TORNALAMA İŞLEMİNDE KESİCİ TAKIM ÖMRÜNÜN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

Erdoğan ÇEVİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2006
ANKARA

Erdoğan ÇEVİK tarafından hazırlanan TORNALAMA İŞLEMİNDE KESİCİ TAKIM ÖMRÜNÜN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç.Dr.İhsan KORKUT	Yrd. Doç.Dr. İbrahim ÇİFTÇİ
Tez Yöneticisi	Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

Üye : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Üye : Doç. Dr. Ferhat GÜL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ

Üye : Yrd. Doç. Dr. İhsan KORKUT

Tarih : ...../……/……

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

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Erdoğan ÇEVİK

TORNALAMA İŞLEMİNDE KESİCİ TAKIM ÖMRÜNÜN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

(Yüksek Lisans Tezi)

Erdoğan ÇEVİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006

ÖZET

Bu çalışmada, tornalama işlemi esnasında hızlı kesici takım aşınmasına neden olan malzemelerin işlenmesinde kesici takım ömrünü iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda, aşınmış kesici takımın yan boşluk açısının değiştirilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde, kesici takım yan yüzeyindeki yan yüzey aşınma bandının ikinci bir yan boşluk açısı olarak işlev yapacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, sementit karbür bir kesici takım kullanılarak küresel grafitli dökme demirler üzerinde talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Kesici takım yan boşluk açılarını 3°, 5°, 7° ve 9° olarak değiştirecek şekilde takım tutucu altına kamalar yerleştirilmiştir. Boşluk açısını değiştirilmesi sonucu aşınmış bir kesici takımın kesme işlemini tekrar etkin olarak yapabileceğini belirlemek için deneyler esnasında kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Elde edilen kesme kuvvetleri sonuçları, aşınmış bir kesici takımın boşluk açısının değiştirilmesi ile bu takımın belirli bir süre daha etkin olarak kesme işlemi yapabileceğini göstermiştir.

Bilim Kodu : **708.3.028**
Anahtar Kelimeler : **Tornalama, Takım ömrü, Boşluk açısı, Kesme Kuvvetleri**
Sayfa Adedi : **70**
Tez Yöneticisi :**Yrd. Doç.Dr. İhsan KORKUT**
Yrd. Doç.Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

AN ALTERNATIVE APPROACH FOR TOOL LIFE IMPROVEMENT WHEN TURNING

(MSc Thesis)

Erdoğan ÇEVİK

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

June 2006

ABSTRACT

In this study, an alternative approach has been proposed for tool life improvement when turning materials which lead to rapid tool wear. This approach was based on changing the side relief angle of the worn cutting tool. It was considered that changing the side relief angle lets the flank wear land acts as a second side relief angle on the tool flank face. For this purpose, turning tests were carried out on ductile irons using a cemented carbide cutting tool. In order to provide the cutting tool to operate with 3°, 5°, 7° and 9° side relief angles, different wedges were inserted below the tool holder. The cutting forces were measured during the tests to determine whether a worn cutting tool can cut effectively after changing the side relief angle. The cutting force results obtained showed that changing the side relief angle of a worn cutting tool enables this tool to be used effectively for a while more.

Science code : **708.3.028**
Key words :**Turning, Tool life, Relief angle, Cutting forces**
Page number : **70**
Adviser : **Assist.Prof. Dr. İhsan KORKUT**
Assist.Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince değerli yardım ve fedakarlıklarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren değerli danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ ve Yrd. Doç. Dr. İhsan KORKUT'a, kamaların imalatında bana yardımcı olan Teknik Öğretmen Yusuf UĞUR'a, işlenebilirlik deneyleri sırasında bana yardımcı olan Arş. Gör. Mustafa GÜNAY'a teşekkürü bir borç bilirim. Benim eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen anneme, babama ve kardeşime teşekkür ederim. Ayrıca, yapılan bu çalışmanın her aşamasında sabır ve desteği ile yanımda olan eşim Nursel'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR ..... **vi**

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. TALAŞLI İMALAT 4

2.1. Talaşlı İmalat 4

2.2. İşlenebilirlik 6

2.3. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Oluşumu 8

2.4. Takım-Talaş Arayüzeyi ve Yığıntı Talaş Oluşumu 9

2.5. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri 11

2.6. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık 12

2.7. Kesici Takımlar 14

2.7.1. Kesici takım geometrisi 14

2.7.2. Kesici takım malzemeleri 15

2.8. Takım Aşınması 29

2.9. Küresel Grafitli Dökme Demirler 31

2.9.1. Küresel grafitli dökme demirlerin üretim türleri 35

2.9.2. Küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması 37

2.9.3. Küresel grafitli dökme demire alaşım elementlerinin etkisi 38

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 40

3.1. Talaşlı İmalat İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi 40

3.2. Literatür Değerlendirmesi 49

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 50

4.1. Talaş Kaldırma Deneyleri 50

4.1.1. Kesici takım ve takım tutucu 50

4.1.2. Takım tezgahı 51

4.1.3. Takım mikroskobu ve yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı 51

4.1.4. Kamaların hazırlanması 52

4.1.5. Kesici takım aşındırma deneyleri 55

4.2. İş Parçası Malzemesi ve Analizi 56

4.2.1. Malzeme sertlik ölçümü 56

4.2.2. Metalografik İnceleme 56

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 57

5.1. Ön Deneyler 57

5.2. Esas Deneyler 58

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 63

KAYNAKLAR 65

ÖZGEÇMİŞ 70

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Yüksek hız çeliklerindeki alaşım elementleri ve bunların yüksek hız çeliğinin özellikleri üzerindeki etkileri 17

Çizelge 2.2. KGDD' in mühendislik özelliklerinin diğer malzemelerin özellikleri ile karşılaştırılması 34

Çizelge 2.3. TS 526 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması 38

Çizelge 2.4. DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması 38

Çizelge 3.1. Kesici takım malzemeleri, yaklaşık olarak ilk kullanılma tarihleri ve kabul edilebilir kesme hızları..... 43

Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı teknik özellikleri 51

Çizelge 4.2. Kama ölçüleri 53

Çizelge 4.3. GGG-70 sınıfı KGDD'in kimyasal bileşimi (% Ağırlık) 56

Çizelge 5.1. Talaş kaldırma deneyleri sonucunda elde edilen takım ömürleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 57

Çizelge 5.2. Esas deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri 61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil Sayfa

Şekil 2.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi 5

Şekil 2.2. Dik kesme modeli 8

Şekil 2.3. Gerçek talaş oluşumu 9

Şekil 2.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri 11

Şekil 2.5. Kesme bölgesinde ısı oluşumu 12

Şekil 2.6. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım 14

Şekil 2.7. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi 30

Şekil 2.8. Değişik KGDD türlerinin $\sigma_ç$ (Çekme) ve % ε (Uzama) değerleri 36

Şekil 2.9. Östemperli KGDD'lerin çekme mukavemetinin diğer mühendislik malzemeleri ile karşılaştırılması 37

Şekil 3.1. Döner kesici takım ve silindirik iş parçası 48

Şekil 4.1. SPUN 120304 K15 kesici takımın parametreleri ve parametre değerleri 50

Şekil 4.2. CSBPR–2525M-12 formunda takım tutucunun parametreleri ve değerleri 51

Şekil 4.3. Kama bağlama aparatı 53

Şekil 4.4. Kama taşlama düzeneği 54

Şekil 4.5. Kamaların şematik resmi 54

Şekil 5.1. Kesici takım yan boşluk açısı 3º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri 59

Şekil 5.2. Kesici takım yan boşluk açısı 5º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri 60

Şekil 5.3. Kesici takım yan boşluk açısı 7º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri 60

Şekil Sayfa

Şekil 5.4. Kesici takım yan boşluk açısı 9º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri 61

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim Sayfa

Resim 2.1. KGDD'in mikro yapısı 33

Resim 3.1. Al-%8 SiC/45 MMK malzemenin kaplamasız sementit karbür kesici takımla a. 20 m/dak ve b. 80 m/dak kesme hızlarında işlenmesi sonucu oluşan kesici takım aşınmaları 46

Resim 4.1. Takım mikroskobu 52

Resim 4.2. Kesici takımın kama ile bağlanması 55

Resim 4.3. Kesici takımın kama ile bağlanması 56

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
a	Talaş derinliği, (mm.)
f	İlerleme hızı, (mm./devir)
F_c	Esas kesme kuvveti, (N.)
F_f	İlerleme kuvveti, (N.)
l_s	Kayma düzlemi uzunluğu, (mm.)
R_a	Ortalama pürüzlülük değeri, (μm.)
t_0	Deforme olmamış talaş kalınlığı, (mm.)
t_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı, (mm.)
V	Kesme hızı, (m./dak.)
w	İş parçası genişliği, (mm.)
α	Kesici takım talaş açısı, (°)
ϕ	Kayma düzlemi açısı, (°)

Kısaltmalar	**Açıklama**
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
BUE	Built-Up-Edge (Yığıntı Talaş)
CBN	Cubic Boron Nitrur (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numarical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
HRc	Rockwell Sertlik Değeri
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
HV	Vickers Sertlik değeri
ISO	International Standart Organization (Milletlerarası Standart Organizasyonu)

Kısaltmalar	**Açıklama**
KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
MMK	Metal Matrisli Kompozit
PCD	Poly Crystal Diamond (Çok Kristalli Elmas)
SEM	(Scanning electoron microscope) Tarama Elektron Mikroskobu
WC	Tungsten karbür

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat işlemleri en önemli üretim yöntemlerinin bir grubunu oluşturmaktadır. Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemlerine maruz kalmaları gerekir. Talaşlı imalat işlemlerinde bir iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı ve kesici takım kullanılarak, talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Uzay ve havacılık, otomotiv, kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleri ile verilir [1].

Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti ve ürün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Talaşlı imalat işlemlerinin maliyetinin düşük olması için kesici takımların yeterince uzun bir süre keskinliğini korumaları ve kesme hızının, ilerleme hızının ve talaş derinliğinin yüksek olması istenir. Kesici takımlar, kesme işlemini etkin bir şekilde yapabilmeleri için talaşlı imalat esnasındaki yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanacak kabiliyette olmalıdır.

Talaşlı imalat metodu ile metal ve alaşımlarını şekillendirmenin yaygınlaştığı Endüstri Devrimi'nden günümüze kadar kesici takımlar alanında yapılan çalışmalar, kesici takımların performanslarında kıyaslanamayacak artışları beraberinde getirmiştir. Yeni kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, kesici takımlara kaplamaların uygulanması ve mevcut kesici takımların geometrilerinin ve yapılarının iyileştirilmesi sonucu kesici takımların aşınma dirençleri ve performansları da önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Örneğin, endüstri devriminin ilk günlerinde sertleştirilmiş karbon çeliği bir kesici takımla buhar motorunun bir silindirini işlemek 27,5 gün sürmüştür [2]. O zaman kullanılan kesme hızının yaklaşık olarak 5 m/dak. olduğu dikkate alınırsa, aynı iş günümüzde seramik veya kübik bor nitrür (CBN) bir kesici takımla 500 m/dak. hatta 1000 m/dak. kesme hızı ile işlenerek 100 ve 200 kat gibi daha kısa sürelerde bitirilebilir. Talaşlı imalat alanındaki gelişmeler yalnızca kesici takım alanı ile sınırlı kalmamıştır. Talaşlı imalatta kullanılan takım tezgâhlarında da

önemli derecede gelişmeler olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte takım tezgahları daha güçlü, daha rijit ve daha işlevsel hale gelmiştir. Dolayısıyla birim zamanda kaldırılan talaş miktarları da artmıştır.

Endüstri devriminin ilk günlerinde kullanılan kesici takımlarla, günümüzde kullanılan kesici takımların performansları arasında kıyaslanamayacak derecede farklar olmasına rağmen, kesici takımlar alanındaki araştırma ve geliştirme faaliyetleri yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bunun da başlıca iki nedeni vardır: Bu nedenlerden birisi; küreselleşen dünyamızdaki zor rekabet şartlarıdır. Birim zamandaki üretim miktarını artırmak ve dolayısıyla maliyeti düşürmek için kesme hızının artırılması çok önemli bir faktördür. Diğer neden ise; endüstriyel ürünler için özellikleri daha iyi olan malzemelerin geliştirilmesi ve kullanılmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda iyi sürünme direnci sergileyen nikel esaslı süperalaşımlar, titanyum alaşımları ve özgül dayanımları ve aşınma dirençleri oldukça yüksek olan metal matrisli kompozit malzemeler (MMK) bu yeni geliştirilen malzemelere örnekler olarak verilebilir. Bu malzemelerin özelliklerinin iyi olması tasarım yönünden caziptir. Ancak, malzemelerin sertlik ve dayanım özelliklerinin yüksek olması, talaşlı imalat metotlarıyla şekillendirme bakımından çoğunlukla problemler çıkarmaktadır [3-6].

Monolitik alaşımlara göre, metal matrisli kompozit malzemelerin yüksek dayanım ve mükemmel aşınma direnci özelliklerine sahip olmalarına rağmen kullanımları günümüzde istenilen düzeyde değildir. Yaygın olarak kullanımlarını engelleyen problemlerden en önemlisinin talaşlı imalat metotlarıyla şekillendirilmelerinin zorluğu olduğu söylenebilir [7-9]. Nikel esaslı süperalaşımların talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde benzer problemlerle karşılaşılmaktadır. Özellikleri iyi olan bu malzemelerin talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde hızlı takım aşınmasının en önemli problem olduğu söylenebilir.

Talaşlı imalattaki hızlı takım aşınmasına neden olan bu malzemelerin işlenmesinde hem takım maliyeti yüksek olmakta hem de sıklıkla işlemin durdurulup takımın değiştirilmesi gerektiği için işleme zamanı artmaktadır. Ayrıca, hızlı takım

aşınmasından dolayı boyut toleranslarında kabul edilemeyecek derecede sapmalar da görülmektedir.

Bu çalışmada, yaygın bir talaşlı imalat yöntemi olan tornalama metoduyla şekillendirme esnasında, hızlı kesici takım aşınmasına neden olan malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların ömürlerinin artırılması için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımla, tornalama işlemi sonucu düzenli yan yüzey aşınmasına maruz kalmış kesici takımın, yan boşluk açısının değiştirilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde, yan yüzeydeki düzenli olarak aşınan yan yüzey aşınma bölgesinin, bu yüzeyde ikinci bir yan boşluk yüzeyi olarak işlev yapacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, küresel grafitli dökme demir malzemeler üzerinde tornalama deneyleri yapılmıştır. Deneylerde boşluk açısı nispeten büyük olan bir sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. Her bir deneyde takım tutucunun altına farklı eğim açısına sahip bir kama yerleştirilerek kesici takımın yan boşluk açısının değiştirilmesine imkân sağlanmıştır. Deneyler esnasında kesme kuvvetleri ölçülerek işleme zamanına bağlı kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda, kesici takım yan boşluk açısı değiştirilerek aşınmış bir kesici takımın etkin olarak tekrar kesme işlemi yapabileceği veya yapamayacağı kesme kuvvetlerindeki değişimle belirlenmeye çalışılmıştır.

2. TALAŞLI İMALAT

2.1. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat, ham veya yarı mamul bir malzemenin, yapım resmine göre parçanın şekillendirilmesi için, fazla boyutların kesici takımla talaş kaldırarak işlenmesidir. İş parçası metal olduğu zaman işlem, metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle şekillendirilebilir [10, 11].

Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır:

- Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.

- Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.

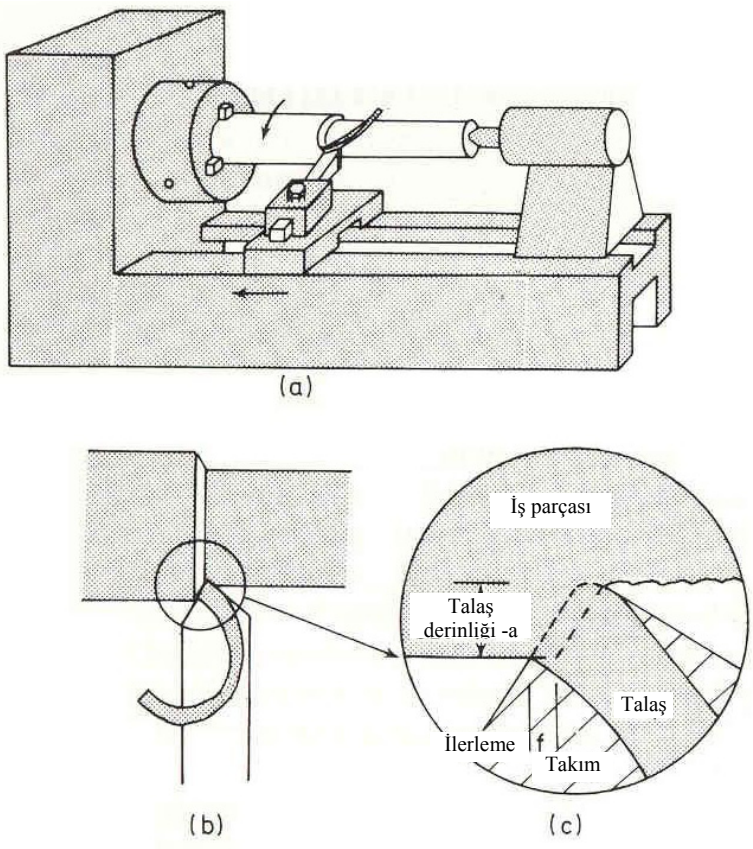
Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda ve çok iyi yüzey kalitesinde sağlanabilir [10].

Farklı geometrilerdeki iş parçalarını talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirebilmek için çeşitli talaşlı imalat işlemleri ve bu işlemlere özgü takım tezgâhları geliştirilmiştir.

Tornalama işlemi, talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası

genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası eksenine paralel veya açılı ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 2.1'de, torna tezgahı ve tornalama işlemini şematik olarak gösterilmektedir.

Kesme hızı (V), kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/min olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), iş paçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın kat ettiği mesafedir. Talaş derinliği (a), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur [2].



Şekil 2.1. Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterimi [2]

2.2. İşlenebilirlik

Talaşlı imalat işlemleri, endüstride yaygın olarak kullanılan birçok parçanın imalatında önemli bir rol oynar. Özellikle, ölçü tamlığı ve yüzey kalitesinin gerekli olduğu parçaların üretiminde talaşlı imalat metotlarıyla şekillendirme tercih edilir [12, 13].

Talaşlı imalat işleminin maliyeti, endüstriyel ürünlerin maliyetini önemli derecede etkilediği için, iş parçalarının işlenebilirliklerini ve kesici takımların kesme performanslarını arttırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır. İşlenebilirlik, evrensel olarak tanımlanmış ve standartlaştırılmış bir özellik olmayıp, genelde iş parçası malzemesinden kesici bir takımla talaş kaldırılması anında iş parçası malzemesinin davranışı olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle "talaş kaldırarak iş parçası malzemesini şekillendirmenin nispi kolaylığı veya zorluğu" olarak tanımlanabilir [14]. İşlenebilirlik, uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğudur [10]. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da işlenebilirlik, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [11].

Endüstriyel ürünlerin maliyetinin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmalar sonucu talaşlı imalat işlemini azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yakın ve tam geometride üretim (near net shape forming, net shape forming), geliştirilmiş döküm teknikleri bu yöntemlerden bazılarıdır. Benzer şekilde, daha önceleri talaşlı imalat metotlarıyla yapılan bazı parçalar günümüzde toz metalurjisi yöntemi ile yapılmaktadır. Ancak, bu yöntemler oldukça sınırlıdır ve ayrıca talaşlı imalat ile elde edilebilecek iyi bir yüzey kalitesi çoğu parçalar için gereklidir [15-17].

Endüstriyel ürünlerin performanslarını artırmak için geleneksel malzemelere göre daha iyi özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi, talaşlı imalat yönünden problemler çıkarmaktadır. Bu malzemelerin yüksek dayanımı, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda oda sıcaklığı özelliklerinin önemli bir kısmını korumaları

talaşlı imalat metotları ile şekillendirilmelerini güçleştirmektedir. Dolayısıyla, bu malzemelerin yaygın olarak kullanılması işlenebilirliklerinin iyileştirilmesini veya daha etkin kesici takımların ve işleme metotlarının geliştirilmesini gerektirmektedir.

İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kriterler kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları şunlardır:

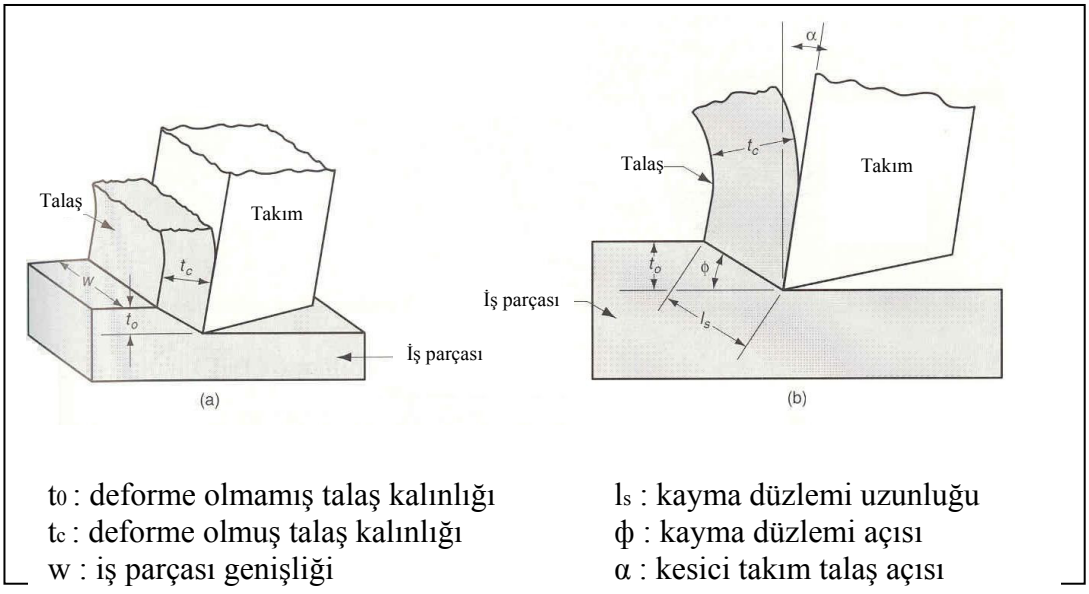
- Takım ömrü,
- Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç,
- İşlenen yüzey kalitesidir [13].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri; sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki inklüzyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte, sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (built-up-edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik, talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracağı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [18]. Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısıl işlem ve içerisindeki inklüzyonlar, işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve

bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler [10, 14].

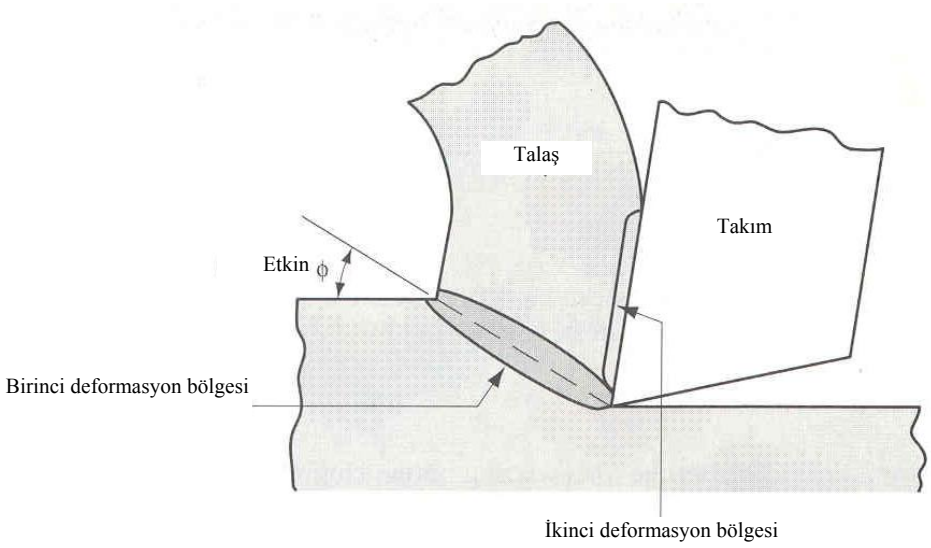
2.3. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır [10, 13]. Bununla birlikte, metal dışı olan malzemelerin işlenmesinde de benzer kurallar uygulanabilir. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır (Şekil 2.2). Talaş kaldırma, kesici kenarda talaşın oluşturulduğu bölgeden alınan düzlemsel kesit ile açıklanır [19]. Bu yaklaşım basit olmakla birlikte talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlaması ve kayma düzleminde, iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [10].



Şekil 2.2. Dik kesme modeli [10]

Gerçekte ise talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir (Şekil 2.3). Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek atılır. Birinci kayma (deformasyon) düzleminde oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır.



Şekil 2.3. Gerçek talaş oluşumu [10]

2.4. Takım-Talaş Arayüzeyi ve Yığıntı Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işlemi esnasında birinci deformasyon bölgesinden ayrılan talaş kesici takım-talaş yüzeyinden geçerek kesme bölgesinden atılır. Talaşın bu bölgeden geçerken kesici takımla etkileşimi ve davranışı talaşlı imalat performansını önemli ölçüde etkiler. Çoğu analizlerde bu bölgede kesici takım ve talaş arasında klasik sürtünme olduğu kabul edilmiştir. Fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde yapılan metalurjik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin

olmadığı ve yapışma olduğu sonucuna varılmıştır [2]. Bu bölgede yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı iki yüzey birleşerek metalin kayma hareketini durdurur. Fakat takım-talaş arasındaki hareket devam ettiğinden dolayı arayüzeyde akma bölgesi oluşur. Hareketin şekli çoğunlukla kesilen iş parçası malzemesinin özelliğine ve kesme parametrelerine bağlıdır. Bu bölge "akma bölgesi" veya "ikinci deformasyon bölgesi" olarak adlandırılır (Şekil 2.3).

Arayüzeyde yapışma sonucu oluşan akma bölgesi daima kesici takım yüzeyinde oluşmaz. Alternatif bir özellik olan yığıntı talaş, talaşlı imalat işlemlerinde sıkça görülür. Çoğunlukla orta seviyedeki kesme hızlarında görülen yığıntı talaş, yapılarında birden fazla faz bulunduran alaşımların işlenmesinde, pekleşen iş parçası malzemesinin kesici takım talaş yüzeyinde ve kesici uç etrafında kümelenerek talaşın kesici takımla doğrudan temasını engeller. Yığıntı talaş oluşumu ile, yoğun ve hızlı kayma deformasyonu takım yüzeyinden yığıntı talaş yüzeyine taşınır [2].

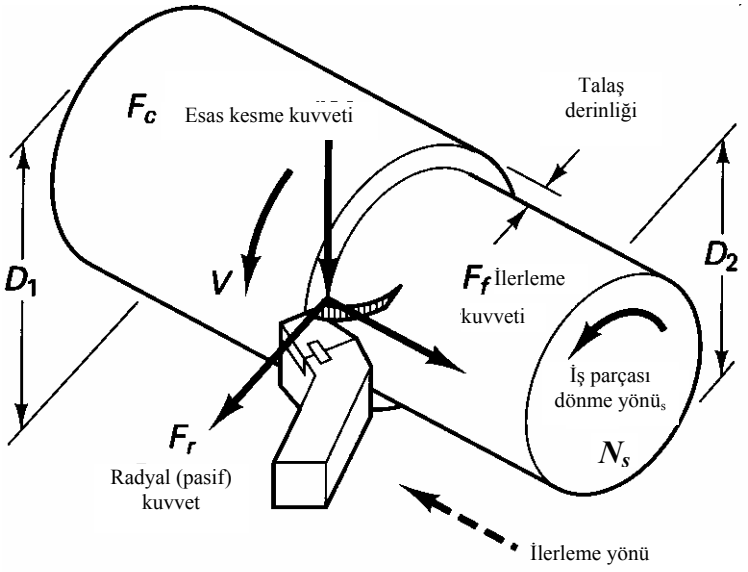
Yığıntı talaş oluşumunun gerçekleştiği sıcaklık iş parçasının yeniden kristalleşme sıcaklığının altındadır. Yığıntı talaşın yapısı, yeniden kristalleşmeye maruz kalmış akma bölgesinin yapısından tamamen farklıdır. Yığıntı talaş dinamik bir yapıya sahiptir. Metal kesme işlemi esnasındaki zor şartlarda sertleşen katmanların kümelenmesiyle oluşur ve belirli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra talaş akışının neden olduğu kayma kuvvetlerine daha fazla dayanmayacağı için talaş veya iş parçası vasıtasıyla kesici uçtan uzaklaşır. Yığıntı talaş, kesici uçtan uzaklaştırılması ile tekrar oluşmaya başlar ve bu şekilde periyodik olarak oluşumu ve kırılması devam eder. Yığıntı talaşın kesici takım yüzeyinden atılması esnasında bir kısım kesici takım malzemesi de yığıntı talaşla birlikte kopup gidebilir [14]. Bazı durumlarda yığıntı talaş kesici uç üzerinden iş parçası malzemesine doğru çıkıntı oluşturarak talaş derinliğini artırır ve bu çıkıntı düzensiz bir yapıya sahip olacağı için yüzey pürüzlülüğünü artırır [20].

Yığıntı talaşın şekli, özellikle kesici takım talaş açısını ve talaş derinliğini etkiler. Yığıntı talaş, talaşlı imalat işleminde çeşitli durum ve biçimlerde görülen ve genelde

olumsuz kabul edilen bir faktördür ve oluştuğu kesme şartları değiştirilerek çoğunlukla oluşumu engellenebilir [14].

2.5. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [2, 21]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 2.4'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [11]

Burada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

i. Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder . En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99'una karşılık gelir.

ii. İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle yaklaşık % 50'si kadardır fakat ilerleme hızının kesme

kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.

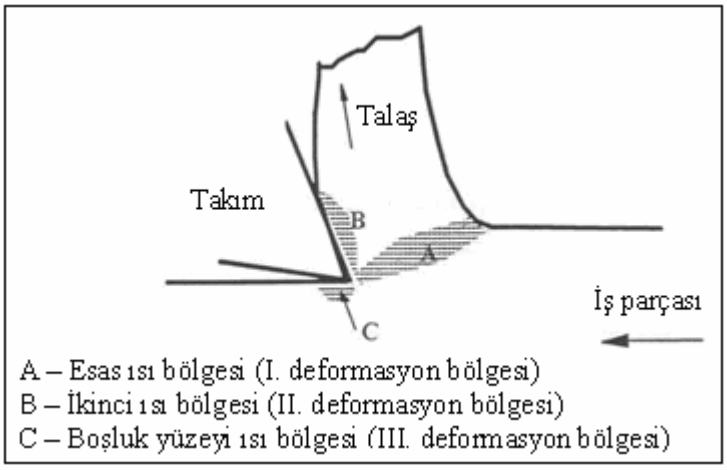
iii. Radyal kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadardır [11].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.1)$$

2.6. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç (F_cV) ekseriyetle ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi esnasında oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılması durumuna bağlıdır [20]. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler [14]. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi, kesme bölgesinde ısı üretme kapasitesine göre ısı oluşturan üç bölge vardır.



Şekil 2.5. Kesme bölgesinde ısı oluşumu [12]

A- Kayma düzlemi; buradaki plastik deformasyon önemli bir ısı kaynağı olup oluşan ısının çoğu talaşta kalır.

B- Takım-talaş arayüzeyi temas bölgesi; buradaki ilave plastik deformasyon olur ve kayma hareketinden dolayı ısı oluşumunda önemli derecede etkilidir.

C- Takım yan yüzeyi, burada yeni oluşan iş parçası yüzeyinin takım yüzeyine sürtünmesiyle ısı oluşur. Özellikle bu sürtünme yan yüzey aşınması ile artar [11].

Isının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve kesme hızının artışını sınırlandırır. Oluşan ısının çoğu kesme bölgesinden talaş, iş parçası, kesici takım ve ortam tarafından uzaklaştırılır. Bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir [20].

Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim zamandaki enerji artar ve bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır [20].

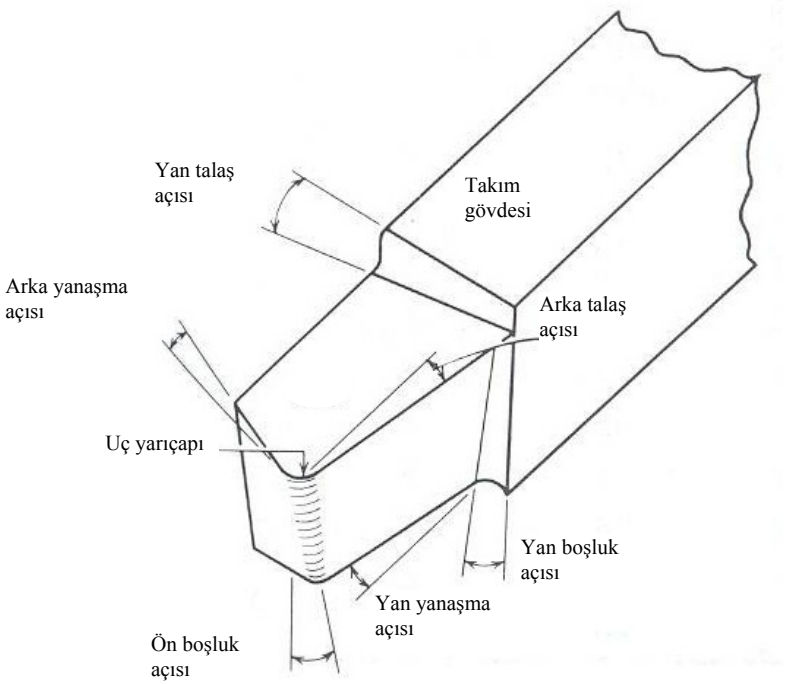
Aşırı sıcaklık, kısa takım ömrü ve kesme hızını sınırlandırmanın ana sebebidir. Kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, büyük bir oranda yüksek sıcaklık etkilerine dayanabilmeleri etrafında odaklanmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklık, büyük oranda takım ile talaş arasındaki temasa, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Bu durumda düşük kesme hızları iş parçasına iletilen ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırabilir. Yüksek kesme hızları, enerjinin çoğunun talaşla atılmasını ve kesici takım ve iş parçasına az miktarda ısı iletilmesini sağlar. Metal kesme işleminde oluşan ısının çoğu, kesme bölgesinden ideal olarak talaşla uzaklaştırılır. Talaştaki ısı, kesici takımı, talaş ve takım arasında temas olduğu sürece etkiler. Isının çoğu kayma bölgesinden kaynaklanır ve bu nedenle takım ve talaş arasındaki temasın ölçüsü performansını

etkiler. Küçük talaş açılarından kaynaklanabilen küçük kayma açıları, iş parçasına iletilen ısı miktarını artırabilir [14].

2.7. Kesici Takımlar

2.7.1. Kesici takım geometrisi

Talaşlı imalat işlemlerinde, etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takımlar uygun geometriye sahip olmalıdır. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır. Şekil 2.6'da, tek noktadan kesme (sağ yan) işlemi yapan bir kesici takım görülmektedir.



Şekil 2.6. Sağ yönlü kesme işlemi yapan, sağ yan kesici takım [22]

Kesici takım geometrisi esas olarak takım malzemesinin ve iş parçası malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bir kesici takım üzerinde çeşitli açılar mevcuttur. Ancak, bunların en önemlileri, talaş açıları ve boşluk açılarıdır. Talaş açıları; iş parçası malzemesinde kesme işlemi esnasında oluşan kaymayı ve talaş oluşumunu etkiler. Talaş açıları pozitif veya negatif olabilir. Pozitif talaş açıları kesme kuvvetlerini düşürerek iş parçasında, kesici takımda ve takım tezgâhında daha az sapmalara neden olur. Sementit karbür, seramik ve elmas kesici takımlarda negatif olmalıdır. Genel olarak yüksek sertlikteki iş parçalarının işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda talaş açıları küçük olmalıdır. Yüksek hız çeliği kesici takımların talaş açıları kesici takım tipi (tornalama, frezeleme ve vargelleme gibi) ve iş parçası malzemesine bağlı olarak normalde pozitif seçilir.

Kesici takımdaki doğru talaş açısı, talaşın sıkıştırılması ve kayma düzlemi açısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küçük bir talaş açısı talaşın önemli derecede sıkıştırılmasına, yüksek takım kuvvetlerine ve yüksek sürtünmeye neden olur. Bunun sonucu olarak ta kalın, önemli derecede deformasyona uğramış ve sıcak bir talaş elde edilir. Artan talaş açısı ile talaşın sıkıştırılması, kuvvetler ve sürtünme azalır. Bu da sonuç olarak ince, daha az deformasyona uğramış ve sıcaklığı daha az olan bir talaşa neden olur. Ancak, kesici ucun dayanımı azalacağı için çok büyük talaş açılarına sahip kesici takımlar da kullanmak mümkün değildir.

Kesici ucun dayanımını ve ısı iletimini artırmak için sementit karbür, seramik, çok kristalli bor nitrür (CBN) ve elmas (PCD) kesici takımlarda sıfır derece veya negatif olan talaş açıları yaygın olarak kullanılır. Bu kesici takımlar kırılgandır ancak yüksek sıcaklıklarda oda sıcaklığındaki sertliklerinin önemli bir kısmını muhafaza ettikleri için aşınma dirençleri yüksektir. Dolayısıyla yüksek hızda talaşlı imalat işlemlerinde etkin bir şekilde kullanılırlar. Negatif talaş açıları kesici takıma gelen kuvvetleri artırır ancak kesici ucun kırılmasını engellemek için kırılgan olan kesici takımlarda bu gereklidir [11].

2.7.2. Kesici takım malzemeleri

Talaşlı imalat işlemi esnasında kesici takımın kesme yapan kısmında yüksek sıcaklık ve gerilmeler oluşur. Bu durum kesici takımın kesme kabiliyetini olumsuz yönde etkiler. Dolayısıyla, kesici takımların etkin bir şekilde aşınmadan ve plastik deformasyona uğramadan yeterince uzun bir süre kesme işlemi yapabilmeleri için aşağıdaki özelliklere sahip olmaları istenir [14]:

- Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
- Yüksek tokluk,
- İş parçasına karşı kimyasal olarak kararlılık,
- Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye karşı kararlılık,
- Isıl şoklara karşı direnç.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yüksek Hız Çelikleri

Yüksek hız çelikleri (HSS – High Speed Steel), yüksek alaşımlı çelikler olup yüksek sıcaklıklarda yüksek karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden daha iyi sertliklerini koruma özelliklerine sahiptirler. İyi sıcak sertlikleri nedeniyle yüksek hız çelikleri yüksek kesme hızlarında kullanılabilirler. İlk geliştirildiği zamanda kullanılan kesici takımlarla karşılaştırıldığında, "yüksek hız" ismini almaya layık olduğu görülür. Günümüzde çok çeşitli yüksek hız çelikleri mevcuttur. Ancak, genel olarak iki ana gruba ayrılırlar:

i. Tungsten (W) tipi olup Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) tarafından "T kalite" olarak isimlendirilir.

ii. Molibden (Mo) tipi olup AISI'ya göre "M kalite" olarak isimlendirilir.

Tungsten tipi yüksek hız çeliklerinde ana alaşım elementi W olup malzeme yapısında % 12 ilâ % 20 arasında tungsten bulunur. İlâve alaşım elementleri Cr (yaklaşık % 4) ve vanadyumdur (yaklaşık olarak % 1 ilâ % 2). En iyi bilinen yüksek hız çeliği kalitelerinden birisi T1 veya 18-4-1 olarak isimlendirilir ve % 18 W, % 4 Cr ve % 1 V içerir. Mo tipi yüksek hız çelikleri W ve Mo elementlerini sırası ile % 6 ve % 5 oranlarında ihtiva ederler. İlâve olarak, T kalite yüksek hız çeliklerinin ihtiva ettiği alaşım elementlerini de ihtiva ederler. Tipik olarak % 5 ilâ % 8 oranında Co elementi de yüksek hız çeliklerine sıcak sertliklerini artırmak için ilâve edilir. Yüksek hız çeliklerinde % 0,75 ilâ % 1,5 arasında C elementi de bulunur. Yüksek hız çeliklerindeki alaşım elementlerinin etkisi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yüksek hız çeliklerindeki alaşım elementleri ve bunların yüksek hız çeliğinin özellikleri üzerindeki etkileri

Alaşım elementi	HSS üzerindeki etkisi
Tungsten	Sıcak sertliği artırır HSS içerisinde sert karbürler oluşturarak abrasif aşınma direncini artırır
Molibden	Sıcak sertliği artırır HSS içerisinde sert karbürler oluşturarak abrasif aşınma direncini artırır
Krom	Isıl işlem esnasında sertleştirilme derinliğini artırır HSS içerisinde sert karbürler oluşturarak abrasif aşınma direncini artırır Korozyon direnci sağlar (az miktarda)
Vanadyum	Karbonla birleşerek aşınma direncini artırır
Kobalt	Sıcak sertliği artırır
Karbon	Çelikteki esas sertleştirme elementi Diğer alaşım elementleri ile birlikte karbürler oluşturarak aşınma direncini artırır

Tam olarak bir asır önce geliştirilmelerine rağmen, yüksek hız çelikleri günümüzde ticari olarak kullanılan en önemli kesici takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, pafta, frezeleme işleminde kullanılan kesici takımlar ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımlar yüksek hız çeliklerinden imal edilirler. Bu tür kesici takımların HSS'den yapılması genellikle kolay ve ucuzdur. Isıl işlemle kesici uç sertliği yüksek bir değere (65 HRc) çıkartılabilir. Aynı zamanda, iç kısımlarının tokluğu da iyidir. Yüksek hız çeliklerinin tokluğu, çelik dışı diğer takım malzemelerinin (örneğin sementit karbür ve seramik) tokluğundan daha iyidir. Hatta, tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olarak bile istenilen geometriye bileme ile kolayca getirilebildikleri için kullanılmaktadır. İlk geliştirildikleri günden itibaren, HSS kesici takımların metalurjik yapılarındaki ve imal edilmelerindeki gelişmelerle bu kesici takımlar birçok talaşlı imalât işleminde hala önemli bir takım olarak yerini korumaktadır. Aynı zamanda, HSS takımlar, özellikle matkaplar, ince bir TiN katmanı ile kaplanarak kesme performanslarında önemli derecede iyileşmeler sağlanmaktadır [23].

Sementit Karbür kesici takımlar

Sementit karbürler demir dışı alaşımlar olup toz metalurjisi metodu ile üretilirler. Bu malzemeler II. Dünya Savaşı esnasında daha önceki kesici takımlara göre kesme hızında dört – beş kat artışa neden olarak popüler olmuştur. Bu malzemelerin ilk tiplerinde ana faz olarak tungsten karbür bulunmuştur. Bu ilk tiplerde tungsten karbür % 3 ilâ 13 arasında kobalt birleştirici ile birlikte kesici takımı oluşturmuştur. Günümüzde kullanılan sementit karbür kesici takımların çoğu doğrudan tungsten karbür veya çoklu W-Ti veya W-Ti-Ta karbürlerden oluşur. İşlenecek malzemenin tipine bağlı olarak sementit karbürlerin bileşimi farklılık gösterir. Bu kesici takımlarda kobalt birleştirici olarak kullanılır. Sementit karbürler yüksek hız çeliği kesici takımlara göre daha sert, kimyasal olarak daha kararlı, sıcak sertliği daha iyi, daha rijit ve düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. Ancak, bunlar daha kırılgan ve daha pahalıdırlar.

İlk geliştirilen sementit karbür, WC-Co olup dökme demirlerin işlenmesinde kullanılmıştır. Bu iki fazlı bir sementit karbür, çeliklerin işlenmesinde krater aşınması problemi ile karşı karşıya kalmış ve çelik iş parçası malzemesi sementit karbür ile kimyasal olarak reaksiyona girmiştir. Karbon ve östenitin birbirine olan ilgisi, kesici takımdaki karbonun talaşa geçmesine neden olmuştur.

Çeliklerin işlenmesi için geliştirilen sementit karbürlerde TiC ve TaC sert parçacıklar WC parçacıklara ilave olarak kullanılmıştır. TiC ve TaC, WC'den daha kararlı olup WC esaslı sementit karbürlerde oluşan krater aşınması olmadan çeliklerin yüksek hızlarda işlenmesine müsaade etmişlerdir. TiC oldukça sert olmakla birlikte sıcaklık artışı ile sertliklerini daha hızlı kaybederler.

Günümüzde kullanılan sementit karbür kesici takımlar, WC, TiC, TaC ve NbC sert parçacıkları ve Co ve Ti birleştirici fazından oluşur. Sert parçacıkların boyutu 1-10 μm arasında değişir. Sementit karbür bir kesici takımda % 60 ilâ 95 arasında sert parçacıklar bulunur. 20 °C sıcaklıkta sementit karbür kesici takımdaki sert parçacıkların sertlik değerleri aşağıda verilmiştir:

WC 2000 HV
TiC 3000 HV
TaC 1700 HV
NbC 2000 HV

Kullanılan birleştirici ve sert parçacıklara göre sementit karbürlerin özellikleri farklılık gösterir. Örneğin bazı sementit karbürler çok sert iken bazıları da çok toktur. Parçacıkların tipi ve boyutları, birleştirici tipi ve oranı ve imalat teknikleri sementit karbürlerin kalitesini etkiler.

Sementit karbür içerisinde sert parçacıkların oranı arttıkça sementit karbürün sertliği (HV) ve basma dayanımı artar. Bununla birlikte birleştiricinin oranının artmasıyla tokluk artar. Malzemenin tokluğunu gösteren eğilme dayanımı kırılmaya karşı

dirençtir ve sertlikle ters orantılıdır. Aynı zamanda, sert parçacıkların boyutu da sertlik ve tokluğu ayarlamak için kullanılır. Büyük parçacıklar tokluğu artırırken küçük parçacıklar sertliği artırır.

Metallerle (örneğin çeliklerle) karşılaştırıldığında, sementit karbür daha sert, basma dayanımı daha yüksek ancak çekme dayanımı düşüktür. Yoğunluğu yaklaşık olarak çeliğin iki katıdır. Elastikiyet modülü çeliğinkinden iki kat daha yüksektir (bu nedenle, sementit karbürler delik içlerinin tornalanmasında daha uzun kesici takımlar olarak kullanılır). Isıl genleşme katsayıları yaklaşık olarak çeliğin yarısıdır [23].

Kaplamalı sementit karbür kesici takımlar

Kaplamalı kesici takımlar talaşlı imalat endüstrisinde hızla yaygınlaşmıştır ve günümüzde kullanılan sementit karbür kesici takımların çoğu kaplamalıdır [24]. Kaplama, kesici takım ömrünü iki kat, üç kat veya daha fazla artırabilmektedir. Kesici takımlarda kesici takım yüzeyindeki malzeme aşınmaya dirençli, sert ve kimyasal olarak asal olmalıdır. Kimyasal olarak kararlı olma, kesme esnasında kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin etkileşimini engeller. İnce ve kimyasal olarak kararlı olan TiC, TiN veya Al_2O_3 refrakter malzemeler kaplama olarak kullanılır. Kaplamanın altındaki sementit karbür, kaplama malzemesi ile karşılaştırıldığında tok, darbeye ve kırılmaya dayanıklıdır.

Kaplamanın etkin olabilmesi için kaplama malzemesinin sert, refrakter ve kesme koşullarında kesici takım ve iş parçası malzemesinin birbirleri ile etkileşimini engellemek için kimyasal olarak kararlı olmalıdır. Kaplama, ince taneli, birleştiricisiz ve gözeneksiz olmalıdır. Doğal olarak, kaplama metalurjik olarak altlığa (sementit karbüre) birleştirilir. Kaplama, takım ömrünü uzatmak için kalın ancak kırılganlığa karşı dayanıklı olması için de ince olmalıdır.

Kaplama malzemesi düşük bir sürtünme katsayısına sahip olmalı ki talaşların kesici takım talaş yüzeyine yapışma eğilimi daha az olsun. TiC kaplanmış kesici takımlar 1969 yılında ilk olarak üretilmiştir. Günümüze kadar kaplama malzemeleri

çeşitlenmiştir (TiC, TiN, Al_2O_3, HfN veya HfC). İlk zamanlarda tek katlı kaplamalar kullanılmasına rağmen, günümüzde kullanılan kesici takımlarda çoğunlukla çok katlı kaplamalar kullanılır. Bu şekilde, her bir katman kendine ait özellikleri kesici takıma aktarır. En çok kullanılan kaplama kombinasyonları TiN/TiC/TiCN/TiN ve TiN/TiC/Al_2O_3'tür. Kimyasal buhar kaplaması yöntemi (CVD) sementit karbürleri kaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Kaplama, sementit karbür altlık üzerinde veya yakınında kimyasal reaksiyonla gerçekleşir. Kimyasal buhar kaplaması yönteminde kaplama malzemesi atomların birikimi ile gerçekleşir. Bu nedenle, en yüksek yoğunluklu kaplama elde etmek mümkündür [3].

Sementit karbürlerin sınıflandırılması

Kaplanmamış ve kaplanmış sementit karbürler metal kesme endüstrisinde en çok kullanılan kesici takımlar olduğu için çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Dolayısıyla, çok çeşitli kalitelerde üretilirler. Günümüzde sementit karbürlerin çeşitli şekillerde sınıflandırılması mevcut olmakla birlikte çoğunlukla ISO (Milletlerarası Standard Organizasyonu) standardına göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. ISO sınıflandırmasına göre sementit karbür kesici takımlar üç ana gruba ayrılır:

i. Mavi P: Çelik, çelik döküm, paslanmaz çelik ve dövülebilir dökme demir gibi uzun talaş çıkaran malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

ii. Sarı M: Östenitik paslanmaz çelik, ısıya dirençli çelikler, manganlı çelik, alaşımlı dökme demirler gibi özellikleri iyi olan malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

iii. Kırmızı K: Dökme demir ve sertleştirilmiş çelik gibi kısa talaş çıkaran ve alüminyum, bronz ve plastik gibi demir dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

Her bir grupta aynı zamanda bir de P, M ve K harflerini takip eden numaralar vardır. Numaralar, genellikle 01'den başlar ve 40 veya 50'ye kadar kademeler halinde gider. Örneğin 01, yüksek kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve düşük talaş derinliklerinde kesintisiz bitirme tornalama işlemlerinde kullanılan kesici takımlara karşılık gelir.

Bununla birlikte 50, düşük kesme hızları ve yüksek talaş derinliklerinde kaba işlemelerde kullanılacak kesici takımlara karşılık gelir. Bu numaralar büyüdükçe, aşınma dayanımı azalır tokluk ise artar.
P01 – Bitirme yüzeyi ve delik içi tornalamalarda, yüksek kesme hızları ve küçük talaş kesiti ile talaş kaldırmalarda ve yüksek yüzey kalitesi elde edilmesi gereken yerlerde kullanılır. Titreşimin az olması gerekir.

P10 – Tornalama, kopyalama, vida açma, frezeleme, yüksek kesme hızları ile küçük ve orta seviyede talaş kesiti durumlarında kullanılır.

P20 – Orta seviyelerdeki kesme hızlarında ve talaş kesitlerinde tornalama, kopyalama, frezeleme, küçük talaş kesitlerinde alın tornalama ve şartların çok kötü olduğu durumlarda kullanılır.

P30 – Orta ve düşük kesme hızlarında ve orta ve düşük talaş kesitlerinde tornalama, planyalama, frezeleme, kanal açma ve kesme işlemleri ve olumuz işleme şartlarında kullanılır.

P40 – Düşük kesme hızlarında, büyük talaş kesitinde, mümkün olan yüksek talaş açısı ve çok olumsuz şartlarda tornalama, planyalama, frezeleme, kanal açma ve kesme işlemlerinde kullanılır.

P50 – Çok yüksek tokluğun gerekli olduğu yerde kullanılır [14].

Sermet kesici takımlar

Sermet ifadesi seramik ve metal kelimelerinden türetilmiştir ve sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımda sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken birleştirici faz da nikel ve/veya molibdenden oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbürler gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik, östenitik paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar.

Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızlarında iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz.

Sermet kesici takımların kullanımı son yıllarda artmasına rağmen bu kesici takımlar 1920'li yıllardan beri bilinmektedir. Ancak geliştirilen bu ilk sermetler çok kırılgan olduğu için kullanımında sınırlamalar olmuştur. Titanyum esaslı sermetler ilk olarak 1929 yılında geliştirilmiştir. İlk zamanlarda imal edilmelerindeki güçlükler ve kırılgan oluşları nedeniyle başarılı bir şekilde kullanılmamışlardır. Daha sonraları molibden ilavesi ve geliştirilen imalat teknikleri ile toklukları artırılmıştır. Toklukları geliştirilen sermetler sadece çeliklerin ince işlenmesinde değil frezeleme ve paslanmaz çeliklerin tornalanmasında kullanılır hale gelmişlerdir. Sermetler aşağıdaki özelliklere sahiptirler:

i. Yüksek yan yüzey ve krater aşınma direncine,
ii. Yüksek kimyasal kararlılık ve sıcak sertliğe,
iii. Düşük yığıntı talaş oluşturma eğilimine,
iv. Düşük oksitlenme eğilimine.

Takım aşınmasının sermet kesici takımlarda düşük olması ve dolayısıyla takım ömrünün yüksek olması nedeniyle sermet kesici takımlar yüksek ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi sağlarlar. Yapılacak talaşlı imalat işlemlerinde hassasiyet ve yüzey kalitesi ön planda olduğu zaman, yüksek kesme hızları ve düşük talaş kesitlerinde sermetler avantajlıdırlar. İşleme şartları ideal olarak kararlı olmalı ve kesintisiz işlemler sermet için tercih edilmelidir. Keskin bir kesici uç, işleme payı düşük olan çok sayıdaki iş parçalarının işlenmesinde uzun bir takım ömrü sağlar. WC esaslı sementit karbürlerle karşılaştırıldığında, sermetler aşağıdaki avantajlara sahiptirler:

- Düşük sabit yüklerde aynı kesici uç dayanımına,
- Yüksek kaliteli bitirme işlemlerinde daha uzun süreli performansa,
- Yüksek hızda işleme yapmak için daha iyi kapasiteye,

- Daha yüksek çentik aşınması direncine (oksidasyon aşınması nedeniyle),
- Sünek malzemelerde daha iyi yüzey kalitesi oluşturma ve yığıntı talaş oluşma eğiliminin az olmasına.

Karmaşık profillerin de sermet kesici takımlarla işlenmesi uygun değildir. Sermetler sert çeliklerin işlenmesinde uygun kesici takımlardır [14].

Seramik kesici takımlar

Günümüzde seramikler çeşitli kesici takımların ortak adıdır. İlk geliştirilen seramik kesici takımlar Al_2O_3 olmuştur. Bu ilk geliştirilen seramik kesiciler çok kırılgan olduğu için etkin bir şekilde kullanılamamıştır. İmal edilmelerindeki problemler ve yanlış uygulamalar sonucu işleme esnasında ani kırılmalar olmuştur.

Seramik kesici takımların imalatındaki iyileşmeler sonucu kaliteleri artırılmış ve günümüzde kullanılan seramiklerde öncekilere göre önemli derecede iyileşmeler sağlanmıştır. Takım tezgahları ve uygulamalardaki iyileşmeler de seramik kesici takımların uygulanabilirliğini artırmıştır. Bu şekilde seramik kesici takımlar verimli olarak kullanılabilmiştir. Bu iyileşmelere rağmen seramiklerin kesici takım olarak kullanılmaları çok sınırlıdır. Seramik kesici takımlar günümüzde dökme demir, sertleştirilmiş çelik ve ısı direnci yüksek alaşımların işlenmesinde kullanılır.

Seramik kesici takımlar, sert ve sıcak sertlikleri yüksek olup iş parçası ile reaksiyona girmezler. Takım ömürleri yüksek olup yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Doğru uygulamada yüksek metal kaldırma oranları elde edilebilir. Çeliklerle karşılaştırıldığında, yoğunlukları çeliğin yaklaşık olarak üçte biridir ve çekme dayanımları ile karşılaştırıldığında basma dayanımları çok yüksektir. Ancak, plastik deformasyona maruz kaldıklarında dikkate değer bir plastiklik göstermeden kırılırlar. Saf seramiklerin elastiklik modülü yaklaşık olarak çeliğin iki katıdır ve seramiklerin ısıl iletkenliği çok düşüktür. Seramikler esas olarak iki ana gruba ayrılabilirler.

i. Alüminyum oksit esaslı (Al_2O_3),

ii. Silisyum nitrit esalı (Si_3N_4).

Alüminyum oksit esaslı seramikler de kendi aralarında üç gruba ayrılır:

i. Saf alüminyum oksit seramikler,
ii. Karışık alüminyum oksit seramikler,
iii. Takviyeli alüminyum oksit seramikler.

Saf oksit esaslı seramiğin dayanımı, tokluğu ve ısıl iletkenliği düşüktür. Az miktarda zirkonyum oksit ilave ile Al_2O_3 esaslı saf seramiğin özellikleri önemli derecede artırılır. Bu ilave ile seramiğin tokluğu da artar.

Karışık Al_2O_3 esaslı seramik malzemeye metal bir faz ilave edilmesiyle ısıl şok dayanımı artırılır. Bu tiplerde artan ısıl iletkenlik nedeniyle çatlamaya karşı daha dirençli hale gelirler. Buradaki iyileşmeler nispi olup toklukları sementit karbürlerden çok daha düşüktür.

Al_2O_3 esaslı takviyeli seramikler son zamanlarda geliştirildikleri için oldukça yeni bir kesici takımdır. Bu tipler whisker takviyeli seramikler olarak isimlendirilirler. Whiskerler tek kristalli malzemeler olup dayanımları teorik dayanımlarına yakın olduğu için oldukça yüksektir. Yaklaşık olarak çapları 1 μm ve boyları da 20 μm'den fazladır.

Takviyenin etkisi seramiklerin performansını önemli derecede artırır. Tokluk, dayanım ve ısıl şok direnci önemli derecede artar. Aynı zamanda, sıcak sertlik ve aşınma direncini de önemli derecede artırır. Whiskerler kesici takım içerisinde yaklaşık olarak % 30 oranında bulunurlar. Al_2O_3 esaslı takviyeli seramikler ısı direnci yüksek çelikler, sertleştirilmiş çelikler ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılırlar. Aynı zamanda, frezeleme gibi kesintili işlemlerde de kullanılırlar.

Silisyum nitrit (Si_3N_4) esaslı seramik kesici takımlar tamamen farklı bir malzeme olup ısıl şoklara dayanım ve tokluk yönünden Al_2O_3 esaslı seramiklerden daha iyidir.

Yüksek talaş kaldırma oranlarında gri dökme demirin işlenmesinde en iyi seçenektir. Gri dökme demirin işlenmesi oldukça kolay olmasına rağmen, yüksek talaş kaldırma oranları ve yüksek hızlarda yüksek sıcak sertlik, dayanım, tokluk, ısıl şoklara direnç ve kimyasal kararlılık gerektirir. Si_3N_4 esaslı seramik kesici takımlar, sementit karbürler için uygun olan sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklıklarda sıcak sertliklerini korumada mükemmel performans sağlarlar. Al_2O_3 esaslı seramiklerden toklukları daha iyidir. Ancak, Si_3N_4 esaslı seramiklerin kimyasal kararlılıkları çeliklerin işlenmesi esnasında Al_2O_3 esaslı seramiklerden daha düşüktür. Gri dökme demirlerin işlenmesinde 450 m/min kesme hızından yüksek hızlarda kullanılmaları gerekir.

Seramik kesici takımlar için uygun iş parçası malzemeleri gri dökme demir, ısıya dirençli alaşımlar, sertleştirilmiş çelikler, küresel grafitli dökme demirler ve kısmen de çeliklerdir. Gri dökme demirlerin kaba ve bitirme işlemleri için, özellikle yüzeyde inklüzyonlar ve kabuk olmadığı durumda, saf alüminyum oksit kesici takımlar uygundur. Silisyum nitrit esaslı seramik kesiciler, kesintili işlemlere ve işleme esnasında talaş derinliğinin değişmesine karşı kullanışlıdır. Karışık alüminyum oksit esaslı seramikler yüzey bütünlüğü işlenebilirlik kriteri olduğunda uygun kesici takımdır. Çünkü bu kesici takımlarda çentik aşınma dayanımı yüksektir [14].

Kübik bor nitrit (CBN – cubic boron nitride) kesici takımlar

Kübik bor nitrit kesici takımlar yaygın olarak sertleştirilmiş çeliklerin ve süperalaşımların işlenmesinde kullanılır. PCD kesici takımlar gibi yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında sinterleme ile imal edilirler. Sıcak sertliği oldukça iyidir (20 °C'de 4700 Knoop ve 1000 °C'de 4000 Knoop) ve CBN ile işleme esnasında takım/talaş arayüzeyinde düşük kimyasal reaksiyon gerçekleşir. CBN kesici takımlar Inconel 718 ve Rene 95 gibi sert uzay ve havacılık malzemelerinin işlenmesinde kullanılır [11, 14].

PCD kadar sert olmamasına rağmen, CBN kesici takımlar sertleştirilmiş çelikler, sert dökme demir ve nikel ve kobalt esaslı süperalaşımlarla daha az reaksiyona girer.

CBN kesici takımlar işlenmesi zor bu malzemelerin işlenmesinde etkin ve ekonomik olarak kullanılırlar. Sementit karbürlerden 5 kat daha yüksek kesme hızı ve dolayısıyla talaş kaldırma oranlarında mükemmel hassasiyet, bitirme yüzeyi ve yüzey bütünlüğü elde etmek için kullanılırlar. CBN kesici takımlar sementit karbür ve seramik kesici takımlardan daha pahalıdır. Ancak takım ömrü, seramik bir kesici takımın 5 ilâ 7 katı kadar olabilir. Kesici uçları pahlı ve honlanmış CBN kesici takımlar ağır kesintili işlemlerde başarılı bir şekilde kullanılabilirler [23].

Elmas kesici takımlar

Elmas, bilinen en sert malzemedir. Endüstriyel elmaslar günümüzde çok kristalli biçimde mevcut olup alüminyum, bronz ve plastiklerin işlenmesinde geniş kullanım alanları bulmaktadır. Sementit karbürlerle karşılaştırıldığında kesme kuvvetlerini önemli ölçüde düşürür. Elmas kesici takımlarla işleme yüksek kesme hızlarında ve düşük talaş derinliklerinde yapılarak mükemmel yüzeyler elde edilir. Tek kristalli (doğal) elmaslar yıllarca parlak yüzeye sahip olması gereken parçaların işlenmesinde kullanılarak işlemeden sonra ilave bir parlatma işlemine gerek bırakmamıştır. Bu kesici takımlar aynı zamanda, biyolojik malzemeleri ince film haline getirmek için de kullanılır.

Elmas kesici takımların önemli özellikleri; yüksek sertlik, iyi ısıl iletkenlik, çok keskin bir uca sahip olma özelliği, çok düşük sürtünme, özellikle bakır ve alüminyum gibi yumuşak malzemelerin işlenmesinde uzun süre kesici ucun keskinliğini koruyabilme ve iyi aşınma direncidir.

Ancak bu avantajlarına karşın, periyodik cetvelin IV ilâ VII grubu arasındaki elementlerle kimyasal olarak etkileşime girme eğilimi gibi dezavantajları vardır. İlave olarak, yumuşak çeliğin işlenmesi veya taşlanması esnasında hızlı bir şekilde aşınırlar. Yüksek karbonlu alaşımlı çeliklerde düşük karbonlu alaşımlı çeliklerden daha yavaş aşınırlar. Yüksek sıcaklıklarda (700 °C) grafite tekrar dönüşme ve/veya havada oksitlenme eğilimi vardır. Elmas çok kırılgandır ve kesici takım olarak şekillendirilmesi zor ve maliyeti yüksektir. Doğal elmasın sınırlı arzı, artan talebi ve

yüksek maliyeti yeni arayışları beraberinde getirmiş ve General Elektrik firması çok yüksek basınçta (50 kbar) ve yüksek sıcaklıkta (1500 °C) grafitten elmas yapımını 1950 yılında gerçekleştirilmiştir. Devam eden çalışmalar sonucu 1960'lı yılların sonuna doğru da çok kristalli elmasın (PCD – polycrystalline diamond) üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çok kristalli elmas (PCD), çok küçük elmas tanelerinin birlikte sinterlenmesi ve metalurjik olarak sementit karbür bir altlıkla birleştirilmesi ile imal edilir. Bu işlemler için, elmas tanelerinin yapımındaki gibi yüksek sıcaklık ve basınç gereklidir. İnce elmas taneleri (1 ilâ 30 μm) öncelikle sementit karbür bir altlık üzerinde preslenir. Elmasın kararlı bölgesinde uygun sinterleme basıncı ve sıcaklığında, tamamen sıkıştırma ve yoğun elmas-elmas bağı gerçekleştirilir. Sinterlenmiş elmas takımlar lazer kesme ve taşlama ile daha sonra istenilen şekil, ölçü ve gerekli hassaslıkta elde edilir. Altlık sementit karbür, sert ve kırılgan elmas için gerekli elastik desteği sağlar. Sinterlenmiş çok kristalli elmasın kalitesi, tokluğu ve aşınma direnci doğal tek kristalli elmastan daha iyidir.

Üretilmelerindeki ve daha sonra şekillendirilmelerindeki zorluklar nedeniyle sinterlenmiş PCD kesici takımlar geleneksel sementit karbür veya seramik kesici takımlardan çok daha pahalıdırlar. Çok pahalı olmalarına rağmen, takım ömrünü artırdığı ve dolayısıyla parça başına maliyeti düşürdüğü için PCD kesici takımlar bir çok uygulama alanı bulmuşlardır. Sementit karbür kesici takımlara göre işleme performansında önemli derecede artış sağlarlar. Takım aşınması önemli derecede azaldığı için işlenen parça ölçüleri, bitirilmiş yüzey ve yüzey bütünlüğü daha rahat kontrol edilir.

PCD kesici takımın bir çok uygulamaları için pozitif talaş açısı tavsiye edilir. Bu kesici takımlarla işlerken yığıntı talaş problem olursa kesme hızının ve talaş açısının artırılması gerekir. Diğer taraftan, kesici uç kırılması veya küçük kırılmalar problem olursa, ilerleme hızı düşürülmelidir. PCD ile işleme esnasında çoğunlukla soğutma sıvısı kullanılmaz. PCD takımlar aşındıklarında bilenebilirler [23].

2.8. Takım Aşınması

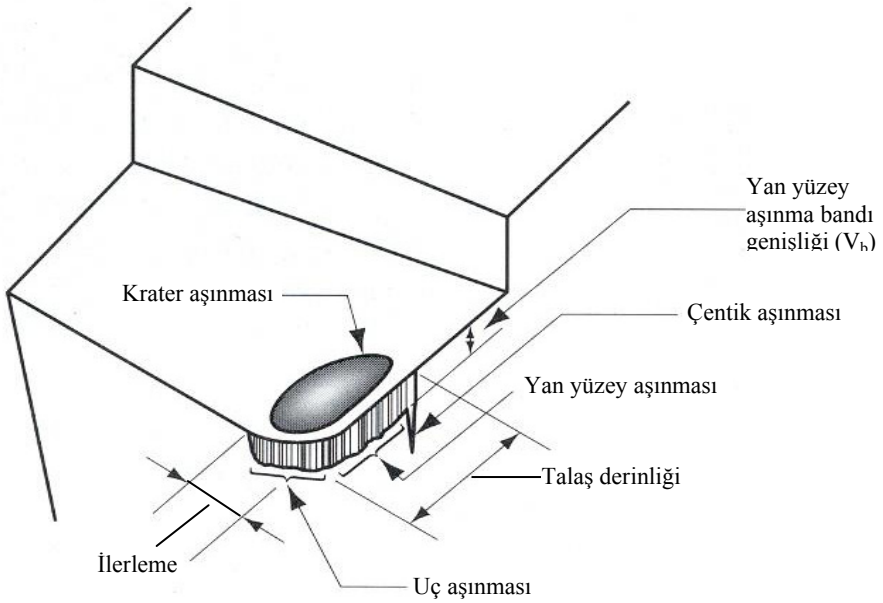
Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınması, talaşlı imalat işleminin verimliliğini, üretilen iş parçasının boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Kesici takımda aşınma arttıkça, kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklık, titreşim ve ses artar. Artan kesme kuvvetleri sonucu daha fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, artan kesme kuvvetleri iş parçası ve kesici üzerinde daha fazla gerilme oluşturur.

Aşınmış kesici takımda, kesici takımın kesici ucunda keskin bir kenardan farklı olarak sürtünen bir bölge olacağı için bu bölgenin iş parçası ile sürtünmesi sonucu da daha fazla ısı enerjisi açığa çıkarak, kesme bölgesinde kesici takım ve iş parçasının sıcaklığı artar. Artan sıcaklıkla, kesici takımın aşınma direnci ve dayanımı azalır. Artan sıcaklıkla aynı zamanda, iş parçası boyutlarında sapma olur ve istenilen ölçü toleranslarının dışına çıkılarak hatalı parçalar üretilebilir. Yüksek sıcaklık sonucu iş parçasının yüzeyinde ve yüzey altında istenilmeyen metalurjik dönüşümler oluşabilir. Bu dönüşümler iş parçası yüzeyinde çekme tipinde kalıcı gerilmelere neden olarak iş parçalarının yorulma dayanımını azaltabilir.

Kesici takımın aşınması sonucu ortaya çıkan diğer bir olumsuzluk ta titreşimdir. Titreşim sonucu iş parçası yüzey pürüzlülüğü artar. İş parçası yüzey pürüzlülüğü kesici takımda küçük kırılmalar şeklinde aşınma olduğunda da artar. Talaşlı imalat işlemi esnasında titreşim kesici takım üzerinde çevrimsel yükler oluşturacağı için kesici takımın kırılmasına da neden olabilir. Şekil 2.7'de, kesici takımdaki aşınmalar şematik olarak gösterilmiştir [10]. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,
- Yüksek gürültü,

- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulmasıdır.



Şekil 2.7. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi [10]

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın kesme kabiliyetini kaybettiği üç faktör mevcuttur:

i. Kırılma: Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısıl yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma-soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır.

ii. Plastik deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir.

iii. Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma "krater aşınması" ve yan yüzeydeki aşınma da "yan yüzey (yanak) aşınması" olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir [25].

2.9. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Bu çalışma kapsamında kullanılan küresel grafitli dökme demir malzeme içten yanmalı motorların kam millerinin üretiminde kullanılan malzemedir. Küresel grafitli dökme demirler, % 3,5-3,9 oranında karbon ve % 1,8-2,8 oranında silisyum içeren üçlü Fe-C-Si alaşımlarıdır. Lamel grafitli dökme demirden farklı olarak KGDD'de grafit küre şeklindedir [26].

1948 yılında dünyada kullanımı başlanan küresel grafitli dökme demirler, bu tarihten yaklaşık 20 yıl sonra ülkemizde üretilmiştir. 1970'den itibaren üretimi artan küresel grafitli dökme demirler, mühendislik açısından çeliğin birçok avantajını ve dökme demirlerin ekonomik talaşlı işlenebilme özelliğini bir araya getirmektedir. Bu üstün özellikleri sayesinde, kır dökme demir, temper dökme demir ve çelik döküm yerine kullanılır. Yüksek mukavemet ve iyi aşınma direnci istenilen birçok yerde geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin otomobillerde kam ve krank milleri, dişliler ve fren disk kampanaları küresel grafitli dökme demirden üretildiğinde daha iyi sonuç vermektedir. Burada küresel grafitli dökme demir ile üretilmesinin sebebi üstün işlenebilirlik özelliği ve elastikiyet modülünün yüksek olmasıdır. Ayrıca çeliğe göre kıyaslandığında daha yüksek aşınma direnci görülmüştür [27].

Küresel grafitli dökme demirlerin korozyon direnci, farklı korozif ortamlarda kır dökme demirin özelliklerine benzerdir. Yüksek sıcaklıklarda ise oksidasyon direnci bakımından, kır dökme demire göre üstünlük sağlar. Bu dökme demirlerin aşınma dirençleri de en iyi gri dökme demirinkine eşdeğer, aynı sertlikteki çeliğe göre önemli derecede üstündür. KGDD'in dayanımı grafit dışındaki matriks yapısına bağlıdır. Farklı cins KGDD'ler, normal gri dökme demirlere kıyasla 3-5 kez daha fazla dayanıma sahiptirler [28]. Küresel grafitli dökme demirlerin kullanım alanını genişleten bir başka sebep ise çeliğe uygulanan ısıl işlemlere benzer işlemlerle istenilen mekanik özelliklere sahip olabilmesidir [29]. KGDD'lerin genel olarak kullanım alanları şöyledir:

- Otomotiv endüstrisi
- Makine yapımı (Tarım ve hafriyat makinaları)
- Karayolu köprü konstrüksiyon elemanları
- Su boru hatları, pompa, armatür parçaları, merdaneler
- Kimya, petrokimya, deniz suyu tuzsuzlaştırma tesisleri ve gıda makineleri endüstrisinde
- Çelik dökümünde ingotlar (kokil) olarak

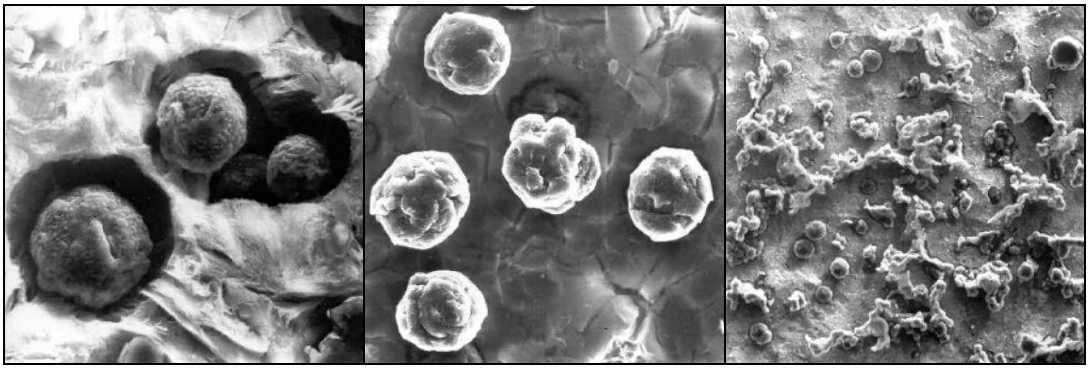
Kullanıldığı yerlere göre örnekler verilecek olursa, binlercesinin sayılması gerekir. KGDD kam ve krank milleri bugün otomotiv sanayin de vazgeçilmez bir kullanım sahasına sahiptirler. 1980 yılında Batı Almanya'da üretilen iki otomobilden birinde KGDD kam ve krank mili bulunuyordu. Gelecekte, KGDD kam ve krank millerinin dövme çelikten imal edilenlerin yerini daha fazla alacağı beklenmektedir [30].

Küresel grafitli dökme demirler (perlitik ve/veya ostemperlenmiş cinsleri) kam ve krank millerinin imalatında dövme çeliğe alternatif olarak geliştirilmiş olup bu alandaki kullanım oranları her geçen gün hızla artmaktadır. Kam ve krank milini dövme çelikten (ısıl işlemsiz) üretmek, KGDD'in döküm ve ısıl işleminden (östemperleme) daha fazla enerji gerektirir.

İşleme maliyetleri, takım aşınmasının daha az olması sebebiyle azalırken dökümün katılaşması esnasında çekintisinin çeliğe nazaran daha düşük olması da KGDD kam ve krank imalinde maliyeti azaltan bir etkendir. Sonuç olarak KGDD'den imal edilen kam ve krank millerinin dövme çelik kam ve krank millerinin yerini alması ile maliyette yaklaşık % 30 oranında azalma olabilmektedir [31, 32].

Bununla beraber, KGDD malzemenin özgül ağırlığı (~7,1 kg/dm³) çeliğin özgül ağırlığından (~7,8 kg/dm³) daha düşük olduğundan bu malzemeden imal edilen aynı boyuttaki kam ve krank milinin dövme çelik kam ve krank milinden daha hafif olacağı aşikardır. Bilindiği gibi, günümüzde otomobil firmaları taşıtlarda hafifliği sağlayarak yakıt tüketimini en aza indirmek için eşdeğer mekanik özelliklerde yeni alternatif malzemeler arayışı içindedirler.

Dökme demirdeki karbonca zengin fazların, özellikle grafitin, ana yapı içindeki şekli ve dağılımı ile ilgili çalışmalar bu malzemelerin mukavemet, tokluk, işlenebilirlik gibi özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak başlamıştır. Yapıdaki çökelen grafitin şeklini kontrol etmek amacıyla yapılan çalışmalar Resim 2.1'de görülen küresel grafitin elde edilmesiyle en ileri düzeye ulaşmıştır.



a b c

Resim 2.1. KGDD'in mikro yapısı
a-)Sferoid yapı, Büyütme: x 600 (20 µm), Dağlama % 2 nital b-)% 50 ferritik % 50 perlitik yapı, Büyütme: x 500 (20 µm), Dağlama % 2 nital c-)Ferritik yapı, Büyütme: x 200 (50 µm), Dağlama % 2 nital [33]

KGDD'lerin mikro yapısında bulunan grafit, küçük zerrecikler halinde olan demir-karbon alaşımı olup bu kürecikler ergimiş durumda demire magnezyum ve seryum ilave edilerek grafit küreler şeklinde çöker. Bu tür dökme demirler oldukça iyi mekanik özelliklere sahip olup ısıl işleme tabi tutularak ferritik bir yapı elde edilerek iyi işlenebilme özeliği sağlanabilir. Karbonun kontrollü olarak küresel grafit şeklinde çökeltilmesi USA' da INCO' nun magnezyum ve İngiltere de BCIRA' nın seryum aşılama işlemleriyle gerçekleştirilmiştir [34].

Çizelge 2.2'de; Küresel Grafitli Dökme Demir, Temper Dökme Demir, Gri Dökme Demir, Çelik Döküm ve Beyaz Dökme Demir arasında çeşitli özellikler karşılaştırılmıştır. KGDD'ler, diğer dökme demir çeşitleri ve düşük karbonlu çeliklerle karşılaştırıldığında pek çok üstün özelliklere sahiptirler. Düşük döküm sıcaklığı, yüksek akışkanlık, düşük maliyet, tasarım esnekliği, süneklik, tokluk ve mukavemet bunlardan bazılarıdır [35].

Çizelge 2.2. KGDD'in mühendislik özelliklerinin diğer malzemelerin özellikleri ile karşılaştırılması [36]

Özellik	KGDD	Temper Dökme Demir	Gri Dökme Demir	% 0,3 C'lu Çelik Döküm	Beyaz Dökme Demir
Dökülebilirlik	1	2	1	5	3
İşlenebilirlik	2	2	1	3	-
Titreşim sönümleme	2	2	1	4	5
Yüzey sertleşebilirliği	1	1	1	3	-
Elastisite modülü	1	2	3	1	-
Darbe direnci	2	3	5	1	-
Korozyon direnci	1	2	1	4	5
Dayanım/Ağırlık Oranı	1	4	5	3	-
Aşınma direnci	2	4	3	5	1
Üretim maliyeti	2	3	1	4	3

1	2	3	4	5
En iyi	→	→	→	En kötü

2.9.1. Küresel grafitli dökme demirlerin üretim türleri

KGDD malzemeler herhangi bir ilave ısıl işleme gerek duyulmaksızın genel olarak üç şekilde üretilirler.

Ferritik KGDD

Küresel grafitler ferrit ana yapısındadır. Yüksek darbe direnci, göreceli iyi termal iletkenlik, yüksek magnetik geçirgenlik, düşük histerisis kayıpları, iyi işlenebilirlik ve bazı ortamlardaki iyi korozyon direnci belirgin özellikleri arasında sayılabilir.

Ferritik – Perlitik KGDD

Ferrit ve perlit karışımı ana fazında küresel grafitler bulunduran ve en yaygın olan bir türdür. En ucuz tip olup belirgin özellikleri arasında iyi işlenebilirlik gelirse de diğer özellikleri tam perlitik ve tam ferritik KGDD'ler arasında bulunur.

Perlitik KGDD

Perlit anafazındaki küresel grafit metalografik yapısını belirler. Yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci, düşük magnetik geçirgenlik, yüksek histerisis kaybı, iyi işlenebilirlik, orta darbe direnci ve süneklik belirgin özellikleri arasında sayılabilir.

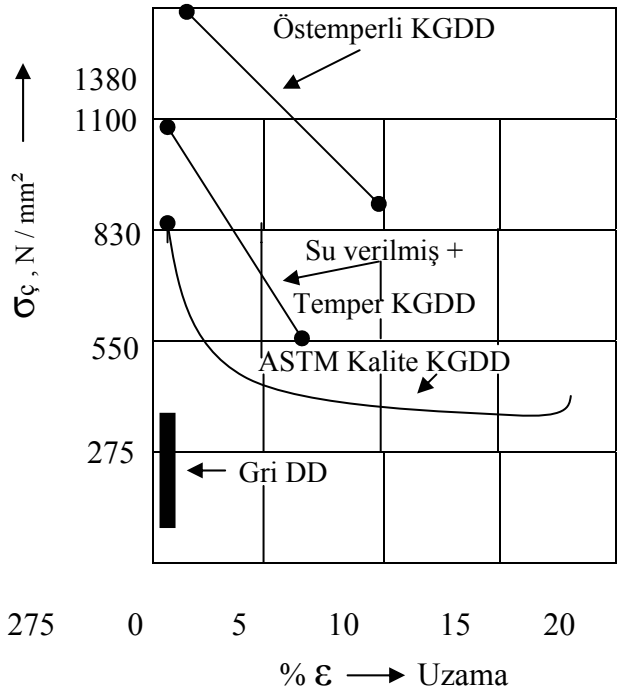
Dökme demirler içinde özel yeri olan KGDD ailesini bu üç grup içinde sınırlamak mümkün değildir. Özel durumlarda mühendislik ihtiyaçlarına cevap veren diğer KGDD çeşitleri de vardır. Martensitik, östenitik ve östemperli KGDD'ler bunlar arasında sayılabilir ancak bunlar pahalı türlerdir. Martensitik KGDD döküm halinde iken sert ve kırılgan olup, nadiren kullanılır. Temperlenmiş martensitik yapı çok yüksek mukavemet ve aşınma direnci gösterir.

Östenitik KGDD çekme mukavemeti en düşük olan KGDD türüdür. Ancak iyi korozyon ve oksitlenme direnci, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılık en belirgin özellikleri arasındadır.

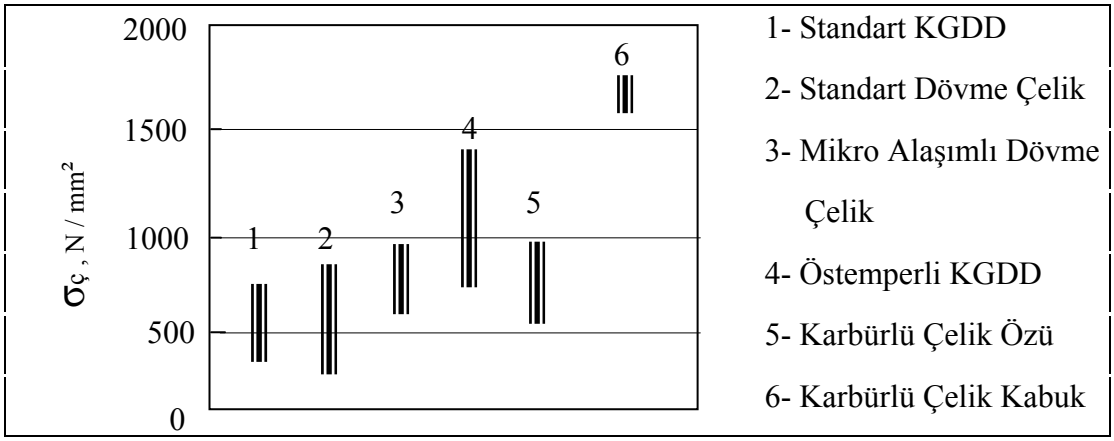
Östemperli KGDD küresel grafitli dökme demirler ailesine en son katılan, tasarım mühendislerine fevkalade mukavemet, tokluk ve aşınma direnci özelliklerinin kombinezonunu sunan bir türdür. Değişik KGDD türlerinin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri Şekil 2.8'de görülmektedir. Görüleceği gibi östemperlenmiş KGDD, ASTM kaliteli KGDD türlerine göre iki kat daha mukavemetlidir ve % 10'lara varan uzama veya şekil değiştirme davranışı sergilemektedir.

Östemperli KGDD' in çekme mukavemeti σç, yarıştığı diğer malzemelerle karşılaştırmalı olarak Şekil 2.9'da görülmektedir. ÖKGDD'lerin diğer özellikleri de şöyle sıralanabilir:

- Çok iyi süneklik ve tokluk, standart KGDD türlerine göre 2 kat daha fazladır
- Mükemmel yorulma ve aşınma direnci
- İyi kırılma tokluğu
- İyi şekil değiştirme sertleşmesi niteliği



Şekil 2.8. Değişik KGDD türlerinin σç (Çekme) ve % ε (Uzama) değerleri [37]



Şekil 2.9. Östemperli KGDD'lerin çekme mukavemetinin diğer mühendislik malzemeleri ile karşılaştırılması [37]

Bütün bu iyi özelliklerin elde edilmesi çok yakın ve sıkı kontrol gerektiren östemperleme ısıl işlemi ile gerçekleştirilir. Östemperleme işleminin başarılı olarak gerçekleştirilmesi ve istenilen optimum sonuçların elde edilmesi kullanılacak KGDD türünün ve ısıl işlem parametrelerinin dikkatli seçimine ve kontrolüne bağlıdır.

2.9.2. Küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması

Küresel Grafitli Dökme Demirler çeşitli normlara göre sınıflandırılmaktadır. TS 526'ya göre Çizelge 2.3'de ve Alman DIN 1693 standardına göre Çizelge 2.4'de Küresel Grafitli Dökme Demirlerin sınıflandırılması görülmektedir.

Küresel Grafitli Dökme Demirler sınıflandırırken TS 526'ya göre çekme mukavemeti 600-700 N/mm² nin üzerindeki KGDD'ler demir esaslı mühendislik malzemeleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Yüksek mukavemet ve iyi dökülebilirlik yanında, küresel şekilli grafitler, yapıda yağlayıcı görevi görmektedir [38].

Çizelge 2.3. TS 526 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması [39]

Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kısa Gösterilişi	İç Yapısı	Çekme Dayanımı (N/mm²) En Az	0.2 Akma Dayanımı (N/mm²) En Az	Kopma Uzaması (%) En Az	Brinel Sertlik Değeri (BSD)
DDK – 40	Daha çok ferritik	420	280	12	140-201
DDK – 50	Ferritik-Perlitik	500	360	7	170-241
DDK – 60	Perlitik - Ferritik	600	400	3	192-269
DDK – 70	Daha çok perlitik	700	450	2	229-302
DDK – 80	Perlitik	800	500	2	248-352
DDK – 35.3 *	Ferritik	350	220	22	-
DDK – 40.3 *		400	250	18	-

* Bu malzemeler, darbeli çalışma için öngörülen tiplerdir ve standartta çentik vurma dayanımı ile ilgili koşullar verilmiştir.

Çizelge 2.4. DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması [30]

Kısa Gösterilişi	Çekme Day. (N/mm²)	0.2 Akma Day. (N/mm²)	Uzama %	Doku
GGG - 40	400	250	15	Genellikle Ferritik
GGG – 50	500	320	7	Ferritik-Perlitik
GGG – 60	600	380	3	Perlitik-Ferritik
GGG – 70	700	440	4	Genellikle Perlitik
GGG - 80	800	500	2	Perlitik

2.9.3. Küresel grafitli dökme demire alaşım elementlerinin etkisi

Küresel grafitli dökme demir içerisinde karbon, silisyum, manganez, fosfor, kükürt, bakır, krom, nikel, vanadyum ve bor gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Aşağıda bu alaşım elementlerinin küresel grafitli dökme demire etkileri kısaca açıklanmıştır.

Karbon : KGDD bileşiminde % 3-4 karbon bulunmaktadır. Karbon miktarının artmasıyla grafit kürelerinin sayısının artmasına sebep olur. Ayrıca döküm kabiliyetinin artmasına neden olur [40].

Silisyum : KGDD içerisinde silisyum miktarı % 1,8-2,8 arasındadır. Silisyum ötektoid dönüşümde oluşan ferrit'in oranını ve sertliğini arttırarak dökme demir mukavemetinde de önemli artış meydana getirir [30]. Bunun yanında sünek-gevrek geçiş sıcaklığını da yükseltir. Bu nedenle maksimum tokluğun ve sünekliğin sağlanması için silisyum oranı % 2'nin altında tutulmalıdır [41].

Manganez : Özellikle kalın kesitli dökümlerde manganez tane sınırı karbürlerinin oluşumunu teşvik eder. Bunun sonucunda ise süneklik ve tokluk düşer. Ferritik döküm yapısı istenen KGDD malzemelerde manganez oranının % 0,2 tutulması sonucunda maksimum süneklik elde edilmesi için gereklidir. Ayrıca perlitik döküm yapısı sağlamak için manganez oranı % 1'e kadar çıkabilir [41].

Fosfor : Yapıda steadit fazı oluşturarak kırılganlığı artırır. Bu nedenle yapıda maksimum % 0,05 olarak sınırlandırılmalıdır [40].

Kükürt : Grafitleri küreselleştirmek için kullanılan magnezyum miktarının daha fazla kullanımını gerektirdiği için bileşimi, magnezyum işlemi öncesinde % 0,02 veya daha az bir seviyeye indirilmelidir [40].

Bakır : Malzemede işlenebilirliği artırmak ve tokluğun yanı sıra yüksek mukavemet sağlar [40, 41].

Yukarıda sözü edilen elementlerden başka antimuan, kurşun, titanyum, tellür, bizmut ve zirkonyum gibi elementlerde çekirdekleşme potansiyeline etki ederler. Bu elementler, bileşiminde ya çok seviyelerde bulunmalı ya da hiç bulunmamalıdır. Krom, nikel, vanadyum ve bor gibi alaşım elementleri ise karbür yapıcı perliti kararlaştırıcı ya da ferrit oluşumunu teşvik edici elementler olarak bilinir [40].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hemen hemen bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra etkin olarak kesme kabiliyetlerini kaybederler. Kesici takım geometrisindeki

tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerden dolayı kesici ucun kırılması ve yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindendir. Günümüzde kullanılan kesici takımlar için deneysel olarak belirlenmiş uygun kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) mevcuttur. Bu parametreler işlenecek iş parçası ve işleme biçimine göre de değişiklik gösterir. Kullanılan kesme parametreleri uygun olan değerlerin altında olduğu takdirde kesici takım aşınması yavaş olsa bile üretim zamanı ve dolayısıyla maliyet artar. Bazı durumlarda da uygun değerlerin altında olan kesme parametreleri (özellikle kesme hızı) kesici ucun hızlı aşınmasına neden olabilir. Kesme parametreleri uygun değerlerin üzerinde olduğu takdirde ise kesici takım aşınması hızlanır.

Kesme parametrelerinden kesme hızının takım aşınması üzerinde çok önemli bir etkisi vardır. Talaşlı imalat işlemlerinde üretim hızını artırmak ve dolayısıyla maliyeti düşürmek için kesme parametrelerinin yükseltilmesi çok sayıda araştırma ve geliştirme çalışmalarının konusu olmuştur. Daha yüksek kesme parametrelerinde etkin bir şekilde kesme işlemi yapabilecek kesici takımların geliştirilmesi üzerinde önemle durulmuştur. Ayrıca, özellikleri daha iyi olan yeni malzemelerin geliştirilmesi de aşınma dayanımı daha iyi olan kesici takımların geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

3.1. Talaşlı İmalat İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi

1800'lü yıllarda talaşlı imalat işlemlerinde demiri (iron) işlemek için kullanılan en iyi kesici takım pota (crucible) işlemi ile üretilen çelik dökümdür (cast steel). Karbon muhtevası, dövme demirdeki (wrought iron) ile dökme demirdekinin arasında olan çelik döküm diğer metalleri işlemek için ısıl işlemle sertleştirilebilmekteydi. 1868 yılında, R. Mushet, pota çeliğini yaklaşık % 7 oranında tungsten ile alaşımlayarak ısıl işlemden sonra hava ile soğutma sonucu sertleştirilmiş bir takım çeliğinin elde

edilebileceğini keşfetmiştir. Mushet'in takım çeliği bu tarihten önce kullanılanlardan çok daha mükemmeldi.

F.W. Taylor, kesici takımlar tarihinde önemli bir dönüm noktası olarak durmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinin Pensilvenya Eyaletinde 1880'li yıllarda başlayan çalışmalarını bir çeyrek asır boyunca devam ettirmiştir. Taylor'un yaptığı bu çalışmalar sonucu yüksek alaşımlı takım çeliklerinin bir türü olan *yüksek hız çeliği* geliştirilmiştir. Yüksek hız çeliği ile talaşlı imalat işlemleri, yüksek hız çeliğinin geliştirilmesinden önce kullanılan kesici takımlarla yapılan talaşlı imalat işlemlerinden önemli derecede yüksek kesme hızlarında yapılabilmiştir. Taylor'un geliştirdiği yüksek hız çeliğinin talaşlı imalat işlemlerindeki yüksek performansı yalnızca yüksek alaşımlamadan kaynaklanmamıştır. Aynı zamanda, ısıl işlemdeki rafine etme işlemi de önemli derecede bir etki yapmıştır. Yüksek hız çeliği kesici takımla Mushet çeliğinde kullanılan kesme hızının iki katından daha fazla ve karbon döküm çeliğinde kullanılan kesme hızının yaklaşık dört katı hızda kesme yapılabilmiştir.

Tungsten karbür (WC) ilk olarak 1890'lı yılların sonlarında sentezlenmiştir. Ancak, metal bir birleştirici ile karıştırılıp sinterlenerek kesici takım biçimine getirilmesi ve sementit karbür kesici takım olarak kullanılması yaklaşık olarak 30 yıl sonra gerçekleştirilmiştir. Sementit karbür kesici takımlar talaşlı imalat işlemlerinde kesici takım olarak 1920'li yılların ortalarında Almanya'da ve 1920'li yılların sonlarında da Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmıştır.

Titanyum karbür esaslı sermet kesici takımlar ilk olarak 1950'li yıllarda piyasaya çıkarılmıştır. Günümüzde sermet kesici takımlar yaygın olarak Japonya'da kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise yaygın olarak kullanılan kesici takım kaplamalı sementit karbürlerdir. İlk kaplamalı sementit karbür kesici takımlar 1970'li yıllarda piyasaya sürülmüştür. Bu kesici takımlarda WC-Co esaslı bir sementit karbür üzerine tek bir katman kaplanmıştır. TiC, TiN ve Al_2O_3 yaygın olarak kullanılan kaplama malzemeleridir. Günümüzde kullanılan modern karbür kesici takımlarda üç veya daha fazla katmanlı kaplamalar mevcuttur.

Avrupa'da alümina esaslı seramikleri kesici takım olarak kullanma girişimleri 1900'lü yılların başlarına kadar gitmektedir. Yapılan ilk girişimler bu malzemelerin önemli derecede yüksek olan kırılganlıkları nedeniyle başarısız olmuştur. Yıllarca yapılan çalışmalar sonucu özellikleri daha iyi olan alümina seramikler üretilerek kesici takım olarak kullanılmaları mümkün olmuştur. Seramik kesici takımların Amerika Birleşik Devletlerinde ticari olarak kullanılması 1950'li yılların ortalarında başlamıştır. Kesici takım malzemelerinin, yaklaşık olarak ilk kullanılma tarihleri ve kabul edilebilir kesme hızları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

İlk endüstriyel elmaslar General Elektrik Firması tarafından 1954 yılında üretilmiştir. Tek kristalli olan bu elmaslar 1957'den itibaren taşlama işlemlerinde kısmen başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Elmas kesici takımın yaygın olarak kabul görmesi 1970'li yılların başlarında, sinterlenmiş çok kristalli elmasın kullanımı sonucu gerçekleşmiştir. Benzer bir takım malzemesi de kübik bor nitrittir. Kübik bor nitrit de 1969 yılında General Elektrik Firması tarafından piyasaya sürülmüştür [10].

Endüstriyel ürünlerin performansını artırmak için özellikleri daha iyi olan yeni malzemeler sürekli olarak geliştirilmektedir. Uzay ve havacılık endüstrilerinin bu alanda başı çektiği söylenebilir. Nikel esaslı süperalaşımlar, titanyum alaşımları ve seramik takviyeli kompozit malzemeler uzay ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir [6]. Ayrıca, seramik takviyeli kompozit malzemeler otomotiv sektöründe de kullanılmaktadır.

Havacılık ve uzay endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan nikel esaslı süperalaşımların yüksek akma dayanımı, deformasyon sertleşme eğilimi, mikro yapılarında mevcut olan oldukça aşındırıcı karbürler, talaşlı imalat işlemleri ile şekillendirilmeleri anında yüksek kaynaklanma ve yığıntı talaş (BUE) oluşturma eğilimleri ve düşük ısıl iletkenlikleri nedeniyle işlenebilirlikleri zordur [5].

Çizelge 3.1. Kesici takım malzemeleri, yaklaşık olarak ilk kullanılma tarihleri ve kabul edilebilir kesme hızları [10]

Takım Malzemesi	İlk Kullanılma Tarihi	Müsaade Edilen Kesme Hızı (m/dak.)
Karbon çeliği Çelik olmayan malzemeler Çelik malzemeler	1800'lü yıllar	> 10 > 5
Yüksek hız çeliği Çelik olmayan malzemeler Çelik malzemeler	1900	25 – 65 17 – 33
Kobalt döküm alaşımı Çelik olmayan malzemeler Çelik malzemeler	1915	50 – 200 33 – 100
Sementit karbür Çelik olmayan malzemeler Çelik malzemeler	1930 1940	330 – 650 100 – 300
Sermet (TiC) Çelik malzemeler	1950	165 – 400
Seramik (Al_2O_3) Çelik malzemeler	1955	330 – 650
Yapay elmas Çelik olmayan malzemeler	1954, 1973	390 – 1300
Kübik bor nitrit Çelik malzemeler	1969	500 – 800
Kaplamalı karbür Çelik malzemeler	1970	165 – 400

Nikel esaslı süperalaşımların işlenmesi esnasında sementit karbür kesici takımlar hızlı bir şekilde aşınmaktadır [5].

Jawaid et. al. [5], nikel esaslı bir süperalaşım olan Inconel 718 üzerinde alın frezeleme deneyleri yaparak gerçekleşen kesici takım aşınmalarını incelemişlerdir. Farklı kesme hızları ve ilerleme hızlarında kaplamasız ve kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanarak deneyleri yapmışlardır. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemelerden kesici takım kaplamasının kesme sürencinin başlangıcında yapışan iş parçası malzemesi tarafından kesici takımdan ayrıldığı tespit edilmiştir. Kesici uçta küçük kırılmalar ve yan yüzey aşınması genel aşınma biçimi olarak tespit edilmiştir. 0,3 mm olarak belirlenen yan yüzey aşınma kriterine göre bazı kesme şartlarında kesici takım ömrünün 6 saniyeye kadar düştüğü tespit edilmiştir.

El-Gallab ve Sklad [42], Al/SiC MMK malzemenin işlenmesi için bir takım aşınma modeli geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen modelle optimum takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin seçilmesi amaçlanmıştır. Takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeylerindeki ısıl ve mekanik etkileşimler dikkate alınmıştır. Takım geometrisinin ve malzemesinin, takım üzerinde oluşan gerilmeler ve sıcaklık üzerindeki etkisi sonlu elemanlar modeli kullanılarak gösterilmiştir. Model yardımı ile tahmin edilen sıcaklıklar ve gerilmeler daha önce deneysel olarak yapılan ölçümlerle ve takım aşınması gözlemleri ile karşılaştırılmıştır ve iyi bir uyum içinde olduğu belirtilmiştir.

Endüstriyel ürünlerin performansını artırmak için geliştirilen diğer bir grup mühendislik malzemeleri de kompozit malzemelerdir. Özellikle bu grup içerisinde parçacık takviyeli MMK malzemeler, monolitik alaşımlara göre daha iyi olan özellikleri ve uzun elyaf takviyeli kompozitlere göre de düşük maliyetleri nedeniyle havacılık ve uzay endüstrileri başta olmak üzere otomotiv endüstrisinde imalatçıların ilgisini çekmektedir [43-45].

Ancak, parçacık takviyeli MMK malzemelerin içerisindeki seramik takviye elemanları genellikle talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan sementit karbür kesici takımlardan daha sert oldukları için talaşlı imalat esnasında sementit karbür kesici takımlarda hızlı abrasif yan yüzey aşınmasına sebep olmaktadırlar. Daha uzun bir takım ömrü elde etmek için de MMK malzemelerdeki seramik parçacıklardan daha

sert parçacıklar içeren Çok Kristalli Elmas (PCD) gibi kesici takımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, PCD kesici takımların yüksek fiyatları yaygın olarak kullanılmalarını engellemektedir [1]. Ayrıca, PCD kesici takımların darbe dirençleri sementit karbür kesici takımların darbe dirençlerinden daha düşüktür [46]. Bu nedenle, MMK malzemelerin kaba işlenmesi için PCD kesici takımlar uygun değildir. Dolayısıyla parçacık takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde sementit karbür kesici takımların kullanılması kaçınılmazdır.

Parçacık takviyeli MMK malzemelerin işlenmesiyle ilgili yapılan çalışmalardan sementit karbür kesici takımların düşük kesme hızları ve yüksek ilerleme oranlarında kısa süreli kesme işlemleri için kullanılabileceği görülmektedir [47-52].

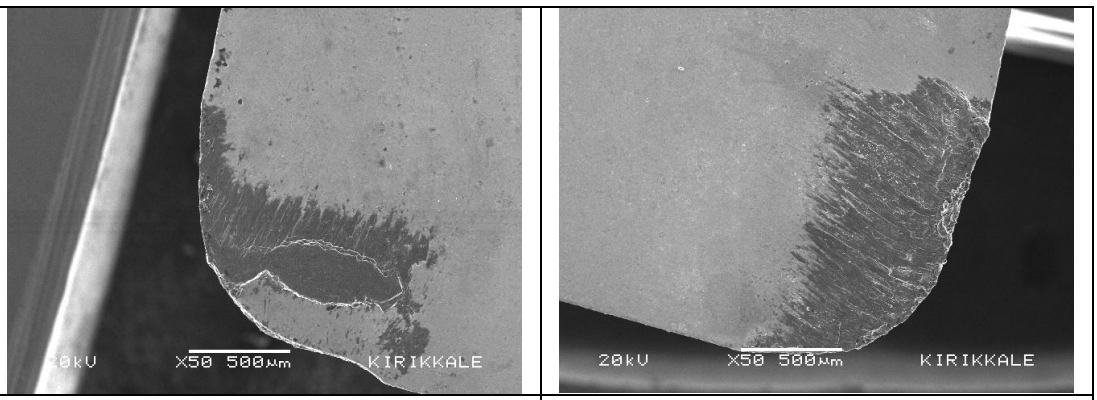
Sementit karbür kesici takımlarla parçacık takviyeli MMK malzemeleri işlemek için uygun kesme parametrelerini belirlemeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Çiftçi et. al. [53], yüksek dayanımı, sünekliği ve tokluğu nedeniyle küresel grafitli dökme demirin işlenebilirlik özelliği, pik dökme demire göre kötüdür. Bununla birlikte, çelik bir malzeme yerine kullanıldığında, çeliğe göre daha iyi işlenebilirlik özelliği en önemli kazanç olarak düşünülür. Bu çalışma çeşitli miktarlarda Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirler üzerinde mikro yapının ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmış işlenebilirlik deneyleri sonuçlarını verir. Çeşitli miktarlarda Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demir numunelerden altı farklı grup işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur ve kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü kriterlerine göre işlenebilirlikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, küresel grafitli dökme demiri Ni ve Cu ile çeşitli miktarlarda alaşımlanın tornalama esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ve işlenen malzemenin yüzey kalitesini önemli derecede etkilediğini göstermiştir. En iyi sonuçlar % 0,7 Ni ve % 0,7 ile alaşımlandırılmış numunenin işlenmesinde elde edilmiştir.

Çiftçi et. al. [52], 30, 45 ve 110 μm boyutlu SiC parçacıklardan ağırlıkça % 8 ve %16 oranında ihtiva eden parçacık takviyeli MMK malzemeleri sıvı metal karıştırma-

basınçlı döküm yöntemiyle üretmişlerdir. Sabit ilerleme hızı, sabit talaş derinliği ve çeşitli kesme hızlarında kaplamasız ve üç katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanarak bu malzemeler üzerinde işleme deneyleri yapmışlardır. Kesme hızının ve kaplamanın takım aşınması üzerine etkileri araştırmışlardır. Ayrıca, işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri de gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızı ile birlikte takviye elemanı parçacık boyutu ve malzeme içerisindeki ağırlık oranı takım aşınmasını etkileyen en önemli faktörler olarak bulunmuştur. İşlenen bütün malzemelerde, takım aşınması yönünden, kaplamalı sementit karbür kesici takımlar, kaplamasız kesici takımlardan daha iyi performans göstermiştir.

Bununla birlikte, kaplamasız kesici, özellikle düşük kesme hızlarında R_a değerlerine göre daha iyi yüzey oluşturmuştur. Takım aşınma mekanizması abrasiv olarak kalmasına rağmen, tarama elektron mikroskobunda (SEM) kesici uçların ayrıntılı incelenmesi yüksek kesme hızlarının kesici uç kırılmasına neden olduğunu göstermiştir. Düşük ve yüksek kesme hızlarında kesme işlemi yapan kesici takımların aşınmış uçlarının SEM fotoğrafları Resim 3.1'de görülmektedir.



a. b.

Resim 3.1. Al-%8 SiC/45 MMK malzemenin kaplamasız sementit karbür kesici takımla a. 20 m/dak ve b. 80 m/dak kesme hızlarında işlenmesi sonucu oluşan kesici takım aşınmaları [1].

Resim 3.1'deki SEM fotoğrafı dikkatli bir şekilde incelendiğinde, kesici takımdaki yan yüzey aşınmasının tedrici bir biçimde gerçekleştiği anlaşılabilir. Dolayısıyla yan yüzeyde düzenli olarak aşınan bir bölgenin oluşuğunu söyleyebiliriz.

Tomac ve Tonnessen [54], yaptıkları çalışmalarında SiC takviyeli Al esaslı kompozit malzemenin tornalama metoduyla işlenmesinde takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Bu çalışmada, çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kaba işleme ve PCD kesici takımlar da bitirme işlemi için kullanılmıştır. PCD ile sementit karbür kesici takımların performanslarının aynı kesme şartlarında takım ömrüne göre karşılaştırılmasını yapmışlardır. Aynı kesme şartlarında (kesme hızı: 60 m/dak, talaş derinliği: 0.4 mm ve ilerleme: 0.1 mm/devir) PCD kesici takımda 0.4 mm aşınma değerine 62 dakikada ulaşılmıştır. Çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımda ise yalnızca 2 dakika sonunda ulaşılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, PCD kesici takımların yüksek fiyatlarının işleme operasyonunun maliyetini artıracağını ve bu yüzden, az sayıda parçaların işlenmesi için K10 kalite sementit karbür kesici takımların muhtemel bir çözüm olabileceği ve sementit karbür kesici takımlarla işlerken yeterince uzun bir takım ömrü sağlamak için kesme hızları 20-50 m/dak gibi düşük değerlerde olması gerektiği belirtmiştir.

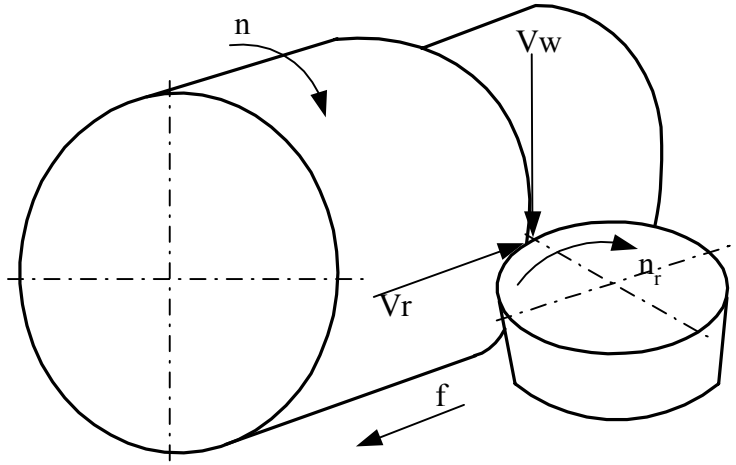
Chambers [55], % 5 hacim oranında Saffil ve % 15 hacim oranında SiC takviyeli Al-5Mg esaslı MMK ile % 15 SiC takviyeli Duralcan A356 esaslı MMK malzemenin işlenebilirliklerini incelemişlerdir. Deneylerde sementit karbür ve PCD kesici takımlar kullanılmıştır. En uygun sementit karbür kalitesini (grade) bulmak için ön testler yapılmış ve takım ömrü ve bitirme yüzeyine göre kaplanmış K10 kalitesinde sementit karbür takım en uygun takım olarak bulunmuştur. Ancak, K10 kalite sementit karbür bütün deneylerde oldukça yüksek yan yüzey aşınması sergilemiştir.

Örneğin, Al-5Mg esaslı MMK malzemenin 100 m/dak kesme hızında yalnızca 1 dakika işleme yapması sonucunda gerçekleşen yan yüzey aşınması 0,25 mm olmuştur. Aşınmış kesici uçtan alınan SEM fotoğrafları, tedrici bir yan yüzey aşınması olduğunu göstermiştir.

Lei ve Liu [56], bir titanyum alaşımı olan Ti-6Al-4V'nin yüksek hızda işlenmesi için yeni nesil bir döner torna kesici takımı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu döner takımla silindirik parçalar üzerinde tornalama deneyleri yapmışlardır. Karşılaştırma amacı ile

aynı malzeme üzerinde aynı biçimde sabit kesici takım kullanılarak da deneyler yapmışlardır. Sabit kesici takıma göre döner kesici takımın takım ömrünü önemli derecede arttırdığı tespit edilmiştir.

Döner kesici takımla tornalama işleminde silindirik geometrideki bir kesici uç, kesme işlemi esnasında kendi ekseni etrafında döner. Dolayısıyla, kesme işlemi esnasındaki dönme işlemi sayesinde kesici ucun aşınan kısmı otomatik olarak kesme bölgesinden uzaklaşarak kesici ucun aşınmamış bir kısmı ile kesme işlemi yapılır. Bu şekilde kesici ucun daha fazla kısmı kesme işlemi için kullanılır. Aynı zamanda, kesme işlemini durdurup kesici ucun aşınan kısmını değiştirmek gerekmez. Şekil 3.2'de, döner kesici takım ve iş parçası şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Döner kesici takım ve silindirik iş parçası [56]

Jun et. al. (57), Inconel 718'e eşdeğer malzemeler üzerinde SiC whisker takviyeli Al_2O_3 kesici takımlar kullanarak tornalama deneyleri yapmışlardır. Farklı kesme hızlarında yapılan deneyler sonucunda 0,3 mm yan yüzey aşınmasına bütün kesme hızlarında kısa bir sürede ulaşıldığını rapor etmişlerdir. Azalan kesme hızıyla kesici takım aşınmasının azaldığı belirlenmiştir. Ancak, en düşük hız olan 20 m/min kesme hızında bile 0,3 mm yan yüzey aşınmasına yaklaşık olarak 5 dakikada ulaşılmıştır. Yüksek kesme hızlarında ise aynı miktarda aşınmaya 1 dakikadan daha kısa bir sürede ulaşıldığı tespit edilmiştir.

3.2. Literatür Değerlendirmesi

Endüstri devriminin başlangıcından itibaren talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlar sürekli olarak geliştirilmiştir. Bu gelişmeler sonucu geliştirilen kesici takımlar daha yüksek kesme hızlarının kullanımına imkan sağlayarak talaşlı imalat işlemlerinin verimliliği artmıştır. Ancak, endüstriyel ürünlerin performansını geliştirmek için geleneksel malzemelerden daha iyi özelliklere sahip yeni malzemelerin geliştirilmesi talaşlı imalat yönünden bir takım problemlere neden olmuştur. Bu problemlerden en önemlisinin hızlı kesici takım aşınması olduğu söylenebilir. Özellikle, parçacık takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde sementit karbür kesici takımların çok yüksek aşınmaya maruz kalmaktadır.

PCD kesici takımların yüksek fiyatları ve sementit karbür kesici takımlara göre yüksek kırılganlıkları parçacık takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde sementit karbür kesici takımların kullanılmasını bazı durumlarda gerekli kılmaktadır. Sementit karbür kesici takımların düşük kesme hızlarında parçacık takviyeli MMK malzemeleri işlemesi durumunda kesici takım yan yüzeyinde yan kenar aşınmasının düzenli olarak geliştiği yapılan bazı çalışmalardan görülmüştür [52, 54-55].

Düzenli yan yüzey aşınmasına maruz kalmış kesici takımın ön boşluk ve yan boşluk açılarının değiştirilmesi ile aşınan kısımlar ikinci bir yan boşluk yüzeyi olarak işlev yapar. Dolayısıyla, aşınmış bir kesici takım belirli bir süre daha kesme işlemi yapabilir. Ayrıca, bu amaçla talaşlı imalat işlemi esnasında otomatik olarak kesici takım yan boşluk açısını değiştiren bir sistemin kullanılması ile bu işlem otomatikleştirilebilir.

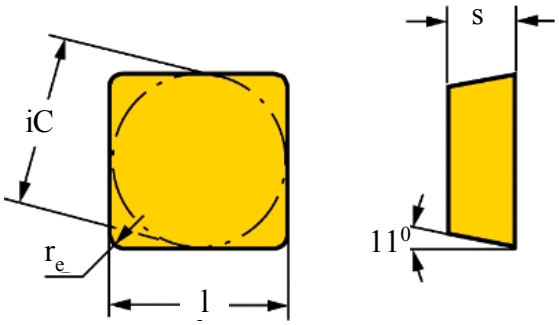
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Talaş Kaldırma Deneyleri

4.1.1. Kesici takım ve takım tutucu

Aşınma sonrasında kesici takımın uzunlamasına ekseni etrafında 3°, 5°, 7° ve 9° döndürülebilmesine imkan sağlamak için kesici takım yan boşluk açısı oldukça yüksek olan bir sementit karbür kesici takım seçilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yalnızca yan boşluk açısı değiştirileceği için seçilen kesici takımın uç yarıçapının 0,4 mm. olması tercih edilmiştir. Bu şekilde kesici takımın uç noktası kısmındaki aşınmanın etkisini en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Seçilen kesici takım sementit karbür olup Sandvik Coromant Firması tarafından üretilmiştir. Bu kesici takım SPUN 120304 formunda olup ISO kodlamasına göre K15 derecesine tekabül etmektedir. Şekil 4.1'de, SPUN 120304 K15 kesici takımın parametreleri ve parametre değerleri görülmektedir.

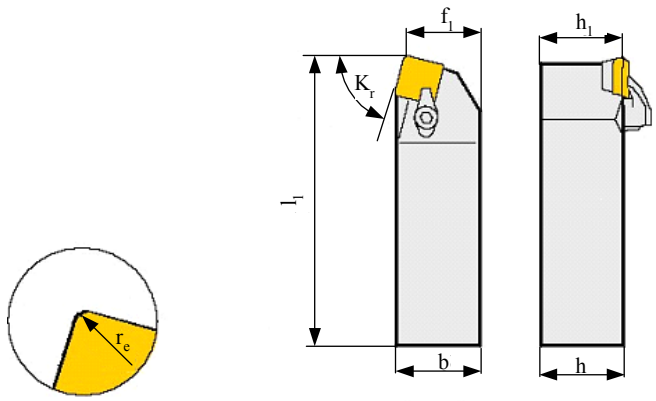
Parametreler	Değerleri
Uç genişliği	12
l	12
s	3,18
iC	12,7
r_e	0,4



Şekil 4.1. SPUN 120304 K15 kesici takımın parametreleri ve parametre değerleri

Talaş kaldırma deneylerinde, bu kesici takım için Sandvik Coromant tarafından üretilen ve CSBPR-2525M-12 formunda bir takım tutucuya rijit bir şekilde bağlanmıştır. Şekil 4.2' de CSBPR-2525M-12 formunda takım tutucunun parametreleri ve parametre değerleri verilmiştir.

Parametreler	Değerleri
Uç genişliği	12
b	25
f_1	22
h	25
h_1	25
r_e	0,4
l_1	150



Şekil 4.2. CSBPR-2525M-12 formunda takım tutucunun parametreleri ve değerleri

4.1.2. Takım tezgahı

Talaş kaldırma deneyleri, endüstriyel tip Johnford TC35 tipi CNC tezgahında yapılmıştır. Johnford TC35 CNC tezgahı 10 kW gücünde olup değişken iş mili hızı 4000 rev/min'e kadar yükselebilmektedir. Talaş kaldırma deneyleri esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin üç bileşenini de aynı anda ölçebilen bir dinamometre bu tezgaha bağlanmıştır. Kuvvet ölçmelerini gerçekleştirebilmek için kullanılan dinamometre Kistler 9257 B model ve kullanılan Charge Amplifier da 5019 B130 tipindedir. Sonuçların grafik olarak elde edilmesi için Dynoware programı kullanılmıştır.

4.1.3. Takım mikroskobu ve yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı

İşlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için, Çizelge 4.1'de teknik özellikleri verilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı teknik özellikleri

MODEL	Perthometer M1 (Mahr)
Ölçme Hızı	150µm/sn
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Numune Uzunluğu	0,8 mm
Değerlendirme Uzunluğu	5,6 mm

Ölçmeler, her bir deney için üçer defa gerçekleştirilmiş ve bulunan sonuçların ortalama pürüzlülük değerleri dikkate alınmıştır. Kesici takım yan yüzey aşınması ölçümü için 0,01 mm hassasiyetli WF 20X bir takım mikroskobu kullanılmıştır. Resim 4.1'de, kullanılan takım mikroskobunun resmi gösterilmiştir.

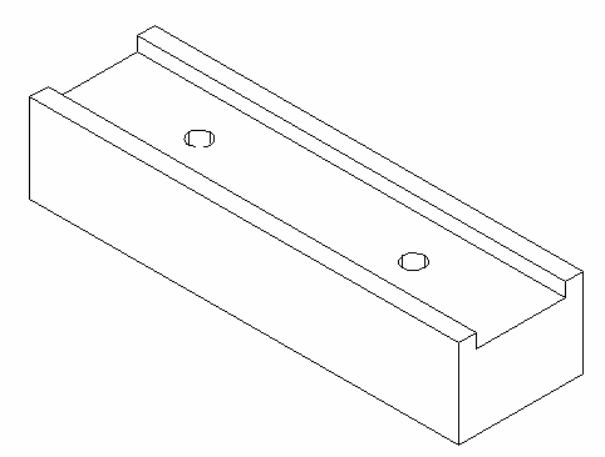


Resim 4.1. Takım mikroskobu

4.1.4. Kamaların hazırlanması

Deneylerin farklı kesici takım yan boşluk açılarında yapılabilmesi için takım tutucunun altına kamalar yerleştirilmiştir. Deney yapılacak kesici takım yan boşluk açıları 3°, 5°, 7° ve 9° olarak belirlenmiştir. Öncelikli olarak bu açılar için kama boyutları belirlenmiştir.

Kama boyutlarının belirlenmesinde, açının değişiminden dolayı kesici takım ucunun ayna-punta eksensinden sapması dikkate alınmıştır. Dolayısıyla deney yapılan bütün yan boşluk açılarında kesici takım ucunun ayna punta ekseninden sapmasına müsaade edilmemiştir. Kama boyutları arasındaki farkların çok küçük olması nedeniyle ilk olarak bir kama bağlama aparatı imal edilmiştir (Şekil 4.3). Bu şekilde bir aparatı yapmaktaki amaç, kamaları mengeneye bağlamak ve taşlamak gibi işlemleri rahatlıkla gerçekleştirmektir.



Şekil 4.3. Kama bağlama aparatı

Kama bağlama aparatı imal edildikten sonra, paralel mastar ölçüleri hesap edilmiştir. Paralel mastar ölçülerinin belirlenmesi için Şekil 4.4'de gösterilen A ve B dik eksenleri arasındaki mesafeden ve kama açılarından yararlanılmıştır. A ve B dik eksenleri arasındaki mesafe 100 mm, kama açıları ise Çizelge 4.2'de verildiği gibidir. Mastar ölçülerini belirlemek için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

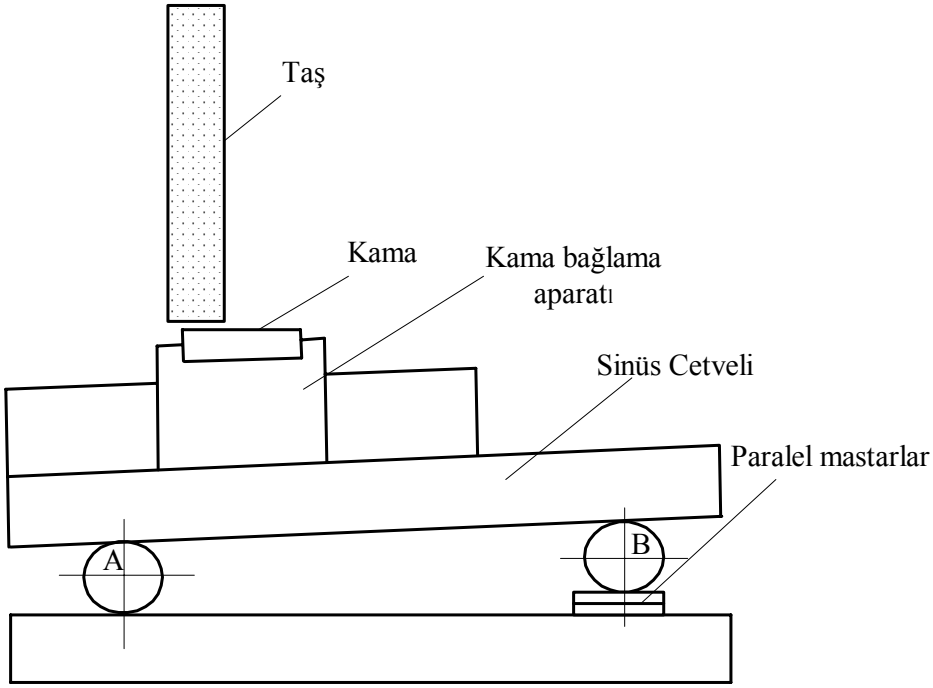
$$Tan\ (Kama\ açısı) = \frac{Paralel\ mastar\ yüksekliği}{A\text{-}B\ dik\ eksenleri\ arasındaki\ mesafe\ (100\ mm)} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2. Kama ölçüleri

Kesici takım yan boşluk açısı	3º	5º	7º	9º
Kama açsı	2 º	0 º	2 º	4 º
Ön yüksekliği	2,28	3	2,85	2,73
Arka yüksekiği	3,15	3	3,73	4,47
Kama genişliği	120	120	120	120
Kama boyu	25	25	25	25

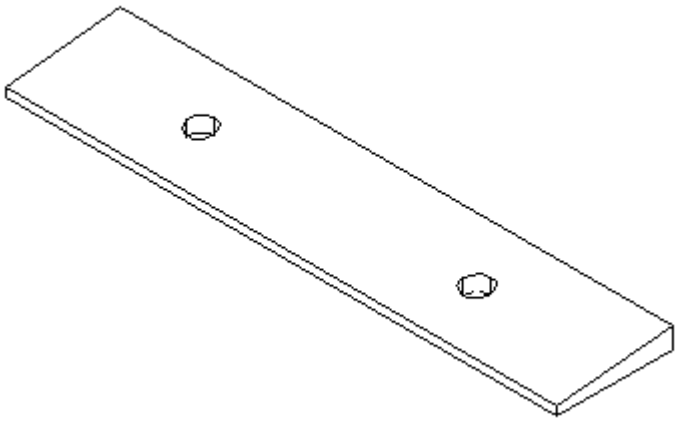
Öncelikle, üniversal freze tezgahı kullanılarak, kamalar kaba ölçülere getirilmiştir. Freze tezgahında kaba olarak ölçüye getirilen kamalar, Eşitlik 4.1 ile hesaplanan paralel mastarlar yardımı ile sinüs cetveline bağlanmış ve Şekil 4.5'de gösterilen düzenek kurularak hassas olarak taşlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir kama

ölçüsü için paralel mastarlar değiştirilerek, düzenek yeniden kurulmuş ve taşlama işlemi, her bir kama için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

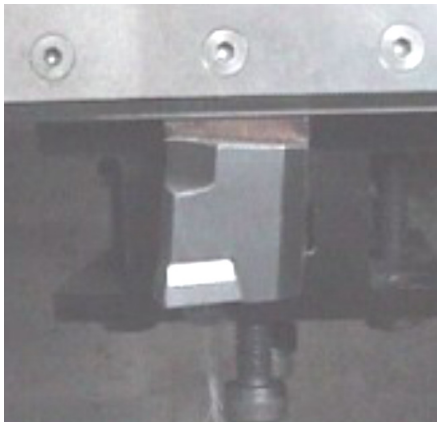


Şekil 4.4. Kama taşlama düzeneği

İmal edilen kamaların şematik resmi Şekil 4.5' de, kesici takımın kama ile bağlanması Resim 4.2' de görülmektedir.



Şekil 4.5. Kamaların şematik resmi



Resim 4.2. Kesici takımın kama ile bağlanması

4.1.5. Kesici takım aşındırma deneyleri

Kesici takım aşındırma deneyleri için, kesme hızı 250 m/dak, ilerleme hızı 0,05 mm/devir ve talaş derinliği de 1,6 mm. olarak belirlenmiştir. Deneyler, soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Deneyler esnasında kesici takımın hızlı bir şekilde aşınmasına imkan sağlamak ve dolayısıyla kullanılan iş parçası malzemesi miktarını azaltmak için kesme hızı yüksek tutulmuştur. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesme kuvvetleri ve işlemden sonra da işlenen iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kesici takım aşındırma deneyleri , ön deneyler ve esas deneyler olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. İlk aşamada yapılan ön deneylerde, belirlenen her bir yan boşluk açısında, aşınmamış bir kesici uç kullanılarak kesici takım aşındırma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler ile, farklı yan boşluk açılarında kesici takım ömürleri belirlenmiştir. Bu aşamada yapılan deneylerde 10 saniyelik periyotlarla kesici takım aşınmaları ölçülmüştür. Kesici takım aşınmasını ölçme işlemi ISO 3685'de önerildiği gibi, 0,3 mm yan yüzey aşınması gerçekleşene kadar devam etmiştir. İkinci aşamada gerçekleştirilen esas deneylerde ise, tek bir kesici uç kullanılmış ve sırası ile yan boşluk açıları değiştirilerek deneyler yapılmıştır. İlk olarak, 3° yan boşluk açısında deney yapılarak kesici uç aşınmıştır. Aynı aşınmış uç kullanılarak, sırasıyla 5°, 7° ve 9°'lik yan boşluk açılarında deneyler yapılmıştır. Bütün deneyler esnasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür.

4.2. İş Parçası Malzemesi ve Analizi

Kesici takım aşındırma deneylerinde, iş parçası malzemesi olarak, GGG-70 sınıfı küresel grafitli dökme demirden (sfero döküm olarak da bilinir) üretilen kam milleri kullanılmıştır. Çizelge 4.3'de kimyasal bileşimi verilen kam mili, Sivas ESTAŞ Eksantrik San. Tic. A.Ş. Döküm Fabrikasında dökülmüştür. Malzemenin kimyasal bileşimi ile ilgili analizler, bu fabrikanın Malzeme Analiz Kontrol Laboratuarında, "OBLF-Spektrometer" marka spektral analiz cihazı kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. GGG-70 sınıfı KGDD'in kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Cu**	**Al**
3,57	2,05	0,604	0,043	0,018	0,065	0,022	<0,001	0,151	0,012
Co	**Ti**	**V**	**W**	**Pb**	**Sn**	**Sb**	**Mg**	**Fe**	**-**
<0,001	0,012	0,002	<0,003	<0,001	0,093	<0,001	0,050	Kalan	-

4.2.1. Malzeme sertlik ölçümü

İş parçası malzemesinin sertlik ölçümü Sivas ESTAŞ Eksantrik San. Tic. A.Ş. Döküm Fabrikası Malzeme Analiz Kontrol Laboratuarında, "Instron Wolpert" sertlik ölçüm cihazı ile 3000 kg yük altında ve 10 mm çaplı bilye kullanılarak Brinel sertlik değeri 262 HB ölçülmüştür.

4.2.2. Metalografik inceleme

Deney numunesinin metalografik incelemesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuarı imkânları dahilinde yapılmıştır.

ø25x25 mm ölçülerinde hazırlanan numune 80, 120, 220, 240, 400, 600 ve 800 numaralı zımpara kağıtları ile zımparalandıktan sonra 0,6 mikron elmas pasta ile parlatma işlemine tabii tutulmuştur. Numune %2 nital ile dağlandıktan sonra optik mikroskopta çeşitli büyütmelerde aşağıdaki mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Ön Deneyler

Bu aşamada yapılan deneyler ile öncelikli olarak kesici takım ömürlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ön deneylerden elde edilen takım ömürleri, kesici takım yan boşluk açısına bağlı olarak Çizelge 5.1'de verilmektedir. Ayrıca, işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri de (Ra) bu çizelgede verilmektedir. Çizelgeden kesici takım ömrünün artan yan boşluk açısı ile arttığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 5º yan boşluk açısında elde edilmiştir. Bununla birlikte, 3º ve 7º boşluk açılarında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri de 5º boşluk açısında elde edilen pürüzlülük değerlerine yakın olmuştur. Ancak, 9º boşluk açısında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri diğer boşluk açılarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden oldukça yüksektir.

Çizelge 5.1. Talaş kaldırma deneyleri sonucunda elde edilen takım ömürleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Yan boşluk açısı (º)	3º	5º	7º	9º
Takım ömrü	100	140	200	240
Ortalama yüzey Pürüzlülüğü,Ra (μm.)	0,968	0,789	0,898	2,145

Yan boşluk açısının artmasıyla takım ömrünün artması, kesici uçta yığıntı talaş (BUE) oluşumuyla açıklanabilir. Genellikle, sünek malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan yığıntı talaş kesici uçta düzensiz bir yapıda gerçekleştiği için çoğunlukla işlenen iş parçası yüzey pürüzlülük değerini artırır ve işlenen iş parçası boyutlarında sapmalara neden olabilir [58]. İlave olarak, adhesiv aşınma mekanizması vasıtasıyla kesici takım aşınmasını da hızlandırabilir [59]. Dolayısıyla, talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici uçta yığıntı talaş oluşumu çoğunlukla istenmeyen bir durumdur. Ancak, bazı durumlarda yığıntı talaşın kesici uçta koruyucu bir etki yaparak takım ömrünü artırdığı da bilinmektedir [2]. Kesici uçta yığıntı talaş oluşumunu tespit etmek için en uygun ve doğru metot, hızlı durdurma aparatı ile elde edilen talaş kökünü incelemektir. Ancak, bu işlem uzun ve maliyetli olduğu için işlenen iş parçası yüzey

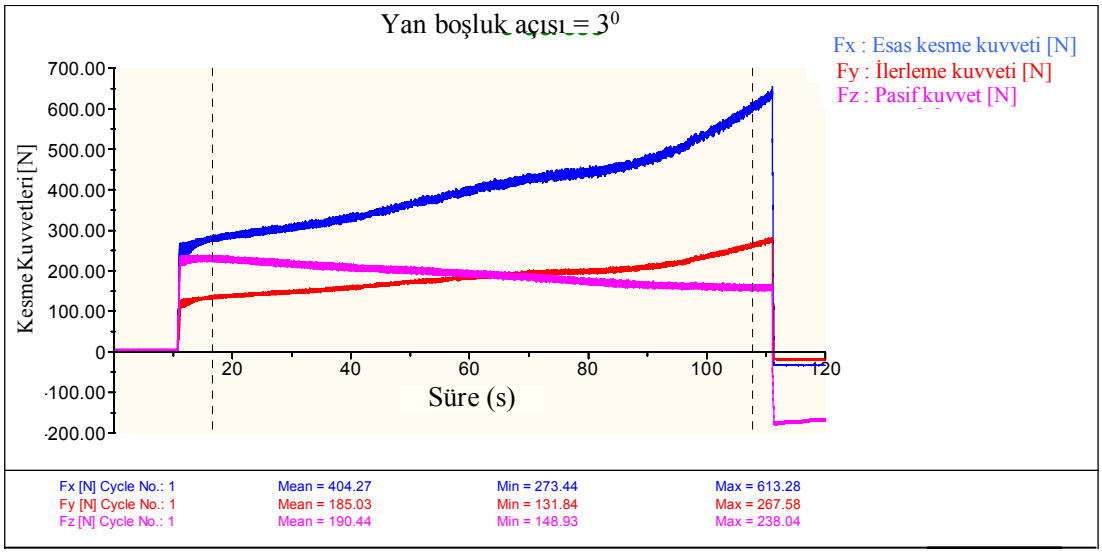
pürüzlülük değeri ve kesici takım talaş yüzeyi ile temasta olan talaş arka yüzeyi incelenerek kesici uçtaki yığıntı talaş hakkında fikir sahibi olunabilir.

Kesici uçta oluşan yığıntı talaş oluşumunu azaltmanın etkin bir metodu, kesici takım yan talaş açısını artırmaktır [25]. 9° yan boşluk açısında kesici takım talaş açısı en düşük değerdedir ve azalan yan boşluk açıları ile yan talaş açıları artmaktadır. Dolayısıyla, 9° yan boşluk açısında kesici takım yan talaş açısı küçük olduğu için diğer boşluk açılarına göre daha büyük bir yığıntı talaş oluşumunun gerçekleştiği tahmin edilmiştir. Büyük olan bu yığıntı talaş nedeniyle de en yüksek iş parçası yüzey pürüzlülük değerinin 9° yan boşluk açısı ile işleme şartlarında oluştuğu düşünülmüştür.

5.2. Esas Deneyler

İlk aşamada yapılan deneylerde en kısa takım ömrünün 3° yan boşluk açısı ile işleme şartlarında 100 saniye olarak gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Bu aşamada (esas deneyler) yapılan deneylerde de dolayısıyla her bir boşluk açısında, işleme zamanı 100 saniye olarak belirlenmiştir. Bu aşamada ilk olarak, 3° yan boşluk açısında deney yapılmış ve 100 saniye süresince kesme kuvvetlerinin üç bileşeni de ölçülmüştür.

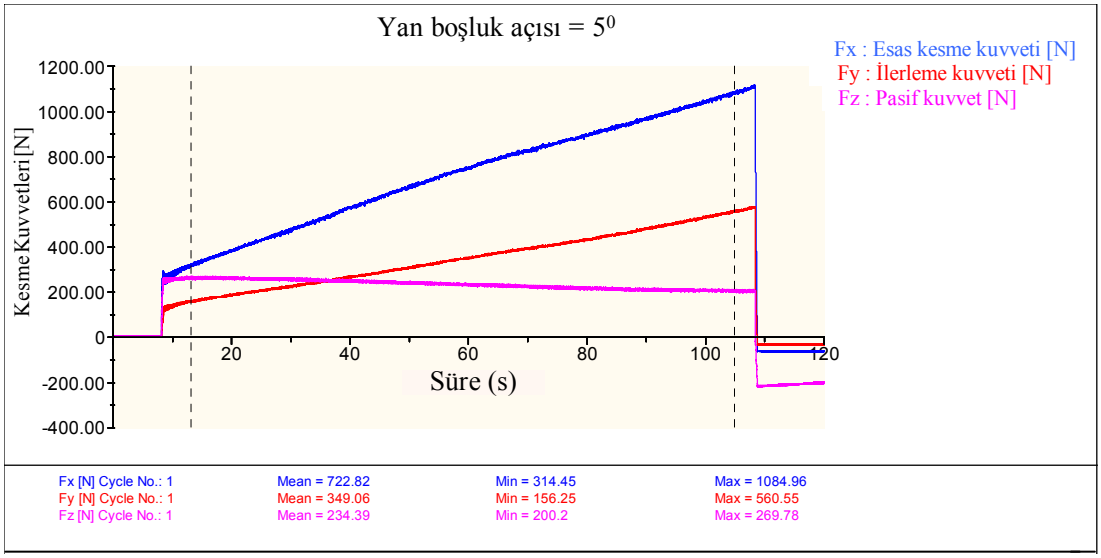
Şekil 5.1'de, oluşan kesme zamanına bağlı olarak oluşan kuvvetler (N.) olarak gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılacak değerlendirmeler, esas kesme kuvveti dikkate alınarak yapılacaktır. Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi kesme kuvvetleri kesme işleminin başlangıcından itibaren zamana göre artış sergilemektedir. Kesme işleminin başlangıcında yaklaşık olarak 270 N. olan kesme kuvveti kesme işlemi süresince sürekli ve düzenli olarak bir artış sergileyerek 100 saniye sonunda 613 N.'a çıkmıştır. Kesme kuvvetleri, kesici takımdaki aşınmalar sonucu yükselmiştir.



Şekil 5.1. Kesici takım yan boşluk açısı 3º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri

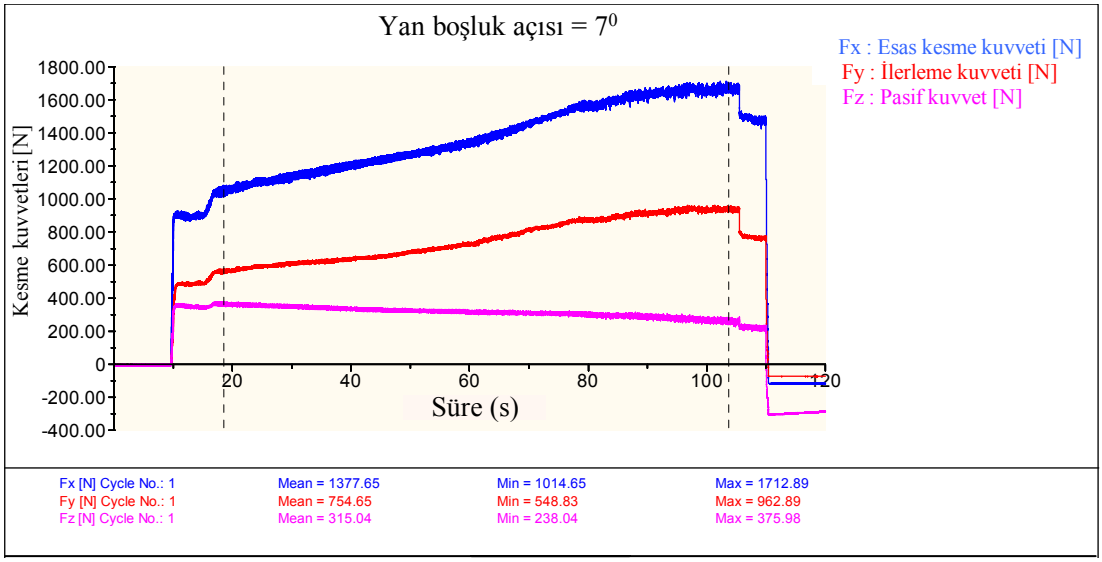
3° yan boşluk açısı ile tornalama işleminden sonra aşınmış kesici takım sökülmeden takım tutucu altına başka bir kama yerleştirilerek kesici takım yan boşluk açısı 5° olarak ayarlanmıştır. 100 saniye süre ile tornalama işlemi yapılmıştır. 5° yan boşluk açısı ile tornalama işlemi başlangıcında kesme kuvvetleri yaklaşık olarak 300 N. olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5.2). Bu kuvvet değeri bir önceki deney sonunda gerçeklen kuvvet değeri 613 N.'dan oldukça küçüktür. Kesici takım yan boşluk açısının değiştirilmesi ile esas kesme kuvvetinin önemli derecedeki düşüşü, bir önceki deneydeki aşınan bölgenin ikinci bir yan boşluk açısı olarak işlev yapması ile açıklanabilir. Kesici takım yan yüzeyindeki aşınmış bölgenin artması ile kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünme de artar. Bunun doğal bir sonucu olarak da kesme kuvvetleri artar. Bu nedenle, kesme kuvvetleri kesici takımdaki aşınmanın bir göstergesi olabilir.

5° yan boşluk açısı ile 100 saniye tornalama işlemi sonucunda gerçekleşen esas kesme kuvveti yaklaşık olarak 1080 N.'a kadar çıkmıştır. Bu değer ilk deneyde elde edilen 613 N. değerinden oldukça yüksek bir değerdir.

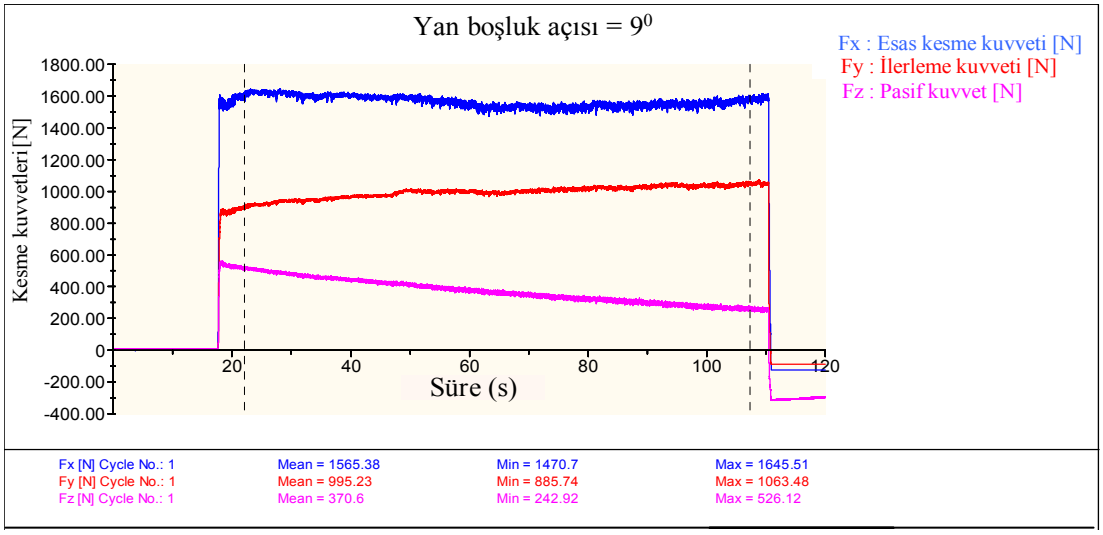


Şekil 5.2. Kesici takım yan boşluk açısı 5º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri

Benzer şekilde, 5º yan boşluk açısında yapılan tornalama işleminden sonra 7º ve 9º yan boşluk açılarında tornalama deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Kesici takım yan boşluk açısı 7º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri



Şekil 5.4. Kesici takım yan boşluk açısı 9º olarak yapılan deneyde elde edilen kesme kuvvetleri

5º'lik kesici takım yan boşluk açısında yapılan deneyden sonraki yapılan deneylerde esas kesme kuvvetlerinde dikkate alınabilecek düşüşler görülmemiştir. Şekil 5.3 ve Şekil 4.4'de, 7º ve 9º'lik yan boşluk açılarında gerçekleşen kesme kuvvetleri görülmektedir. Bu iki deneyde ölçülen esas kesme kuvveti ilk deneyde ölçülen esas kesme kuvvetinden oldukça yüksektir. Çizelge 5.2'de esas deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri ve ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Esas deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri

		Kesme kuvvetleri (N)								
		Fx (Esas kesme kuvveti) (N.)			Fy İlerleme kuvveti (N.)			Fz Pasif kuvvet (N.)		
Yan boşluk açısı		Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Min.	Max.	Ort.
	3º	273,44	613,28	443,36	131,84	267,58	199,71	148,93	238,04	193,48
	5º	314,45	1084,9	699,67	156,25	560,55	358,4	200,2	269,78	234,99
	7º	1014,6	1712,9	1363,7	548,83	962,89	755,86	238,04	375,98	307,01
	9º	1470,7	1645,5	1558,1	885,74	1063,4	974,57	242,92	526,12	384,52

Elde edilen esas kesme kuvvetleri kıyaslanarak, takım ömründeki değişmeler gözlenebilmektedir. 3º yan boşluk açısına sahip kesici takımla yapılan deneyde, 100 saniye sonunda esas kesme kuvveti 613,28 N.'a çıkmış ve 5º yan boşluk açısına

sahip kesici takımla deneye başlandığında esas kesme kuvveti 314,45 N.'a gerilemiştir. 5º yan boşluk açısına sahip kesici takımla yapılan deneyde, 100 saniye sonunda esas kesme kuvveti 1084,9 N.'a çıkmış ve 7º yan boşluk açısına sahip kesici takımla deneye başlandığında esas kesme kuvveti 1014,6 N.'a gerilemiştir. Aynı şekilde, 7º yan boşluk açısına sahip kesici takımla yapılan deneyde, 100 saniye sonunda esas kesme kuvveti 1712,9 N.'a çıkmış ve 9º yan boşluk açısına sahip kesici takımla deneye başlandığında esas kesme kuvveti 1470,7 N.'a gerilemiştir.

Sonuç olarak, deneyler sonunda yapılan kıyaslamalar sonucunda, kesici takım ömründe yaklaşık olarak %45 değerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hızlı kesici takım aşınmasına neden olan malzemelerin tornalama metoduyla işlenmesinde kullanılan kesici takımların ömürlerinin artırılması için yeni bir yaklaşım önerilen bu çalışmada, küresel grafitli iş parçaları üzerinde sementit karbür kesici takım yan boşluk açıları değiştirilerek talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Yan boşluk açılarının değiştirilmesi için takım tutucu altında farklı açılardaki kamalar yerleştirilmiştir. Deneyler esnasında kesici takım aşınmasının bir göstergesi olarak işleme zamanına bağlı kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Bu metotla, kesici takım yan boşluk açısı değiştirilerek aşınmış bir kesici takımın etkin olarak tekrar kesme işlemi yapabileceği veya yapamayacağı tespite edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Belirlenen kesme parametrelerinde farklı yan boşluk açıları için kesici takım ömürlerini belirlemek amacıyla ön deneyler yapılmıştır. Ön deneyler 3º, 5º, 7º ve 9º'lik kesici takım yan boşluk açılarında yapılmıştır ve her bir deneyde yeni bir kesici uç kullanılmıştır. Artan yan boşluk açısı ile kesici takım ömrü artmıştır. 3º yan boşluk açısında takım ömrü 100 saniye iken 9º yan boşluk açısında takım ömrü 240 saniyeye çıkmıştır. Büyük yan boşluk açısındaki uzun takım ömrü, bu yan boşluk açısında oluştuğu tahmin edilen koruyucu yığıntı talaşa atfedilmiştir.

- Esas deneyler en düşük takım ömrü olan 100 saniye süresince yapılmıştır. Esas deneylerin hepsi de yalnızca bir kesici uç kullanılarak yapılmıştır. 3º'lik yan boşluk açısında işleme esnasında kesme kuvvetleri düzenli bir şekilde artarak 273,44 N'dan 613,28 N'a kadar yükselmiştir. Bu yükselme kesici takımdaki düzenli yan yüzey aşınmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, kesici takım ömrü önemli derecede artırılmıştır.

- 3º' lik yan boşluk açısında yapılan esas deneyden sonra takım tutucu altında yerleştirilen diğer bir kama ile kesici takım yan boşluk açısı 5º olacak şekilde ayarlama yapılmış ve aşınmış kesici takım değiştirilmeden deney yapılmıştır. Bu

deney esnasında elde edilen kesme kuvvetlerinden, kesici takım yan boşluk açısının değiştirilmesi ile kesici takımın aşınmış yüzeyinin ikinci bir yan boşluk açısı olarak işlev yaptığı anlaşılmıştır. 3º yan boşluk açısına sahip kesici takımla yapılan tornalama işlemi sonucunda 613,28 N.'a yükselen esas kesme kuvvetinin 5º yan boşluk açısına sahip kesici takımla tornalama işlemi başlangıcında 314,45 N.'a düştüğü ve kesme işlemini etkin bir şekilde belirli bir süre daha yapabildiği tespit edilmiştir.

- Aşınmış kesici takımın yan boşluk açısının ikinci (7º) ve üçüncü (9º) kez değiştirilmesi ile kesici takımın kesme işlemini etkin bir şekilde yapamadığı tespit edilmiştir.

- Deneyler sonunda yapılan kıyaslamalar sonucunda, kesici takım ömründe yaklaşık olarak %45 değerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir.

- Bu çalışma kapsamında kesici takım yan boşluk açısı işlem durdurularak el ile değiştirilmiştir. Kesici takım yan boşluk açısı talaşlı imalat işlemi esnasında kullanılan ve kesme kuvvetlerine bağlı olarak otomatik olarak döndürülebilen bir takım tutucu sistemi ile değiştirilerek işlem otomatikleştirilebilir.

<u>İleride yapılacak çalışmalar için öneriler</u>

- Kesici takım yan boşluk açıları arasıdaki farklar daha küçük olacak şekilde deneyler yapılabilir.

- Bu çalışmada yalnızca kesici takım yan boşluk açısı değiştirilmiştir. Talaşlı imalat işlemleri esnasında yan boşlukta olan yan yüzey aşınmasına ilave olarak kesici takım burnunda da aşınmalar gerçekleşir. Dolayısıyla, kesici takım uç noktasındaki aşınmanın etkisini de azaltmak için ikinci bir eksen boyunca döndürme gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Çiftçi, İ., **"**Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenenbilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-4 (2003).

2. Trent, E.M., "Metal cutting", ***Butterworths Press***, London, 1-171 (1989).

3. Davim, J.P., "Study of drilling metal-matrix composites based on the Taguchi techniques", ***Journal of Materials Processing Technology***, 132: 250-254 (2003).

4. Davim, J.P., "Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal array", ***Journal of Materials Processing Technology***, 132: 340-344 (2003).

5. Jawaid, A., Koksal, S., Sharif, S., "Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy", ***Journal of Materials Processing Techology***, 116:2-9 (2001).

6. Ezugwu, E.O., "Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture,*** 45:1353-1367 (2005).

7. Davim, J.P. and Antonio, C.A.C., "Optimisation of cutting conditions in machining of aluminium matrix composites using a numerical and experimental model", ***Journal of Materials Processing Technology***, 112: 78-82 (2001).

8. Manna, A. and Bhattacharyy, B., "A study on different tooling systems during machining of Al/SiC-MMC", ***Journal of Materials Processing Technology***, 123: 476-482 (2002).

9. Muller, F. and Monaghan, J., "Non-conventional machining of particle reinforced metal matrix composite", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 40 (9): 1351-1366 (2000).

10. Groover, M.P., "Fundamentals of modern manufacturing – Materials, processes and systems", ***Prentice-Hall Inc***., New Jersey, 220-639 (1996).

11. DeGarmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A., "Materials and processes in manufacturing", ***Prentice-Hall Inc***., New Jersey, 214-652 (1997).

12. Köksal, S, "Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools", PhD thesis, ***School of Engineering, Coventry University, England***, Coventry, 1-60 (2000).

13. Shaw, M.C., "Metal cutting principles", ***Oxford University Press***, Oxford, 1-9 (1989).

14. Sandvik Coromant, "Modern metal cutting – A practical handbook", English Edition, ***Sandvik Coromant***, Sweden, I-III (1994).

15. Coelho, R.T., Yamada, S., le Roux, T., Aspinwall, D.K., and Wise, M.L.H., "Conventional machining of an aluminium based SiC reinforced metal matrix composite (MMC) alloy", ***Proceedings 30th MATADOR***, 125-133 (1993).

16. Coelho, R.T., Yamada, S., Aspinwall, D.K., and Wise, M.L.H., "The application of polycrystalline diamond (PCD) tool materials when drilling and reaming aluminium based alloys including MMC" ***International Journal of Machine Tools and Manufacture***, 35(5): 761-774 (1995).

17. Davim, J.P. ve Baptista, A.M., "Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium***", Journal of Materials Processing Technology***, 103: 417-423 (2000).

18. Kopaci, J. and Bahor, M., "Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product", ***Journal of Materials Processing Technology***, 92-92: 381-387 (1999)

19. Şeker, U., "Takım tasarımı ders notları", ***Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,*** Ankara, 9-10 (1997).

20. Zhang, J.H., "Theory and technique of precision cutting", ***Pergamon Press***, Oxford, 1-50 (1991).

21. Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., "Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion", ***Materials and Design***, 23: 355-360 (2002).

22. Amstead, B.H., Ostwald, P.F. and Begeman, M.L., "Manufacturing processes", Eighth Edition, ***John Wiley & Sons***, New York, 457 (1987).

23. Çiftçi, İ., "Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları", ***Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları***, Karabük, 3-15 (2005).

24. Sharman, A., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., "Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718^{TM} , ***Journal of Materials Processing Technolog,*** 118:29-35 (2001).

25. Çiftçi, İ., "Takım tasarımı ders notları", ***Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları***, Karabük, 1-12 (2006).

26. Labrecque, C. and Gagne, M., "Ductile Iron:Fifty years of continous development", ***Canadian Metallurgical Quarterly***, 37(5):343 (1998).

27. Lin, S.C., Lui, T.S., Chen, L.H. and Song, J.M., "Effect of pearlite on the vibration-fracture behavior of spheriodal graphite cast irons under resonant conditions", ***Metallurgical and Materials Transactions,*** 33(A):2623 (2002).

28. Gül, F., "Küresel Grafitli Dökme Demirde Malzeme ve Proses Parametrelerinin Küre Dağılımına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1-120 (1989).

29. I.Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu, ***TMMOB Makine Mühendisleri Odası***, 115-120 (1985).

30. İzgiz, S., "Küresel Grafitli Dökme Demir", ***SEGEM Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Yayınları***, Ankara, 2-25 (1988).

31. Lessiter, M.J., "Engineered cast components for the automotive industry", ***Engineered Casting Solutions***, Fall, 37 (2000).

32. Bosnjak, B., Radulovic, B., Pop-Tonev, K. and Asanoviv, V., "Influence of microalloying and heat treatment on the kinetics of bainitic reaction in austempered ductile iron", ***Journal of Materials Engineering and Performance,*** 10(2):203 (2001).

33. Imasogie, B.I. and Wendt, U., "Characterization Of Graphite Particle Shape In Spheroidal Graphite Iron Using A Computer-Based Image Analyzer", ***Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*****,** Printed in the USA. All rights reserved, 3(1):1-12 (2004).

34. Çakır, A., "Mühendislik malzemesi olarak küresel grafitli dökme demirin önemi", ***3. Denizli Malzeme Sempozyumu*****,** Denizli, 128-130 (1989).

35. Toktaş G., Toktaş A., "Küresel Grafitli Dökme Demirin (KGDD) Krank Mili Malzemesi Olarak İncelenmesi", ***Metal Dünyası Dergisi Ekim 2005 Sayısı*****,** Prestij Yayıncılık**,** İstanbul, 5-13 (2005).

36. Elliot, R., "Cast iron technology", ***Butterworths & Co Ltd.,*** London, 50-136 (1988).

37. Toprak, H., "Borlanmış ve PVD Yöntemiyle TiN Kaplanmış KGDD Kam Milleri ile Kaplamasız ve Sertleştirilmiş Çelik Dövme Kam Millerinin Çalışma Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 8-17 (2002).

38. Özel, A., "GGG 40-80 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirde Isıl İşlemin Darbe Direnci ve Darbe Geçiş Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*****,** İstanbul, 1-124 (1994).

39. TS 526, "Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri", ***Türk Standartları Enstitüsü,*** Ankara, 1-9 (1997).

40. ASM Handbook, "Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys***", Metals Park***, ASM Int., 1:1063 (1990).

41. Çavuşoğlu, E.N., "Döküm Teknolojisi I", ***İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi***, İstanbul, 372 (1992).

42. El-Gallab, M. ve Sklad, M., "Machining of Al/SiC particulate metal-matrix composites, Part III: Comprehensive tool wear models", ***Journal of Materials Processing Technology***, 101: 10-20 (2000).

43. Lindroos, V.K. and Talvite, M.J., "Recent advances in metal matrix composites", ***Journal of Materials Processing Technology***, 53: 273-284 (1995).

44. Abdel-Azim, A.N., Shash, Y., Mostafa, S.F. and Younan, A., "Casting of 2024-Al alloy reinforced with Al_2O_3 particles***", Journal of Materials Processing Technology***, 55: 199-205 (1995).

45. Jawaid, A., Barnes, S. and Ghadimzadeh, S.R., "Drilling of particulate aluminium silicon carbide metal matrix composites**",** ***Proceedings of the Machining of Composite Materials Symposium***, ASM Materials Week, Chicago, Illinois, 35-47, (1992).

46. Joshi,S.S., Ramakrishnan, N., Nagarwalla, H.E., Ramakrishnan, P., "Wear of rotary carbide tools in machining of Al/SiCp composites",wear, 230:124-132 (1999).

47. Luliano, L., Settineri, L. and Gatto, A., "High-speed turning experiments on metal matrix composites", ***Composites, Part A,*** 29A: 1501-1509 (1998).

48. Lloyd, D.J., "Solidification microstructures of particulate reinforced Al/SiC composites", ***Composites Science and Technology***, 35: 159-179 (1989).

49. Lee, H.F., Boey, F., Khor, K.A., Tan, M.J., Gan, J. ve Loh, N.L., "The production of aluminium alloy composites using a cold isotatic press and extrusion approach", ***Journal of Materials Processing Technology***, 29: 245-253 (1992)

50. Sukumaran, K., Pillai, S.G.K., Pillai, R.M. Kelukutty, V.S., Pai, B.C., Satyanarayana, K.G. and Ravikumar, K.K., "The effects of magnesium additions on the structure and properties of Al-7 Si-10 SiCp composites", ***Journal of Materials Science***, 30: 1469-1472 (1995)

51. Singh, J., Goel, S.K., Mathur, V.N.S. and Kapoor, M.L., "Elevated temperature tensile properties of squeeze-cast Al-Al_2O_3-MgO particulate MMCs up to 573 K", ***Journal of Material Science***, 26: 2750-2758 (1991)

52. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U.,"Evaluation of tool wear when machining SiCp reinforced Al-2014 alloy matrix composites", ***Technical Report,*** Materials and design, 25:251-255 (2004).

53. Çiftçi, İ., Şeker, U., Hasırcı, H., "The effect of alloying elements on surface roughness and cutting forces during machining of ductile iron", ***Materials and Design,*** 24:47-51 (2003).

54. Tomac, N. ve Tonnessen, K., "Machinability of particulate aluminium matrix composites", ***Annals of the CIRP***, 41 (1): 55-58 (1992).

55. Chambers, A.R., "The machinability of light alloy MMCs", ***Composites, Part A***, 27A:143-147 (1996).

56. Lei, S., Liu, W., "High speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool", ***International Journal of Machine Tools and Manufacture,*** 42:653-661 (2002).

57. Jun, Z., Jianxin, D., Jianhua, Z., Xing, A., "Failure mechanism of a whisker-reinforced ceramic tool when machining nickel-based alloys", ***wear***, 208:220-225 (1997).

58. Çiftçi, İ., "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools", ***Tribology International***, 39:565-569 (2006).

59. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U.,"CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs", ***wear***, 257:1041-1046 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Çevik, Erdoğan

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 15.05.1976 Karabük

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (380) 514 26 24

Faks :

e-mail : ecevik2000@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi	
	Teknik Eğitim Fakültesi	1998
Lise	Karabük Endüstri Meslek Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-2006	Düzce Endüstri Meslek Lisesi	Teknik Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Satranç, Bilgisayar teknolojileri