ya yaklaşır. Şekil 2.3’de farklı sıcaklıklarda kristal yapısı ve dislokasyonlar arası mesafeler görülebilir. [4]



Şekil 2.3. Grafitlerin ısıtılması sırasında faz oluşumları. [4]

Mühendislik uygulamaları için geliştirilen özel(sentetik) grafitleri, bir nevi granüllü kompozit malzeme olarak tanımlayabiliriz. Bu grafitler, katkı malzemesinin kullanıldığı(genellikle kok kömürü) ve ziftten elde edilen bağlayıcı karbondan oluşur. İyi kaliteye sahip olan özel grafitler izostatik presleme yöntemiyle grafitize edilmiş karbonizasyon işlemleri sonrasında elde edilirler. Daha sonra grafitize olmuş karbonlar ısıtılması sayesinde daha iyi mekanik özelliklere sahip olurlar. [8]

2.2. Özel (Sentetik) Grafitler

Sentetik grafitler 1896 yılında, bir kaza sırasında Edward Goodrich Acheson tarafından keşfedildi. Bir elektrik fırınında Silisyum Karbür (SiC) üretmeye çalışırken silisyum dioksit ve amorf karbondan beklenmedik bir reaksiyon gözlemledi. Bu reaksiyon sonucunda ise grafit kristalleri oluştuğunu keşfetti. Proses fazlalıklardan arındırıldı ve silisyum dioksit katkısı çıkarıldı. Böylece yüksek saflığa sahip, yüksek oranda kristalize olmuş sentetik grafitler katı amorf karbonlardan elde edilebilmiş oldu. Hala Acheson'un yöntemiyle yapılan özel grafit yöntemi ve fırını bulunmaktadır, bu proses ise kendi adıyla adlandırılmaktadır. [9]

Özel grafitler insan eliyle elde edilen yapay malzemeler olduğu için kullanım amaçlarına göre üretici firmalar tarafından pek çok Ar-Ge çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Üretici firmalar genelde Japonya, Çin, ABD ve Avrupa ülkeleri kaynaklıdır. Bu firmaların hepsi, ekonomik olarak hayatta kalmak için bu bilgileri gizlilik çerçevesinde değerlendirirler ve çoğunu piyasayla paylaşmazlar. Yeni tür

grafitler geliştirmenin ekstra maliyetli oluşu ve firmaların ürün gamında birbirleri ile yarıştıkları için bu yöntemlerin detayları her üreticinin kendine özeldir.

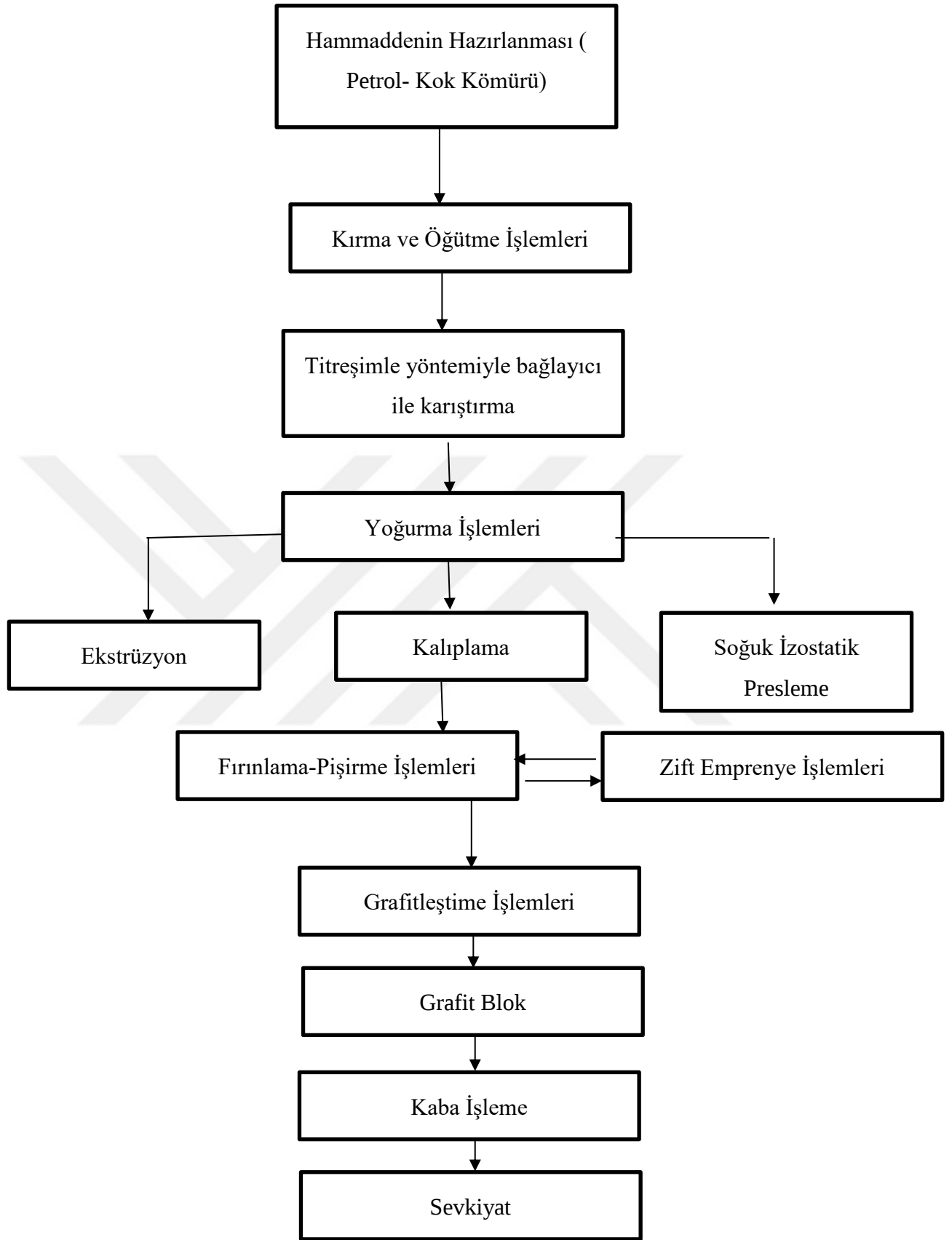
2015 yılı verilerine göre dünyanın özel grafit üretimi, yılda 12 bin tondur ve bu rakam artmaya devam etmektedir. Bu artış her sene yeni yatırımlarla %5 oranındadır. Çin, bu artışın en çok yaşandığı ülkedir ve tüm dünyanın özel grafit ihtiyacının dörtte biri Çin tarafından karşılanmaktadır. Ayrıca tüm karbon ürünlerin üretiminin %80'ini özel grafitler oluşturmaktadır. [10]

Özel grafitlerin elde edilme yöntemleri üretim prosesi, malzeme girdisi, iyileştirme işlemlerine göre farklılıklar göstermektedir. Tane büyüklükleri genel manada 30-150 µm arasında değişen grafitlere ince taneli grafit, 1-30 µm arasında değişen grafitlere ise çok iyi taneli grafit olarak adlandırılır. Birçok farklı türde üretim yöntemleri bulunmaktadır. Burada dünyada yaygın olarak kullanılan özel grafitlerin üretim yöntemlerine değinilecektir. [9]

Hammaddenin Hazırlanması: Bu süreç grafitin yapısını oluşturan en kritik süreçtir. Elde edilmesi istenen grafit kalitesine göre hammadde ve birleştirici malzemeler bu süreçte belirlenir. Kullanılacak olan kok kömürünün tane büyüklüğü, kül miktarı, ziftin karbonlaşma derecesi ve empüriteler grafitin oluşturulurken hesaba katılmalıdır. İnce taneli grafitler elde etmek için kullanılacak olan girdiler pahalı olmaktadır. Bu hammadde çeşitlerini matriks malzemesi, bağlayıcılar, emprenye malzemeleri ve katkıları olarak sınıflandırabiliriz. Matriks malzemeleri genel manada petrol ya da kok kömürü olarak seçilmektedir. Bunların yanı sıra, geri dönüştürölmüş sentetik grafitler, doğal grafitleri ve siyah karbonlar da hammadde olarak kullanılmaktadır. Üretim yöntemlerine göre iğne kok (küçük partiküllü), anot kok ve izo-kok olarak(izostatik grafitlerde) olmak üzere üçe ayrılırlar. [11]

Bağlayıcı Malzemelerle Karıştırma: En yaygın kullanılan bağlayıcı malzemesi kömür katran zifti (coal-tar pitch)dir. Bu malzeme gevrek ve camsı özellik taşıır. Bu malzeme kömür katranının ısıı işlemi ve damıtılmasıyla elde edilir. Diğer bağlayıcı malzemelerse; petrol zifti ve termoset reçinelerdir.

Kırma ve Öğütme İşlemleri: Matriks malzemesi ve bağlayıcı bir öğütme taşı vasıtasıyla 1 µm ile 1,25 cm arasında değişen boyutlara getirilir.



Şekil 2.4. Özel (Sentetik) grafitlerin üretim akış şeması. [8]

Çizelge 2.3. Özel grafitlerin tane büyüklüğü ve karakteristik özellikleri.[11]

Grafit Kalitesi	Tane Büyüklüğü	Özellikleri
Orta-kaba taneli	0,2 - 1,25 cm arası	Düşük Yoğunluk Düşük Isıl Genleşme Düşük Dayanım Yüksek Gaz Geçirgenliği
İnce taneli grafit	0.05 – 0.15 cm arası	Orta Yoğunluk Orta Isıl Genleşme Orta Dayanım Orta Gaz Geçirgenliği
Çok ince taneli grafit	1 – 75 µm arası	Yüksek Yoğunluk Yüksek Isıl Genleşme Yüksek Dayanım Yüksek Gaz Geçirgenliği

Karıştırma İşlemleri: Matriks ve bağlayıcı malzemeler karışım yüzdelere göre büyük karıştırıcılarda 160-170 °C’lerde homojen bir şekilde dolgu malzemesinin matriks içine yayılması amacıyla karıştırılırlar.

Şekillendirme İşlemleri: Grafite form verebilmek için ekstrüzyon, izostatik ya da kalıplama yöntemleriyle işleme tabi tutulurlar.

Fırınlama(Karbonizasyon- Grafitleştirme) İşlemleri: Bir fırının içerisinde inert gaz atmosferinde karbonizasyon işlemi başlar. Bu proses parça geometrisi, şekline göre birkaç günden haftalara kadar zaman alabilir. Sıcaklık yavaş yavaş 600 °C’ye kadar yükseltilir, bu aşamada bağlayıcılar yumuşaklaşır, malzeme sertleşmeye ve küçülmeye başlar. Daha sonra sıcaklık kademeli olarak 760 °C ve 980 °C’ye yükseltilir.

Çizelge 2.4. İmalat yöntemine göre grafitlerin karakteristik özellikleri.

İmalat Yöntemi	Özellikleri
Ekstrüzyon	Anizotropik yönlenme mevcut olabilir
	Enine kesitlerde uniform olmayabilir
	Akış çizgileri ve laminasyonlar mevcuttur
	Büyük parçalar üretilebilir
İzostatik Presleme	Düşük maliyetlidir
	Malzeme izotropik özelliklerdedir
	Uniform yapı mevcuttur
	Akış çizgileri yoktur
Kalıplama Yöntemi	Yüksek maliyetlidir
	Yüksek Yoğunluk
	Yüksek Isıl Genleşme
	Yüksek Dayanım
	Yüksek Gaz Geçirgenliği

Karbonizasyon işleminden sonra yapıda bulunan poroziteler yüksek seviyededir. Bunları dengelemek için kömür katran zifti ya da fenolik reçineler emdirme yaparak malzemeye uygulanır. Grafitizasyon işleminde parçalar 3000 °C'ye kadar ısıtılır. Bu çevrim karbonizasyondan daha az sürede gerçekleşir. Proses genelde direnç ocaklarında Acheson çevrimine göre ya da orta frekanslı indüksiyon fırınlarında gerçekleşir. Grafitizasyon, malzemenin kimyasal ve ısıl şoklara karşı direncini artırır. Isıl ve elektriksel iletkenliği artırıcı özellikler kazanmasına sebep olur. Bütün bu işlemlerden sonra malzemenin yüksek saflığa sahip olması isteniyorsa (örneğin yarı iletken endüstrisi- nükleer endüstrisinde kullanılan grafitlerde) malzemeye halojen gaz atmosfesinde bir ısıl işlem daha uygulanır. [12]

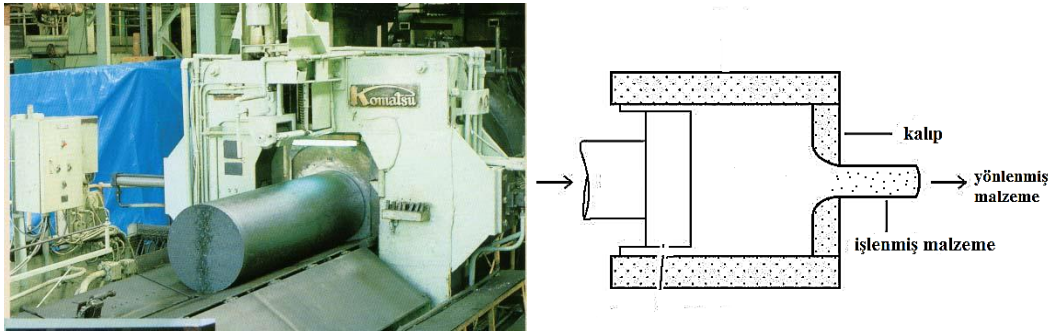
Kaba İşleme: Kimyasal olarak son halini almış olan grafit parçası son olarak kaba işlemeye tabi tutulur. Bu sayede sevkiyata hazır hale gelmiş olur. Son işleme operasyon merkezlerine getirilen özel grafit kaliteleri müşterinin isteğine uygun olarak talaşlı işlemler gerçekleştirilir

Sentetik grafit yapısı elde edildikten sonra şekillendirme işlemine göre grafitlere isimlendirme yapılmıştır. Bunlar; ekstrüde, izostatik ve kalıp üretilmiş grafitler olarak adlandırılabilir.

2.2.1. Ekstrüde grafitler

Bu grafitlerin isimlendirme yöntemi üretim metodundan geçer. Ekstrüzyon yöntemiyle üretilirler. İzostatik grafitlere oranla, daha kaba tanelere sahiptirler. Dolayısıyla daha düşük dayanımlara sahiptirler. Fakat grafit yapıları daha kaba olduğu için daha yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe sahiptirler. [13]

Ekstrüde grafitler grafit tozları ve katkılardan oluşan karışımı bir basınç ve kalıp altında basılmasının ardından üretilen grafitlerdir. Ortaya çıkan ürün; ısıtılma işlemine tabi tutulur, emprenye edilir ve son ısıtılma işlemi olarak 2000 °C'nin üstünde tekrar ısıtılma işlemine tabi tutulurlar. Ekstrüde grafitlerin tane büyüklüğü izostatik grafitlerden yaklaşık 10 kat daha büyüktür. İzostatik pres üretimlerinden daha ekonomik oluşu, birçok proseste kullanılabilmesi önemli avantajlarından biridir. Birçok ısıtılma işlemi fırının ısıtılma elemanı, rayları, levhaları ve bağlantı elemanları bu tarz grafitlerden üretilir. [14]

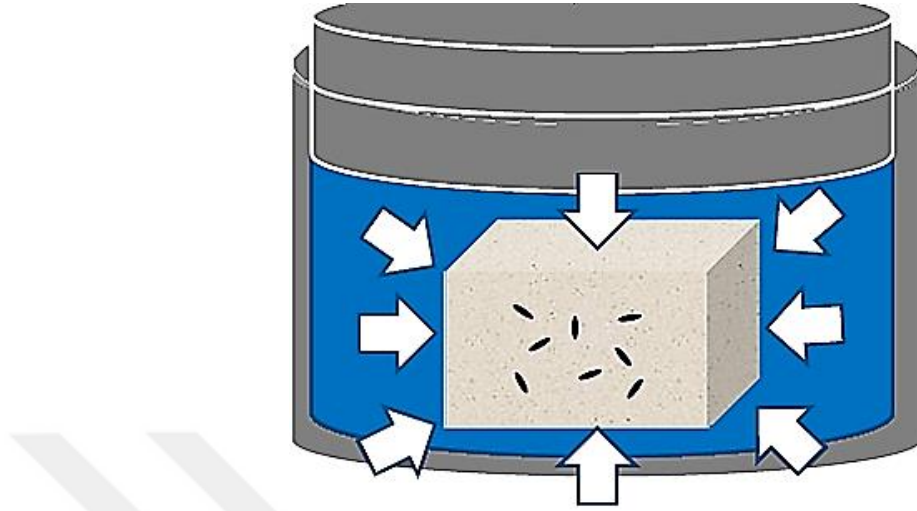


Şekil 2.5. Ekstrüde grafit üretimi ve şematik gösterimi.

2.2.2. İzostatik grafitler

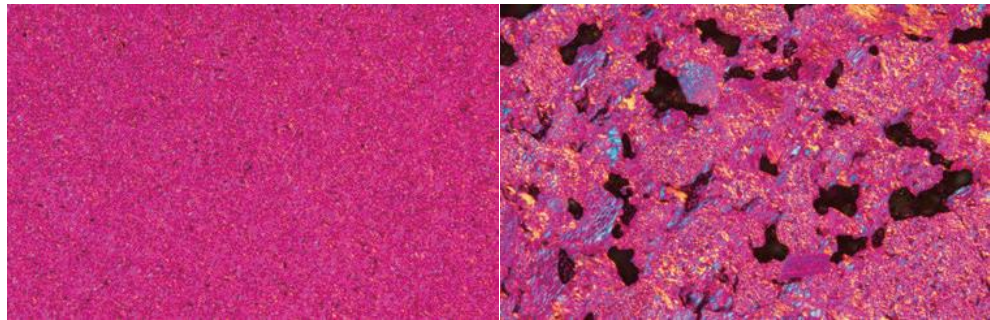
İzostatik grafitleri küçük partiküllerden oluşan malzeme içerisindeki yönlendirme daha kararlı olan malzemeler olarak adlandırabiliriz. Grafitlerin bu forma gelmesi için imalat yöntemlerinde farklılıklar mevcuttur. İzostatik grafitler soğuk izostatik presleme (CIP) yöntemiyle üretilirler. Soğuk izostatik presleme; metal, seramik,

polimer veya kompozit tozlarının izostatik (eşit eksenli, her yönden eşit olarak) basınç uygulanarak, yağ ya da su gibi bir sıvı yardımıyla Pascal prensiplerine göre çalışan bir ortamda sıkıştırılma işlemidir.



Şekil 2.6. Soğuk izostatik presleme şematik gösterimi. [21]

Yıllar içinde endüstride artan yüksek verimlilik beklentisi bu konuda yapısal olarak daha kararlı olan karbon malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. İzostatik grafitler, diğer imalat yöntemlerle üretilen grafitlere nazaran kristal yapının her yerinde benzer özellikler gösteren, mikro partiküllü malzemelerdir. Üretim maliyeti olarak en pahalı proses soğuk izostatik preslemedir. [15]



(a)

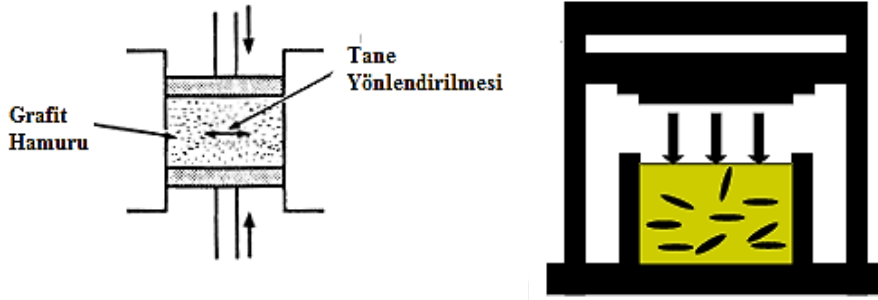
(b)

Şekil 2.7. İzostatik(a) ve anizotropik(b) grafitlerin mikro yapı görüntüsü. [15]

2.2.3. Kalıplama yöntemiyle üretilen grafitler

Bu grafitlerin imalat yönteminde kalıp içerisinde şekillendirme gerçekleşir. Aslında bir toz sıkıştırma yöntemi olarak düşünülebilir. İzostatik pres ile üretim yöntemine göre bir alternatif olarak düşünülmüştür. Bu kez grafit bir sıvı içerisinde değil kalıp içerisinde basılarak malzeme elde edilmiş olur. Ekstrüzyon yöntemine nazaran daha

küçük taneli yapılar elde edilir. Kalıp malzemesi olarak genelde tungsten karbür kullanılır. Proseste uygulanan basınçlar ise 28 ile 280 MPa arası değişir. Kompleks geometrilere sahip parçalar genelde kalıplama yöntemiyle elde edilirler. Böylece daha düşük maliyetle son ürün elde edilebilir. Parça ile kalıp arasında meydana gelen sürtünme, kalıpların köşeleri bitmiş ürünün kalitesini etkiler ve uniform olmayan parçalar meydana gelebilir. [5]



Şekil 2.8. Özel grafitlerin kalıplama üretim yöntemi şematik gösterimi. [5]

2.3. Özel Grafitlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özel grafitler metal malzemelerin çare bulamadığı yerlerde kendilerine kullanım alanı bulmuşlardır. Bu kullanım alanlarının çoğu ise kendilerine has fiziksel ve mekanik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak özellikleri;

- Isıl iletkenlik değerlerinden ötürü birçok yüksek sıcaklık uygulamalarında kilit bir malzemedir.
- Yüksek ısıl şok dayanımlarından ötürü, yüksek sıcaklık çevrimlerine dayanabilirler.
- Artan sıcaklık koşullarıyla birlikte dayanımları da artar.
- Yüksek sıcaklık ve iletkenliği olan malzemelere kıyasla düşük yoğunluğa sahiptirler.
- Nötr özellikleri olduğu için genel olarak metallerle tepkimeye girmezler. Kimyasal olarak korozyona direçlidirler.
- Elektriksel iletkenliği iyi olduğu için elektriksel iletimin gerekli olduğu alanlarda kendilerine yer bulurlar.

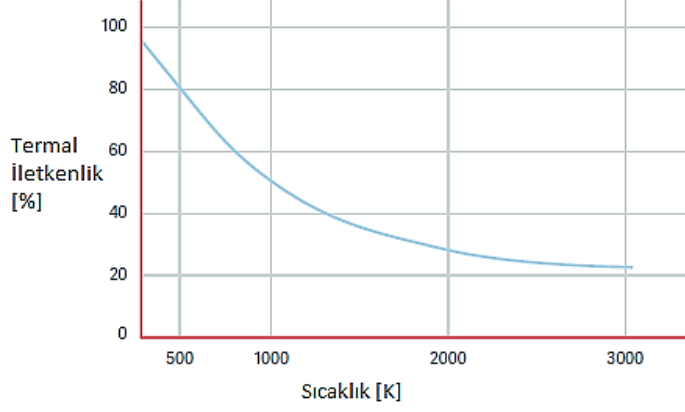
- Tane yapılarındaki zayıf katmanlardan ötürü iyi bir yağlayıcılık özelliğine sahiptir.
- Tane büyüklüklerinden ötürü gaz geçirgenliğine sahiptirler. Oksidasyon oranları düşüktür.

Isıl İletkenlik: Bir malzemenin ısıyı ne düzeyde geçirdiğini belirten bir özelliktir. Yüksek ısıl iletkenliğe sahip malzemeler iyi ısı geçirir diye nitelendirir, ısıl iletkenliği olmayan malzemeler ise ısıl olarak yalıtkan özelliklere yaklaşırlar. [16]

Çizelge 2.5. Oda koşullarında (20 °C) farklı malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri.

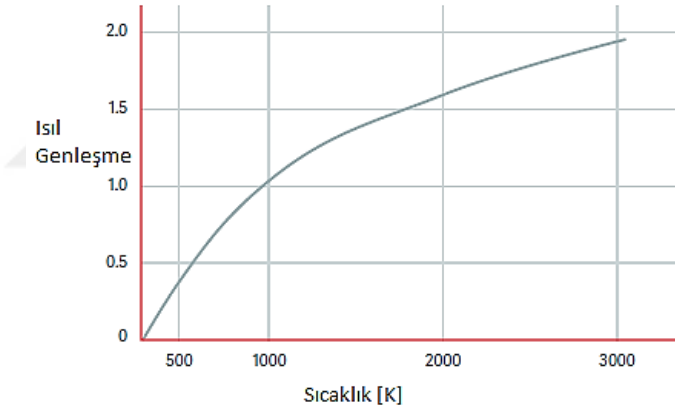
Malzeme	κ (W/m.K)
Elektrografit (Petrol Kokundan)	159
Elektrografit (Lampblackden)	31,4
Karbon	8
Elmas	1800
Gümüş	420
Bakır	385

Grafit mühendislik malzemeleri içerisinde görece olarak yüksek derecede ısıl iletkenliğe sahip bir malzemedir. Dolayısıyla yüksek sıcaklık uygulamalarında geniş bir kullanım alanı bulurlar. Grafit oda sıcaklığında ısı iletim uygulamalarında kullanılan metallere(bakır ve alüminyum) daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahiptir ve sıcaklık arttıkça iletkenlik değerleri düşüş gösterir. [17]



Şekil 2.9. Grafitlerin termal iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi. [17]

Isıl Genleşme: Düşük ısı genleşme katsayısına ve görece olarak iyi ısı iletkenliğe sahip grafitler ısı şoklarına karşı dayanımlıdır. Bakır, çelik gibi malzemelerden daha düşük ısı genleşme katsayısına sahiptirler. [17]



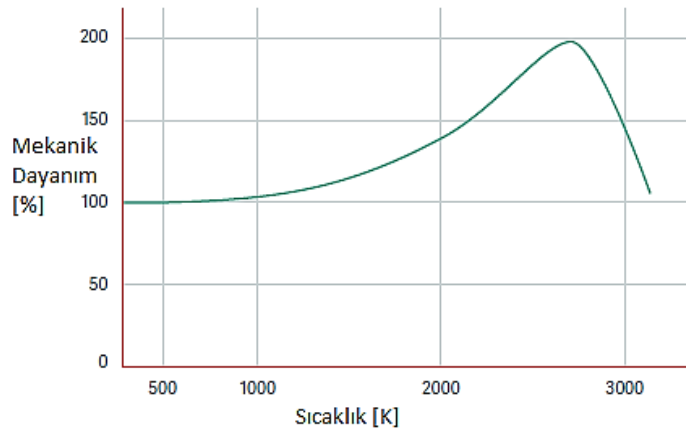
Şekil 2.10. Özel grafitlerin sıcaklıkla değişen ısı genleşme değerlerinin sıcaklıkla değişimi.[17]

Isıl Şok Dayanım: Ani olarak karşılaşılan yüksek sıcaklıklara karşı malzemenin zayıflamadan ya da kırılmadan yapısını koruyabilmesidir. İzotropik (malzeme yönelmesi düzeltilmiş) grafitlerin 2000 C'lerin üzerinde ısı şoklarına maruz kalarak çalışabilmesi mümkündür. [11]

Çizelge 2.6. Özel grafitlerin termal genleşme katsayılarının karşılaştırması. [11]

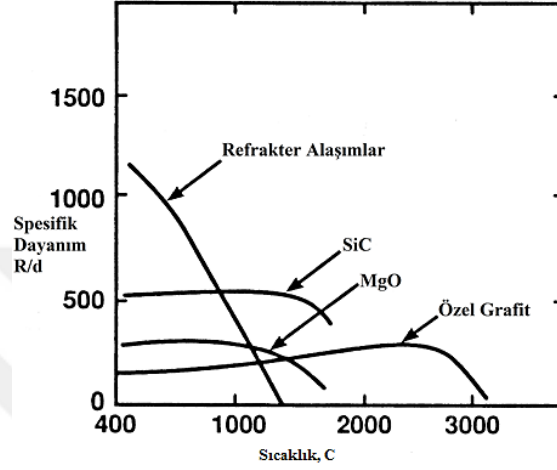
Malzeme	CTE ($m/m^{\circ}C \times 10^{-6}$) (100-600 °C)
Taneli Ekstrüde Grafit	1,8-2,9
Çarpraz Taneli Ekstrüde Grafit	3,2-5,0
İzostatik Grafit	3,2-5,7
Alüminyum	23,5 (25°C)
Bakır	16,6 (25°C)
Tungsten	4,5 (25°C)

Mekanik Dayanım: Oda sıcaklığında grafitler gevrek malzemeler olduğu için, grafitlerin atomlar arası bağları plastik deformasyonu sonrası kırılma gibi hasarlar yaşanmaktadır. Sıcaklık arttıkça yapı kusurları tavlama maruz kalırlar, gerilmeler daha uygun hale geldiğinden malzemenin plastik deformasyon imkanı artar. Sonuçta sıcaklık arttıkça dayanım da artar. [11] 2500 °C’de malzeme dayanımı oda sıcaklığındaki malzeme dayanımının iki katıdır. 2500 °C üstünde plastik deformasyonlar arttıkça dayanımlar azalır. [18]



Şekil 2.11. Özel grafitlerin mekanik dayanımlarının sıcaklıkla değişimi. [19]

Özel grafitlerin plastik olarak deformasyonu az olduğundan, düşük sıcaklıklarda malzemenin çekme dayanımını tayin etmek zordur. Bunun yerine eğilme mukavameti ölçümü gerçekleşir. Bilgi tablolarında ise genellikle bu değerlere yer verilir. Malzemenin çekme dayanımı eğilme dayanımının %50-60'ına tekabül etmektedir. Oda sıcaklığında çoğu metal ve seramiklerden daha düşük dayanıma sahiptirler, fakat 2000 °C üzerinde üstün bir yapısal malzemedir. [11]



Şekil 2.12. Özel grafitlerin diğer malzemelerle sıcaklığa bağlı olarak spesifik dayanımlarının kıyaslanması. [11]

Yoğunluk: Aynı sektörde kullanılan diğer malzemelere oranla oldukça düşüktür. Bu da dizayn uygulamalarında genişçe yer bulabilmelerine imkan tanımaktadır. Örneğin, elektro-erozyon (EDM-electrical discharge machining) uygulamalarında rakibi bakıra nazaran daha düşük ağırlığa sahiptirler. [20]

Sertlik: Grafitlerin atomlar arası Wader Wals bağlarının zayıf olması birbiri üzerinden kaymalarını kolaylaştırmıştır. Bu durum grafitlerin sertliklerini ölçmeyi zorlaştırır. Sertlikleri skleroskop ile ölçülür ve sertlik birimleri Shore cinsinden gösterilir. Skleroskopta küçük çekiçler malzeme üzerine atılarak dönüş mesafesi hesaplanır. Hızlı bir ölçüm sağlamasına rağmen eski bir yöntemdir, özel grafitlerin sertlik birimleri bu cinsten yazılır. [11]

Çizelge 2.7. Özel grafitlerin sertlik değer aralıkları. [11]

Malzeme	Sertlik Değeri [Shore]
Elektrografit	40-80
Sert Karbon	70-100
Özel Grafit(Kok Kömürü)	30-90
Özel Grafit(Petrol Kömürü)	70-110

Elektriksel Direnç: Elektriksel direnç, bir malzemenin elektrik akımına karşı gösterdiği direnç olarak algılanabilir. Özel grafitlerin bir kısım tipleri elektrik motorlarında bu özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır. Birimi $\mu\Omega\text{mm}$ 'dir.

Çizelge 2.8. Grafitlerin diğer malzemelerle elektriksel dirençlerin kıyaslanması. [11]

Malzeme	Elektriksel Direnç ($\mu\Omega\text{m}$)(25 °C)
Elektrografit(Petrol Kok)	7,6
Özel Grafit(Siyah Karbon)	30,5
Alüminyum	0,026
Bakır	0,017
Tungsten	0,056
Gümüş	0,016

Sürtünme Özellikleri: Özel grafitlerin atomları arasında düşük kayma gerilmelerinden ve atomlar arası bağların birbiri üzerinden kolayca kayabilme özelliği açısından düşük sürtünme değerlerine sahiptirler. Özel grafitler; metal ya da seramik bir yüzeyde çalışırsa bu yüzeyde ince bir film tabakası meydana getirir. Bu film tabakası ise sürtünme katsayısını 0,01 düzeylerine getirerek iyice düşürür. [11]

Kimyasal Yapısı: Malzeme yapısı olarak nötr olduğu için bazı metallerin kimyasal olarak korozyona uğradığı ortamlarda rahatlıkla çalışabilirler. Bu yüzden nükleer uygulama gibi kritik uygulamalarda yer bulabilmişlerdir.

Yağlama Özellikleri: Özel grafitler endüstriyel uygulamalarda kendi kendine yağlama ve kuru yağlama özellikler ile tanınırlar. Bu özellikler grafitlerin, kristal yapıdaki lameller arası geçişlerde atomların serbest bir durumda bulunmalarındır. Grafitizasyon işlemi sonrasında kazanılan bu özellik, bu malzemelerin yağlayıcı özellik taşımasında rol oynamaktadırlar. [21]

Grafitin talaşlı işlemleri, diğer malzemelere oranla daha farklı problemler barındırsa da tüm yukarıdaki diğer malzemelere oranla daha kendine has özelliklerinden dolayı çözülemeyecek kadar zor bir durumda değildir.

2.4. Özel Grafitlerin Uygulama Alanları

Özel grafit kaliteleri birçok uygulamada (özellikle üretim proseslerinde) yaygın halde kullanılmaktadır. Isıtıcı rezistans (ya da elektrot) malzemesi yapımında, döküm potaları için ergiyiği içerisinde tutan kalıp malzemesi ergiyiği yönlendiren yolluk malzemeleri olarak , EDM uygulamalarında yine elektrot olarak, yüksek sıcaklık gaz soğutmalı fizyon ve füzyon reaktör sistemlerinde ve genel olarak nükleer reaktörlerde yapı elemanları olarak kullanılırlar. [22]

Özel grafitlerin üretilen büyük çoğunluğu çelik ve alüminyum üretiminde elektrot olarak kullanılmaktadır. Elektrik ark ocaklarının değişmez parçası olarak grafit, demir hurdalarının geri dönüşümü için ergitme işlemlerini sağlarlar. Bu elektrot malzemelerinin iyi elektriksel iletme, refrakter özellikler taşımasına ve düşük maliyetli olması gerekmektedir. Sırf malzeme olarak kullanılırlar ve kullanılamaz boyutlara geldiklerinde düzenli olarak değiştirilirler.

Grafitin önemli uygulamalarını genel olarak şu şekilde sayabiliriz.

- Elektriksel alanlarda iletim malzemesi olarak
- Döküm işleminde kalıp ve pota malzemesi olarak
- Yarı-iletken sektöründe kalıp ve destek malzemesi olarak
- Yüksek sıcaklık fırınlarının içerisinde çeşitli malzemelerde

- Elektro erozyon(EDM Electrical Discharge Machining)uygulamalarında elektrot malzemesi olarak
- Cam ve refrakter endüstrisi uygulamalarında
- Havacılık ve demiryolu endüstrisinde mekanik ve elektriksel parçalarda
- Makine parçalarında sıcaklık, sızdırmazlık dayanımı ya da yağlayıcı özellikler gerektiren alanlarda
- Nükleer uygulamalarda [7]

Elektriksel malzeme olarak;

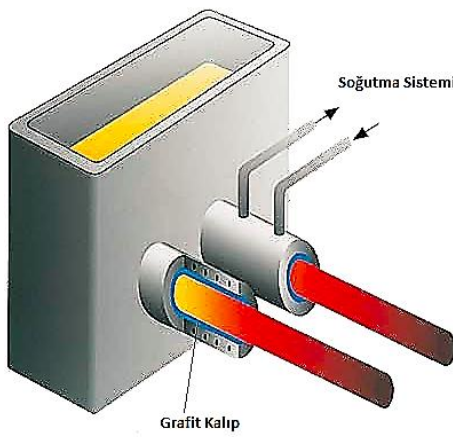
Demir çelik ve alüminyum sektöründe ergitme fırınlarında elektrot olarak, doğru akım motorlarında,jeneratörlerde,rüzgar türbinlerinde, forkliftlerde, vinç mekanizmalarında ve otomobillerde kömür fırça olarak, metro ve tramvaylarda akım alıcı karbon malzemeler olarak kullanılmaktadırlar. Bu malzemeler dönen parçalar ve sabit parçalar arasında bir kontak bölgesi oluşturarak elektrik akımını iletmeye yararlar. Kömür fırçalar kendi içlerinde; elektrografit, reçine emdirilmiş karbon grafit, doğal karbon grafit, bakır ve gümüş içerikli karbon fırçalar olarak ayrılırlar. Yüksek akım geçişi olan genelde alternatif akım motor uygulamalarında bakır içerikli kömür fırçalar, sinyal iletiminin hassas istenildiği noktalarda gümüş içerikli kömür fırçalar, doğru akım motorlarında uygulamaya bağlı olarak elektrografit kömür fırçalar kullanılmaktadır. [24]



Şekil 2.13. Karbon kömür fırça çeşitleri. [24]

Metal üretim endüstrisinde;

Isıl şok dirençleri, ısıl iletim özelliklerinde dolayı demir dışı metallerin(bakır, bakır-nikel, pirinç, bronz, çinko, alüminyum, nikel ve alaşımları), kıymetli metallerin ve demir-çelik dökümünde grafit kalıp ve pota malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. [24]Demiryolu araçlarının tekerleklerinin dökümünde, elmas takım(matkap vs.) uçlarının ısıl işlemlerinde ve sinterleme işlemlerinde kullanılırlar. Ayrıca; alüminyum dökümünde, ortaya çıkan gazları uzaklaştırmak için degazer malzemesi olarak eriyik malzemenin içerisinde çalışırlar. Antioksidan emprenyesiyle birlikte alüminyum kütük dökümünde, döküm kalıp bilezikleri olarak kullanılırlar. [25]



Şekil 2.14. Grafitlerin dökümde kokil kalıp olarak kullanılması. [24]

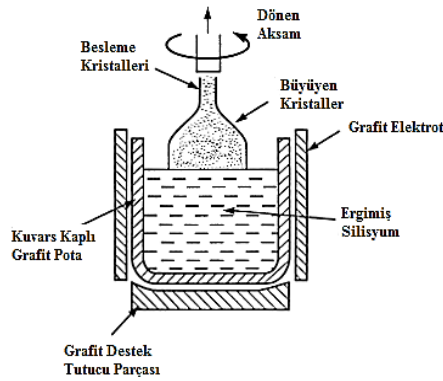


Şekil 2.15. Alüminyum endüstrisi için degazer şaft-rotor sistemi ve döküm halkaları.

[25]

Yarı-iletken endüstrisinde;

Yarı iletken malzemeler, normalde yalıtkan özellik gösterip bazı uyarımlarla birlikte valans elektronu serbest hale geçen maddelerdir. Germanyum, silisyum ve selenyum elementlerinin elektronik sektöründe diyot, transistör ve entegre parçalar üretmek amacıyla kullanılmasıyla daha farklı bir boyut almıştır. Üretim tekniklerinde tek kristal malzeme %100 saf bir kristal elde etmek için Czochralski yöntemi denen bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde sıvı metali tutmaya yarayan kalıp malzemesi, direnç ve destek malzemeleri özel grafitlerden imal edilir. [11]



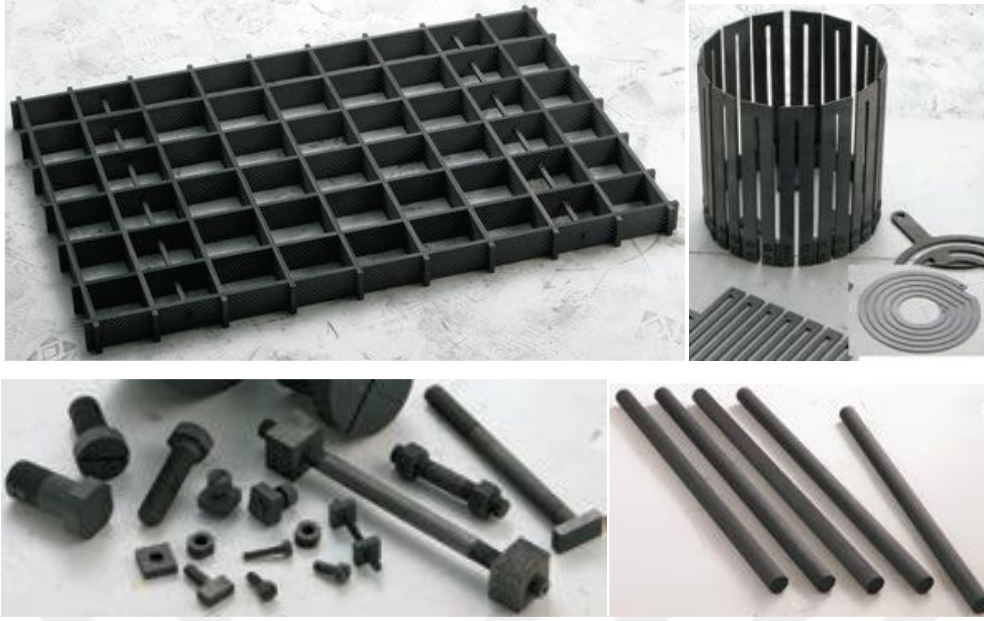
Şekil 2.16. Silisyum tek kristal elde etmek için kullanılan Czochralski yöntemi. [11]

Yüksek sıcaklık fırınlarında;

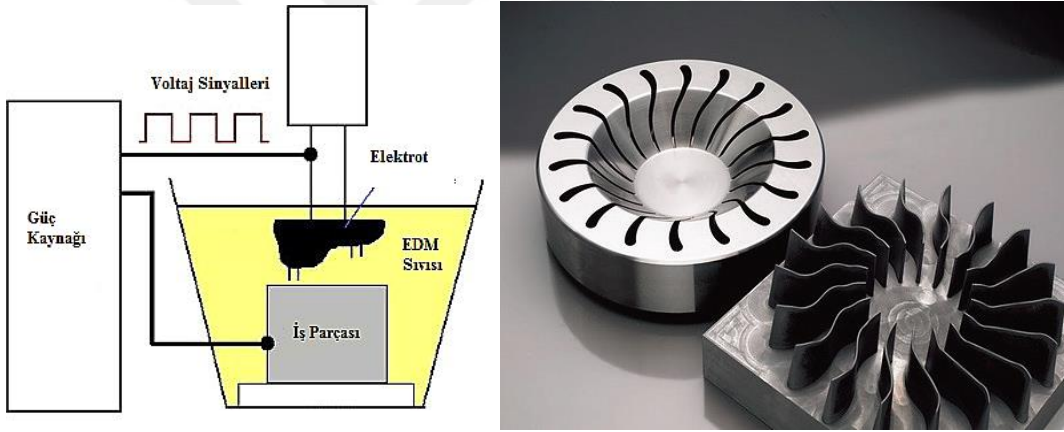
Vakum, ısıtma işlemi, inert gaz fırınlarının içerisinde farklı amaçlı kullanım yeri bulmuşlardır. Isıtıcı rezistanslar, malzeme tepsileri, izolasyon parçaları, bağlama aparatları (vida, somun, çubuk vb.) grafitlerden imal edilirler. [26]

Elektro-erozyon uygulamalarında;

Kalıp imalatında ciddi anlamda yer tutan EDM işleminde elektrot olarak bakır ya da grafit malzemeler kullanılır. Grafit malzemeler bakır elektrotlara oranla daha fazla metal kaldırma kapasitesine sahiptirler. Bakırla kıyaslandığında yoğunluğu 5 kat daha az olduğu için daha hafif malzeme olması operatör ve işletmeler için avantaj sağlamaktadır. Bitirme işlemlerinde, kaba işlemlere oranla daha ince taneli grafit kaliteler, seçilerek doğru ürün elde edilmiş olur. Ayrıca, bakıra oranla ısıtma deformasyon direnci daha fazla olduğu için elektrot aşınması da bakır oranla daha az gerçekleşir. [20]



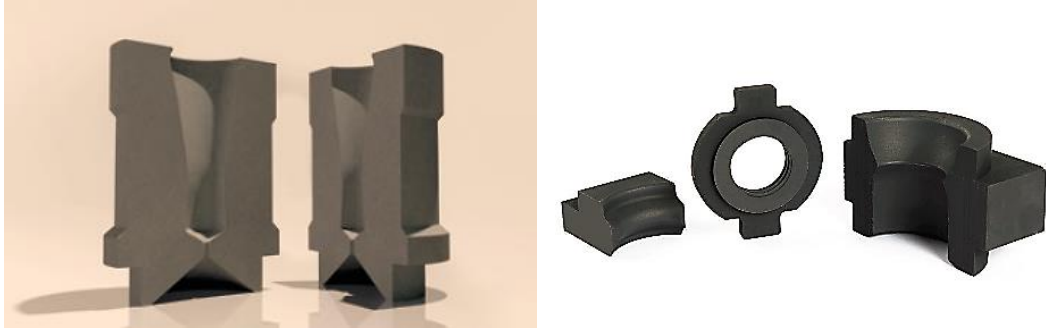
Şekil 2.17. Grafitlerden üretilen tepsi, rezistans ve bağlayıcı elemanlar. [26]



Şekil 2.18. EDM prosesi şematik gösterim ve elektrotlarda grafit kullanılması. [20]

Cam ve refrakter endüstrisinde;

Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmeden; katı, sıvı ve gazların mekanik, termal ve kimyasal etkilerine karşı direnç gösterebilen, ergime dereceleri 1600 C'nin üstünde olan , genelde oksit bileşiklerde olan malzemelere refrakter adı verilmektedir. Cam endüstrisinde; çeşitli eşyaların şekil vermede kalıp malzemesi olarak, düz cam üretiminde izolasyon malzemesi olarak, yan destekler, malzeme alıcı parmaklar vb. gibi birçok kullanım amacı vardır. [27]



Şekil 2.19. Cam tutucu grafit ürünler. [27]

Uçak ve demiryolu endüstrisinde;

Jet motorlarında nozul malzemesi, şaft ve dinamik sızdırmazlık parçası olarak; demiryolu endüstrisinde elektriksel iletimi sağlayan yüksek voltaj parçalarının imalatında kullanılırlar.

Mekanik parçalarda;

Yağlayıcılık özelliklerinden olayı; kompresör ve pompalarda yatak malzemesi, sızdırmazlık malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca, vakum pompalarında rotor olarak kullanılan malzemeler grafitten üretilirler. [15]



Şekil 2.20. Grafitlerin pompa yatakları ve mekanik salmastra uygulamaları. [15]

Nükleer uygulamalarda,

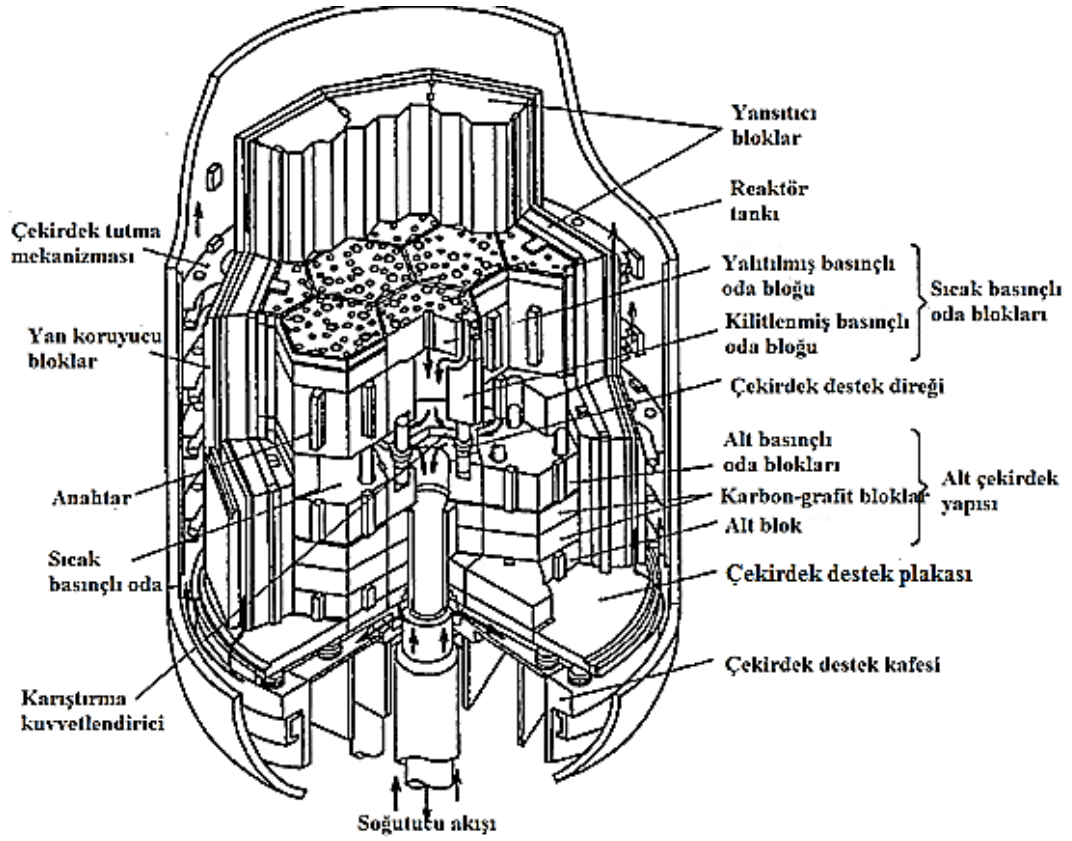
Nükleer reaktörlerde füzyon reaksiyonlarını hızını kontrol etmekte kullanılırlar. Ayrıca yüksek sıcaklık reaktörlerinde ısı kaybının önlemek ve nötronları yansıtmak için, iyi ısıl iletimi sayesinde ısı değişim(eşanjör)soğutucu malzemelerinde, çekirdeği

korumak amaçlı kullanılan ısı değiştiricilerde geometri karmaşıklığına cevap vererek nükleer reaksiyonlarda önemli etkilere sahiptirler. Grafit retici firmalar hala yeni kalite ürünler geliştirmekte olup, modern reaktörlerin özelliklerine cevap verebilecek ürünler elde edilmeye çalışılmaktadır. [28]

Yüksek sıcaklıktaki gaz soğutmalı reaktör (HTGR) verimli kullanım sağlaması beklenen yaklaşık 1000 ° C'lik yüksek sıcaklıklar üretme kapasitesine sahiptir. Nükleer enerji ve doğal güvenlik özelliklerine sahip olan bu reaktörlerde dünyanın birçok ülkesi tarafında geliştirilmekte ve halen işletilmektedir. Japonya Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü (JAERI) HTGR ile ilgili teknolojiyi kurmak ve yükseltmek için yüksek sıcaklık mühendislik test reaktörünü (HTTR) tasarlayıp inşa etti. HTTR ise 30 MW ve maksimum reaktör çıkış suyu sıcaklığı 950 ° C olan helyum soğutmalı ve grafitli termal güce sahip HTGR'dır. İlk kritik adım 10 Kasım 1998'de atıldı ve reaktör tam güç sağladı. Daha sonra 7 Aralık 2001'de 850 ° C ıkış suyu sıcaklığıyla 30 MW gücünde tam güç elde edimi gerçekleştirildi. Tüm bu çalışmaların ardından ve bir dizi güvenli testlerinden sonra, hidrojen üretim sisteminin 2020 yılında ısı kaynağı olarak kullanılması planlanmaktadır.

Reaktörün iç kısımları grafit çekirdek bloklarından, grafit çekirdek destek yapılarından oluşur ve diğer bileşenlerden oluşur. Grafit ekirdek desteği yapısı ise reflektör blokları, sıcak plenum blokları, çekirdek alt yapılarından oluşan yapılar, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Sıcak basınçlı oda blokları çekirdek dizinin yanal ve düşey konumlandırma desteğini sağlar. Bloklar birincil soğutucuyu yakıt kolonlarının çıkışından yönlendiren ve sıcak basınçlı oda bloklarının altındaki noktalara ulaştıran akış yolları içerir.

2011 yılında Fukushima santralinde tsunaminin ardından meydana gelen depremde aktif reaktörler kendi kendine kapanmış uzun süre devam eden fizyon reaksiyonları son bulmuştur. Ardından devam eden tsunami reaktörleri kontrol etmek için kurulu olan pompaları kontrol etmeye yarayan jeneratörleri devre dışı bıraktı. Yetersiz soğutma nedeniyle hidrojen hava patlaması meydana gelmiş ve üç üniteden sızan radyoaktif maddeler  gün süreyle atmosfere bırakılmıştır. Nükleer enerjinin riskleri sebebiyle halen tüm dünyada tartışılmaya devam etmektedir. Fakat tüm dünyada bu uygulamalar için daha yüksek kaliteli izotropik grafit malzemeler geliştirilmeye ve düzenlenmeye devam edilmektedir. [22]



Şekil 2.21. Yüksek sıcaklık test reaktör(HTTR) kesit görünüşü. [22]

2.5. Özel Grafit Sektöründeki Yenilikler

Yüzey kaplama ve saflaştırma yöntemleri,

Özel grafitlere kaplamalar uygulanarak ömürlerinin arttırmak amacıyla gelişmeler kaydedilmiştir. Literatürde bu malzemeler yerini almıştır. Bu malzemeler silisyum karbür (SiC) kaplama, prolitik karbon kaplama (PyC) ve camsı karbon (vitreous carbon impregntaion: VCI) emprenyesidir. SiC kaplamalar CVD (kimyasal buhar kaplama) yöntemiyle kaplanırlar. Endüstride SiC uygulamalarında kaplanan kalınlık genel olarak 50-100 μm mertebelerindedir. Buradaki önemli olan nokta, kaplama yapışacak parçaların keskin kenarlarına kaplama öncesinde radyüs verilmesidir. Bu kaplama sayesinde özel grafitlerin oksidasyona göre dirençleri artar, yüzeyde sertlik değerleri arttırılmış olur. Böylece grafitlerin koroziona dayanımları, saflık oranları, kullanım ömürleri artmış olur. [29] Diğer bir kaplama yöntemi ise protilik kaplamalardır. Bu yöntem için kaplamalar CVD yöntemiyle kaplanabilirler, böylece malzeme yönlendirme yönetilir ve istenilen doğrultularda çok iyi özellikler gösteren bir ürün meydana gelir. Ayrıca yüzey kalitesi, ısı özellikleri kuvvetlenmiş olur. Yüksek

maliyetlerden ötürü nükleer ve havacılık projelerinde kısıtlı kullanımları mevcuttur. PyC kaplama ise yine yüzeye prolitik karbon kaplamayı CVD yöntemiyle uygulanmakla birlikte düşük sıcaklıklarda bile oksidasyona karşı dayanımı iyileştirir. Genelde sıcaklık uygulamalarında kimyasal olarak nötr bir malzeme istenen durumlarda kullanılırlar. [30] Ayrıca elektronik devre parçaları imal etmek için kullanılan grafitlerin yüksek derece saflıkta olması istenmektedir. Yapı içindeki empüriteleri ve istenmeyen yabancı element katkılarını en aza düşürmek için (5 ppm altı) grafit yapısında bulunan bu istenmeyen yapılar özel ekipmanlarla gözlenebilir.

Batarya sistemleri,

Batarya sistemlerinde grafit lityum iyon pillerde anot malzemesi olarak kullanılmış, en düşük ağırlıkta ve en yüksek voltajı taşıyabilen malzeme olarak kayıtlara geçmiştir. Şarj ve deşarj işlemleri esnasında genleşme miktarlarının az olması da diğer avantajlarıdır. Buna rağmen lityum pillerde negatif elektrot malzemesi hala sorun olarak devam etmektedir ve malzeme araştırmaları yapılmaktadır. Elektrikli araç sektöründe yaşanan devrimler, grafitin anot malzemesi olarak bataryalarda kullanılmasını tekrar gündeme getirmiştir. [31]

Fiber optik kablo üretiminde,

Fiber optiğin üretimi ülkemizde gerçekleşmemektedir. Fakat üretim proseslerinde grafit ürünler kullanılabilmektedir. Polikristalli silisyumun elde edilmesinde(büyütülmesinde), ingot üretiminde kullanılan makine ekipmanlarında direnç ve manşon malzemesi olarak kullanılırlar. [32]

Güneş panellerinde,

Güneş panellerinde hücrelere gelen güneş ışınları elektrik enerjisine çevrilir. Güneş ışını hücreye temas ettiğinde basit halde elektronlar serbest kalır ve bir elektrik akımı üretilmesine sebep olurlar.

Güneş panellerinin kullanılan batarya hücrelerinin üretimi için genellikle polikristal silisyum malzemeler kullanılır. Silisyum ham malzemesi kumdan bulunan bir elementtir. Bu element belirli prosesler altında polikritalli silisyuma çevrilirler. Bu malzemenin üretimi için makine ekipmanlarında grafit malzemeler kullanılmaktadır. [33]



Şekil 2.22. Çok kristalli silisyum üretim cihazı ve grafit parçalar. [33]

Özel grafit sektörü son zamanlarda ileri malzemelerin üretim yöntemlerinde önemli bir malzeme olması nedeniyle malzemeye olan ilginin artmıştır. Özel grafit üretiminde lider olan üretici ülke Çin'dir.

Şu an üretici firmalar talebe yanıt verememektedir ve üretim kapasitelerini arttırmaya çalışmaktadırlar. Piyasada oluşan talep dünyada üretilen özel grafit oranından %5 daha fazladır. [34]

2.6. Özel Grafitlerin Talaşlı İşlenmesi

Genel olarak grafitlerin talaşlı olarak işlenmesi; diğer mühendislik malzemelerinin talaşlı işlenmesinden daha farklıdır. Malzemelerin farklı üretim yöntemleri ve iç yapıları talaşlı işlemlerini etkilemektedir. Ayrıca kesme bölgesinde oluşan ısının atılması, grafitlerin termal iletkenliğinin yüksek olması, meydana gelen talaş yapısının farklı (genelde toz şeklinde) olması gibi nedenlerden ötürü daha ilginçtir. Ayrıca kesme işlemlerinden soğutma sıvısı kullanılmaması kısıtları daha çok arttırmaktadır.

Grafitleri kesmeye çalıştığımızda(talaşlı işlemlerinde) küçük miktarda bir elastik deformasyondan sonra kırılma gerçekleşir. Endüstride kullanılan çoğu grafit malzemeler izotropik olsa da, ana yapıda olan grafitlerin mikro yapıları uniform değildir. Farklı grafit tanesi, farklı dayanım, sertlik ve tokluk özelliklere göstermektedirler. Ayrıca birçok grafit maddesinin içinde genelde imalat ve işleme kaynaklı mikro çatlaklar mevcuttur. Bu çatlaklar malzemenin kırılma eğilimini arttırmaktadır. Talaşlı işlemler esnasında mikro çatlaklar kaynaklı lokal gerilmeler malzemenin kırılmasına ön ayak olmaktadır. [35]

Özel grafitlerin doğal yapılarının polikristalli olmasından ötürü grafitin yapısında çok sayıda küçük sert partiküller mevcuttur. Bu partiküller ise takımlar ötürü kısa takım ömrüne sebebiyet vermektedir. [36]

Grafitlerin gevrek yapısından ötürü talaşlı işlenmesi esnasında anlık kesme vibrasyonları, takım aşınma ve kırılmaları, sonunda da parçada kırıklara sebep olacak problemler meydana gelmektedir. Ayrıca grafitlerden elde edilen talaşlar tane yapısı büyük olan ve aşındırıcı niteliği olan tozlardır. Bu talaşlar takımların çabuk deforme olmasına sebep olurlar. Aynı hassasiyette parça işlenmesini zorlamaktadırlar. [37]

Grafitlerin talaşlı işlenmesinde performansları arttırmak için farklı önlemler alınmaktadır. Bunlar;

- Takım malzemesi seçimi
- Takım geometrisinin seçimi
- Takım kaplama yöntemi
- Kesme parametrelerinin ayarlanmasıdır.

Grafitin talaşlı işlenmesinde genel olarak farklı takım malzemeleri kullanılır. Bunlar genelde; HSS, karbür, kaplamalı karbürler(genelde Diamond Like Carbon)ve elmaştır(PCD) HSS takım malzemelerinin bu sektörde kullanılması gün geçtikçe azalmaktadır, yeni gelişen PCD ve DLC kaplı takımlar çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Fakat bu takım malzemelerinin maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle piyasada çok fazla kullanılmamaktadırlar. Bu tez çalışmasında bu yüzden HSS ve karbür takımlarla testler gerçekleştirilmiştir. [38]

Grafitlerin talaşlı işleminde elde edilen talaş yapısı metallerden daha farklıdır. Toz şeklinde talaşlar elde edilir. Bu tozlar takım tezgahı için büyük tehditlerdir. Tezgahın kızaklarına, boşluklarına nüfuz etme olasılıkları yüksektir. Ayrıca yataklarda biriken bu tozlar iyi bakım yapılmadığı sürece tezgahı durdurucu niteliklere sahiptir. Grafit elektrik iletken bir malzeme olduğu için elektronik devrelerde kısa devre yapıcı etkiler oluşturabilir. [39]

Talaşlı işlem proseslerinde takım üzerindeki kesme kenarı malzeme üzerinden talaş kaldırır. Metallerde talaş kaldırma yaparken, bölgede oluşan yoğun ısı plastik deformasyona sebep olur ve bu deformasyon talaşları kısa ya da uzun oluşturur. Fakat grafitlerin talaşlı işleminde bu aşınma mekanizması biraz daha farklıdır. Talaşlı işlem sırasında grafit tanecikleri aşındırıcı etkiler gösterdiği için takımlar daha büyük

sıkıntılarla karşı karşıya kalırlar. Özet olarak, grafitin talaşlı işlenmesi esnasında tane yapısında bulunan sert, iyi diziliimli mikro partiküller kesme bölgesinde oluşan ısıdan takıma daha çok zarar verirler. Bu yüzden, grafitleri daha sağlıklı işlemek için, daha az aşınma özellikleri elmas gibi malzemeler önerilmektedir. [40]

Grafit işleme yapılırken malzemenin yapısından(yüksek ısı iletkenlik katsayısı) ötürü çok yüksek sıcaklıklara ulaşamamak, grafitin talaşlı işleminde kesme hızının etkileyici konumunu en aza indirmiş olur. Düşük ilerleme ve kesme hızının düşük tutulması takımın aşınma etkilerinden korur. Diğer malzemelerin talaşlı işlemine nazaran, grafitin talaşları küçük boyutlardadır.(0.001’’-0.005’’) Bu grafit tozlarının kontrol etmek/tahliye etmek amacıyla grafit talaşlı işlem yapan yerlere iyi seviyede kalite sistemlerinin uygulanması önemlidir. Yüksek emiş gücüne sahip toz toplama sistemleri genelde kullanılır. Bu sistemin giriş noktasının talaş kaldırma bölgesine olan yakınlığı da oldukça önemlidir. Diğer metalleri işlemeden kullanılan ve geleneksel olan bağlama ve fikstürleme işlemleri grafit için de düşünülebilir. Grafitin talaşlı işlemlerinde, kesme ve soğutma sıvısı tavsiye edilmez. Bazı proseslerde, örneğin, puntasız taşlamada soğutucular kullanılır. Genel olarak grafit parçalara su ve soğutucu kimyasalların maruz kalmaması önerilmektedir. Grafitin gözenekli yapısı kontamine sıvıların emilmesine neden olabilmektedir ve yapısında bozulmalara neden olabilmektedir. Talaşlı işlem sırasında soğutma uygulanırsa, 150-200 C ısıtma fırınlarında bu sıvı gaz haline gelene kadar küçük bir ısı işlem uygulanmalıdır. [41]

Çizelge 2.9. Özel grafitlerde önerilen delik delme parametreleri. [41]

Delme Çapı (mm)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)
1.0-5.0		0.025-0.1
5.0-6.0		0.05-0.13
6.0-8.0	60-900	0.05-0.15
8.0-10.0		0.05-0.2
10.0-12.0		0.05-0.25

Huo, Lin ve Dalgarno kalıplanmış izostatik grafit kalitesine mikro frezeleme işlemi uygulamışlardır. Çalışmada elmas kaplı, TiAlN kaplı ve kaplamasız tungsten karbür frezeler farklı parametrelerde kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerinde en önemli etkinin ilerleme parametresi olduğu anlaşılmıştır. Yüksek ilerleme değerleri yüksek pürüzlülük değerleri vermiştir. Elmas kaplı takım ile diğer takımlara nazaran daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. [42]

Lei, Wang, Shen, Sun ve Zhang kobalt kaplı tungsten karbür matkap takımlara farklı kaplama yöntemleri uygulamıştır. CVD tekniğini kaplamalarının mikro ve nano kristalli elmas kaplama olarak kullanmışlardır. Toyo Tanso'ya ait ISO88 izostatik bir grafit kalitesine 0,4 mm çapında mikro delikler açmışlardır. Takım ömrü olarak mikro kristal elmas kaplı(MCD) takımın; nano kristal kaplı(NCD) takıma oranla 1,5 kat, DLC takım oranla 6 kat, TiAlN kaplı ve kaplamasız takıma oranla ise 9 kat daha uzun ömürde olduğu tespit edilmiştir. Testin ardından yapılan incelemelerde MCD kaplı takımlarda serbest yüzey aşınması ve kaplama ayrılması minimum mertebelerde olduğu anlaşılmıştır. [43]

Ramulu, Young ve Kao polimer maleimide ve grafit (Gr/Bi) bazlı IM715260 kompozit malzemeye 6,35 mm çapta takımlarla kuru delik delme uygulamışlardır. Çalışmada PCD, HSS ve karbür takımlar kullanılmıştır. Delme sonuçlarında PCD takımlarla en yüksek kalitedeki delikleri elde ettikleri ve en az aşınmaya maruz kaldıkları görülmüştür. Delme işleminde karbür takımlara gelen itme kuvvetinin HSS takımlara gelen itme kuvvetinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. PCD takımlara etkiyen itme kuvveti ise HSS takımlara etkiyen kuvvetin üçte biri kadar olmuştur. HSS takımlar delme esnasında büyük aşınmalar geçirmiştir. Bu da kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur. HSS takımlardaki helisel kanalların düz geometrili kanallara oranla fazla aşındığı gözlemlenmiştir. [38]

Yang, Chuang ve Lin ise yüzey frezeleme işlemi yapılırken yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerini optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında Toyo Tanso'ya ait ISO-680 kalitesini kullanmışlardır. İki ağızlı helis açısı 30 ° olan karbür takım kullanılmıştır. Kesme parametrelerinden ilerleme miktarını yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olarak görmüşlerdir. Düşük ilerlemelerde takım yüzey aşınması artmasına rağmen daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. [36]

Almeida, Sacramento, Oliveira ve Silva elektroerozyon işlemlerinde kullanılan grafit kalitelerine dair izotropik grafitleri tornalama prosesini incelemişlerdir. 85 mm çapındaki parça mikro kristalli elmas(MCD) ve nano kristalli elmasların takım malzemesi olarak kullanıldıklarında özel grafitleri başarıyla tornaladıklarını kanıtlamışlardır. [44]

Whang, Zhou, Fu ve Hu ise küçük çaplı parmak freze ile grafit elektrot malzemesi işlerken takımda meydana gelen aşınmaları takip etmişlerdir. Toyo Tanso ISO63 grafitlerini AlTiN kaplamalı dört kanallı parmak frezele ile işlemişlerdir. Testlerin sonucunda takımda meydana gelen yoğun aşınmalardan ötürü aşınma mekanizmalarını açıklayamamışlardır. Kesme kuvvetlerini artan hızlar ve ilerleme neticesinde düşüşünü gözlemlemişlerdir. Dalgalı kesme kuvvetleri ile karşılaşmışlardır. Çalışmada frezeleme yapılırken kuvvetler ölçülmüş ve metallerin(alüminyum ve bakır) talaşlı işlenmesinde elde edilen kuvvetlerin sadece %10'u kadar bir kuvvet elde edilebilmiştir. Çalışmada 6 mm çap ve altındaki kesici takımlar kullanılmıştır. Bu değerleri tüm kuvvetlerin bileşkesini(F_x , F_y ve F_z) yönünde 300 N'dan az bir şekilde ölçülmüştür. Kuvvetlerin dalgalanmasını ise malzemenin gevrekliğine ve grafit yapısının uniform olmamasına bağlamışlardır. [37]

Yine Zhou, Wang ve Quin ise AlTiN kaplamalı karbür takımlarla yüksek hızda frezeleme yaparak takım aşınma mekanizmalarını incelemeye çalışmışlardır. Kuru kesme şartları altında çalışmışlardır. ISO63 Toyo Tanso kalitesini işlemişlerdir. 3 mm çapında parmak frezeyle işlemler yapılmıştır. İlerme arttıkça takım aşınmalarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Takım kırılması, kaplamanın aşınmaya başlamasıyla meydana gelmiştir. [45]

Hashimoto, Kanda ve Tsubokawa ise Toyo Tanso'nun IG11 kalitesindeki yuvarlak çubuk şeklindeki malzemeyi elmas kaplı takımla tornalamışlardır. Elmas film tabakası karbür uç üzerine 15 μ m mertebesinde CVD yöntemi sayesinde takıma kaplanmıştır. Kesme işlemleri kuru şekilde ve nitrojen gazı püskürtülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kullanılan nitrojen %99,99 saflıkta olup kesme noktasına 0,1 MPa basınçla püskürtme gerçekleştirilmiştir. Testlerden sonra takımdaki aşınmalar mikroskopla incelenmiştir. Aşınma miktarı ise yüzey optik interferometre ile ölçülmüştür. Kuru kesmede oksidasyon elmas kalıp takımın ana aşınma faktörü olarak görülmüştür. Nitrojen

püskürtmeyle kesme, takımındaki aşınmaları azaltmıştır. Kesme hızı 328 m/dak'yı geçtiğinde ise takım üzerindeki aşınmalar azalmıştır. [46]

Tüm yukarıda yer alan makalelerde genel olarak EDM işlemlerde kullanılan grafitler(genelde Toyo Tanso firmasına ait olan) incelenmiştir. Makale ve tezlerde ise özel grafitlerin mikro delik delmesi dışında, genel delik delme değerlendirmelerine dair bir bulgu bulunamamıştır. Yakın malzemeler ve prosesler değerlendirilerek gidiş yöntemi belirlenmiştir.

2.7. Delik Delme İşlemi

Delik delme işlemi talaşlı imalatla kullanılan en yaygın proseslerden biridir. Talaş kaldırma işlemi sanayide kullanılan tüm talaşlı işlemlerin üçte birini oluşturur. Bunun yanında tüm talaşlı işlemlerde harcanan zamanın dörtte birini yine delik delme işlemi oluşturur. [47]

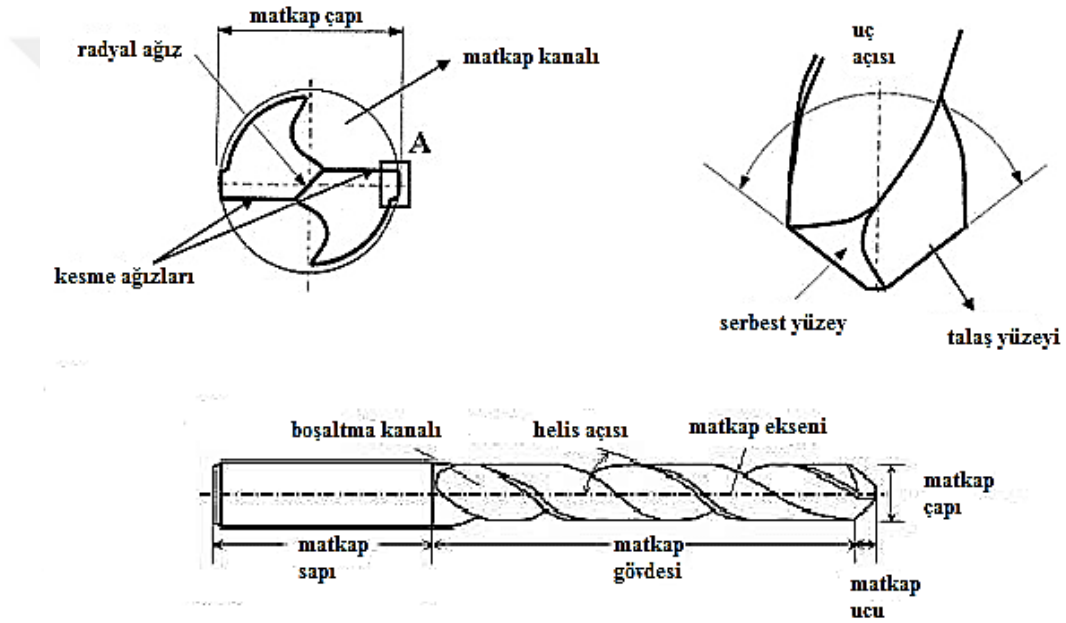
Delik delme, genel olarak son işlemleri oluşturmaktadır ve bu deliklerden ötürü parçaların ıskarta oranının artması parça hatalarının ve hurdaya çıkan malzemelerin artması demektir. Bu yüzden, delik delme işleminin yüksek kalitede olması istenir. Tornalama ve frezeleme işlemi ile karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısı benzer olup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı olduğu görülür. [48]

Delik delme işlemi bazı yönleri ile tornalama ve frezeleme işlemlerine benzese de delik delmede talaş kırma ve talaşın boşaltılması kritik öneme sahiptir. Delik derinliği ne kadar uzunsa işlemi kontrol etmek ve talaş kaldırmak bir o kadar zor olur. Delme işlemi sırasında meydana gelen talaş oluşumu, kesme kuvvetlerini, kesme sıcaklığını ve dolaylı olarak deliğin yüzey kalitesini ve ölçü tamlığını etkilemektedir. Ayrıca, delme esnasında talaşın atılabilirlik durumu da delik kalitesini doğrudan etkilemekte olup kesme parametrelerine(kesme hızı, ilerleme) göre değişkenlik göstermektedir.

Delik delme esas itibarıyla iki hareketin bileşiminden oluşur. Bu hareketler dönme hareketi ile doğrusal ilerleme hareketidir. Kesme hızı ve ilerleme delik delmedeki en önemli parametrelerdir. Bunlar, kesme işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık ve kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemekte olup kesici takım(matkap) performansını belirleyen unsurlardır. [49]

Delik delmede kullanılan helisel matkabın geometrisi verilmiştir. Matkapla talaş kaldırma işleminde iki etkin bölge vardır. Bunlar matkabın merkezinde yer alan radyal

ağız(matkabin özü- chisel edge) ve kesme kenarıdır.(cutting lip) Kesme işleminin gerçekleştiği bu kenarlarda talaş açısı ve eğiklik açısı farklılık gösterir. Kesme kenarında eğiklik açısı matkabin çevresine doğru artarken, talaş açısı genellikle negatif değerlerden pozitif değerlere doğru artış gösterir. Matkabin radyal ağzında ise talaş açısı çok yüksektir bu yüzden bazı bölgelerde kesmenin aksine yüksek plastik deformasyon ile malzeme şekil değiştirir. İki kesme kenarlarının arasında kalan açığa koniklik açısı(helix angle) adı verilir. Matkabı diş sayısı kadar boşaltma kanalı çevreler. Boşaltma kanalları kesme işlemi yapmazlar sadece talaşların kesme bölgesinde uzaklaşmasına yardımcı olurlar. Matkabin öz genişliği (margin) ile gösterilir.



Şekil 2.23. Helisel matkap görüntüsü. [50]

Delik delme sırasında kullanılan kesme şartları ve kesme parametreleri işlemin kalitesini etkiler. Kesme hızı delik delme işleminde takım ömrünü etkileyen en önemli proses parametrelerinden biridir. Kesme hızının artması(talaş kaldırma hızının artmasına rağmen) artan sıcaklıklar ile birlikte takım ömrünü kısaltmaktadır. [50]

Matkap ile delme esnasında radyal ağzın parçaya temas ettiği anda başlar ve ana kesme ağızlarının aktif kesme işlemine katılması ile devam eder. Oluşan talaş, helisel kanallar vasıtasıyla boşaltılır. Radyal ağız, matkabin dönme ve ilerleme hareketi ile iş parçasını ezerek kesicinin ağızlamasını sağlar. Böylece matkabin delme eksenine paralel şekilde ilerlemesini sağlar. Kesici ağız ise matkabin ilerleme hareketiyle helis bir yüzey

oluşturarak, iş parçasını kesmeye başlar. Helisel yüzey boyunca hareket eden takımda kesme ağızlarının etki yönü sürekli değiştiğinden, matkabin etkide bulunan kesme açıları da işlem süresince değişmektedir. [51]

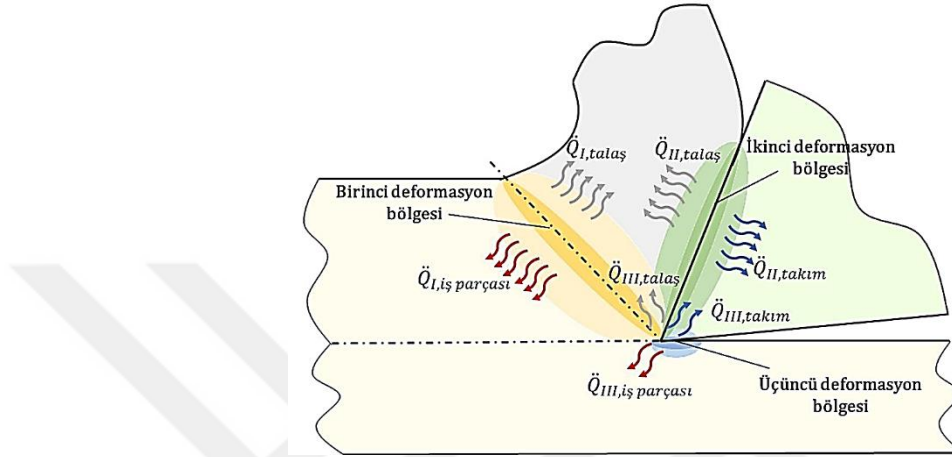
2.8. Talaşlı İmalatta Sıcaklık Oluşumu

Talaşlı imalat sırasında plastik deformasyon için harcanan güç nedeniyle yüksek sıcaklıklar üretilir, bu enerji büyük ölçüde takım kesme kenarının yakınında ısıya dönüştürülür. Bu sıcaklıkların takım aşınma oranları ve takım / talaş arayüzündeki sürtünme üzerinde kontrol etkisi vardır. [52]

Talaşlı imalat prosesi sırasında meydana gelen deformasyon ve sürtünmelerden ötürü ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı; takım, talaş ve iş parçası tarafından paylaşılır. Bu elemanlarda sıcaklık artışına sebep olur. Isının ne kadarının hangi elemana aktarıldığı hala araştırılması devam eden konulardan biridir. Sölter ve Gulpak yayınladıkları çalışmada delik delme, tornalama ve frezeleme işlemleri için paylaşılan ısıları incelemiştir. Bu inceleme sonucunda talaşlı işlemler esnasında oluşan ısının çoğu talaşla birlikte atıldığı, kalan ısının iş parçası ve takım tarafından paylaşıldığı anlaşılmıştır. Ayrıca meydana gelen ısının diğer proseslere nazaran delik delme işleminde takıma % 5-15 aralığında etki ettiği bulunmuştur. [53] Bu ısı oranları; proses parametreleri, takım ve iş parçasının malzeme özellikler ve kesme koşulları etkilemektedir. İş parçasına en fazla ısı delik delme operasyonunda geçmektedir, bu delik delme operasyonun kapalı bir ortamda gerçekleşmesinden kaynaklanır ve delik etrafındaki yüzey özelliklerini etkiler.

Talaşlı imalat işleminin kesme mekaniğinde 3 farklı deformasyon bölgesi oluşur. Bu bölgeler ve bu bölgelerde meydana gelen ısının paylaşımları Şekil 2.5'te verilmiştir. *Birinci deformasyon bölgesi* plastik şekil vermenin gerçekleştiği, takımın iş parçasına batması ile talaşın oluşumuna neden olan ana bölgedir. Bu bölgede oluşan ısı kayma (shear) deformasyonundan kaynaklanmaktadır ve oluşan ısının çoğu talaş ile birlikte atılır. Geriye kalan ısı ise iş parçasının sıcaklığını artırır. Birinci bölgede oluşan talaş, takım talaş yüzeyi boyunca takıma sürtünerek akar ve bu bölgede ikinci deformasyon bölgesini meydana getirir. Talaş bu bölgeye ilk temas ettiği zaman yapışma sürtünmesi meydana gelirken, bu bölgeden sonra talaş takım üzerinden kaymaya başlar ve bu gölgeye *ikincil deformasyon bölgesi* denir. Oluşan ısının bir kısmı talaş ile atılırken, kalan kısmı takım ve soğutucu sıvı tarafından paylaşılır. Burada meydana gelen ısı

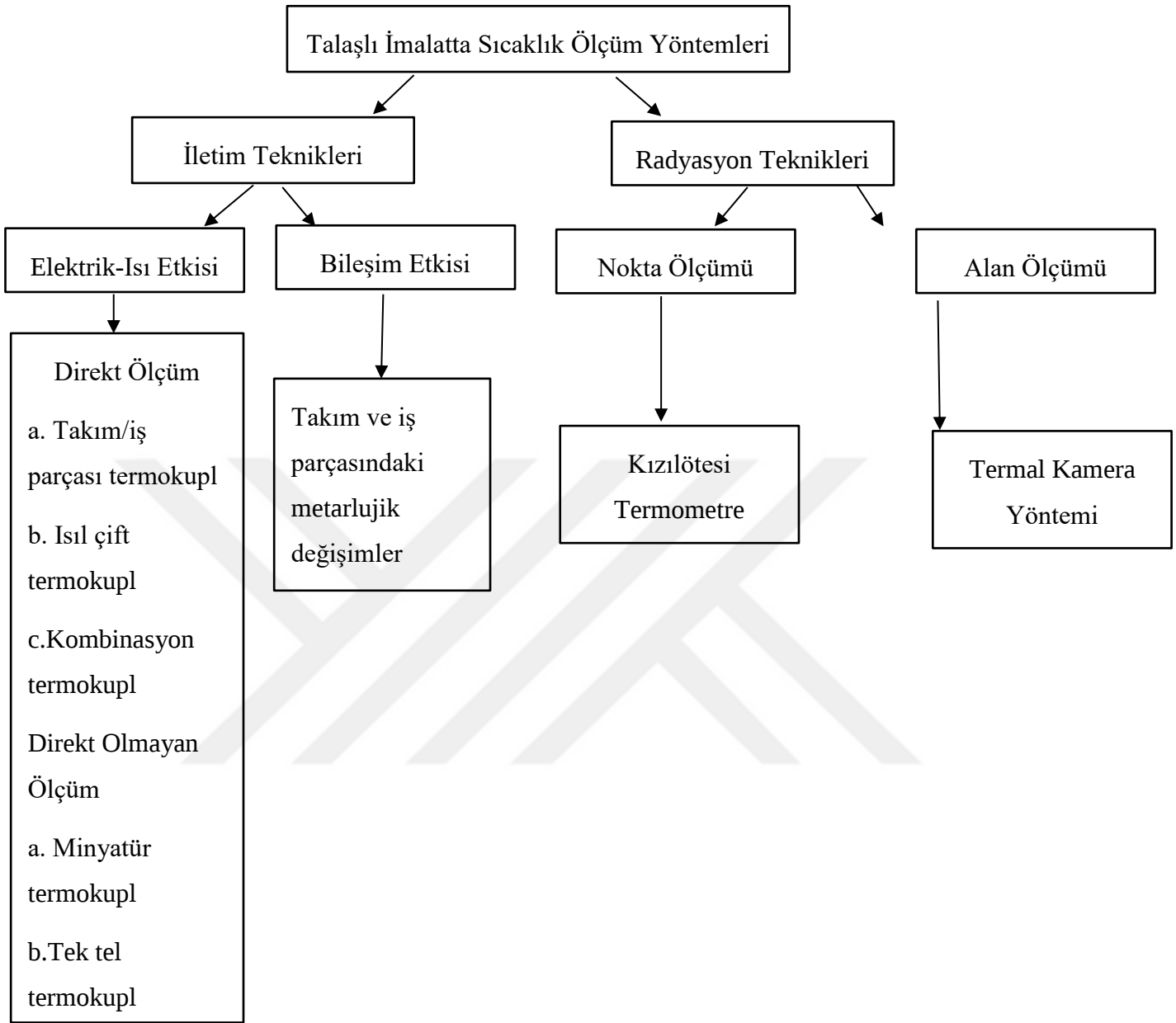
kesme hızının artması ile artar. Talaşın kalkması ile yeni oluşan yüzeyin takımın serbest yüzeyi ile sürtünmesinden *üçüncü deformasyon bölgesi* oluşur. Bu bölgedeki deformasyon mekanizması diğer bölgelerdekinden biraz daha karmaşık ve anlaşılması zordur. Diğer bölgelere kıyasla bu bölgede oluşan ısı miktarı çok daha azdır ve takım, talaş ve iş parçası tarafından paylaşılır. Bu yüzden bölgede oluşan ısı genellikle ihmal edilir.



Şekil 2.24. Talaşlı imalatta oluşan ısıнын takım, iş parçası ve talaşı dağılımı

[54]

Sıcaklık artışı talaşlı imalatın verimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Sıcaklık artışı ile beraber takım aşınmaları artar (dolaylı olarak takım ömrü düşer)[54], takım ve iş parçası sıcaklık etkisiyle genleşir buna bağlı olarak istenilen tolerans değerlerine ulaşamayabilir, iş parçasının içyapı özellikleri değişebilir, yüzeyin altında artık gerilmeler meydana gelebilir. [55] Bu neden ile sıcaklık dağılımının talaşlı imalat yöntemi yapılmadan tahmin edilmesi yukarıda bahsedilen etkilerin azaltılması için önlem alınması veya tahmin edilmesi bakımından önemlidir. Fakat kesme mekaniğinin karmaşık oluşu, ısıнын kesme bölgesindeki dağılımının ve yoğunluğunun hesaplanmasının zorluğu, malzeme özelliklerinin sıcaklık ile değişmesi ve mekanik etkilerin yanında dinamik etkilerinde işin içinde olması sıcaklık dağılımının hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. 1900’lü yıllarda başlayarak yapılan teorik ve deneysel çalışmalar ile bu problem anlaşılmaya ve daha az hata ile çözülmeye başlansa da tam olarak çözülebilmemiş değildir.



Şekil 2.25. Talaşlı imalatda sıcaklık ölçüm yöntemleri. [56]

Başarılı bir sıcaklık ölçümü için ölçüm yönteminin; ölçüm hassasiyeti, sonuçların çözünürlük değerleri, sıcaklık değişimlerine hızlı cevap vermesi önem taşır. Talaş kaldırma sırasında iş parçası ve takımda oluşan sıcaklıkların bulunması için pek çok farklı deneysel metot bulunmaktadır. Literatürde en sık kullanılan sıcaklık ölçme metotları maddeler halinde aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Takım – iş parçası ısı element yöntemi: Bu yöntem kullanılarak iş parçası ve takım ısı elementinin iki elemanı olarak kullanılır ve aradaki sıcaklık değişimine göre akım değişimi kalibre edilerek kesme bölgesindeki ortalama sıcaklık ölçülür [57]. Bu

yöntemde en önemli sorun takım ve iş parçası arasındaki elektro motor kuvvetlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerinin kalibrasyonudur. Bu iki elemanın tezgâhtan yalıtılması ve kalibrasyonun doğru bir şekilde yapılması yöntemin doğru uygulanmasında çok önemlidir.

Gömülü termal eleman yöntemi: Bu yöntemin dezavantajı kesme bölgesinden belli uzaklıktaki sıcaklığı ölçmesidir [58]. Deliğin pozisyonunundan veya ısı elemandan dolayı doğruluk problemleri oluşabilmektedir. Termoelemandan kaynaklanan en büyük problem yüksek sıcaklıklarda sıcaklık değişimine geç cevap vermesinden kaynaklanmaktadır.

Tek kablo termal eleman yöntemi: Yöntemde iş parçası ikiye bölünerek araya termal eleman yerleştirilerek sıcaklıklar ölçülür [59]. Bu yöntemde her bir pasoda sadece tek bir ölçüm alınabilir.

Kızıl ötesi (Infrared, IR) termometreler ile sıcaklık ölçümü: Bu yöntem ile ölçüm alınacak yüzeye temas olmadan hızlı bir şekilde noktasal ölçüm alınabilir [60]. Buradaki en büyük problem sıcaklık ile değişen emisivite değerlerinin doğru seçimidir.

Kızıl ötesi termal kamera ile sıcaklık ölçümü: Kızıl ötesi kameralar sıcaklık dağılımının zamana bağlı olarak ölçülebildiği sistemlerdir [61]. Bu sistemlerde sıcaklık ölçmedeki zorluklar, emisivitenin seçimi ve işlemin doğasından kaynaklanan kesme bölgesini sürekli olarak görme zorluğudur.

Bu incelemelerde de görülebileceği gibi kesme ortamındaki herhangi bir noktanın yerini yeterli doğrulukta ve güvenilirlikte ölçebilen bir deneysel metot bulunmamaktadır. Bu çalışmada delik delmede kesme bölgesinin termal kamera ile görüntülenmesinin zorluğu ve diğer yöntemlerdeki belirsizliklerden dolayı iş parçasına gömülü ısı eleman yardımı ile sıcaklıklar ölçülmüştür.

Sıcaklık ölçümleri için literatürde şu zamana kadar farklı yöntemler denenmiştir. Sıcaklık ölçümü için yaygın olarak kullanılan deneysel bir teknik, bir iş parçası oluşturmak için iş parçasına bir termokupl yerleştirmeyi içerir [64]. Bono ve Ni [62], kesici kenarı boyunca takım sıcaklığını ölçmek için gömülü folyo takım tezgahı termokuplunu kullanarak önceki yöntemlere göre geliştirilmiştir. Perez ve diğ. [63] karbon fiber takviyeli kompozit plastiğin delinmesi sırasında sıcaklığın ölçülmesinde karşılaştırmalı analiz için termokupllar ve bir IR kamera kullanmışlardır.

Zeilmann ve Weingaertner Ti6Al4V parçasını delik delerken parça içerisine termokupllar yerleştirmişlerdir. Bu termokupllar delik delme bölgesine 0,2 mm mesafede konumlandırılmışlardır. Ayrıca kuru delik delme, MQL içerden(takımdan) ve MQL dışardan olmak üzere uygulanmıştır. Delik delme işlemi kaplamasız ve kaplamalı takımlarla gerçekleştirilmiş, ortaya çıkan sıcaklık değerleri yorumlanmıştır. En yüksek sıcaklık dışardan MQL ile kaplamasız takımda ölçülmüştür.[64]

Lazoğlu ve arkadaşları ise Ti-6Al-4V delik delmesinde yeni bir ölçüm sistemi denemişlerdir. Bu ölçüm sistemi Kistler 9123C dinamometresine entegre olmuş şekilde olup kuvvet ve moment ölçümü esnasında aynı zamanda sıcaklık ölçümü de gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin adına dönel takım sıcaklık ekipmanı (rotary tool temperature device)denilmiştir. Takım içine gömülen termokupllar hava kanalının çıkışına doğru sabitlenmiştir. Çalışma öncesinde yapılan modellemeyle verilerin uyduğu gözlenmiştir. [65]

Wang ve arkadaşları karbon fiber takviyeli kompozit malzemeyi (CFRP), elmas kaplı karbür takımlarla delmişlerdir. Termokupllar takım içinde bulunan soğutma sistemine yerleştirilmiştir. Bu işlem sonrasında ortaya çıkan sıcaklık değerleri incelenmiştir. Bulgulara göre kesme hızı ve ilerleme miktarı arttıkça ölçülen sıcaklıklar da artmıştır. Takımın karbon fiber tabakadan çıkıp alüminyum tarafına geçtiğinde, kuvvet ve delme sıcaklığının anormal bir şekilde yükseldiğine anlamışlardır. [66]

Patne, Kumar ve arkadaşları ise titanyumun delmesinde sıcaklığın dağılımını modellemeye ve ölçmeye uğraş vermişlerdir. Bunu yaparken iş parçasının sıcaklığını parçanın altına kızılötesi kamera yerleştirmişlerdir. Takıma geçen ısıyı anlayabilmek içinse takımın hava soğutma sistemlerinden geçirdikleri termokuplları dört ayrı noktaya sabitleyerek takımı elemanter kesici takımlara indirgemişlerdir. Daha sonra ölçtükleri verileri oluşturuşları ısı dağılım modelleriyle karşılaştırmışlardır. Verilerin uyduğu görülmüştür. Kesme hızı ve ilerlemenin sıcaklık üzerindeki direk etki ettiğini anlayabilmişlerdir. [67]

Uçak ve Çiçek ise Inconel 718'in delik delmesinde kesme sıcaklıklarını ve delik kalitelerini incelemişlerdir. Çalışmada kaplamasız ve AlTiN kaplamalı karbür takımlar kullanılmıştır. Testler kuru, kesme sıvılı ve krojenik etkili gerçekleştirilmiştir. İş parçası içerisine yerleştirdikleri K tipi termokupllarla beş farklı lokasyondan sıcaklık verileri almışlardır. Termokupl yerleştirme aparatı sayesinde daha doğru şekilde

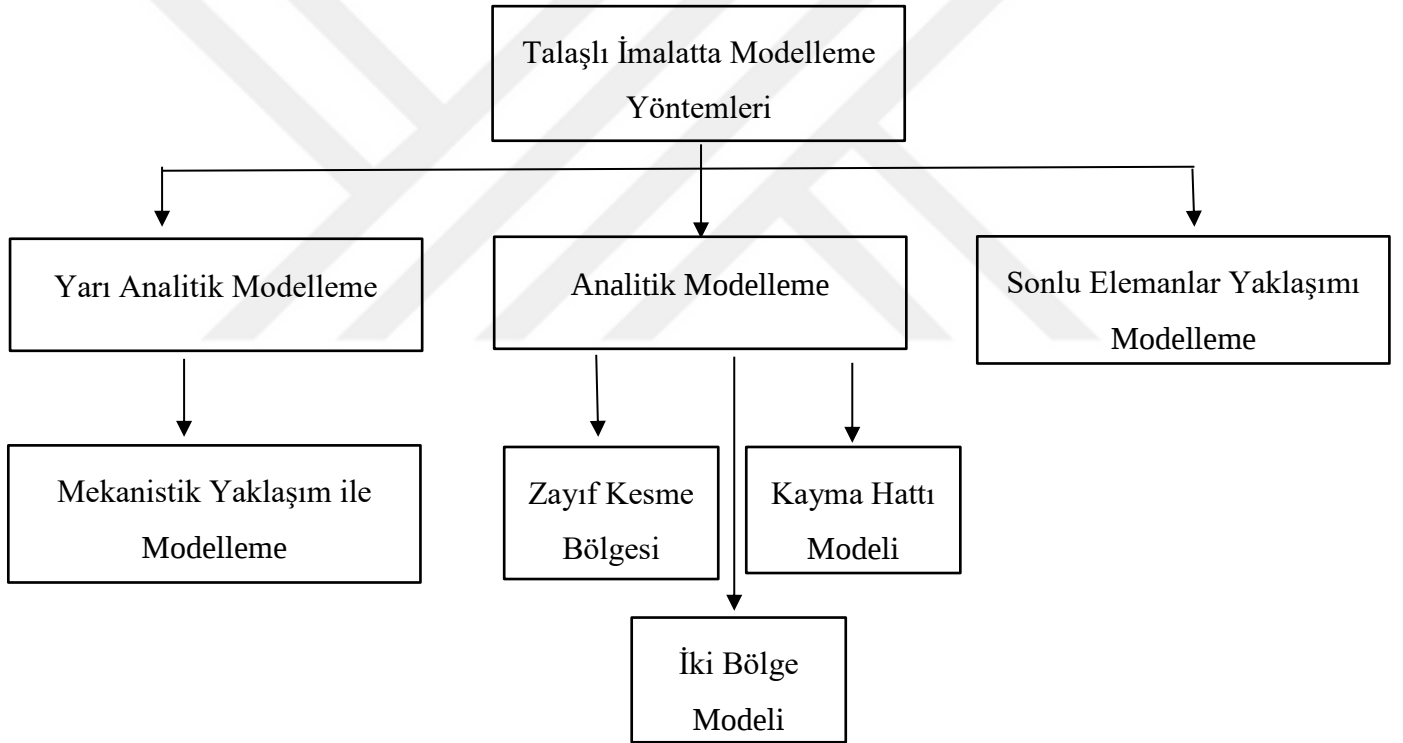
termokuplların yerleşmesi sağlanmıştır. Termokupllar delik delme bölgesine 0,1 mm yakınlaşma sağlamıştır, bu ölçümleri SEM ölçümüyle desteklemiştir. Deliklerin kalitesini ise numuneleri ikiye bölmek şartıyla SJ301 yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçerek yorumlamışlardır. Deliklerin daireselliklerini ve çap ölçülerini ise koordinat ölçüm cihazıyla yapmışlardır. Ayrıca takım aşınmaları SEM yardımıyla ölçmüşlerdir. En yüksek sıcaklık derecesi kuru şartlarda elde edilmiştir. [68]





3. ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİNİN İNCELENMESİ

Talaşlı imalat proseslerinde takımın iş parçasına bağlı olarak hareketine göre iki farklı kesme işlemi gerçekleşir. Bu tez çalışmasında bilinen matematik modellerden bahsedilmemiş, bunun yerine elde edilen kuvvetlerden terse gelinerek regresyon yöntemiyle katysılar elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.1. Talaşlı imalatatta modelleme yöntemleri. [69]

3.1. Delik Delme İşleminde Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Yukarıda bahsedilen kesme modellerinin uygulanabilmesi için matkap takımının geometrik modelinin oluşturulması ve matkabın her bölgesinde meydana gelen kuvvetlerin anlaşılabilmesi için farklı bölgelere ayrılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında delik delme işlemleri esnasında kuvvetler elde edilmiştir. Matlab Curve

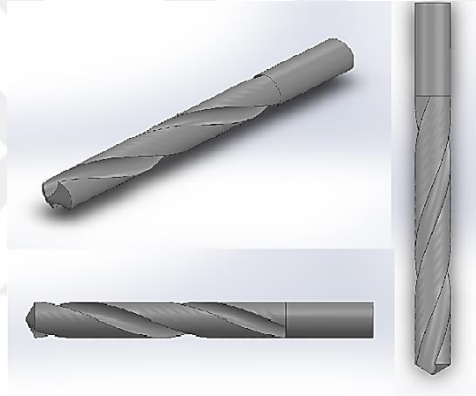
Fitting modülüyle polinomial regresyon uygulanmış ve delik delme işlemine etkileyen parametrelere bağılı regresyon denklemleri elde edilmiştir.

3.1.1. Delik delme deneyleri

Çalışmada iki farklı matkap üç farklı malzeme için delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla altı farklı malzeme-takım çiftine bağılı olarak kesme katsayıları elde edilmiştir. Böylece hangi malzemenin hangi kesici takıma ne gibi tepki verdikleri anlaşılmalı çalışılmış ve yorumlar elde edilmeye çalışılmıştır.

3.1.1.1. Kesici takımlar

Takım malzemeleri HSS ve karbürdür(WC-Co) Matkaplar piyasadan temin edilmişlerdir. HSS takımların üreticisi Stock karbür takımın üreticisi ise Ceratizit'dir. Matkapların ölçümleri ise Piksan Kesici Takımlar firmasında yapılmıştır.



Şekil 3.2. HSS takımın CAD görüntüsü.



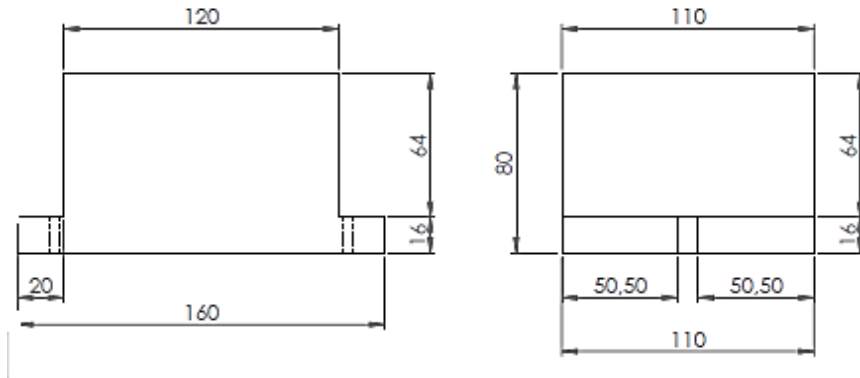
Şekil 3.3. Karbür takımın CAD görüntüsü.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan matkap geometrileri.

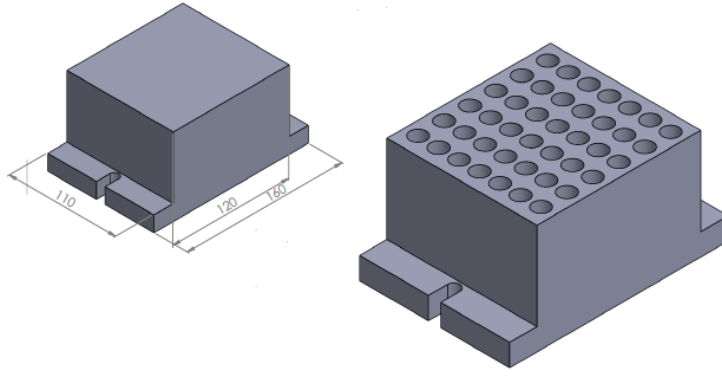
Özellikler	Kısaltmalar	HSS Takım	Karbür Takım
Helis Açısı	B(°C)	37 °	29,96 °
Koniklik Açısı	K_t (°C)	108 °	118 °
Matkap Çapı	D(mm)	11,982	11,998
Öz çekirdek çapı	CD(mm)	2,036	4,212

3.1.1.2. Numune malzemelerin özellikleri

Delik delme işleminde kullanılacak olan parçalar ise üç farklı malzemeden imal edilmiştir. Parçaların temini Morgan Karbon Grafit San.A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Testlerde kullanılan malzemeler ; MSG215, MSG30 ve MSG46 malzemeleridir. Bu malzemelerden MSG215 ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş daha kaba taneli grafit olup, MSG30 ve MSG46 malzemeleri izostatik presleme yöntemiyle üretilen malzemelerdir. Burada farklı üretin yöntemlerine sahip malzemelerin teknik özelliklerine kesme kuvvetlerinin de etkisinin ayrıca karşılaştırılması hedeflenmiştir. Aşağıda parçaların teknik özellikleri tablo şeklinde gösterilmiştir. Bunun için dizayn edilen parçanın CAD çizimi aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Delik delme iş parçasına ait teknik resimler.



Şekil 3.5. Delik delme iş parçasının öncesi-sonrası izometrik görünüşü.

3.1.1.3. Test parametreleri

Bir malzeme- bir takım çifti için üç farklı kesme hızı üç farklı ilerleme değerinde üç tekrarlı testle birlikte 27 adet delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Delik delme işlemleri HSS ve karbür takımlar için farklı parametrelerde uygulanmıştır. HSS takımların yorulma oranları fazla olacağı ve fazla sayıda delik delme işlemi uygulanacağı için böyle bir önlem alınmıştır. İlerleme oranları sabit kalmak suretiyle kesme hızlarının karbür takımlarda iki katı kesme hızlarının uygulanması düşünülmüştür.

Çizelge 3.2 HSS takım için delik delme parametreleri.

Kesme Hızı (m/dak)	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)
50	1326	0,15
75	1990	0,2
100	2653	0,25

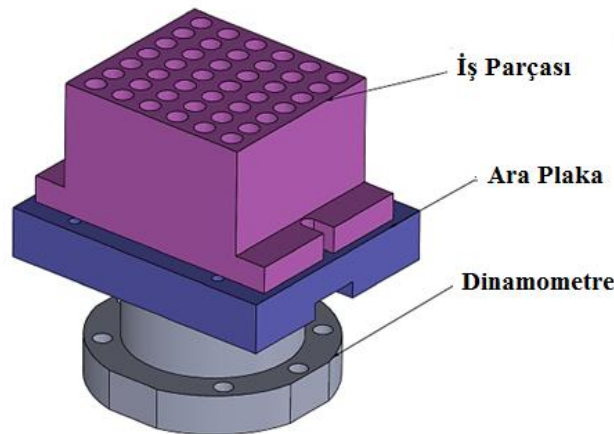
Karbür takımın parametreleri ise HSS takımın kesme hızlarının iki katı olacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Karbür takım için delik delme parametreleri.

Kesme Hızı (m/dak)	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)
100	2652	0,15
150	3980	0,2
200	5306	0,25

3.1.1.4. Deney kurulumu-düzenekler

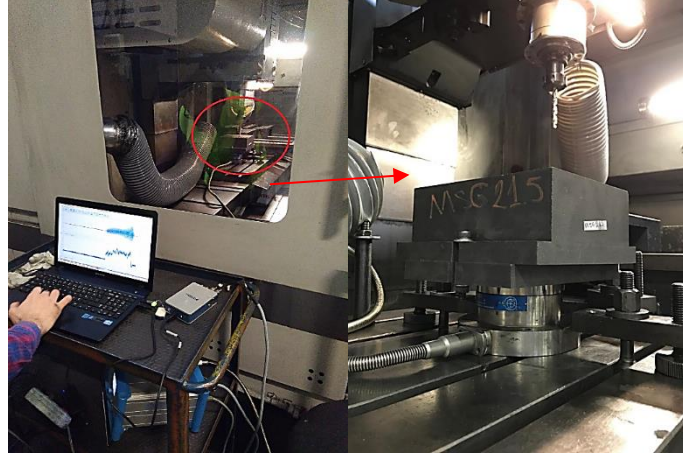
Deneylerin ana amacı malzeme-takım çiftlerine ait kesme kuvvetlerinin elde edilmesidir. Kesme kuvvetleri bulunurken gerekli olan ekipmanlarla test ortamı hazırlanmıştır. Delik delme işleminde malzeme üzerine Z yönünde bir kuvvetle delme işlemi gerçekleştirilir. Testler, Spinner MVC 1000 dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. İş parçasının tezgaha bağlanması için ara bir plaka üretilmiştir. Bu ara plaka üretilen kuvvetleri sönmleme etkilerini azaltacağı düşünülen alüminyum malzemeden üretilmiştir. Plaka ise son olarak Kistler 9272 dinamometresi ile iş tablasına bağlanmıştır. Bu dinamometrenin diğerlerinden farkı Z eksenindeki kuvvet ve moment ölçüm aralıklarının Y ve X eksenlerine oranla daha geniş olmasıdır. Böylece dinamotreden elde edilen veriler amplifikatör yardımıyla CutPro yazılımından görüntülenmiş ve kaydedilmiştir. Delik delme işlemi esnasında parametrelere dair G kodları yazılmış, delik delme işlemlerinin hızlandırılması sağlanmıştır.



Şekil 3.6. Deney kurulumu CAD çizimi.

Çizelge 3.2 İş parçası malzemelerin teknik özelliklerinin kıyaslanması.

Özellikler	Birim	MSG215	MSG30	MSG46
Kütle Yoğunluğu	$\frac{g}{cm^3}$	1,74	1,85	1,90
Elektriksel Direnç	$\mu ohm.cm$	780	1050	1000
Eğilme Dayanımı	$\frac{kg}{cm^2}$	160	500	1300
Sıkıştırma Dayanımı	$\frac{kg}{cm^2}$	320	1000	600
Çekme Dayanımı	$\frac{kg}{cm^2}$	110	320	420
Young Modülü	$\frac{kg}{cm^2}$	330	1050	1250
Sertlik	Shore	31	58	70
Isıl Genleşme Katsayısı(CTE)	$\frac{10^{-6}}{^{\circ}C}$	2,42	3,9	4,2
Isıl İletkenlik	$\frac{W}{mK}$	124	110	110
Kül Miktarı	%	0,3	0,07	0,06
Maksimum tane büyüklüğü	mm	1,0	0,1	0,09



(a)

(b)

Şekil 3.7. Deney düzeneğinin görüntüsü.

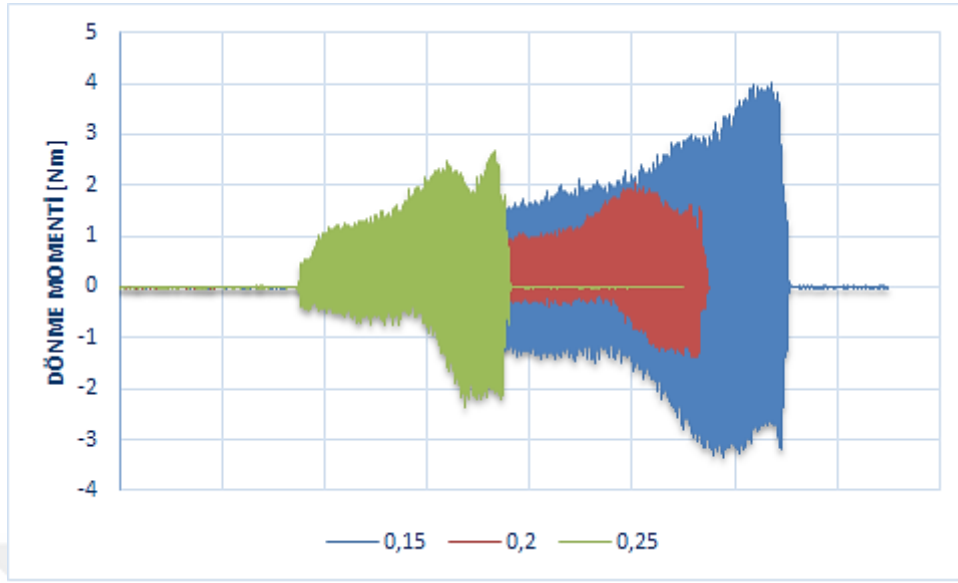
3.2. MSG215 Malzemenin Kesme Kuvvet Sonuçları

Bu malzeme ekstrüzyon yöntemiyle üretilmiş olup ortalama tane büyüklüğü 0,8 mm'dir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinde artış gözlenmiştir, fakat ilerleme değerinin kesme kuvvetine göre kuvvetin artışında daha çok etkisi vardır. Ayrıca kuvvetin çok fazla dalgalanması malzemenin tane büyüklüğüne dair ipuçları vermektedir. Büyük tanelere çarpan takım anlık kuvvet değişimleriyle karşılaşmaktadır. Bu büyük tanelerin ayrılmasından sonra kuvvet değerleri anlık olarak düşüş göstermiş, yeni büyük bir taneyle karşılaştığında bunu kesmek için kuvvet tekrar yükselmiştir. Bu durum ayrıca grafikten okunabilmektedir.

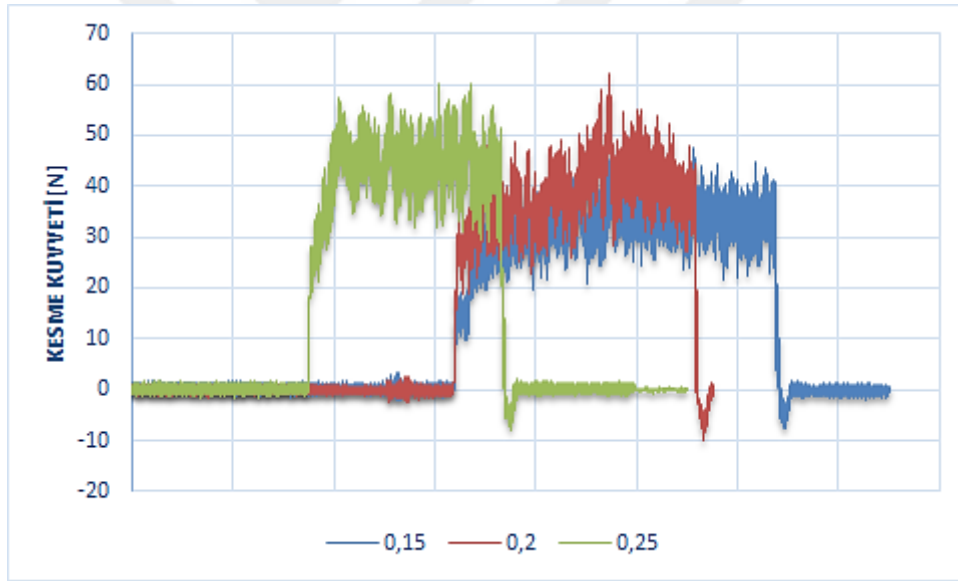
HSS takımla kesme kuvvet sonuçları kesme hızları arttıkça artmış, ilerleme miktarı arttıkça artış göstermiştir. İlerleme değeri 0,15'den 0,25'e çıktığında, kesme hızıda 100 m/dk'dan 200 m'dakya çıktığında yaklaşık olarak 1,75 katı kadar kuvvet ölçülmüştür. Matlab kullanılarak ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak kuvvet polinomial olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MSG215-HSS kesme kuvveti;

$$F = 6,832 + 128f + 0,09537V_c$$

Karbür takımlarla ise MSG215 malzeme delik delmesi yapılırken HSS takıma oranla daha az kuvvetler ölçülmüştür. Aynı şartlarda(kesme hızı ve ilerleme)kesme kuvveti olarak yarısı kadar kuvvetler ölçülmüştür.

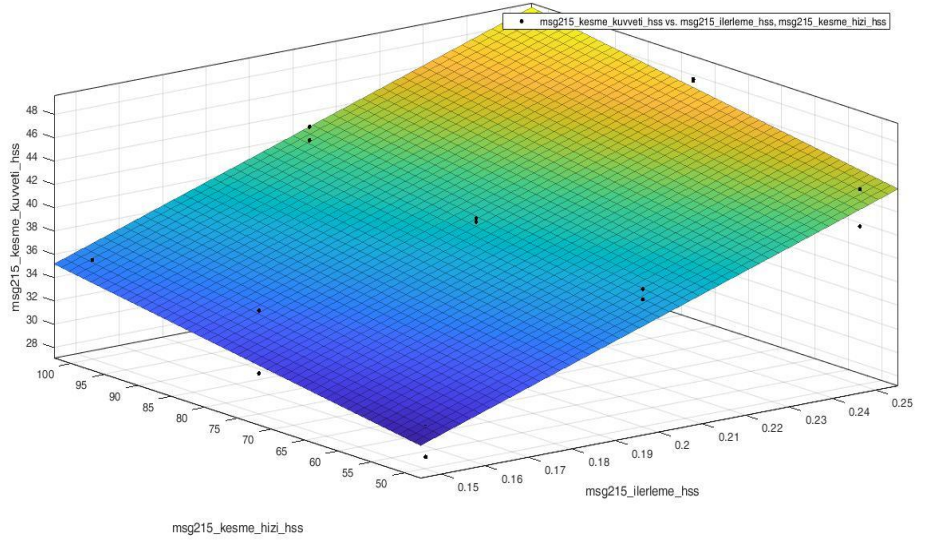


(a)



(b)

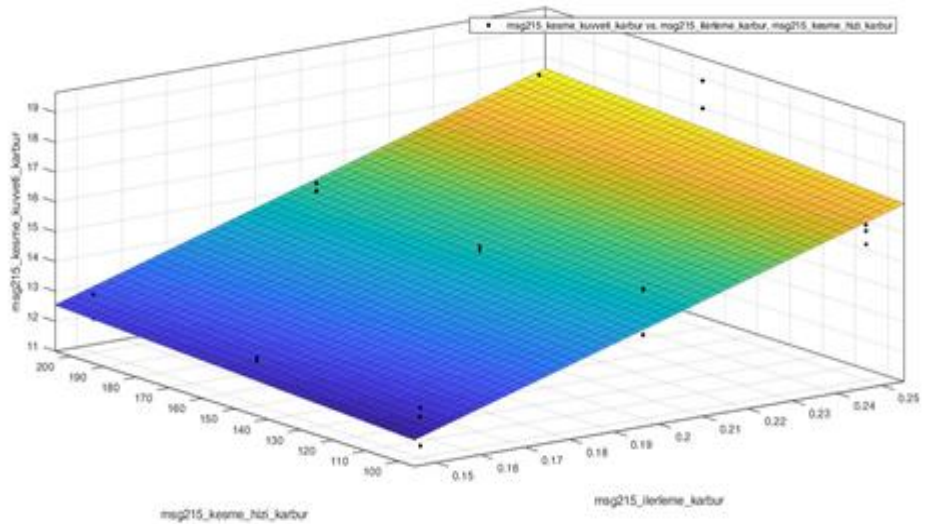
Şekil 3.8. MSG215 malzeme-HSS takım (a)d. momenti (b)kuvvet grafiği.



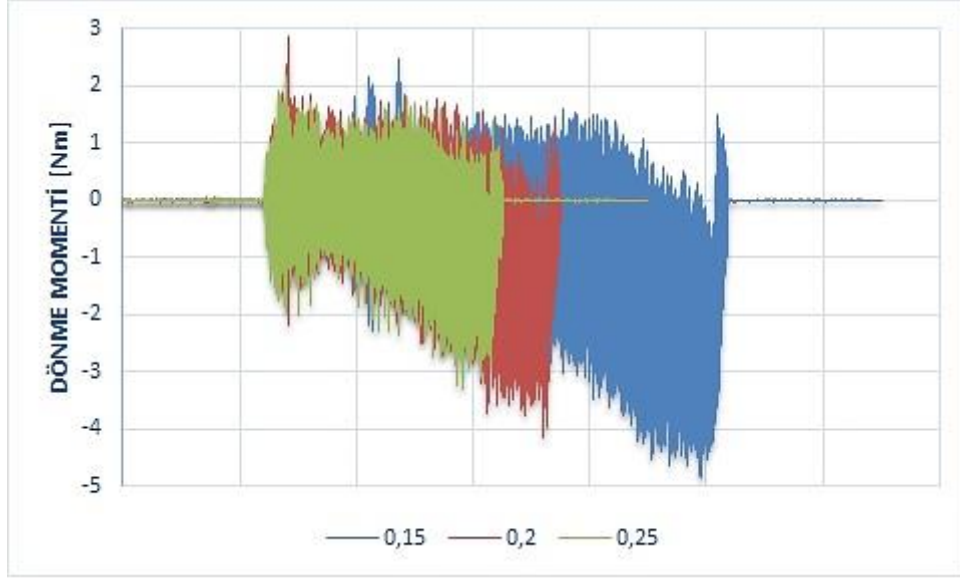
Şekil 3.9. MSG215 malzeme-HSS takım kesme kuvvet regresyon grafiği.

Karbür takımla kesme kuvvet sonuçları kesme hızları arttıkça artmış, ilerleme miktarı arttıkça artış göstermiştir. İlerleme değeri 0,15’den 0,25’e, kesme hızı 100 m/dk’dan 200 m’dakya çıktığında yaklaşık olarak 1,5 katı kadar kuvvet ölçülmüştür. Matlab kullanılarak ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak kuvvet polinomial olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MSG215-karbür kesme kuvveti;

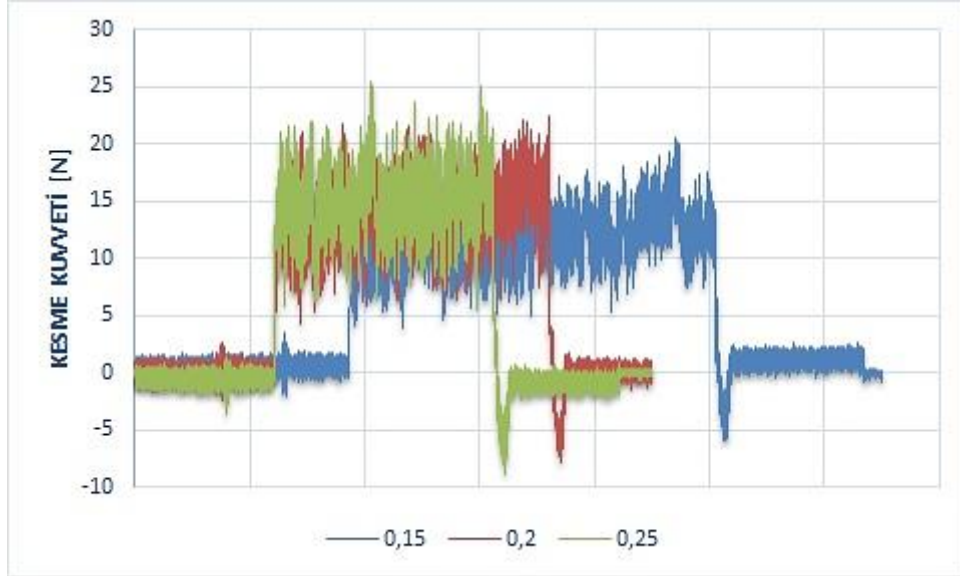
$$F = 4,631 + 46,21f + 0,005878V_c$$



Şekil 3.10. MSG215 malzeme-karbür takım kesme kuvvet regresyon grafiği.



(a)

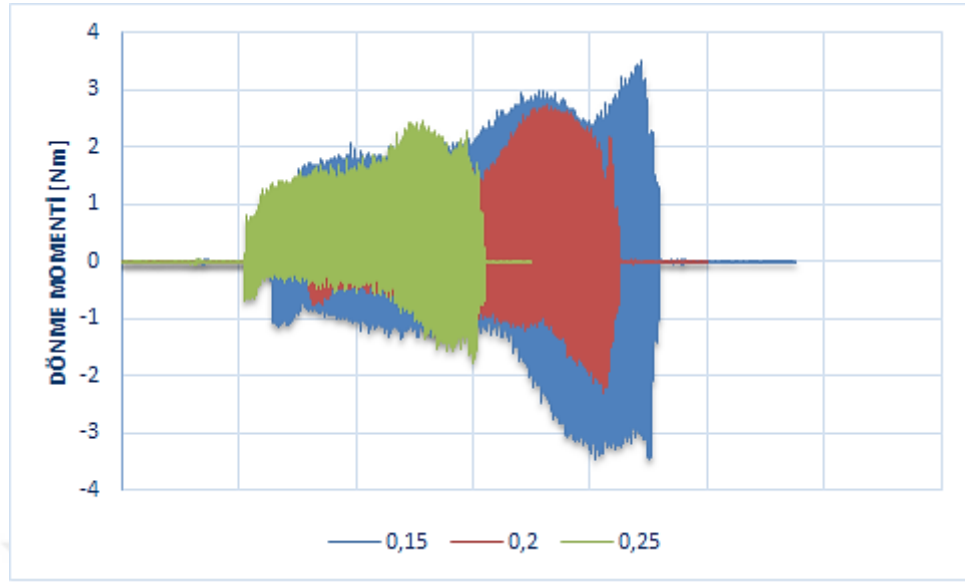


(b)

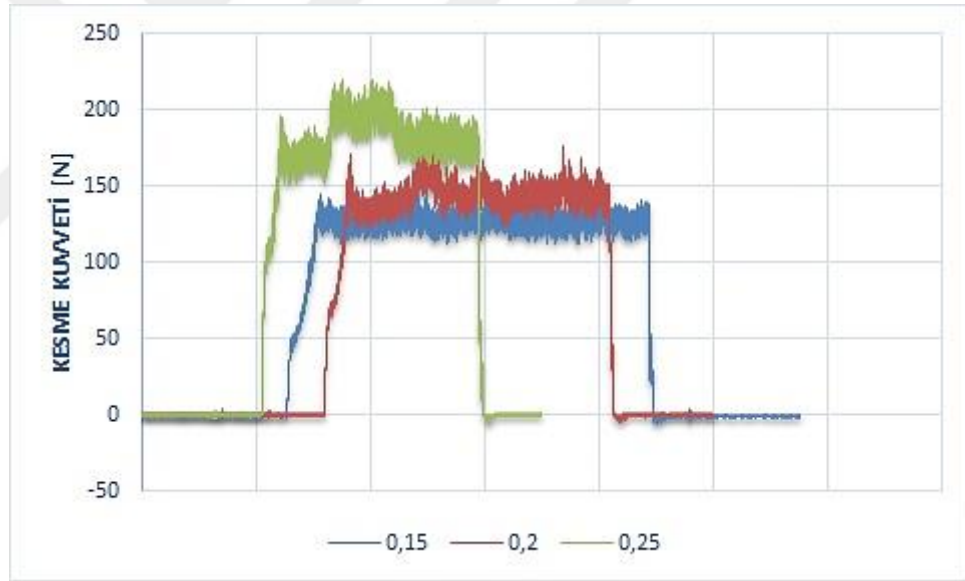
Şekil 3.11. MSG215 malzeme-karbür takım (a)d. momenti (b)kuvvet grafiği.

3.3. MSG30 Malzemenin Kesme Kuvvet Sonuçları

Bu malzeme izostatik yöntemle üretilmiş olup ortalama tane büyüklüğü 0,1 mm'dir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinde fazla bir değişiklik gözlenmemiştir, fakat ilerleme değerinin kesme kuvvetine etkisi bu malzemede aynı şekilde görülmüştür.

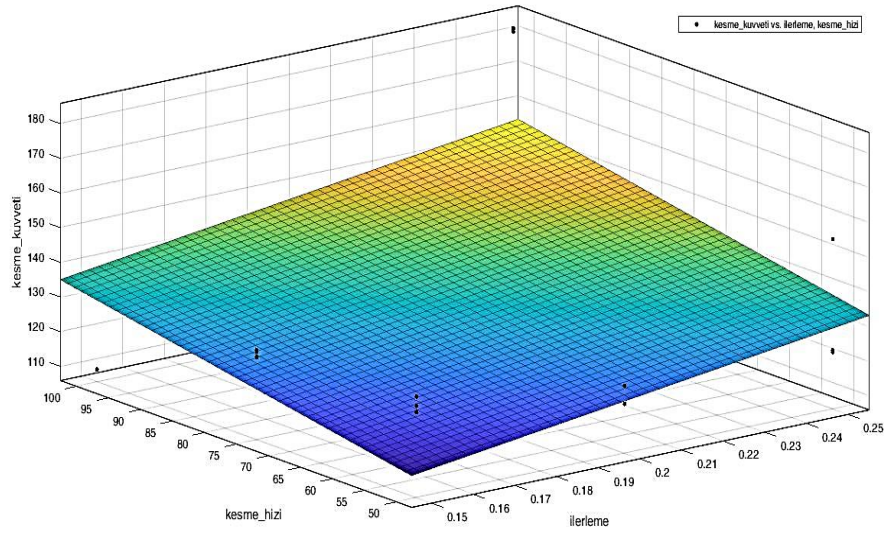


(a)



(b)

Şekil 3.12. MSG30 malzeme-HSS takım(a)d. momenti ve (b)kuvvet grafiği.



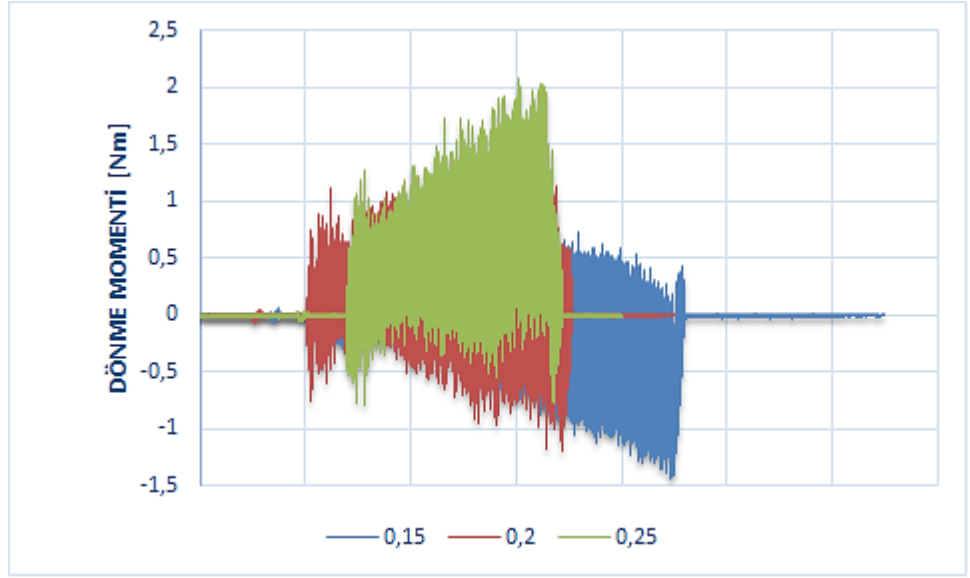
Şekil 3.13. MSG30 malzeme-HSS takım kesme kuvvet regresyon grafiği.

HSS takım ile kesme kuvvet sonuçları kesme hızları arttıkça artmış, ilerleme miktarı arttıkça artış göstermiştir. İlerleme değeri 0,15’den 0,25’, kesme hızı 100 m/dk’dan 200 m’dakya çıktığında yaklaşık olarak 1,5 katı kadar kuvvet ölçülmüştür. MSG215 malzemesine kıyasla ise aynı koşullarda 4 kat kadar kuvvet ölçülmüştür. Ayrıca malzemenin daha uniform ve tane büyüklüğünün küçük olması sebebiyle daha kararlı bir kesme kuvveti elde edilmiştir. Matlab kullanılarak ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak kuvvet polinomial olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MSG30-HSS kesme kuvveti;

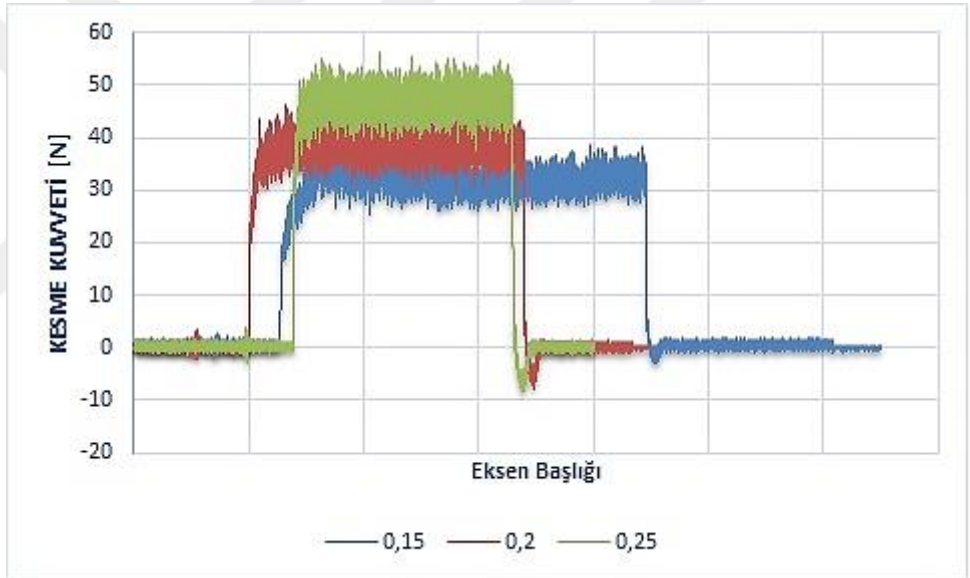
$$F = 74,06 + 164,6f + 0,3618V_c$$

Karbür takım ile kesme kuvvet sonuçları kesme hızları arttıkça artmış, ilerleme miktarı arttıkça artış göstermiştir. İlerleme değeri 0,15’den 0,25’e, kesme hızı 100 m/dk’dan 200 m’dakya çıktığında yaklaşık olarak 1,5 katı kadar kuvvet ölçülmüştür. Aynı şartlarda MSG215 malzemesine nazaran 3 kat büyüklüğünde kesme kuvveti ölçülmüştür. Matlab kullanılarak ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak kuvvet denklemi polinomial olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MSG30-karbür kesme kuvveti;

$$F = 3,522 + 169,1f + 0,02358V_c$$

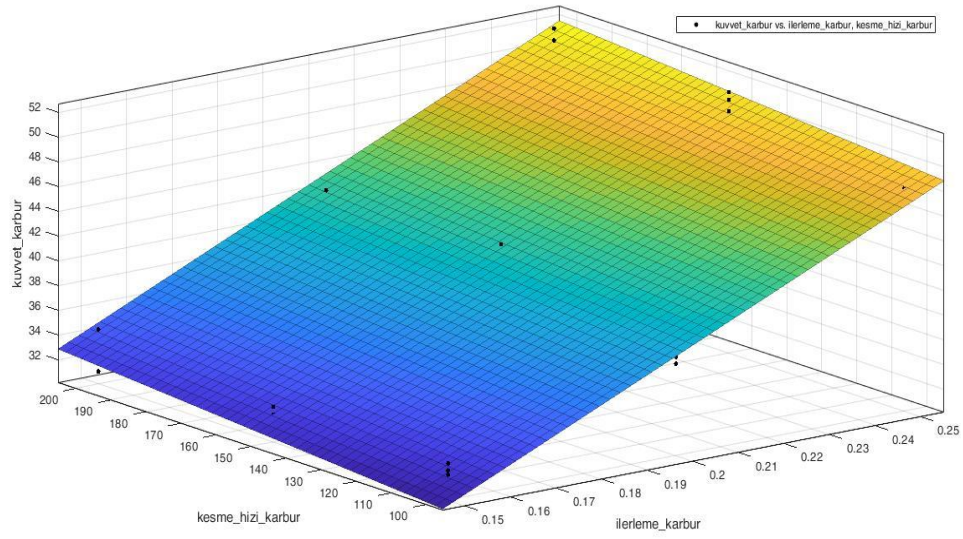


(a)



(b)

Şekil 3.14 MSG30 malzeme-karbür takım (a)d. momenti (b)kuvvet grafiği.



Şekil 3.15. MSG30 malzeme- karbür takım kesme kuvvet regresyon grafiği.

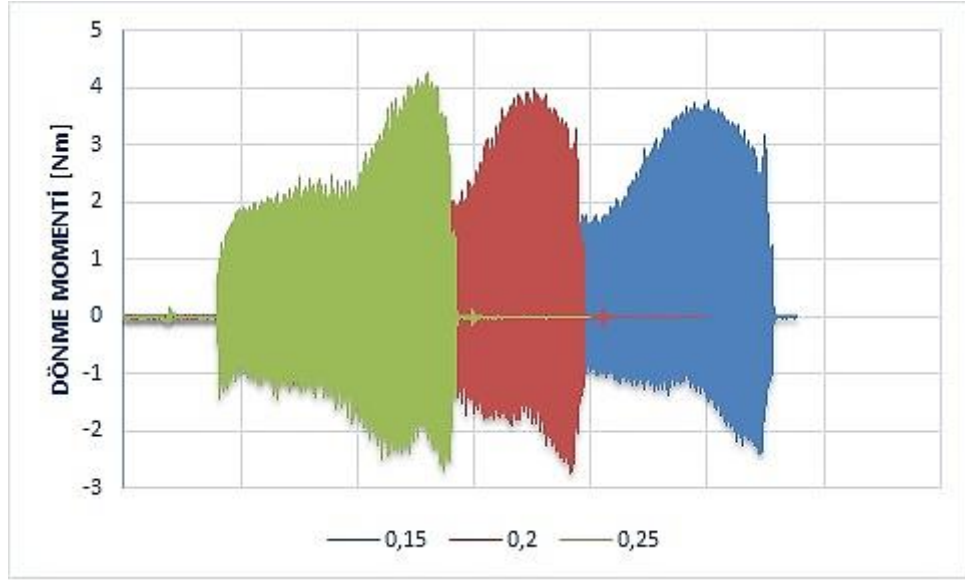
3.4. MSG46 Malzemenin Kesme Kuvvet Sonuçları

Bu malzeme izostatik yöntemle üretilmiş olup ortalama tane büyüklüğü 0,09 mm'dir. MSG30 malzemeden biraz daha daha mukavemetli bir ve yeni nesil bir malzemedir. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinde fazla bir değişiklik gözlenmemiştir, fakat ilerleme değerinin kesme kuvvetine etkisi bu malzemede aynı şekilde görülmüştür. MSG30 malzemesine kıyasla çok farklı sonuçlar elde edilmemiş olup, delme bölgesine biriken talaşların takımın delme işleminde kuvvet artırıcı etkisinin olduğu grafikten gözlenmiştir.

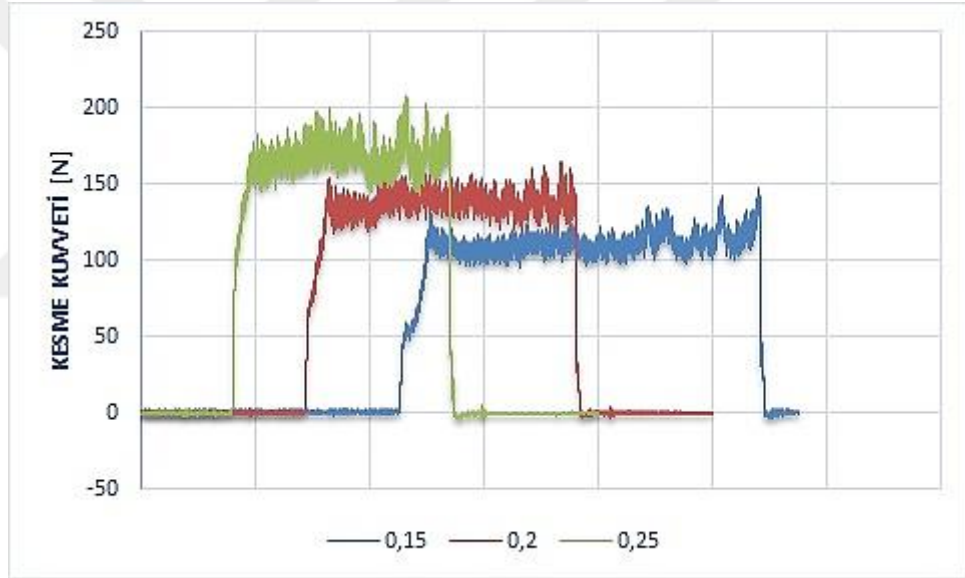
HSS takımla kesme kuvvet sonuçları kesme hızları arttıkça artmış, ilerleme miktarı arttıkça artış göstermiştir. İlerleme değeri 0,15'den 0,25'e, kesme hızı 100 m/dk'dan 200 m'dakya çıktığında yaklaşık olarak 1,65 katı kadar kuvvet ölçülmüştür. MSG30 malzemesine kıyasla ise hemen hemen aynı kuvvetler ölçülmüştür. Ayrıca malzemenin izotropik olmasına bağlı olarak bu malzemede de kararlı bir kesme kuvveti elde edilmiştir. Matlab kullanılarak ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak kuvvet polinomial olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre MSG46-HSS kesme kuvveti;

$$F = 17,37 + 523,2f + 0,1314V_c$$

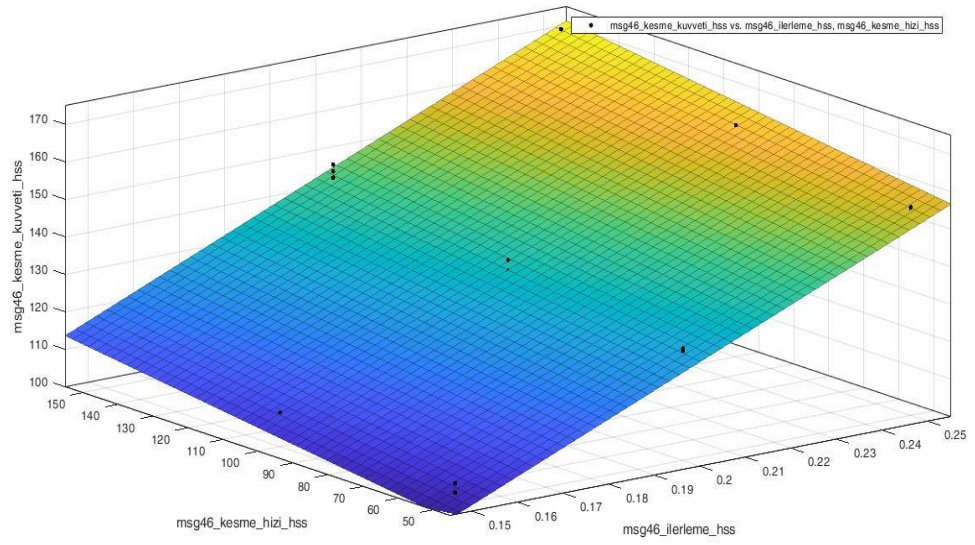


(a)



(b)

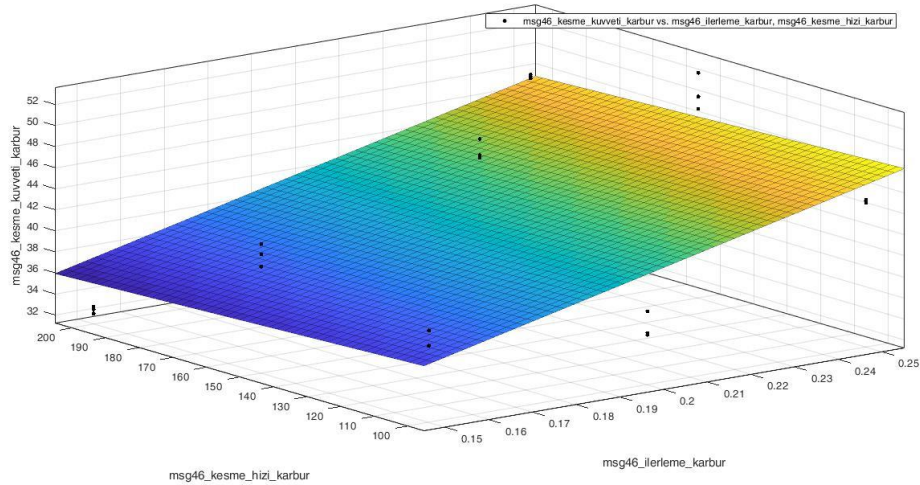
Şekil 3.16. MSG46 malzeme- HSS takım (a)d. momenti (b)kuvvet grafiği.



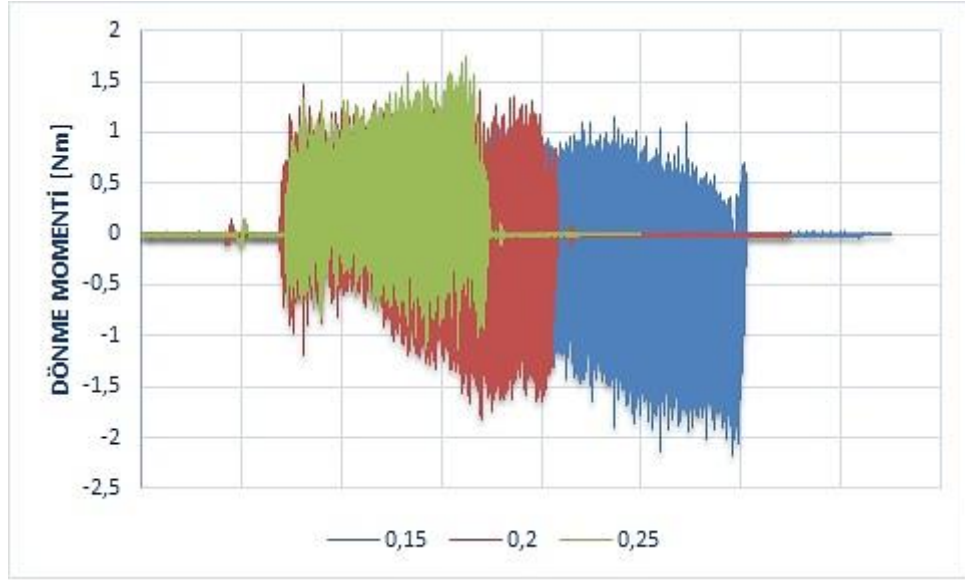
Şekil 3.17. MSG46 malzeme-HSS takım kesme kuvvet regresyon grafiği.

Karbür takımla kesme kuvvet sonuçları kesme hızları arttıkça artmış, ilerleme miktarı arttıkça artış göstermiştir. İlerleme değeri 0,15’den 0,25’e, kesme hızı 100 m/dk’dan 200 m’dakya çıktığında yaklaşık olarak 1,25 katı kadar kuvvet ölçülmüştür. Aynı şartlarda MSG30 malzemesine nazaran ortalama olarak çok benzer kuvvetler elde edilmiştir. Matlab kullanılarak ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak kuvvet denklemi polinomial olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre MSG46-karbür kesme kuvveti;

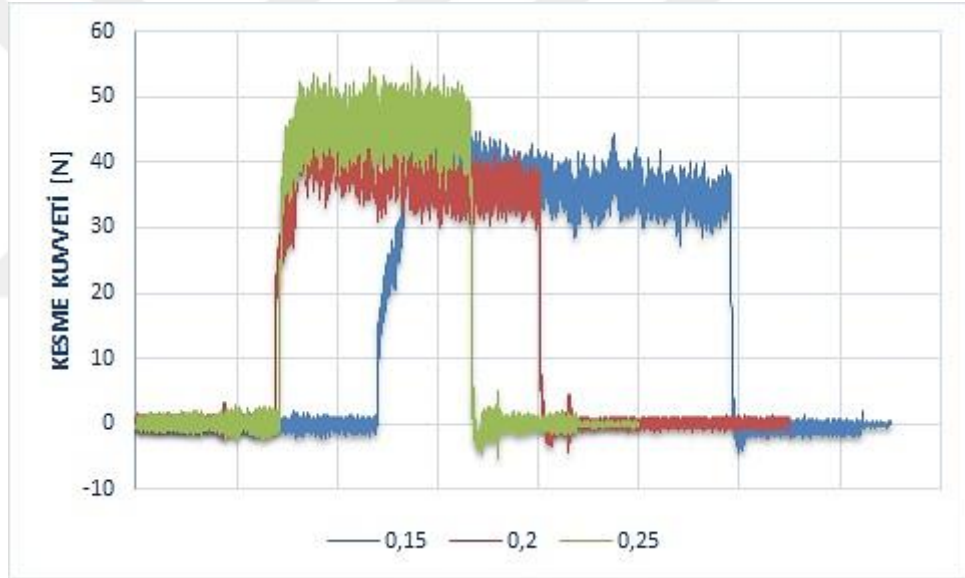
$$F = 24,35 + 98,92f - 0,01319V_c$$



Şekil 3.18. MSG46 malzeme- karbür takım kesme kuvvet regresyon grafiği.



(a)



(b)

Şekil 3.19. MSG46 malzeme- karbür takım(a)d. momenti (b)kuvvet grafiği.



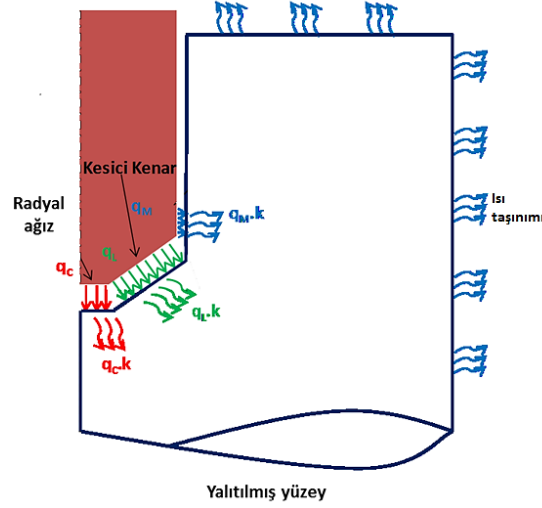
4. ÖZEL GRAFİTLERİN DELİK DELME İŞLEMİNDE SICAKLIĞIN İNCELENMESİ

Metal kesme sırasında plastik deformasyon için harcanan güç nedeniyle yüksek sıcaklıklar üretilir, bu enerji büyük ölçüde takım kesme kenarının yakınında ısıya dönüştürülür.

Talaşlı imalatta sıcaklık artışı imalat verimini etkileyen bir unsurdur. Sıcaklık artışı ile beraber takım aşınmaları artar. Takım ve iş parçası genişir buna bağlı olarak istenilen tolerans değerleri elde edilemeyebilir. İş parçasının iç yapı özellikleri değişebilir ve yüzey, yüzey altında artık gerilmeler meydana gelebilir. Talaşlı imalat işlemi sırasında sıcaklıkların bilinmesi/modellenmesi kesme işlemi öncesi tahmin edilmesi, uygun kesme parametrelerinin seçilmesi bakımından çok önemlidir. Literatürde bulunan hemen hemen tüm ısı modeller tornalama işlemine dayanmaktadır ve araştırmaların çok az kısmında delik delme işleminde matkap ve iş parçasında oluşan sıcaklık dağılımlarının incelenmesi üzerine çalışılmıştır. İş parçasındaki sıcaklıkların incelenmesi Bono [62], Kalidas [49] ve Beno[54] tarafından gerçekleştirilmiş ve modelleme yapmak için geliştirilmiştir. Bu çalışmada delik delme esnasında meydana gelen sıcaklık değerleri ölçülmeye çalışılmış, bunu yaparken delik delme prosesinden kaynaklı delme bölgesine oldukça yaklaşılmaya çalışılmıştır. Delik delinen duvara 0,2 mm yaklaşılmaya çalışılmış, dört farklı derinlikte elde edilen sıcaklık değerleri ısı çiftler sayesinde ölçülmüştür. Bu değerler incelenerek tabloya aktarılmıştır.

4.1. Delik Delmede Sıcaklık Oluşumu

Delik delme işleminde kesici takım ve iş parçasında oluşan ısı kaynakları kullanılan şekil 4.1’de verilmiştir. Burada q_c radyal ağızda oluşan ısıyı, q_L kesme ağzında oluşan ısıyı, q_M matkabın zırhında oluşan ısıyı, k ise ısı paylaşımlar oranını göstermektedir.



Şekil 4.1. Delik delme işleminde kesme işlemi esnasında ısı kaynakları. [70]

Sıcaklık oluşum kaynaklarından birincisi matkabın radyal ağız deneni kısmıdır. Diğer ısı kaynağı ise esas kesmenin meydana geldiği kesme ağızıdır. Üçüncü kaynak ise matkabın yan yüzeylerinin (margin) delinmiş deliğin çevresine çarpması ve sıcak talaşın helis boyunca taşınması sırasında meydana gelir. Üçüncü ısı kaynağının delik delme prosesinde etkisi çok azdır. [70]

Talaşlı imalat işleminde yüksek sıcaklıkların zararlı etkilerinden korunmak için takım ve iş parçası takımın içinden ya da dışarıdan soğutucu akışkan yardımı ile soğutulmaktadır. Fakat grafit malzemelerinden yapısına zarar gelmemesi için genellikle takım üzerinde bulunan hava ile soğutma ya da kuru şartlarda delik delme işlemi uygulanır.

4.2. Delik Delme İşleminde Sıcaklıkların Ölçülmesi

Deneyisel çalışmalar kuru şartlarda delik delme işlemi, l/D 3,5 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Delik delme testleri MVC-650 dik işleme tezgahında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde teknik çizimi görünen numuneler kullanılmıştır.

Burada delik delme testi esnasında HIOKI datalogger yardımıyla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada HSS-Co ve karbür takımlar kullanılmıştır, çalışmada kullanılan takımların detayları tabloda verilmiştir. Deneylerde kullanılacak olan 25 mm çapında ve 70 mm uzunluğunda numuneler 1 mm çapa sahip matkap takımı ile termo elemanların bağlanması için delinmiştir. Delikler delinirken üst yüzey konumdan; 9, 18, 27 ve 36 mm uzaklıklarda, matkabın açacağı deliğe 0,2 mm mesafeden K-tipi

termo elemanlar yerleştirilmiştir. Sıcaklıklar 50 Hz hızında ölçülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney düzeneğinin görüntüsü şekil 4.4'deki gibidir.

Delik delme testlerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.

Çalışmada iki farklı matkap(HSS ve karbür)üç farklı malzeme tek bir malzeme için tek bir delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu esnada hangi malzemenin hangi takım ile delik delmesinde nasıl sıcaklıklar ölçüldüğü anlaşılmaya çalışılmıştır.

4.2.1. Kesici takımlar

Takım malzemeleri HSS ve karbür (WC-Co) takımlar kullanılmıştır. HSS takımlar Stock, karbür (WC-Co) takımlar Ceratizit markadır. Matkapların ölçümleri ise Piksan Kesici Takımlar firmasında yapılmıştır.

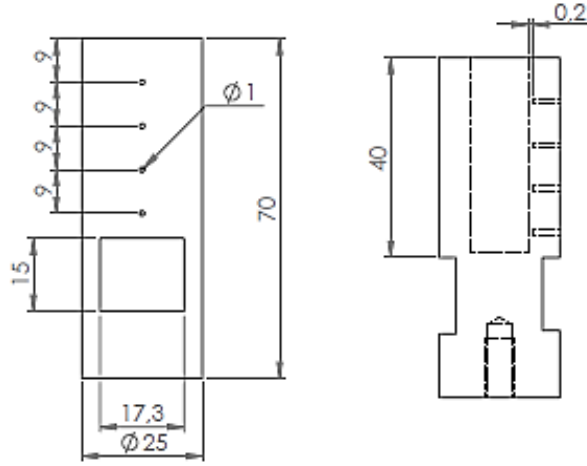
Çizelge 4.1. Sıcaklık deneylerinde kullanılan matkap geometrileri.

Özellikler	Kısaltmalar	HSS Takım	Karbür Takım
Helis Açısı	B (°C)	36,61 °	30,14 °
Koniklik Açısı	K_t (°C)	118 °	118 °
Matkap Çapı	D (mm)	11,992	11,997
Öz çekirdek çapı	CD (mm)	2,023	4,170

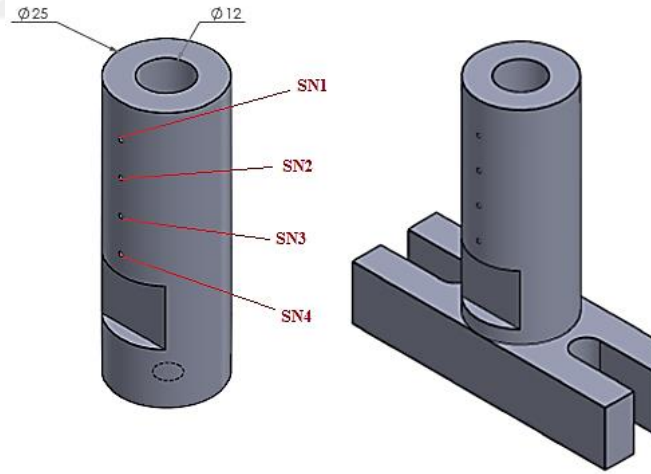
4.2.2 İş parçası malzemelerin özellikleri

Delik delme işleminde kullanılacak olan parçalar ise üç farklı malzemeden imal edilmiştir. Parçaların temini yine Morgan Karbon Grafit San.A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Testlerde kullanılan malzemeler ; MSG215, MSG30 ve MSG46 malzemeleridir. Aşağıda parçaların teknik özellikleri tablo şeklinde gösterilmiştir. Numune imal edilirken sıcaklık ölçümlerinin alınacağı yerler dört farklı noktadan 1

mm çapında delinmiştir. Delme bölgesine mesafe ise 0,2 mm olarak ayarlanmaya çalışılmıştır. Tezgaha bağlamak için bağlantı parçası üretilmiştir. Montaj halini ve parçaları gösteren çizim aşağıdadır.



şekil 4.2. Delik delme iş parçasının ölçüleri.



şekil 4.3. Delik delme iş parçasının deney kurulumu.

4.2.3. Test parametreleri

Bir malzeme- bir takım çifti için aşağıda belirtilen parametrelerde tek delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Delik delme işlemleri HSS ve karbür takımlar için farklı parametrelerde uygulanmıştır. HSS takımların yorulma oranları fazla olacağı ve fazla sayıda delik delme işlemi uygulanacağı için böyle bir önlem alınmıştır. İlerleme oranları sabit kalmak suretiyle kesme hızlarının karbür takımlarda iki katı kesme hızlarının uygulanması düşünülmüştür.

Çizelge 4.2. HSS matkap takımı için deney parametreleri.

Delik Delme No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)
1	MSG30	100	2650	0,25
2	MSG30	100	2650	0,15
3	MSG46	200	5300	0,25
4	MSG215	200	5300	0,15

Karbür takımlarla delik delme işlemi HSS'e kıyasla daha az tutulmuştur, burada elde edilmek istenen amaç daha çok sıcaklık/kuvvet olduğu kesme kuvvetleri belirlenmesi sonrasında böyle bir karar verilmiştir.

Çizelge 4.3. Karbür matkap takımı için deney parametreleri.

Delik Delme No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)
5	MSG215	200	5300	0,15
6	MSG30	200	5300	0,25

4.2.4 Deney kurulumu-düzenekler

Deneylerin ana amacı malzeme-takım çiftlerine ait sıcaklıkların ölçülmesi ve özel grafitlerin delik delmesi adına literatür araştırması yapmaktır. Sıcaklıklar ısı çift olan termokupllar vasıtasıyla ölçülmeye çalışılmıştır. Testler, Spinner MVC 650 dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sıcaklıklar ölçülürken kuvvetler ölçülmüş böylece doğrulama testleri yapılmak istenmiştir.

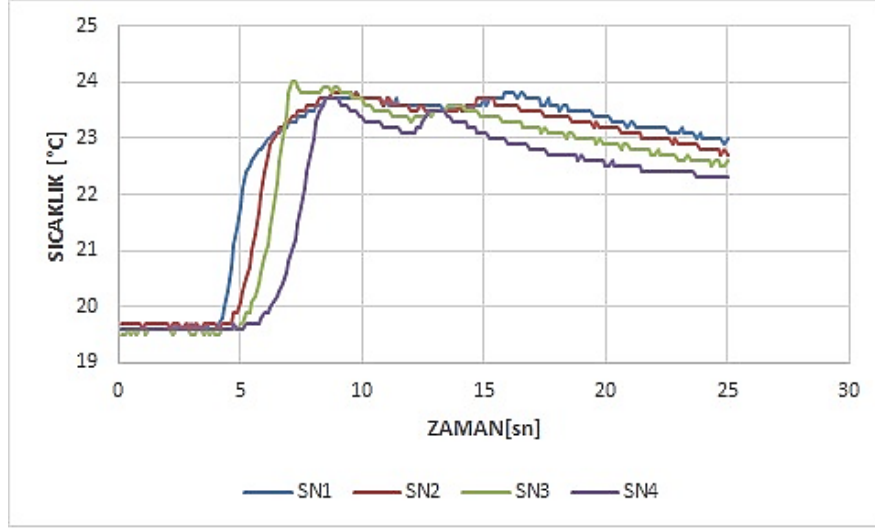


Şekil 4.4. Sıcaklık ölçümü deney kurulumu.

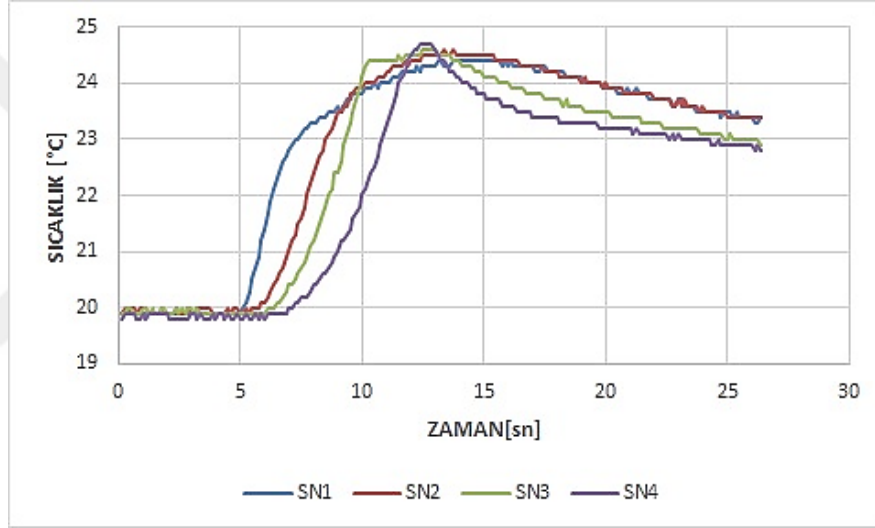
4.3. HSS Takım Sıcaklık Sonuçlar

Bu bölümde HSS takım ile birlikte delik delme işlemi yapılan malzemelerin sonuçları üzerinde durulacaktır. Şekil 4.5’de MSG30 malzeme için 100 m/dk kesme hızı 0,25 mm/dev parametrelerinde 42 mm derinliğinde delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sıcaklık noktası 1’de sıcaklık artımı gözlenmiştir, bu durum diğer ölçüm noktaları için de geçerli olmuştur. Ölçüm noktalarında ortalama sıcaklık artışı 4 santigrad derece (°C) olarak anlaşılmıştır.

Şekil 4.6’da ise MSG30 malzeme için 100 m/dk kesme hızı 0,15 mm/dev parametrelerinde 42 mm derinliğinde delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sıcaklık noktası 1’de sıcaklık artımı gözlenmiştir, bu durum diğer ölçüm noktaları için de geçerli olmuştur. Ölçüm noktalarında ortalama sıcaklık artışı 4,5 santigrad derece (°C) olarak anlaşılmıştır. Böylece MSG30-HSS takım malzeme çifti için sabit kesme hızında 0,1 ilerleme farkı değerinin sıcaklık üzerinde bir etkisi olmadığına kanaat getirilmiştir.

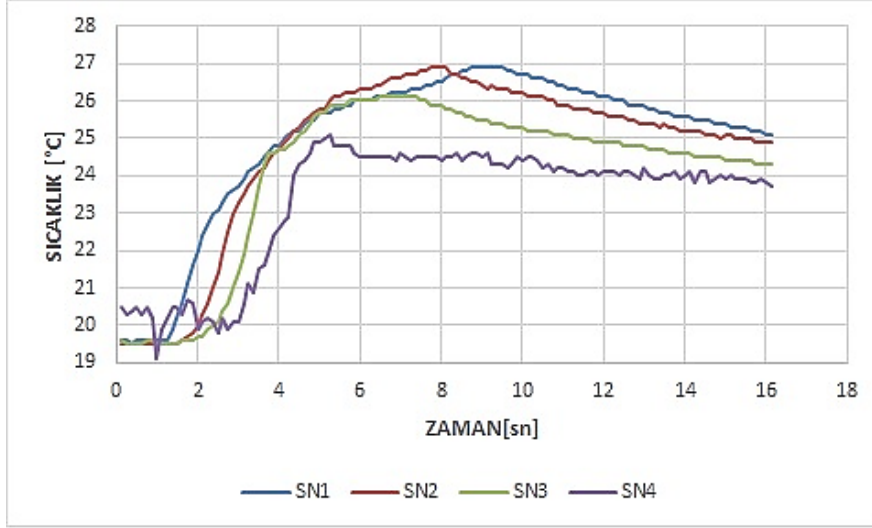


Şekil 4.5. 1 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.



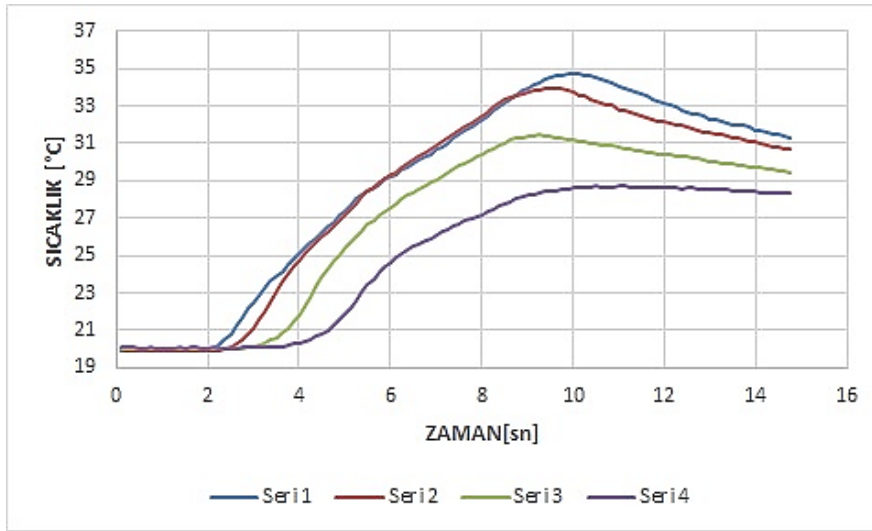
Şekil 4.6. 2 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.

Şekil 4.7.'de ise izostatik malzeme olan ve MSG30'dan kesme kuvvetleri az da olsa yüksek elde edilen MSG46 malzemesinin sıcaklık değerleri incelenmiştir. Ölçüm noktalarında farklı sıcaklık artış değerleri gözlenmiştir, fakat ortalama olarak sıcaklık artışı 7-8 derece olarak grafikten gözlenebilir. Sıcaklık farkınındaha yüksek çıkması malzeme özelliklerinden ve kesme hızından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.7. 3 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.

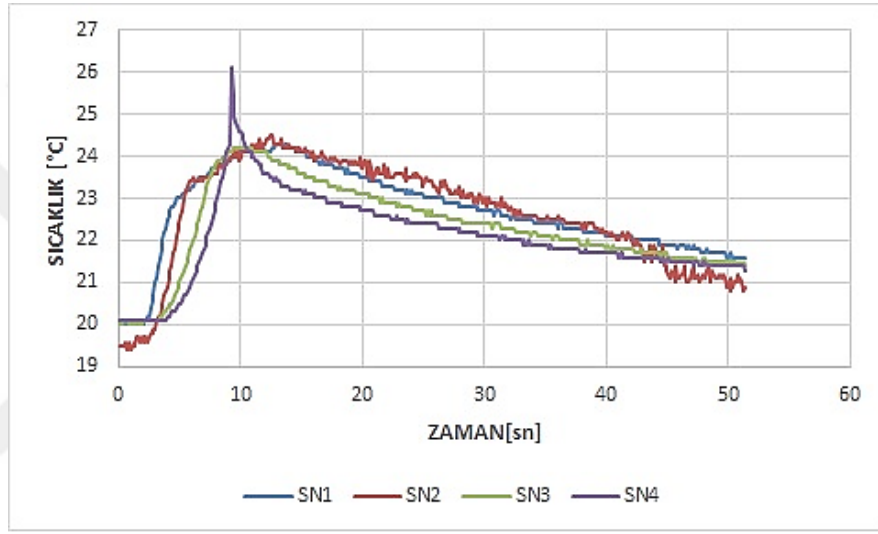
Şekil 4.8’de ise farklı bir malzeme olan kesme kuvvet sonuçları daha düşük gözlenmiş olan MSG215 malzemesi üzerinden durulmuştur. Ölçüm noktalarında farklı sıcaklık artış değerleri gözlenmiştir, en yüksek sıcaklık artışı ise talaş birikmesi ile oluştuğu düşünülen, o bölgeye yakın SN4 bölgesinde yaşanmıştır. Bu bölgede 15 derece sıcaklık artışı gözlenmiştir.



Şekil 4.8. 4 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.

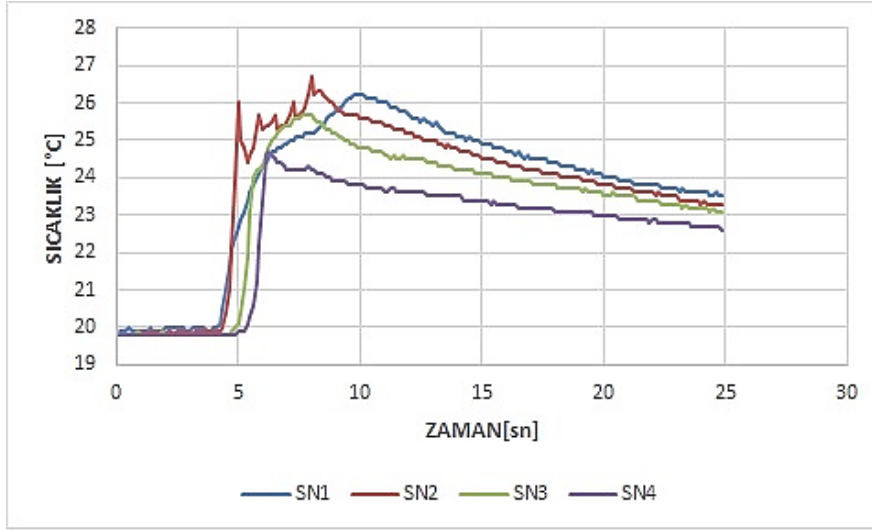
4.4. Karbür Takım Sıcaklık Sonuçlar

Bir önceki bölümde kuvvetler incelenirken karbür takımlarla yapılan delik delmelerde HSS takımlara oranla 3-4 kat daha az kuvvetler elde edilmişti. Bu yüzden sıcaklık verlerinin de alınmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. MSG215 malzemesiyle yapılan testte 100 m/dk hız ve 0,15 mm/dev ilerleme kullanılmıştır. Bu halde sıcaklık artışı yaklaşık olarak 4 derece olarak ölçülmüştür. Ölçüm noktalarında farklı sıcaklık artış değerleri gözlenmiştir, en yüksek sıcaklık artışı ise yine talaş birikmesi ile oluştuğu düşünülen, o bölgeye yakın SN4 bölgesinde yaşanmıştır. Bu bölgede diğer bölgelerden farklı olarak 7 derece bir artış gözlenmiştir.



Şekil 4.9. 5 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.

Son olarak MSG30 malzemesiyle yapılan testte 200 m/dk hız ve 0,25 mm/dev ilerleme kullanılmıştır. Bu halde sıcaklık artışı yaklaşık olarak 7 derece olarak ölçülmüştür. Ölçüm noktalarında farklı sıcaklık artış değerleri gözlenmiştir.



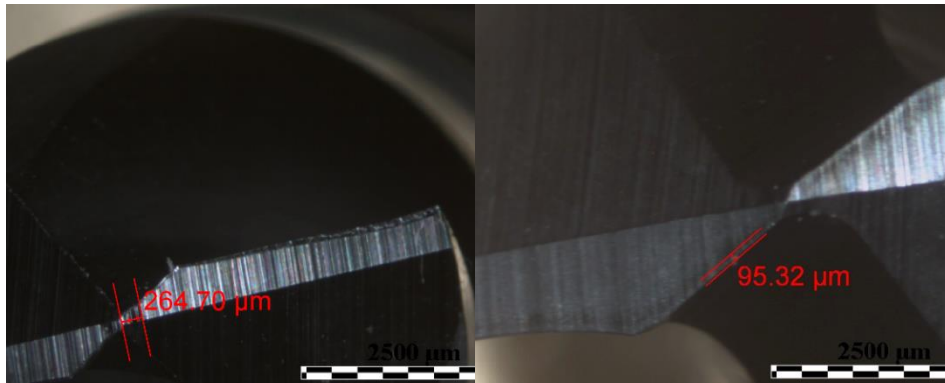
Şekil 4.10. 6 nolu parametrelerde delik delmenin sıcaklık sonuçları.

5. DELİK DELME İŞLEMİ SONRASI İŞLENEBİLİRLİK İNCELEMELERİ

Numune olarak üretilen parçalarda delik delme kuvveti ve delme esnasında oluşan sıcaklık ölçümlerinin ardından takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve delik daireselliği incelenmiştir. Öncelikle kesme kuvvet deneylerinin (162 adet delik delme işlemi) sonrasında kesici takımların aşınma oranlarına ait bulgular elde edilmeye çalışılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve elde edilen deliğin boyutsal doğruluğu ise sıcaklık ölçümlerinde kullanılan numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca delik çaplarındaki sapmayı görebilmek için delik çapları hassas cihazlarla ölçülmüş, hata oranları tespit edilmeye çalışılmıştır.

5.1. Takım Aşınmaları

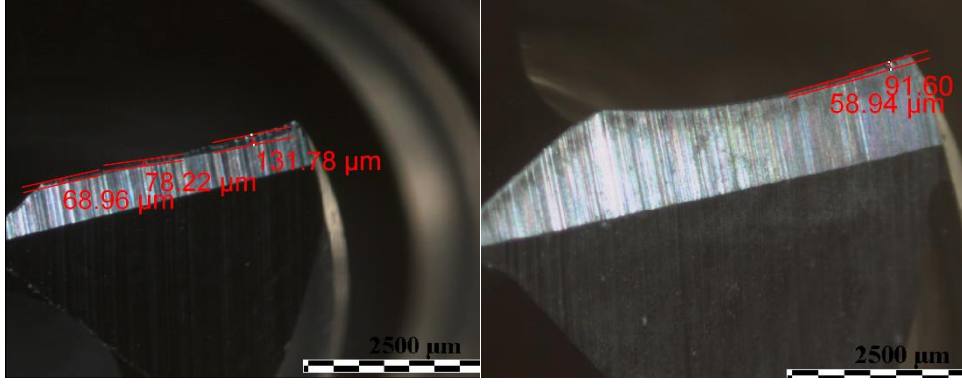
Takım aşınmasının, delme işlemi esnasında delik kalitesi ve boyutsal hassasiyet üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Takım aşınması operasyonlar sonucunda kritik aşınma seviyesine ulaşabilir. Bu durum ise takımda büyük bir soruna dolayısıyla büyük işleme problemlerine neden olur. Takım aşınmasının fazla olması yüksek kesme kuvvetleriyle ilişkilidir, sonuçta iş parçasına ve takım tutucuya zarar verebilir. [71] Fakat grafit malzemeler yüksek ısı iletkenliğe sahip olduklarından ötürü sonuçlar irdelenmek istenmiştir.



(a)

(b)

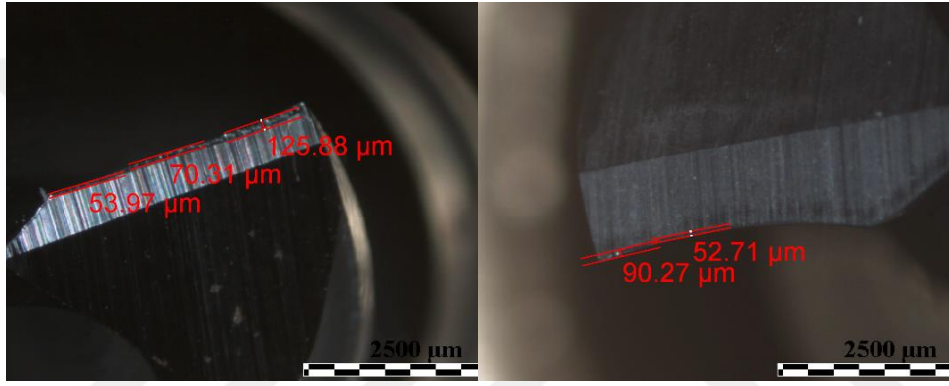
Şekil 5.1. Takımların deneyler sonrasında radyal ağız aşınmaları.



(a)

(b)

Şekil 5.2. Takımların deneyler sonrasında sağ serbest yüzey aşınmaları.



(a)

(b)

Şekil 5.3. Takımların deneyler sonrasında sol serbest yüzey aşınmaları.

HSS takımında karbür takıma nazaran üç-dört kat kesme kuvvetlerinin elde edildiğinden yukarıda bahsedilmiştir. Dolayısıyla elde edilen görüntülerde aynı malzemeler ve aynı parametreler olmasına rağmen takım aşınmalarının karbür takıma oranla HSS takımında 1,5-2 kat daha fazla olduğunu anlayabiliriz.

5.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

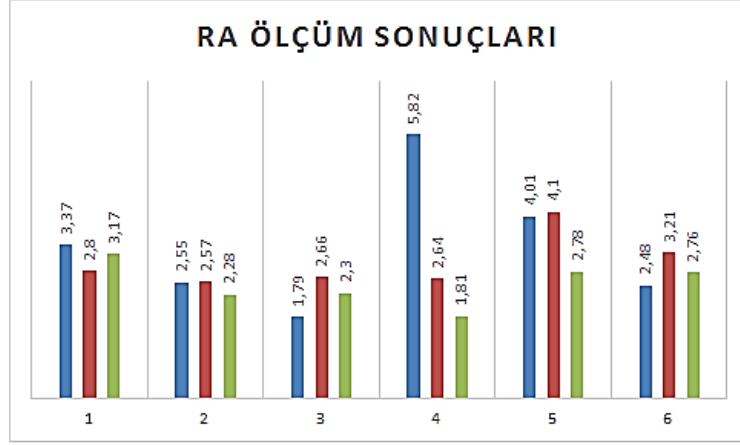
Delik delinmiş numunelerin üç yerinden 120 derece açıyla ve 10 mm derinliğinde Mitutoyo SJ201 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla Ra değerleri alınmıştır. Bu değerler grafiğe aktarılmıştır. Şekil 5.5. ölçüm sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 5.1. Pürüzlülük ölçümleri deney parametreleri.

Delik Delme No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Takım
1	MSG30	100	2650	0,25	HSS
2	MSG30	100	2650	0,15	HSS
3	MSG46	200	5300	0,25	HSS
4	MSG215	200	5300	0,15	HSS
5	MSG215	200	5300	0,15	WC-Co
6	MSG30	200	5300	0,25	WC-Co



Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm düzeneği.



Şekil 5.5. R_a yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları.

4 ve 5 nolu parçalarda pürüzlülük değerlerinin daha yüksek çıkmasının nedeni parçaların ortalama boyutunda kaynaklanmaktadır. Burada kullanılan tane boyutu yüksek olduğu için üç ölçüm arasında alınan değerler arasında farklılıklar gözlenmiştir. Daha küçük taneli MSG46 malzemesinin pürüzlülük sonuçları en iyi değerleri sağlamıştır. Bunun dışında ilerleme arttıkça pürüzlülük değerlerinin arttığı, karbür takımıyla daha düşük pürüzlülük değerleri elde edildiği yorumları yapılabilir.

5.3. Delik Boyutsal Doğruluğu-Daireselliği

Talaşlı imalatta, delme işlemlerinde istenen delik kalitesinin sağlanması önemli noktalardan birisidir. Matkap takımı ile delinmiş bir delikte, delik çapının istenen toleranslar dahilinde ölçü tamlığını ve geometrik olarak daireselliğini sağlamak oldukça güçtür. Bunun önüne geçmek maksadıyla genellikle delik büyütme. gibi ikincil işlemlerin uygulanması endüstride oldukça yaygındır. Fakat ikinci bir işlem yapmak, süre ve proses olarak işlemlerin uzaması anlamına gelmektedir. [72]

Bu sebepten deliğin istenilen ölçü tamlığı ve dairesellik bakımından bir defada üretilmesi son derece önemlidir. Bu bölümde, bu özelliklerin girdi parametrelerine bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla bir değerlendirme yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen deliklerin çapları (çaptan sapma) ve ovalitesi (daireellikten sapma) CMM tezgahında hassas bir şekilde ölçülerek elde edilen verilere göre değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 5.6. Delik çaplarının CMM cihazında ölçümü.

Çizelge 5.2. Delik delme parametrelerine bağlı olarak CMM ölçümleri.

Delik Delme No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Takım	Matkap Çapı	Delik Çapı (CMM)
1	MSG30	100	2650	0,25	HSS	11,992	11,9962
2	MSG30	100	2650	0,15	HSS	11,992	11,9918
3	MSG46	200	5300	0,25	HSS	11,992	11,9886
4	MSG215	200	5300	0,15	HSS	11,992	11,9997
5	MSG215	200	5300	0,15	WC- Co	11,997	12,0113
6	MSG30	200	5300	0,25	WC- Co	11,997	11,9908

Çizelge 5.3. Delik çapları hata oranlarının hesap çizelgesi.

Delik Delme No	Matkap Çapı	Delik Çapı (CMM)	Hata Oranı (%)
1	11,992	11,9962	0,35
2	11,992	11,9918	0,001
3	11,992	11,9886	0,02
4	11,992	11,9997	0,06
5	11,997	12,0113	0,11
6	11,997	11,9908	0,05

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında son yıllarda tüm dünyada ve ülkemizde giderek kullanımı artan, ileri malzemelerin bir çeşidi olan özel grafit malzemesinin delik delme operasyonları deneysel olarak incelenmiştir. Delik delme operasyonları esnasında meydana gelen sıcaklık ve kuvvetler ölçülmüştür. Çalışmada elde edilen bulgular maddeler halinde verilmiştir.

- Özel grafitlerin delik delmesi esnasında talaş formu ve işleme karakteristikleri metallere daha farklıdır. Özellikle toz halinde meydana gelen talaşın parça içinde birikip takımı zorlayıcı ve bu noktada kuvvet ve sıcaklık artırıcı etkenlere sebep olduğu anlaşılmıştır.
- Özel grafitlerin delik delmesi esnasında metal ve kompozit malzemelere oranla yüksek kuvvet diğer anlamda güce ihtiyaç duyulmamaktadır. Genel olarak deneyde kullanılan özel grafitlerin delik delmesinde 50 N-200 N arasında kuvvetlere rastlanmıştır.
- Tez çalışmasında gerçekleştirilen delik delme operasyonları esnasında elde edilen maksimum kuvvet değeri 182 N'dur. Elde edilen maksimum dönme momenti ise 2,94 Nm'dir.
- Delik delinen malzemelere oranla kesme kuvvetleri büyük değişkenlik göstermiştir. Tane büyüklüğü diğer iki malzemeye nazaran daha fazla olan ekstrüde yöntemle üretilmiş olan MSG215 malzemesinde maksimum kuvvet 48 N olarak ölçülmüşken; tane yönlenmesi daha iyi, boyutları daha küçük olan izostatik presleme metoduyla üretilmiş olan MSG46 malzemesinde bu değer 182 N'dır.

- Malzemeye oranla ölçülen kuvvetler arasında 3 kat kadar fark tespit edilmiştir. Birbirine yakın özelliklere sahip malzemeler olan MSG30 ile MSG46 malzemelerinin kesme kuvvetlerinde büyük bir farklılık görülmemiştir.
- Ayrıca MSG215 malzemesinin ortalama tane büyüklüğü 0,9 mm olduğu için kuvvet değerlerinde büyük dalgalanmalara rastlanmıştır. Şöyle ki, aynı parametrelerde gerçekleşen delik delme testlerinde kuvvet farkı 3-4 N kadar değişim göstermiştir. Buradan tane büyüklüğü kadar malzeme yapısının anizotropik olduğu kanısına varılmış, malzeme yönelmesinin iyi olmadığı teyit edilmiştir.
- Özel grafitlerin delik delmesinde büyük sıcaklıklara rastlanmamıştır. En büyük sıcaklık artışına MSG215 malzemesinin delik delinmesinde 200 m/dk hızda 0,15 mm ilerleme değerinde rastlanmıştır. Burada ölçülen sıcaklık artışı değeri 15 °C olmuştur.
- En az sıcaklık artışı ise MSG30 malzemenin HSS matkap malzemesiyle 2650 m/dk hızda 0,25 mm/dev ilerlemede rastlanmıştır.
- Grafitlerden çıkan tozlar nedeniyle bu malzemelerin işleneceği tezgahların bakımı çok iyi yapılmalıdır, işleme esnasında grafit tozunu çeken çekiş sistemleri kullanılmalıdır. Özellikle kızaklarda birikebilen tozlar ağır hasarlara sebebiyet verebilmektedir. Bu yüzden grafiti işleyecek işletmelerin özel bir bakım planları bulunmalıdır.

Bu tez çalışmasında özel grafit sektörü hakkında detaylı bilgi verilmeye çalışılmış, çok fazla kaynak bulunamayan talaşlı işlemleri hakkında fikir edinilmeye çalışılmıştır. İleri teknoloji ürünlerinde ve işlemlerinde kullanılan bu malzemeler hakkında araştırmalar çoğaldıkça veriler daha sağlamlaşacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Pierson H.O.**, (1993)., *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes, 1-Introduction and General Considerations*, (Pp.1-10), William Andrew Publishing, Retrieved from (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815513391500062>)
- [2] **Pierson H.O.**, (1993). *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes, 3 - Graphite Structure and Properties*, (Pp.43-69), William Andrew Publishing, Retrieved from (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815513391500086>)
- [3] **Mcenaney B.**, (1999). Timothy D. Burchell (Eds.) *Carbon Materials for Advanced Technologies, 1 - Structure and Bonding in Carbon Materials*, (Pp.1-33), Elsevier Science Ltd, Retrieved from (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080426839500030>)
- [4] **Poco Graphite**, (2015). *Properties and Characteristics of Graphite for Industrial Applications*, (IND: 109441-0115) Texas USA
- [5] **Pierson H.O.**, (1993). *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes, 10 - Natural Graphite, Graphite Powders, Particles, and Compounds*, (Pp.226-243), William Andrew Publishing, Retrieved from (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815513391500153>)
- [6] **Scocings A.**, (2018, July). *Industrial Minerals, Graphite, Society for Mining, Metalurgy and Explanation Inc.*, (Pp55-58), Retrieved from (<http://www.miningengineeringmagazine.com>)
- [7] **Speight J.G.**, (2015). *Handbook of Petroleum Product Analysis, 10 - Coke, Carbon Black and Graphite*, (Pp.285-295), John Wiley & Sons Retrieved from (<http://app.knovel.com>)
- [8] **Tokai Carbon**, (2015). *A presentation of our company*, (Pp.14-16) [PowerPoint Slides], Retrieved from <https://www.tokaicarbon.co.jp/en/ir/library>
- [9] **Tamashausky A.V.**, (2006). *An Introduction to Synthetic Graphite*, Asbury Carbon, New Jersey USA, Retrieved from <https://asbury.com/media/1225/syntheticgraphiteparti.pdf>
- [10] **Karvatskii A. , Leleka S., Pedchenko A., Lazarev T.**, (2017). Investigation of the current state of isostatic graphite production technology, *Material Science* 2226-3780, 16-21, 18-19, <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.98125>

- [11] **Pierson H.O.**, (1993). *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes*, 5- *Molded Graphite: Processing, Properties and Applications*, (Pp.87-121), William Andrew Publishing, Retrieved from (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815513391500104>)
- [12] **Schunk Kohlenstofftechnik**, (2004).). *Manufacturing Process and Material Properties of Carbon and Graphite Materials*, (IND: 0305e-2004) Heuchhalheim Germany
- [13] **SGL Company**, (2000) *Sigrafine Products, Extruded Graphites*, (Pp.3-5) Munchen SGL Company
- [14] **Cera Materials**, (2010) *Notes for Extruded Graphite, Extruded Graphites* (Pp.2-6) New York USA Cera Materials
- [15] **Toyo Tanso**, (2018) *Carbon and Graphite Products, Special Graphites*, (Pp.8-12) Osaka JAPAN Toyo Tanso
- [16] **Inagaki M., Toyoda M., Kang F., Konno H.**, (2014). *Advanced Materials Science and Engineering of Carbon, 16- Highly Oriented Graphite with High Thermal Conductivity*, (Pp.363-386), Retrieved from(https://www.researchgate.net/publication/288195719_Highly_Oriented_Graphite_with_High_Thermal_Conductivity)
- [17] **SGL Company**, (2000) *Speciality Graphites for the Metal Industry*, (Pp.7-11) Munchen Germany SGL Company
- [18] **CFC Carbon Company**, (2010) *News for the Graphite Products* (Pp.5-8) Beijing China CFC Carbon
- [19] **SGL Company**, (2000) *Speciality Graphites for the Electrical Discharge Machining*, (Pp.13-22) Munchen Germany SGL Company
- [20] **Mersen Ellor Graphites**, (2003) *Speciality Graphites for the Electrical Discharge Machining*, (Pp.3-6) France Mersen Company
- [21] **Tokai Carbon**, (2006) *Unique Properties of Graphite*, (Pp.1-3) Tokai Italia
- [22] **Inagaki M., Toyoda M., Kang F., Konno H.**, (2014). *Advanced Materials Science and Engineering of Carbon, Isotropic High-density Graphite and Nuclear Applications*, (Pp.387-410), Retrieved from(https://www.researchgate.net/publication/288195719_Highly_Oriented_Graphite_with_High_Thermal_Conductivity)

- [23] **Morgan Advanced Materials**, (2012) *Electrical Carbon Brush Catalogue* (Pp.9-11) National USA Morgan
- [24] **Mersen Graphites**, (2003) *Continuous Casting Applications*, (Pp.1-2) France Mersen Company
- [25] **Morgan Advanced Materials**, (2012) *Aluminium Applications*, (Pp.6-8) Berkshire United Kingdom Morgan
- [26] **SGL Company**, (2000) *Speciality Graphites for the High Temperature Furnaces* (Pp.6-10) Munchen Germany SGL Company
- [27] **SGL Company**, (2000) *Speciality Graphites for the Glass and Refractory Industries* (Pp.6-10) Munchen Germany SGL Company
- [28] **März B., Jolley K., Smith R., Wu H.**, (2018). Near-surface structure and residual stress in as-machined synthetic graphite, *Material and Design*, 159, 103-116, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.08.041>
- [29] **Toyo Tanso**, (2018) *SiC coated graphite*, (Pp.12-13) Osaka JAPAN Toyo Tanso
- [30] **Pierson H.O.**, (1993). *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes*, 7 – *Pyrolytic Graphite*, (Pp.141-164), William Andrew Publishing, Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815513391500128>
- [31] **März B., Jolley K., Smith R., Wu H.**, (1999). Recent development of carbon materials for Li ion batteries, *Carbon*, 38, 159, 183-197, [https://doi.org/10.1016/S00086223\(99\)00141-4](https://doi.org/10.1016/S00086223(99)00141-4)
- [32] **Yeh C.,**, (1990). *Handbook of Fiber Optics*, 1 – *Introduction*, (Pp.1-10), Academic Press, Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780127704555500067>
- [33] **Nippon Carbon,**, (2011) *Graphite Products for Industrial Application* (Pp.1-4) Tokyo JAPAN Nippon Carbon
- [34] **Çuhadaroğlu A.D., Kara E.**, (2018). Grafit: Bir Genel Değerlendirme, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, Cilt:8, Sayı:1, (S. 15-33)
- [35] **Zhou L, Wang C Y, Qin Z** (2008). Tool wear characteristics in high-speed milling of graphite using a coated carbide micro endmill, *Proc. IMechE Vol. 223, Part B: J. Engineering Manufacture*, DOI: 10.1243/09544054JEM1326

- [36] **Yang Y.K., Chuang M.T., Lin S.S.**(2009). Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods, 209, 9, 4395-4400, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.11.021>
- [37] **Wang C.Y., Zhou L., Fu H., Hu Z.L.,** (2007) High-speed Milling of Graphite Electrode with Small Diameter Endmill, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, CJME.2007.04.027, 27-31 DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.315-316.319
- [38] **Ramulu M., Young P., Kao H.** (1999) Drilling of Graphite/Bismaleimide Composite Material, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 8, 3, 330–338 <https://doi.org/10.1361/105994999770346882>
- [39] **Schroeter R.B., Kratochvil R. Oliveira Gomes J.** (2006) High-speed finishing milling of industrial graphite electrodes, *Journal of Materials Processing Technology*, 179, 1–3, 128- 132., <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.076>
- [40] **Cabral G., Reis P., Polini R., Titus E., Ali N., Davim J.P., Grácio J.** (2006) Cutting performance of time-modulated chemical vapour deposit diamond coated tool inserts during machining graphite, *Diamond and Related Materials*, 15(10), 1753-1758, <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2006.03.007>
- [41] **SP3 Cutting Tools,** (2014) *Graphite Machining Guides for Cutting Tools*, (Pp.1-6), Ohio USA SP3 Cutting Tool
- [42] **Huo D., Lin C., Dalgarno K.** (2014) An experimental investigation on micro machining of fine-grained graphite, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(5-8), 943-953, <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5730-x>
- [43] **Lei X., Wang L., Shen B, Sun F. Zhang Z.** (2013) Comparison of chemical vapor deposition diamond-, diamond-like carbon- and TiAlN-coated microdrills in graphite, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 227(9), 1299-1309 <https://doi.org/10.1177/0954405413487898>
- [44] **Almeida F.A., Sacramento J., Oliveira F.J., Silva R.F.**(2008) Micro- and nano- crystalline CVD diamond coated tools in the turning of EDM graphite, *Surface and Coatings Technology*, 203(3-4), 271-276 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.08.075>

- [45] **Zhou L., Wang C.Y., Qin Z.**(2008) Tool wear characteristics in high-speed milling of graphite using a coated carbide micro endmill,, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 223(3), 267-277, <https://doi.org/10.1243/09544054JEM1326>
- [46] **Hashimoto M., Kanda K., Tsubokawa T.** (2018) Reduction of diamond-coated cutting tool wear during graphite cutting, *Precision Engineering*, 51, 186–189 <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2017.08.009>
- [46] **H.L. Tonshoff, W. Spintig, and W. Konig, A. Neises** (1994) Machining of Holes Developments in Drilling Technology, *Manufacturing Technology*, 43(2):551-561, [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60501-0](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60501-0)
- [48] **Şeker U.**, (2014). *MAK208 Ders Notları*, (Pp.13-17) [PowerPoint Slides], Retrieved from http://w3.gazi.edu.tr/~useker/dersler/notes/mak208_7-
- [49] **Kalidas, S., DeVor R.E., Kapoor S.G.**, (2001) Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling, *Surface and Coatings Technology*, 148, 2–3, 3, 117-128 [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(01\)01349-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01349-4)
- [50] **Stephenson D.A.**, (2016). *Metal Cutting Theory And Practice*, (Pp.548-561), CRC Press, Retrieved from (https://books.google.com.tr/books/about/Metal_Cutting_Theory_and_Practice.html?id=PvK72Ymaj10C&redir_esc=y)
- [51] **Akkurt M.** (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*, (S.23-90), İstanbul, Birsen Yayınevi
- [52] **Shaw M.C.**(2005). *Metal Cutting Principles*, (Pp.206-265), Oxford University Press, Retrieved from (https://books.google.com.tr/books/about/Metal_Cutting_Principles.html?id=VxNiQgAACAAJ&redir_esc=y)
- [53] **Sölter J., Gulpak M.** (2012). Heat partitioning in dry milling of steel, *CIRP Annals*, 61, 1, 87-90, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.046>
- [54] **Beno T.,Hulling U.**(2012). Measurement of Cutting Edge Temperature in Drilling, *Procedia CIRP*, 3, 531-536, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.091>
- [55] **Çakıroğlu R.,Yağmur S., Acır A., Şeker U.**,(2017). Modelling of Drill Bit Temperature and Cutting Force in Drilling Process Using Artificial Neural Networks, *Journal of Polytechnic*, 20 (2) ,333-340

- [56] **Grzesik W.**, (2016)., *Advanced Machining Processes of Metallic Materials Theory, Modelling, and Applications*, (Pp.163-182), Elsevier Press, Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/book/9780444637116/advanced-machining-processes-of-metallic-materials#book-info>
- [57] **Stephenson, D. A.** (1993). Tool-work thermocouple temperature measurements theory and implementation issues, *J. Eng. Ind.*, 115(4), 432- 437, doi:10.1115/1.2901786
- [58] **Li R., Shih A. J.** (2007)., Spiral point drill temperature and stress in high-throughput drilling of titanium, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47, 12–13, 2005-2017, <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.01.014>
- [59] **Dewes R. C., Ng E., Chua K. S., Newton P. G., Aspinwall D. K.** (1999)., Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 92–93, 293-301, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00116-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00116-8)
- [60] **Reichenbach G. S.** (1958)., Experimental measurement of metal cutting temperature distribution. *Trans. ASME*, 80, 525-546
- [61] **Putz M., Schmidt G., Semmler U., Oppermann C., Bräunig M., Karagüzel U.** (2016)., Modeling of Heat Fluxes During Machining and Their Effects on Thermal Deformation of the Cutting Tool, *Procedia CIRP*, 46, 611-614, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.046>
- [62] **Bono M. , Ni J.** (2002)., A method for measuring the temperature distribution along the cutting edges of a drill. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124(4), 921-3 <https://doi.org/10.1115/1.1511525>
- [63] **Merino-Pérez JL** (2015)., On the temperatures developed in CFRP drilling using un-coated WC-Co tools Part I: Workpiece constituents, cutting speed and heat dissipation, *Composite Structures*, 123, 161-168 <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.12.033>

- [64] **Zeilmann R.P., Weingaertner W.L.**,(2006)., Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant, *Journal of Materials Processing Technology*, 179,1–3, 124-127, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.077>
- [65] **Lazoglu I., Poulachon G., Ramirez C., Akmal M., Marcon B., Rossi F., Outeiro J.C., Krebs M.**(2017)., Thermal analysis in Ti-6Al-4V drilling, *CIRP Annals*,66,1,105-108 <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.020>
- [66] **Wang C.Y., Chen Y.H., An Q.L, Cai X.J., Ming W.W., Chen M.**,(2015)., Thermal analysis in Ti-6Al-4V drilling, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*,16,8,1689–1697 <https://doi.org/10.1007/s12541-015-0222-y>
- [67] **Patne H.S., Kumar A., Karagadde S. , Joshi S.** (2017)., Modeling of temperature distribution in drilling of titanium,, *International Journal of Mechanical Sciences*, 133, 598-610 <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.09.024>
- [68] **Ucak N., Cicek A.** (2018)., The effects of cutting conditions on cutting temperature and hole quality in drilling of Inconel 718 using solid carbide drills, *Journal of Manufacturing Processes*, 31,662-673 <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.01.003>
- [69] **Budak E.** (2014), *Talaşlı İmalatın Mekaniği Analizi Ders Notları*, (S.25-28), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [70] **Kuzu A.T.** (2016). *Kompakt grafitli dökme demirin delik delme işleminin incelenmesi ve sıcaklık modelinin oluşturulması* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [71] **Bakkal M., Shih A.J., McSpadden S.B., Scattergood R.O.** (2005). Thrust force, torque, and tool wear in drilling the bulk metallic glass, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 7–8, 863- 872, <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.11.005>
- [72] **Kuzu A. , Kuzu A.T. , Rahimzadeh K. , Gokasan M., Bogasyan S., Bakkal M.**(2014). Autonomous hole quality determination using image processing techniques, *Industrial Electronics (ISIE)*, 2014 IEEE 23rd International Symposium on, İstanbul, 966-971



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mustafa YILDIZ
Doğum Yeri ve Tarihi : 15.08.1989, ANKARA
E- Posta : yildizmstf@yandex.com

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans : 2011, YTÜ, Makine Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü