



CNC TAKIM TEZGAHLARI ve CNC PROGRAMLAMA

Prof.Dr. Ali ORAL
BALIKESİR - 2019

İÇİNDEKİLER

1. TALAŞLI ŞEKİL VERMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ	1
1.1 Tarihsel Gelişim	1
2. NC/CNC TEZGAHLAR	9
2.1 Giriş	9
2.2. Sayısal Denetim	12
2.2.1 Delikli Kart Kullanan Basit NC'li Tezgahlar	12
2.2.2 Bilgisayar İle Denetlenen Tezgahlar	14
2.3 Klasik Tezgahlarla CNC Tezgahların Karşılaştırılması	15
2.4 CNC Tezgahların Yapısı	16
2.4.1 Elektronik Yapı Elemanları	16
2.4.1.1 Açık Devre Denetim Sistemleri	18
2.4.1.2 Kapalı Devre Denetim Sistemleri	19
2.4.1.3 Algılayıcılar	20
2.4.1.4 Adım Motorları	21
2.4.1.5 Servo Motorlar	23
2.4.2 Mekanik Yapı Elemanları	26
2.4.2.1 Tezgah Gövdesi	26
2.4.2.2 Sonsuz Vidalar	27
2.4.2.3 Tezgah Kızakları	29
2.4.2.4 Otomatik Takım Değiştirme Mekanizmaları	30
2.4.2.5 Takım/Parça Sıfırlama Aygıtları	31
3. SAYISAL DENETİMİN ÜRETİM ARAÇLARINDA KULLANIMI	34
3.1 CNC Torna Tezgahı	34
3.2 CNC Freze Tezgahı	35
3.3 CNC Matkap Tezgahı	36
3.4 CNC Zımbalı Deliciler	37
3.5 CNC Taşlama Tezgahı	38
3.6 CNC Alevle Kesme Makinası	38
3.7 CNC Presleme Makinaları	38
3.8 Geleneksel Olmayan İmalat Yöntemleri	39
3.8.1 Su Jetiyle İşleme	39
3.8.2 CNC Lazer Kesme Tezgahı	44
4. KESİCİ TAKIMLAR	47
4.1 Giriş	47
4.2 Sert Metal Uçlu Takımlar	48
4.2.1 Kesici Takım Malzemeleri	49
4.2.1.1 Sinterlenmiş Karbürler	49
4.2.1.2 Sermetler	50
4.2.1.3 Seramikler	51

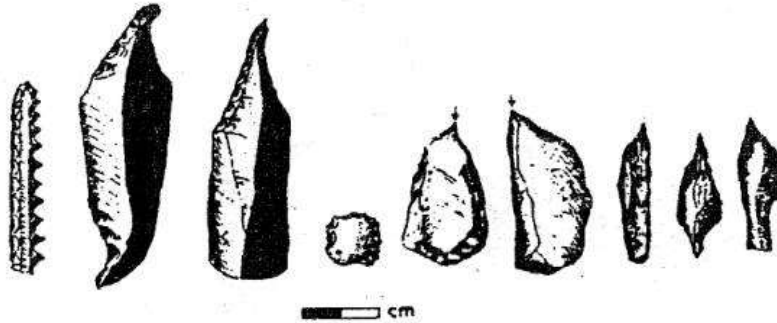
4.2.1.4 CBN	52
4.2.1.5 PCD	53
4.3 Sinterlenmiş Karbür Üretimi	53
4.3.1 Toz Üretimi	54
4.3.2 Presleme	54
4.3.3. Sinterleme	54
4.3.4 Uç Üzerinde Yapılan İşlemler	55
4.3.5 Kaplama	55
4.4 Kaplamalı Karbürlerin Üretimi	56
4.5 Takım Seçimine Etki Eden Faktörler	58
4.5.1 İş Parçası Malzemesinin Takım Seçimine Etkisi	58
4.5.2 İş Parçası Geometrisinin Takım Seçimine Etkisi	59
4.5.3 İşlenebilirlik Verilerinin Takım Seçimine Etkisi	60
4.5.4 Tornalama İşlemleri için Kesici Takım Seçimi	61
4.5.4.1 Uç Tutturma Sistemleri	61
4.5.4.2 Takım Tutucu Boyutu ve Tipi	61
4.5.4.3 Kesici Uç Şekli	62
4.5.4.4 Kesici Uzunluğunun Büyüklüğü	63
4.5.4.5 Uç Yarıçapı	64
4.5.4.6 Takma Uç Tipi	66
4.5.4.7 Kesici Takım İlerleme Yönü	68
4.6 Tornalama Takımlarının Seçimi	69
4.6.1 Dış Tornalama İşlemleri için Takım Seçimi	69
4.6.1.1 Dış Kaba Boşaltma Takımlarının Seçimi	69
4.6.1.2 Kanalların İşlenmesi için Takım Seçimi	74
4.6.1.3 Vida Takımlarının Seçimi	76
4.6.2 İç Yüzeydeki Operasyonlar için Takım Seçimi	77
4.6.2.1 Delme Takımlarının Seçimi	77
4.6.2.2 Delik Geniştirme Takımlarının Seçimi	78
4.6.2.3 İç Kanalların İşlenmesi için Takım Seçimi	79
4.7 Frezeleme İşlemleri için Kesici Takım Seçimi	80
4.7.1 Yüzey Frezeleme İşlemleri için Kesici Takımlar	81
4.7.2 Dik Kenarlı Yüzey İşleme	82
4.7.3 Parmak Frezeleme	83
4.7.4 Değişken Yüzeyli Parçaların İşlenmesi için Freze Takımları	83
4.7.4.1 Konturlar için Freze Takımları	84
4.7.4.2 Cep Frezeleme için Kesici Takımlar	86
4.7.4.3 Pah Frezeleme için Kesici Takımlar	88
4.7.5 Frezeleme Takımlarının Seçiminde Kullanılan Kodlar	90
4.8 Takım Ömrü ve Takım Aşınması	94
4.8.1 Takım Ömrü	94
4.8.1.1 Taylor Takım Ömrü Denklemi	94
4.8.2 Takım Aşınması	98
4.8.2.1 Aşınma Mekanizmaları	98

4.8.2.2 Aşınma Tipleri	101
5. CNC TEZGAHLARDA EKSENLER	107
5.1 Giriş	107
5.2 CNC Tezgahlarda Referans Noktaları	109
5.3 Tezgah Eksenleri	109
6. CNC TEZGAHLARIN PROGRAMLANMASI	114
6.1 Giriş	114
6.2 Mutlak Koordinatlar	115
6.3 Eklemeli Koordinatlar	116
6.4 CNC Tezgahlarda Kullanılan Kodlar ve Formlar	119
6.5 Blokların Yapısı	120
6.6 Tornalama İşlemleri için Hazırlık Fonksiyonları	123
6.7 Frezeleme İşlemleri için G Kodları	177
7. KAYNAKÇA	208

1. TALAŞLI ŞEKİL VERMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ

1.1. TARİHSEL GELİŞİM

İnsan doğasında varolan yaratıcılık kabiliyeti, ilk zamanlardan bu güne kadar teknolojik gelişmelerin işaretlerini taşımaktadır. Doğada mevcut taş, ağaç, kemik v.s. gibi yardımcı malzemelerden yapılan kesici aletlerle (Şekil 1.1) ilk talaş kaldırma işlemlerini başlatan insanoğlu, taş devrinden itibaren bulduğu çeşitli kesici aletler yardımıyla, farklı malzemeleri kesmeye başlamış ve malzemeleri özelliklerine göre de inceleyerek sınıflandırmayı başarmıştır. Talaşlı kaldırma tekniğinin ilk kademesi olarak, ön işlemenin yapıldığını, bükme, kırma ve benzeri işlem takımlarını, hatta testereye benzer kesici takımların kullanıldığını tarihsel kalıntılardan görmekteyiz.



Şekil 1.1 Eski çağlarda kullanılan çeşitli kesici aletler

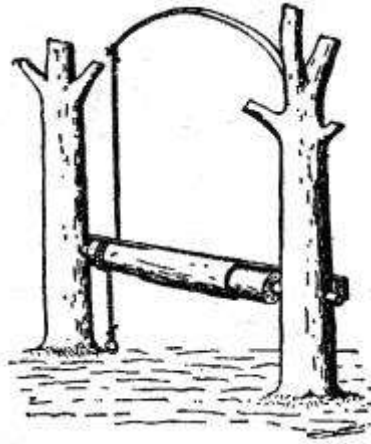
İlk takım hareketleri, ileri geri hareketler şeklinde uygulanmıştır. Daha sonra M.Ö. 5000-2000 yılları arasında, işlemlerde kısmen dönel hareketlerin kesmede kullanılabildiği görülmektedir. Bundan sonraki dönemlerde, bazı yaylı takımlar kullanılarak, ileri geri hareketlerin dönel hareketlere çevrildiği eski Mısır medeniyeti kalıntılarında saptanmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Eski Mısır'da öteleme hareketinin dairesel harekete dönüştürülmesi

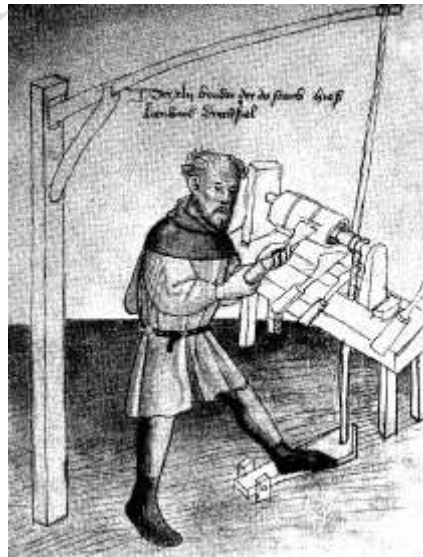
Talaşlı işlem tekniğinin gelişiminde en önemli adım, metalik malzemelerin keşfedilerek kullanılmaları ile başlar. Metallerin, kullanım araçları ve süs eşyaları olarak işlenmeleri, başlangıçta bunların kaba durumları ile yapılmaktaydı, ancak ergitilebilmesi ve alaşım haline getirilmesi yöntemlerinin bulunması ile metalik malzemeler diğerlerine nazaran önemli ölçüde değer kazanmıştır. Bronz ve bunu takip eden demir devrinde bulunan silah, kesici alet, süs eşyası ve diğer malzemeler, ilk tarih devirlerinde bu malzemelerin işleme şekilleri hakkında belirgin örnekler vermektedir.

Eski çağlarda geliştirilen ilk torna tezgahlarından biri olan ağaç torna tezgahı Şekil 1.3’de gösterilmektedir. Eğilerek yaylanabilen bir dala takılan kalın ipin parçaya sarılarak, ipin boşalmasını dönme hareketine çeviren basit mekanizması ile ilginç bir tasarımı olan bu torna tezgahından yola çıkılarak daha değişik türler geliştirilmiştir.



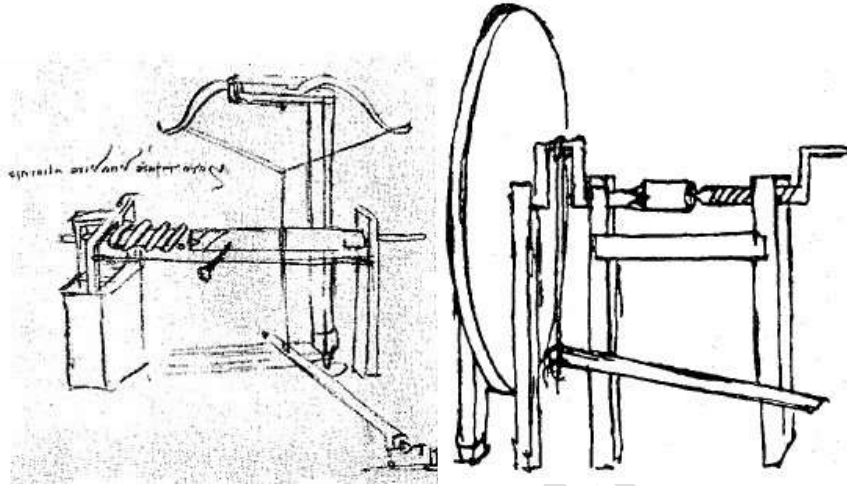
Şekil 1.3 İlk ağaç torna tezgahı

15-16. yüzyıldan itibaren, basit mekanizmalar ile dönel hareketler sağlanarak, çok basit ağaç tornalama işlemlerinin (Şekil 1.4) ve hatta akarsu kuvvetinden faydalanarak da belli hareketler ile polisaj işlemlerinin yapıldığı görülmektedir.



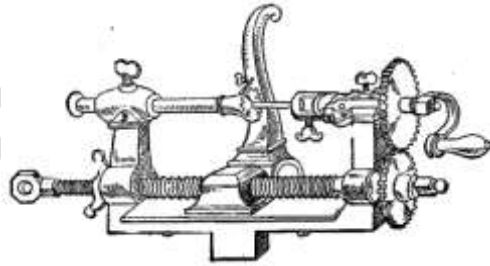
Şekil 1.4 15.ve 16.yüzyılda geliştirilen ağaç tornası

Tarihin akışı içerisinde özellikle silah tekniğinin, yeni teknolojilerin gelişiminde başlıca itici güç olarak etki yaptığı bilinmektedir. 1500 yıllarında, top yapımında özellikle derin delik delme işlemlerinin kullanıldığı saptanmıştır. Leonardo da Vinci, zamanından da ileri giderek, çeşitli teknolojilere yardımcı olacak ileri konstrüksiyonları çizmiştir. Örneğin, Şekil 1.5-a' da yaylı-vidalı milli torna tezgahı, Şekil 1.5-b' de volanlı torna tezgahı bu çizimlere örnek olarak görülmektedir.



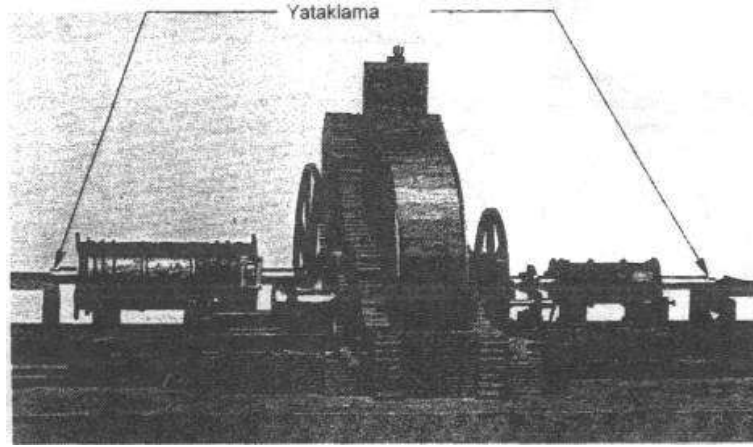
Şekil 1.5 Leonardo da Vinci'den vidalı ve volanlı torna tezgahı çizimleri

1741 yılında yazılan bir kitaba göre ilk mekanik el ile tahrikli vidalı torna tezgahının Fransa'da 1740 yılında yapıldığı anlaşılmaktadır. (Şekil 1.6) Basit dişli mekanizmaları ve vida hareketiyle el tahrikli olarak kesme hareketinin yapıldığı bu torna tezgahı ileri ki yıllarda geliştirilenlerden çok ilkel bir örnektir.



Şekil 1.6.- Fransız Vidalı Torna Tezgahı(1740).

Ancak çok hızlı gelişim gösteren teknolojik aşamalar ve buhar makinesinin keşfi ve gelişimi ile ilgili çalışmalar, bu makinenin hatasız çalışabilmesi için silindirlerin yüksek hassasiyet derecesinde işlenmesine bağlıydı. 1760 yıllarında 1200mm. çapındaki bir silindirin işlenmesi yaklaşık bir aylık zaman alıyordu ki John Smeaton ve John Wilkinson'un geliştirdikleri, hassas silindir işleme yöntemleri (Şekil 1.7), James Watt'ın 1769' da patentini aldığı buhar makinesini imal etmesini sağlamıştır. Modern delik delme tezgahlarında halen bu temel tasarım kullanılmaktadır.



Şekil 1.7 Wilkinson'un Yatay Delik Delme Tezgahının Modeli

18. yüzyılın sonunda yeni geliştirilmiş pek çok yöntem ve makine ile imalat tekniği alanında çok önemli değişiklikler elde edilmiştir. Şekil 1.8'de pedallı tip ağaç tornalama tezgahlarına örnekler görülmektedir.



Şekil 1.8 Pedallı torna

1800'lerde yatay ve dişli mekanizmaları değiştirilmiştir. İlk planya 1817'de Manchester' da Richard Roberts tarafından geliştirilmiştir. Roberts, Maudsley' in öğrencisi ve vida tasarımcısı Joseph Witworth'un yanında kariyer yapmaktaydı. Roberts, torna tezgahlarına arka dişlileri eklemesinin yanı sıra birçok düzenlemeyi de gerçekleştirdi.

İlk yatay freze tezgahı ise, 1818'de Amerika'da Eli Whitney tarafından yaratılmıştır. Geliştirilen bu takım tezgahları sadece özel ürünlerin üretilmelerinde rol oynamayıp endüstri devriminin temelini oluşturan bir çok makinenin yapımının gerçekleştirilmesini de sağlamıştır.

Mekanik teknolojinin sistemli olarak ele alınması, imalat tekniğinin bilimsel olarak incelenmesi için çok önemli bir adımdır. O tarihlerin Avrupa'sında üniversiteler seviyesinde kurulan Yüksek Teknik Okullarda Mekanik Teknolojiye özellikle önem verilmeye başlanmış ve talaşlı işlemlerdeki ciddi araştırmalar da bu şekilde başlamıştır. En önemli başlangıç, 19.

asrın sonu itibarı ile Amerika'dan gelmiştir. Frederic Winslow Taylor, White ile birlikte hava çeliğini geliştirmiş ve malzemenin, talaşlı işlemlere uygunluğu ve takım ağızlarının kesme kabiliyetleri bakımından çok kapsamlı deneysel araştırmalar yapmıştır.

Kesme tekniklerinin geliştirilmesi ile Takım Tezgahlarının çalışma ve işleme kabiliyetlerinin artırılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla Takım Tezgahlarının çalışma davranışları, kapsamlı bilimsel araştırmalara konu olmuştur. 1904' de Berlin-Charlottenburg Yüksek Teknik Okulunda “ *Takım Tezgahları İşletme Tekniği ve Fabrika Tesisler* ” konusunda ilk kürsü oluşmuş ve başına Prof.Dr.George Schlessinger getirilmiştir.

Bu yıllarda metallere kitlesel imalatın en önemli engeli, enerji iletimi olmuştur. Buharlı makineler ile üretilen güç transmisyon -kayış/kasnak sistemleri vasıtasıyla bir merkezden atelyedeki tüm tezgahlara iletilebilmiş (Şekil 1.9-1.15) ve böylece seri üretim kavramından bahsedilebilir olmuştur.



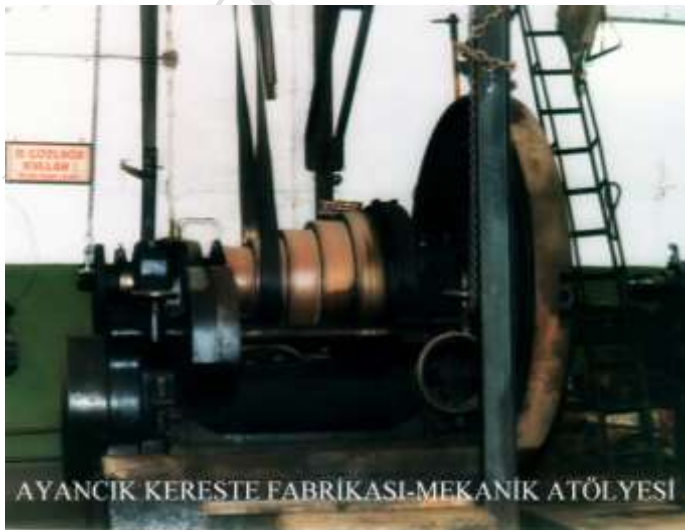
Şekil 1.9 Merkezi olarak üretilen momentin tezgahlara iletilmesi için kullanılan kayış-kasnak sistemleri



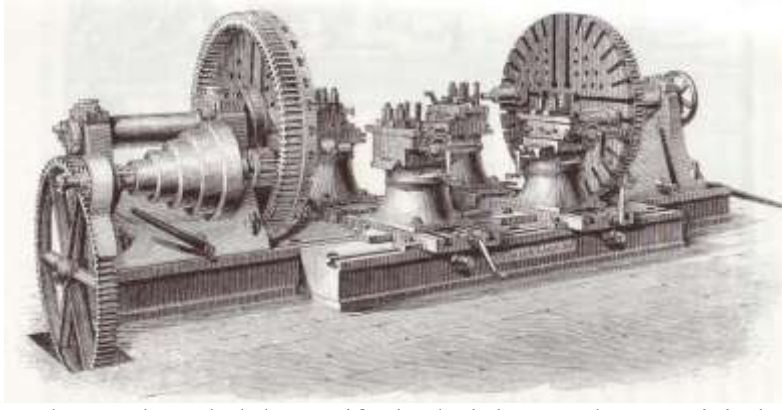
Şekil 1.10 Torna tezgahına momentin iletimi için kullanılan kayış-kasnak sistemi



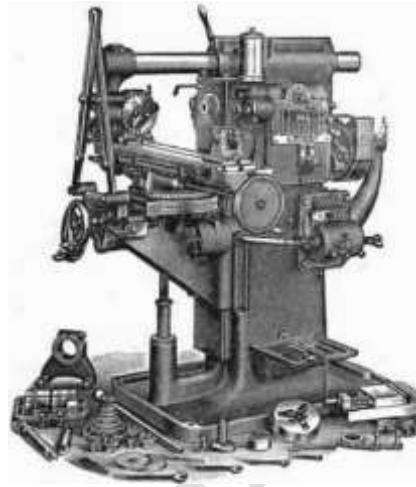
Şekil 1.11 Kayışlı freze tezgahlarına örnekler



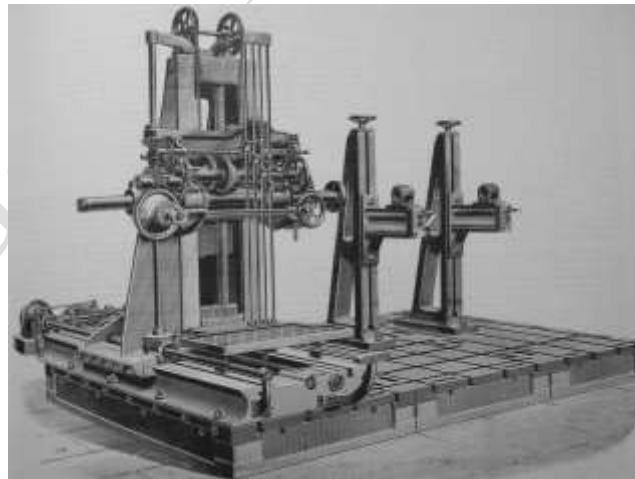
Şekil 1.12 Transmisyon Sistemiyle gücün tezgahlara aktarımı



Şekil 1.13 19.yüzyılın ortalarında lokomotif tekerlerinin tornalanması için kullanılan torna



Şekil 1.14 19. yüzyılın sonlarına doğru kullanılan bir freze tezgahı



Şekil 1.15 1894 yılında yapılan yatay delme ve delik genişletme tezgahı

19. yüzyılda talaşlı şekil verme tekniğinin esasları geliştirildikten sonra 20. yüzyılda bunların, özellikle işleme hassasiyetlerinin yükseltilmesi bakımından, daha ileri ve ayrıntılı araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Şekil 1.16 ve 1.17 de günümüzde de kullanımı devam eden klasik torna ve freze tezgahlarına örnekler görülmektedir.



Şekil 1.16 Klasik torna tezgahı



Şekil 1.17 Freze tezgahı

Endüstriyel gelişmeler, mamul üretimindeki verimi önemli oranda arttırmıştır. Talaşlı şekillendirmede kullanılan takım tezgahları, işlemlerinin verimleri bakımından önemli oranda değerlendirme kriteri olarak kabul edilmektedir. Kesici takımlarda sinterlenmiş karbür takımlar ve diğer takım türlerinin bulunmasıyla talaşlı şekillendirmede kesme hızları çok yüksek seviyelere ulaştırılmıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısında Sayısal Denetim sistemlerinin Takım Tezgahlarında geniş çapta uygulanmaya başlanması ile, talaşlı şekillendirme teknolojisi de çok büyük çapta boyut değişikliğine uğramıştır.

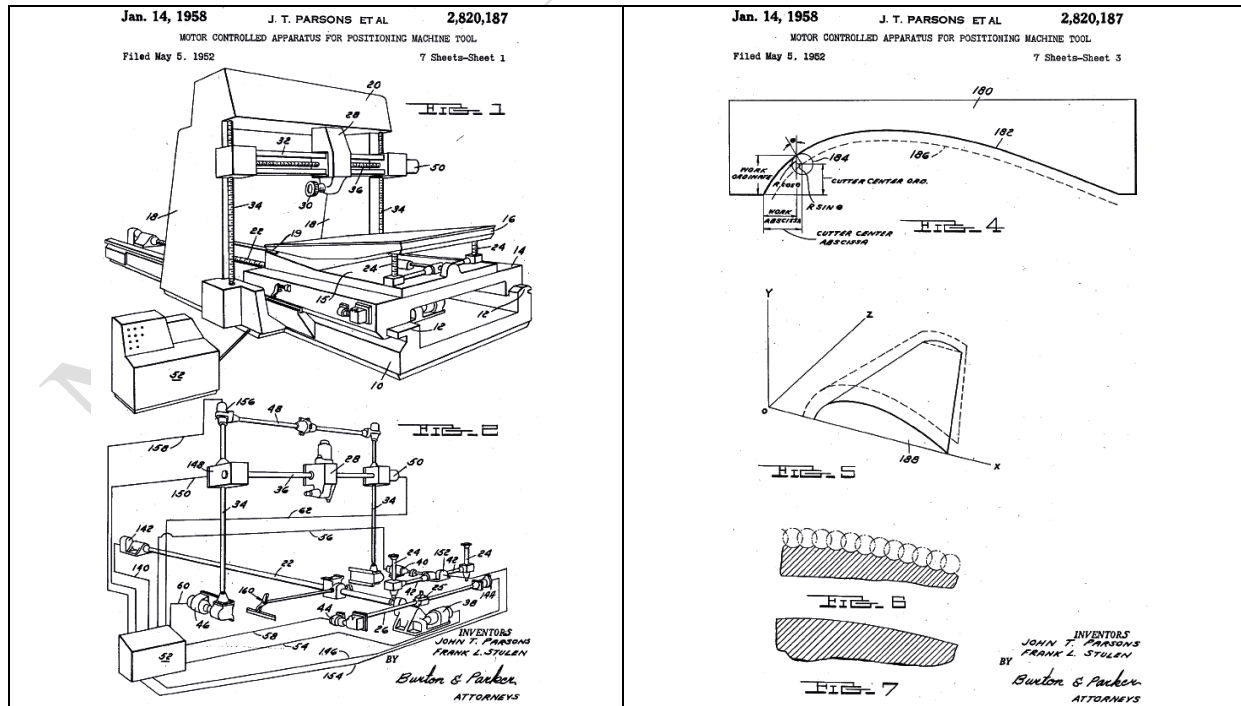
2.NC/CNC TEZGAHLAR

2.1 Giriş

Bilgisayar Destekli İmalat (CAM). Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)'dan daha önce başlamıştır.

1946 yılında John T. Parsons ve ekibi helikopter kanatlarının karmaşık profillerini işleyebilmek amacıyla ilk defa bilgisayar denetimli bir freze tezgahı geliştirmiştir. Parsons, 1952 yılında bu teknoloji konusunda bir patente başvurmuş ve 1958 yılında "Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool" başlıklı (daha sonraları Numerical Control, NC olarak adlandırılmıştır) ve 2,820,187 no'lu patenti almıştır. Aşağıda bu patente ait iki sayfa görülmektedir. ([US-patent-Parsons-2820187-1958.pdf](#))

1952 yılında ABD Hava Kuvvetleri şekilleri zor olan bazı balistik parçaların otomatik olarak hassas bir biçimde üretilmesi için MIT üniversitesine bir proje verdi. Üniversitedeki araştırmacılar bir freze tezgahını geliştirerek bu parçaları otomatik olarak üretmeyi başardılar.



Şekil 2.1 John T. Parsons ve ekibince alınan patente ait ilk iki sayfa

MIT'de yapılan bu çalışmalarda CAD sisteminde kullanılan TX-2 bilgisayarının öncüsü TX-0 bilgisayarı kullanıldı. Parçalarla ilgili kesici takım yolu koordinatları bu bilgisayarda hesaplandı ve delikli kağıt şeride geçirildi. Delikli kağıt şerit, geliştirilen freze tezgahının okuyucusu aracılığı ile okunduğunda kesici takım bu koordinatları kullanarak parçayı üretti. Şekil 2.5 'te MIT tarafından üretilen ilk CNC tezgah görülmektedir. Bu tezgah, uçak motoru piston kollarını işlemede kullanıldı.



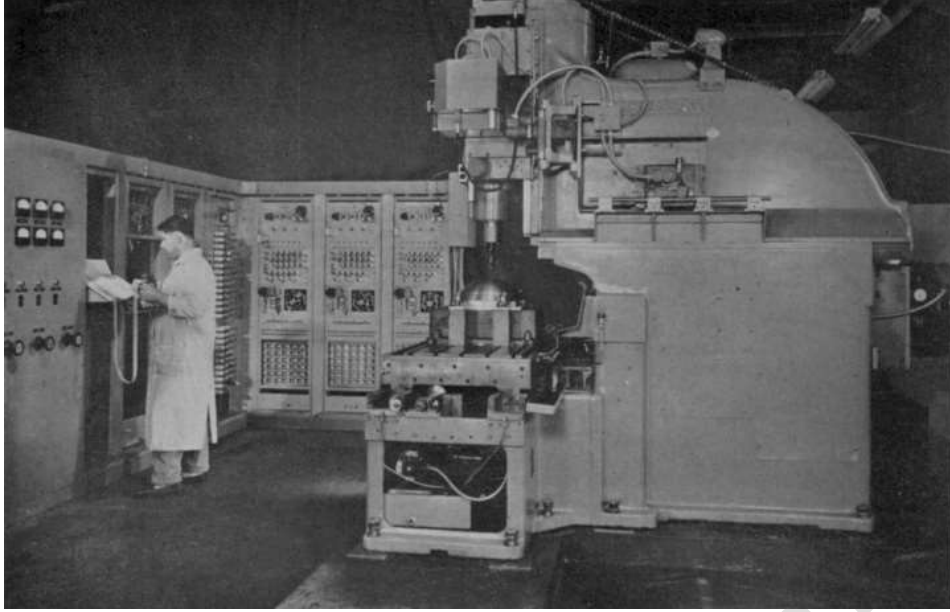
Şekil 2.2 TX-0 bilgisayar odası (www.computerhistory.org)



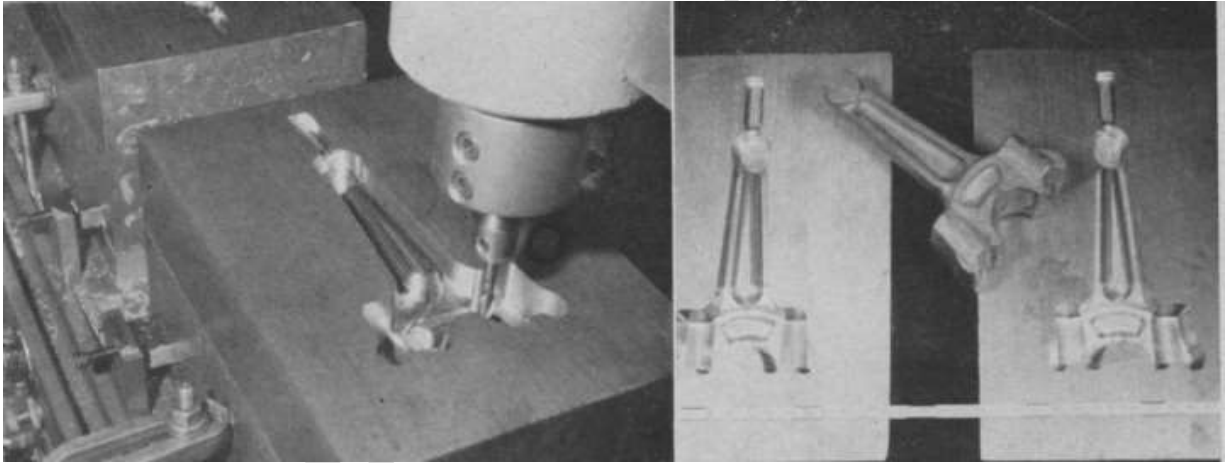
Şekil 2.3 TX-0 bilgisayarı ve delikli kağıt şerit



Şekil 2.4 Delikli kağıt şerit (punched tape) hazırlığında kullanılan bir makine: Flexowriter



Şelil 2.5 1950'li yıllarda MIT'de yapılan ilk NC freze tezgahı...



Şekil 2.6 İlk freze tezgahında üretilen parçalara örnekler

MIT'deki bu çalışmalar Nümerik Kontrol (NC) teknolojisini başlatmış oldu. Yalnız bu uygulama "off-line" idi ve "on-line" olabilmesi için bilgisayarın takım tezgahı ile bütünleşmesi gerekiyordu. Bu da 1960'lı yıllarda gerçekleşti ve CNC (Computer Numerically Controlled) tezgahlar üretilmeye başlandı.

MIT'de 1950'li yıllarda yapılan bu çalışmalar sırasında APT (Automatically Programmed Tool) isimli bir de NC ve CNC programlama dili geliştirildi. Bu dil, CAM alanında geliştirilmiş ilk dildir. Daha sonraki yıllarda bu dil daha da geliştirilmiş ve COMPACT II isimli yeni bir dil de üretilmiştir. Bu teknoloji, 1960'lı yıllardan sonra torna, freze ve diğer takım tezgahlarında uygulanmış ve 2 eksenenden 5 eksene kadar çok sayıda ve çeşitlilikte CNC tezgahlar üretilmiştir.

2.2 Sayısal Denetim

Sayısal denetim (Numerical Control); alfabedeki harfleri, noktalama işaretlerini, sayıları ve diğer sembolleri içeren, tezgaha kodlama şeklinde komut verme tekniğidir.

Komutlar tezgaha bilgi blokları şeklinde verilir. Bir bilgi bloğu, tezgahın tek bir işleme fonksiyonunu yerine getirebilmesi için yeterli komutlar grubudur. Her bloğa tanımlama için sıra numarası verilir. Bloklar sadece verilen sayısal sıraya göre çalışırlar.

Komutlar grubu, NC programını oluşturur. Komutlar, mantıksal bir sıraya göre düzenlendiğinde takım tezgahlarını özel bir görev, özellikle iş parçasının bir kısmını veya tamamen işlenmesi için yönlendirir. Komutlar, kesici takımın bir noktadan diğer bir noktaya yönlendirilmesi için yapılabileceği gibi tezgahın işleyişi ile ilgili de olabilir.

Örnek: Kesici takımın bulunduğu noktanın A olduğunu düşünerek, takımın A noktasından B noktasına gönderilmesi istenildiğinde günlük konuşma dilinde kesici takıma; A noktasından B noktasına git şeklinde komut verilir. Bu işlem NC kodlama dili içerisinde aşağıdaki şekilde yapılır.

N10 G00 X10 Z15

Burada, kesici takım bulunduğu A noktasından koordinatları X ve Z olarak verilen B noktasına herhangi bir talaş kaldırma işlemi yapmadan hızlı bir şekilde git komutu verilmiştir. N10 bloğun satır numarasıdır.

Program bloklarının oluşturduğu ve bir mantıksal sıraya dizildiğinde bir iş parçasını işlemek üzere tezgahı yönlendiren komutlar grubuna parça programlama denir.

Sayısal denetimli takım tezgahlarının otomatik denetimi, tezgahın kendisi dışında olan bir parça programının varlığına dayanır. NC tezgahın kendisi bir belleğe sahip değildir.

2.2.1 Delikli Kart Kullanan Basit NC 'li Tezgahlar

İlk NC tezgahı, üç eksenli harekete sahip olan düşey freze tezgahı 1951'de geliştirilmiştir. Bu tezgah, analog-sayısal karışımı bir denetim ünitesine sahipti. İşleme programını saklamak için ikili sistemde hazırlanmış delikli şerit kullanmakta idi. Bu tezgah sayısal denetimli tezgah olarak adlandırılmıştır.

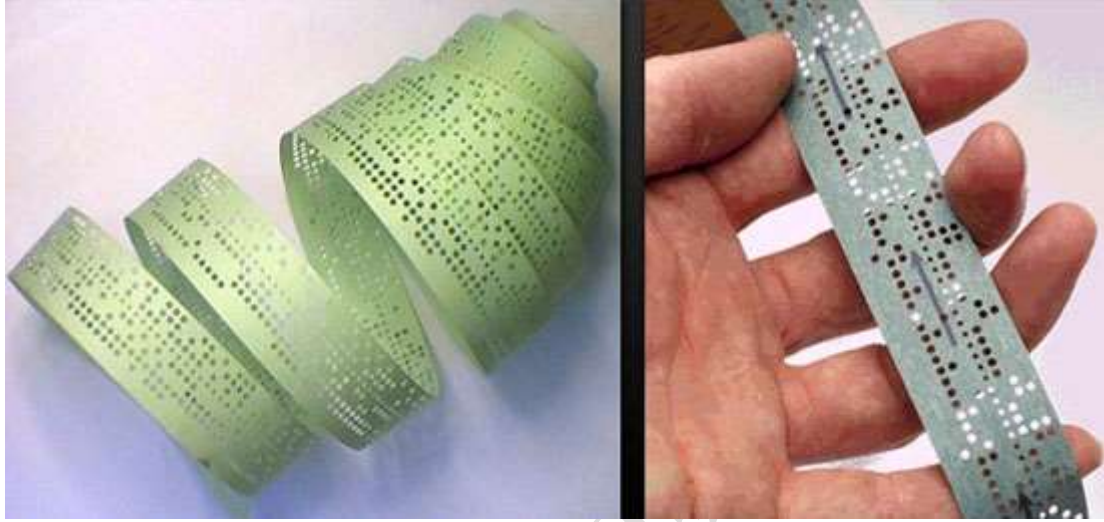
Bu tezgah, klasik tezgahlara ve bu gelişim sürecinde yapılan diğer tezgahlara göre 3-5 kat daha fazla hassasiyetle ve daha yüksek hızlarda parça üretilebileceğini göstermiştir. Rk olarak, yeni bir parçayı üretmek için ne bir şablon ne de makine elemanlarında bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Bu tezgahta yeni bir parçayı üretmek için sadece, delikli şeritte saklı bir program yeniden hazırlanması gereken tek şeydir.

Bir parça; şeridin blok blok tezgahtan geçirilip çalıştırılmadan otomatik olarak üretilmediği için, bu tezgahlar şerit denetimli makineler olarak da adlandırılmaktadır. Aynı şekilde her biri diğerinin aynısı olan parçaların üretimi aşağıdaki şartlara bağlıdır.

1. Şeridin bulunması
2. Şeridin yıpranmamış olması

Bir çok aynı parçanın üretimi sırasında, delikli şeridin kötü etkilenmesi, aşınması ve özellikle şerit okuyucusunda kullanılan besleme deliklerinin aşınması bu tezgahların en büyük dezavantajlarındanıdır.

Standart şerit genişliği 25 mm dir. Orijinal olarak bu şeritler kullanılmaktadır. Bu şeritler ucuzluğu nedeniyle hala en popüler şeritlerdir. Bunlar rulolar halinde veya katlanmış olarak bulunabilirler.



Şekil 2.7 Delikli şerit

Manyetik Şerit Veri Girişi

Kasetler şeklindeki manyetik şerit veri iletiminde çok yaygın olarak kullanılmışlardır. Bunun avantajları;

- ⇒ Daha kolay bulma,
- ⇒ Daha hızlı yazılma ve okuma
- ⇒ Programın gerektiğinde silinip şeridin yeniden kullanılabilmesi
- ⇒ Kolay düzeltme olanağı
- ⇒ Aynı uzunluktaki kağıt şeride göre daha fazla bellek hacmi
- ⇒ Kağıt şeritlere göre dayanıklı olması

Manyetik şeritlerin ilk uygulamaları elle veri girişinin bir şekli olan kontrol konsolundan ilk parçanın manuel olarak işlenmesi sırasında bir kaydetmeyi gerektirmekte idi. Bu sistemin en büyük sakıncası, gerekli olan düğme açıp kapamalar ve ayarlamalar göz önüne alındığında modern tekniklere göre oldukça yavaştı.

Bilgisayar denetimli tezgahların ve simulasyon olanaklarının gelişimi ile manyetik şeritlerin kullanımı artmıştır. Bu şekilde bir parça programının kaydedilmesi, programın elle ya tezgah ünitesinde bulunan ya da bilgisayar klavyesi ile girilmesini gerektirir. Program girildikten sonra, listelenir, düzeltiler ve bilgisayar grafik sistemi ile doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Son olarak program kaydedilir.



Şekil 2.8 Manyetik şerit okuma ünitesi

2.2.2 Bilgisayar ile Denetlenen Tezgahlar (CNC)

Bilgisayarlı sayısal denetim (CNC), NC tezgahların ana esaslarına sahip olup ayrıca tezgah kontrol biriminde isteğe uygun şekilde belleğe kaydedilmiş bir programa sahiptir. Bilgisayarlı sayısal denetimi, birim içine programlanmış ve bilgisayar yazılımında bulunan, mümkün olduğu kadar çok tezgah denetim fonksiyonlarını yerine getirmeye çalışır. Bu olay CNC donanımını büyük ölçüde basitleştirir, fiyatını büyük ölçüde düşürür ve güvenliği artırır.

Bu tezgahlarda bir parça programının güncelleştirilmesi veya yeni bir parça programı yazmak oldukça basittir. Bir çok durumda değiştirilmesi gereken tek şey bellekteki programdır. Ana program ise CNC denetim birimindeki özel bir bellek yongasında depolanmıştır. Denetim sistemindeki herhangi bir güncelleştirme yonganın değiştirilmesi ile olur.

CNC Kontrol birimleri, bilgisayarlar gibi belleklerindeki depolanmış programa göre çalışırlar. Bu ise parça programının çalıştırılmadan önce kontrol biriminin belleğinde çalışmaya hazır durması demektir. Artık tezgahların; bloğu oku-çalıştır şeklinde çalışmadıkları görülür. Bu özellik, yavaş ve güvenilir olmayan şerit ve okuyucularına bağımlılığı ortadan kaldırır.

CNC Takım Tezgahları, NC'nin yapısal ve fiziksel özelliklerinin çoğunu korumaktadır. Eski NC tezgahlarında imkansız olan ve yerine getirilmesi pratik olmayan bazı yeni kontrol özellikleri de CNC'lerde vardır. Bu yeni özellikler;

- ⇒ Belleğe alınmış program
- ⇒ Düzeltme kolaylıkları
- ⇒ Depolanmış şekiller (özellikle frezede)
- ⇒ Alt programlar
- ⇒ Geliştirilmiş kesici takım telafileri

- ⇒ Optimize edilmiş işleme şartları
- ⇒ Diğer bağlı bilgisayarlar tarafından erişilebilme özelliği
- ⇒ Program kontrol sistemleri
- ⇒ Yönetim bilgisi (CNC sistemleri ana bilgisayardaki tüm tezgahın kullanımıyla ilgili birkaç bilgiye erişebilir, diğer bilgisayarlara gönderilebilir.

Ayrıca birçok modern CNC tezgahı operatör müdahalesine gerek kalmadan otomatik takım değiştirme cihazlarına sahiptir.

2.3 Klasik Tezgahlarla CNC Tezgahların Karşılaştırılması

Klasik tezgahlar ile CNC tezgahların karşılaştırılması Tablo 1.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1.1 Klasik tezgahlarla CNC tezgahların karşılaştırılması

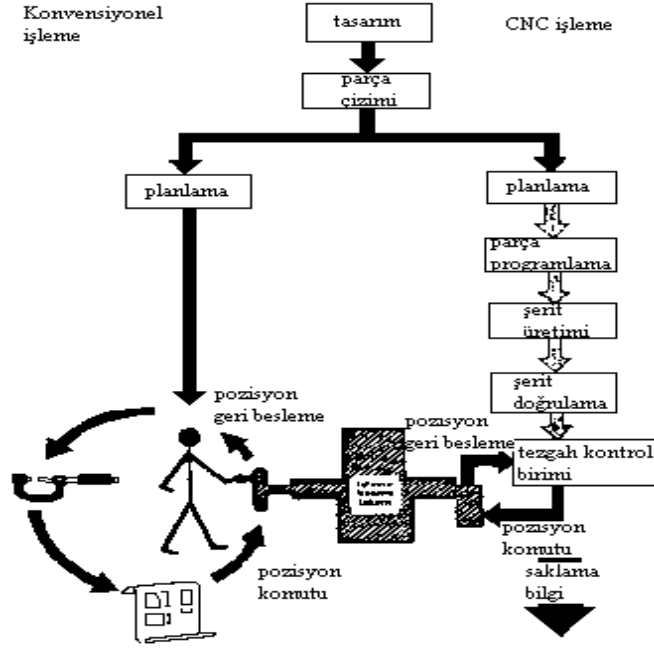
Klasik Tezgah	CNC Tezgahı
Parça işlenirken istenilen boyutun sağlanabilmesi için ölçümler, hesaplamalar ve bunlara bağlı olarak. Tüm bu işlemlerin yapılması uzun zaman alır.	Yazılan program tarafından otomatik olarak yapılır.
Operatör hataları her parça üzerinde olabilir, her parça ıskartaya ayrılabilir, üretim boyutları tutarsız olabilir.	Takım aşınması olmadığında üretim boyutları aynıdır. Ayrıca takım aşınması telafisi verilebilir:
Üretim zamanı uzundur.	Üretim zamanı kısadır.
Takım değiştirme el ile yapılır.	Takım değişikliği otomatiktir.
Hız, sabit hızlı kademeli diş kutuları ile ayarlanır. İstenilen kesme hızı devri kullanılamayabilir.	Maksimum ve minimum arasında kullanılabilir.
Ayarlamalar tezgah başında yapıldığından tezgah ayar zamanlarıyla meşgul edilir.	Program makineden uzakta yazılır.
Ayarlama sırasında makine durur.	Program yazımı PC ile de yapılabildiğinden programlama sırasında makine durmaz.
Karmaşık parçaların üretimi zor, esnek değildir.	Kolay, seri, esnek ve otomasyona uygundur.
Aynı parçanın farklı kişilerce üretiminde elde edilen kalite farklı olabilir.	Program aynı olduğundan takım aşınması olmaksızın kalite sabittir.
Program depolama kapasitesi yoktur.	Program depolama kapasitesi vardır.

CNC Tezgahların Dezavantajları

- ⇒ Daha hassas olmaları nedeniyle çevre etkilerine karşı daha korunması gerekir.
- ⇒ Bozulma ihtimallerinin daha büyük olması ve ayrıca tamirat için uzmanlaşmış elemanlara ihtiyaç duyulması
- ⇒ Programlama için kalifiye elemanlara ihtiyaç duyulması

İlk olarak CNC tezgahını kullanan firmalar, aşağıdaki hususlara dikkat etmelidirler.

Tüm bölümlerin özellikle CNC tezgahı ile yakın ilişkisi olan personelin, bu tezgahlar hakkında bilgi edinmesi ve bu hususta personelin eğitimine önem verilmesi gerekir. Konstrüktörler ve ressamalar imalat resimlerini CNC tezgahların özelliklerine göre hazırlamalıdır. Takım ve tutturma tertibatlarının CNC tezgahlarda kullanılmak üzere bir sistemizasyonu yapılmalıdır. Tezgahların bakımı için özel önlemler alınmalıdır.



Şekil 2.9 Klasik ve CNC takım tezgahları ile üretilen parçaların karşılaştırılması

2.4 CNC Takım Tezgahların Yapısı

CNC takım tezgahlarının yapı elemanları; elektronik ve mekanik yapı elemanları olarak iki sınıfa ayrılabilir. CNC takım tezgahları, mükemmel bir uyum ile bir araya getirilen mekanik ve elektronik sistemlerin amaca uygun şekilde oluşturulan yazılımlarla denetlenmesi sonucunda istenilen işlevleri yerine getirirler. Bir CNC takım tezgahının tasarımında, istenilen hareketlerin kusursuz biçimde elde edilmesi için, denetim ünitelerinin ve programlama şekillerinin doğru seçilmeleri gerekir. Kontrol birimindeki özel bir kabin içerisine yerleştirilen bilgisayar sayesinde, kontrol bağlantıları yapılan bütün alt sistemlerin yönetimi yapılabilir.

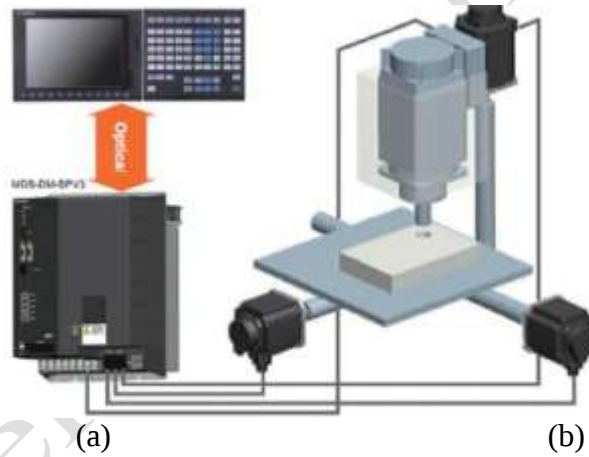
Denetim birimi, eksen hareketlerini sensörlerle sensörün izin verdiği toleranslar dahilinde denetler. NC tezgahlarda kullanılan denetim alt sistemleri temelde açık ve kapalı döngülü denetim sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.4.1 Elektronik Yapı Elemanları

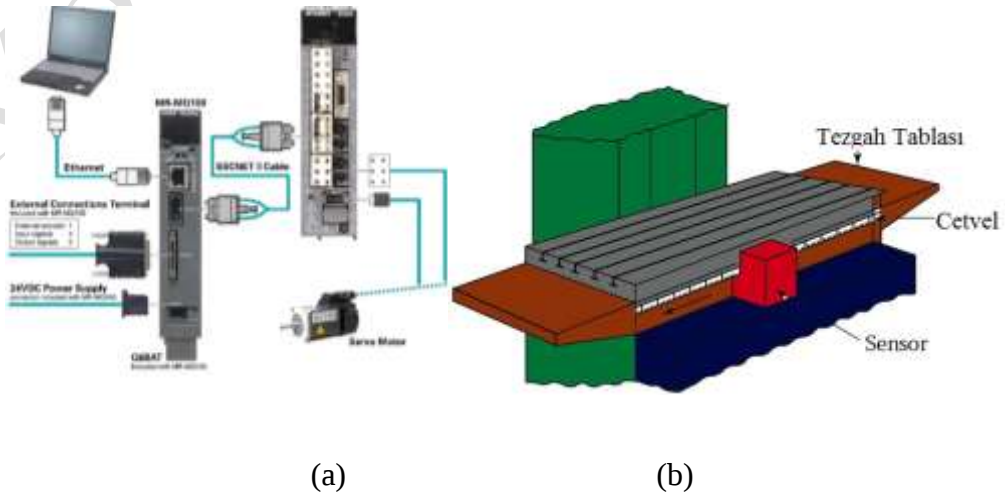
CNC tezgahları klasik tezgahlardan ayıran en büyük özellik; program girişini ve çalışmasını sağlayan bir kontrol ünitesi ve bunu temsil eden bir kontrol panosunun bulunmasıdır (Şekil 2.10). Bu panoda, komutların girilmesini sağlayan düğmelerin yanı sıra, girilen veya işlenen komutları gösteren ve talaş kaldırma işleminin simülasyonunu yapan bir ekran vardır. Bunun yanı sıra, CNC tezgahlarda, güç motorunun yanında takımın ilerleme hareketini gerçekleştiren ve eksen adı verilen her hareket yönünde bir motor vardır (Şekil 2.11). Program sinyalleri ilk olarak bir amplifikatörde bulunan kontrol ünitesine ve sonra motora gönderilir (Şekil 2.12). Takım konumunu denetlemek için her eksen yönünde birer sezgi elemanı kullanılır (Şekil 2.12-b). Sezgi elemanı her an takımın hareketlerini denetler.



Şekil 2. 10 FANUC denetim birimine sahip CNC Tezgah panosu



Şekil 2.11.Güç motoru ve ilerleme motorları

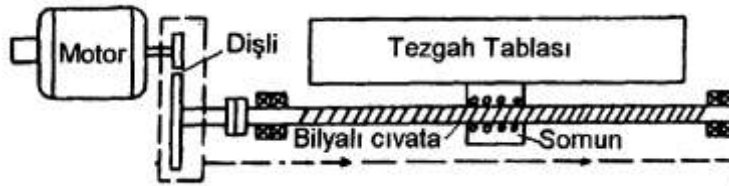


Şekil 2.12-a Tek eksen için kontrol ünitesi, b. Konum denetimi için cetvel

2.4.1.1 Açık Devre Denetim Sistemleri

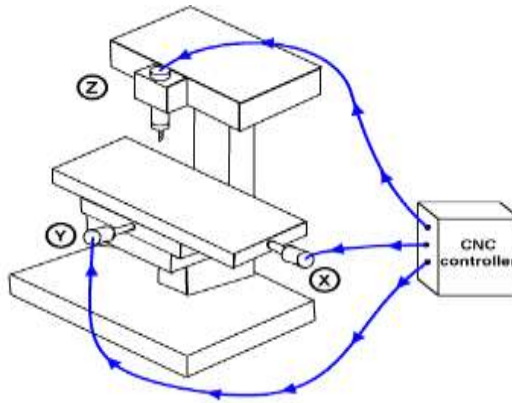
Açık devre denetim sistemlerinde, çıktı hareketinin miktarını algılayacak denetim birimi yoktur. Endüstride yapılan işlerin çoğu, genellikle insanlar tarafından açık devre denetimle yapılır. Örneğin bir matkap ile delik delme işleminde operatör, kumanda kolunu kontrol denetleyerek istediği derinlikte delik açabilir. İnsan eliyle denetlenen bütün mekanizmalar, insan denetiminde kapalı devre denetim sistemi gibi çalışsa da, gerçekte açık devre denetim sistemleridir.

Bir açık-döngü denetim sistemi (Şekil 2.13), denetim hareketini belirlemek için gerçek sonuçla istenilen sonucu karşılaştırmaz. Motorlara bir sinyal gönderildiğinde motorun o sinyale tepki vererek dönme hareketini gerçekleştirdiği ve vidalı mil/bilyeli somun aracılığıyla dönme hareketini öteleme hareketine çevirerek istenilen konuma ulaşıldığı kabul edilir. Açık devre denetim sistemleri, fazla hassasiyet gerektirmeyen eksenlerindeki hareketlerinin denetiminde kullanılabilir. Genellikle adım motorlu sistemlerde tercih edilirler ve düşük hızlarda, yüksek hassasiyet gerektirmeyen uygulamalarda kullanılırlar.



Şekil 2.13 Açık devre denetim sistemi

Açık-devre denetimin en büyük avantajı kapalı-devre denetimden daha ucuz olmasıdır. Buna ek olarak denetleyici çok daha basittir çünkü hataya dayalı düzeltme hareketi gerekmez. Dezavantajı ise beklenmeyen durumların sebep olduğu hatalar düzeltilmez.



Şekil 2.14 Açık devre 3 eksen hareket sistemi

Çoğunlukla operatör elle değişen durumlara karşı hatayı yavaş yavaş düzeltmelidir. Bu durumda operatör devreyi geri besleme sinyali sağlayarak kapatmaktadır. Kullanım sırasında sistemde, insan faktörü ya da kumanda kolları yerine bilgisayar da kullanılabilir.

Açık devre denetim sistemlerinin, hassas pozisyon denetiminde kullanılmamasının bazı nedenleri şunlardır:

- Sürücülerdeki ilk harekete geçme ve durma anlarındaki hız sapmaları (ivmelenme)
- Yük büyüklüğü
- Sürtünme

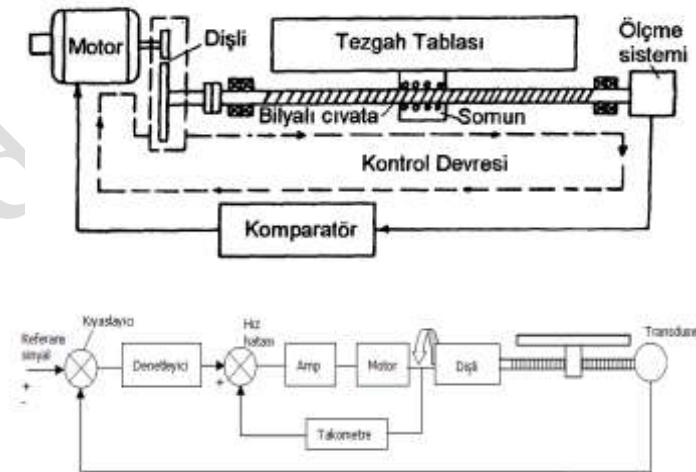
Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, belirlenen işlem zamanı içerisindeki hareket miktarı değişebilir. Bilgisayar ile açık devre olarak kumanda edilebilen en iyi sürücü, adım motorlarıdır. Adım motor, elektrik akımı verildiği sürece sabit adımla döner. Bilgisayar yardımıyla denetim adım motorlarını kumanda etmek için en iyi yollardan biridir. Elektrik akımı ya da sinyaller bir program içerisinde bilgisayar yardımı ile adım motora gönderilir.

2.4.1.2 Kapalı Devre Denetim Sistemleri

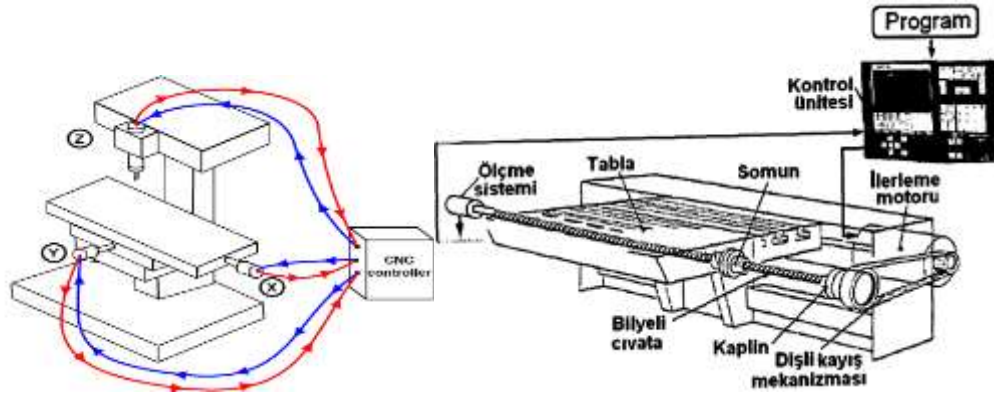
Kapalı devre denetim sistemi (Şekil 2.15), açık devre denetim sistemlerine konum ölçü devresi eklenerek sürücülerin yaptığı hareket miktarını sistem içerisinde algılayarak, sürücülere kumanda edilmesi esasına göre çalışır. Kapalı devre sistemlerde, sürücülerin pozisyonu sürekli olarak sinyaller gönderilerek denetlenir.

Kapalı devre denetim sisteminin genel çalışma özellikleri şunlardır:

- Sürücüyü denetleyen devre elemanları, sisteme hareket noktasında ilişkilendirilmelidir.
- Eksenlerin gerçek pozisyonu transduser kullanılarak ölçülmelidir.
- Eksenin aktif konumu, istenilen konum ile karşılaştırılarak, bir hata sinyali oluşturulur. Hata sinyali sıfırdan farklı ise ilgili eksenin hareket ettirilmesine devam edilir. Bu işlem istenilen konuma erişinceye kadar devam ettirilir.



Şekil 2.15 Kapalı döngü denetim sistemi



Şekil 2.16 Kapalı döngülü denetim sisteminde sistem elemanları sistemi

2.4.1.3 Algılayıcılar (Sensors-Transducers)

Algılayıcılar ("duyarga" da denmektedir) fiziksel ortam ile endüstriyel amaçlı elektrik/elektronik cihazları birbirine bağlayan bir köprü görevi görürler. Bu cihazlar endüstriyel proses sürecinde denetim, koruma ve görüntüleme gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Günümüzde üretilmiş yüzlerce tip algılayıcıdan söz edilebilir. Mikro elektronik teknolojisindeki inanılmaz hızlı gelişmeler bu konuda her gün yeni bir buluş ya da yeni bir uygulama tipi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Teknik terminolojide Sensor ve Transducer terimleri birbirlerinin yerine sık sık kullanılan terimlerdir. Transducer genel olarak enerji dönüştürücü olarak tanımlanır. Sensor ise çeşitli enerji biçimlerini elektriksel enerjiye dönüştüren cihazlardır. Ancak 1969 yılında ISA (Instrument Society of America) bu iki terimi eş anlamlı olarak kabul etmiş ve "ölçülen fiziksel özellik, miktar ve koşulların kullanılabilir elektriksel miktara dönüştüren bir araç" olarak tanımlamıştır.

Algılayıcıların Sınıflandırılması

Algılayıcıları birbirinden farklı birçok sınıfa ayırmak mümkündür. Ölçülen büyüklüğe göre, çıkış büyüklüğüne göre, besleme ihtiyacına göre vb... Aşağıda bu sınıflardan giriş büyüklüklerine ve çıkış büyüklüklerine göre sınıflandırılanlarına örnek değinilecektir.

Giriş Büyüklüklerine Göre

Algılayıcılarla ölçülen büyüklükler 6 gruba ayrılabilir. Bunlar;

1. **Mekanik** : Uzunluk, alan, miktar, kütleli akış, kuvvet, tork (moment), basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalgaboyu ve yoğunluğu
2. **Termal** : Sıcaklık, ısı akışı
3. **Elektriksel** : Voltaj, akım, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans
4. **Manyetik** : Alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik
5. **Işıma** : Yoğunluk, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma, gönderme
6. **Kimyasal** : Yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı

Çıkış Büyüklüklerine Göre

Analog çıkışlara alternatif olan dijital çıkışlar bilgisayarlarla doğrudan iletişim kurabilirler. Bu iletişimler kurulurken belli bazı protokoller kullanılır. Bunlardan seri iletişim protokollerine, aşağıda kısaca değinilmiştir.

RS232C: Bu protokol başlangıçta telefon veri iletişimi için tasarlanmıştır. Daha sonra birçok bilgisayar sistemi bunu sıkça kullanmaya başlamış ve sonuçta RS232 standart bir iletişim protokolu haline gelmiştir. RS232C'nin çalışması tek sonlamalıdır(single ended).

Lojik 1 = -15,-3 arasında ve lojik 0 = +3,+15 arasındadır. Algılayıcılar verileri bitler halinde ve seri iletişim protokolüne uygun olarak bilgisayara gönderir. RS232C bir tek sonlamalı arayüze sahip olduğundan alıcı ve gönderici arasındaki uzaklık dış çevreden gelen olumsuz faktörlerin (EMI,RFI enterferanslar) azaltılması açısından kısa tutulmalıdır.

RS422A : Bu protokol Differential ended bir arayüze sahiptir. Alıcı verici arasındaki mesafe yeterince en uzak seviyededir. Hatlarda bu mesafe sebebiyle olabilecek zayıflama 200mV seviyesine kadar azalsa da sistem iletişime devam eder. Diferansiyel ara birim sayesinde sinyaldeki zayıflama ihmal edilebilir düzeye çekilir ve oldukça yüksek bir veri hızıyla haberleşme sağlanabilir. Algılayıcı ve bilgisayar arasındaki iletişimde Twisted Pair (Bükülmüş kablo) kullanıldığından dış etkilerden etkileşim azdır.

RS485 : Standart 422A protokolu genişletilerek oluşturulmuş bir protokoldür. Bu protokol ile birlikte çalışabilen 32 adet alıcı vericinin tek bir kabloyla veri iletişimi sağlanabilir. RS485 protokolu kablodaki iletişim problemlerini ortadan kaldırmaktadır.

2.4.1.4 Adım Motorları (Step Motor)

Adım motorları, girişlerine uygulanan darbe dizilerine (dijital-sayısal giriş olarak da ifade edilebilir) karşılık, analog dönme hareketi yapabilen elektromagnetik elemanlardır. Bu özellikleri nedeniyle “dijital makina” olarak da tanınan adım motorları, dijital sistemlerde kullanılırken büyük kolaylıklar sağlarlar. Adım motorları, adından da anlaşılacağı gibi belirli adımlarla hareket ederek rotorun açısal konumunu değiştirirler. Bu adımlar, motor sargılarına uygun sinyaller gönderilerek denetlenir. Herhangi bir uyarımda, rotorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı, motorun yapısına bağlı olarak 90, 45, 18, 7.5, 1.8... derece veya çok daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı da denetlenebilir. Adım motorlarının dönüş yönü ise, uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek, saat ibresi yönünde (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir.

Adım Motorların Kullanım Alanları

Adım motorları uzun yıllardır var olmalarına rağmen ticari olarak kullanılmaları ancak 1960'lı yıllarda yüksek seviyeli doğru akımları anahtarlayabilen transistörlerin üretimine başlanmasıyla yaygınlaşmıştır. 1970'li yıllardan beri dijital elektronikteki ve mikroişlemci teknolojisindeki gelişmelerle birlikte adım motorlarının kullanımı giderek cazipleşmekte ve tüm dünyada bu motorların üretim ve uygulamalarıyla ilgili geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.



Şekil 2.17 Adım motorlu hareket sistemleri (a-4 eksen freze modeli, b-torna modeli)

Günümüzde adım motorları endüstride birçok denetim sistemlerinde, hassas konum denetimi yapmak amacıyla kullanılmaktadır. En çok yazıcılar (printer), çiziciler (plotter), disket sürücüler (floppy driver), harddisk sürücüler (harddisk driver), kart okuyucular... vb gibi bilgisayar çevre cihazlarında bu elemanlardan yararlanılmaktadır. Ayrıca sayısal denetim sistemlerinde, CNC tezgahlarda, proses denetim sistemlerinde, robot teknolojisinde (hassas hareketlerin denetiminde) ve uzay endüstrisine ait bir çok sistemde adım motorları tahrik elemanı olarak yer almaktadır.

Adım motorları açık döngülü denetim sistemlerinde daha çok kullanılmalarına rağmen son yıllarda bu motorlara da geri besleme yapılabildiğinden kapalı döngülü denetim sistemleri için de uygun hale gelmiştir.

Adım Motorlarının Avantajları

Adım motorlarının çok kullanım alanı bulmasının nedeni bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Adım motorları dijital giriş işaretlerine cevap verirler, bu nedenle mikroişlemci veya bilgisayarlarla denetim için ideal elemanlardır.
- Adım motorların hangi yöne döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerlerin mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile denetlenebilmesi, her an bu motorların dönüş yönü, hızı ve konumunun bilinebilmesini sağlamaktadır. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları ile çok hassas konum denetimi yapılabilir.
- Adım motorların dijital girişlere cevap vermesi, geri beslemeye ihtiyaç duyulmaksızın açık çevrim çalıştırılabilmesini sağlamaktadır. Yani açık çevrim çalıştırılan bir adım motoru ile hız, ivme ve konum denetimi daha basit ve daha az maliyetle gerçekleştirilebilir. Böylece alışılmış kararsızlık problemlerinin de önüne geçilmiş olur.
- Adım motorlar, giriş işaretlerinin frekansına bağlı olarak çok geniş bir hız aralığında sürülebilirler.
- Adım motorlar, herhangi bir hasara yol açmadan defalarca durdurulup çalıştırılabilirler. (Sürerken aniden durdurma ya da aniden ters yönde sürme isteğine karşı mükemmel cevap verebilirler.)
- Aşırı yüklenmeden hasar görmezler, oldukça dayanıklıdırlar. Her yeni adımla artan (kümülatif) konum hataları yoktur.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Yağlanma ve kirlenme problemleri yoktur.

Adım Motorlarının Dezavantajları

Adım motorlarının bütün bu avantajlarına karşılık bazı dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Adım açıları sabit olduğundan rotordan alınan hareket sürekli değil darbelidir.
- Klasik sürücülerle kullanıldıklarında verimleri düşüktür.
- Adım cevapları nispeten büyük aşım ve salınımlıdır.
- Yüksek eylemsizlikli yüklerde yetenekleri sınırlıdır.
- Sürtünme kaynaklı yükler, hata kümülatif olmasa dahi açık çevrim çalışmada konum hatası meydana getirebilirler.
- Elde edilebilecek çıkış gücü ve momentleri sınırlıdır.
- İyi denetlenmezse edilmezse rezonans meydana gelebilir.
- Oldukça yüksek hızlarda çalıştırmak pek kolay değildir

Adım Motorlarına Ait Önemli Parametreler

a- Çözünürlük

Çözünürlük; bir devirdeki adım sayısı veya dönen motorlar için adım açısı (derece), lineer motorlar için ise adım uzunluğu (mm) olarak tanımlanır. Bu sabit değer, üretim sırasında tespit edilen bir büyüklüktür. Bir adım motorunun adım büyüklüğü, çeşitli denetleme düzenleri ile değiştirilebilir. Yarım adım çalışmada adım büyüklüğü normal değerinin (çözünürlüğünün) yarısına indirilir.

b- Doğruluk

Bir adım motorunun adım konumu, tasarım ve üretim sırasında bir araya getirilen birçok parçanın boyutları ile belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki toleranslar ve dahili sürtünmeler, adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olur. Bu durum, adım motorunun doğruluğu olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade edilmiş hâlidir. Klasik adım motorlarında bu hata % 1 ile % 5 arasında değişmektedir. Sürtünme momenti veya kuvveti nedeniyle oluşan konum hataları bu doğrulukla ilgisi olmayan, daha az veya çok olabilen rastgele hatalardır. Ancak her iki tip hata toplanarak sistemin toplam hatası elde edilir.

c- Tutma Momenti

Tutma momenti, bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin rotor konumuna bağlı olarak değişimini veren eğridir. Eğrinin merkezi motorun bir fazının uyarılmış olduğu durumda rotorun kararlı adım konumuna karşılık düşer. Bu eğri, rotor adım pozisyonundan uzaklaştırılırsa motorda indüklenerek olan ve rotoru sıfır momentli adım pozisyonuna geri getirmeye çalışan momentin (tutma momenti) yönünü ve miktarını verir. Tutma momenti eğrisi, motorun tüm rotor konumları ve statik uyarma koşullarındaki ani momentini tam olarak tanımlamak için gereklidir.

2.4.1.5 Servo Motorlar

1 devir/dakikalık hız bölgelerinin altında bile kararlı çalışabilen, hız ve moment denetimi yapan yardımcı motorlardır. Örneğin hassas takım tezgâhlarında ilerleme hareketleri için genellikle servo motorlar kullanılır. Servo motorların AC ile çalışan modelleri fırçasız, DC

ile çalışan modelleri ise fırçalıdır. Bunlar, elektronik yapıli sürücü/programlayıcı devrelerle birlikte kullanılır. Günümüzde yapılan servo motor çalıştırma sürücüleri tamamen mikroişlemci denetimli ve dijital yapılidir.

Dijital denetimli, hassas makinelerde çok tercih edilen servo motorların bazı özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Döndürme momentleri yüksektir.
- Döndürme momentinin iki katına kadar olan değerlere kısa süreli olarak yüklenebilirler.
- Devir sayıları 1-10000 d/d arasındaki değerlerden herhangi birisine kolayca ayarlanabilirler.
- Çok sık aralıklı olarak hareket edebilirler. Yani dur-kalk yapma sayılarının çok olması motoru olumsuz etkilemez.
- Atalet (kalkış) momentleri küçük olduğundan verilen komutları gecikme olmadan algılar ve yerine getirirler.

Servo Motor Çeşitleri

A- AC Servo Motorlar

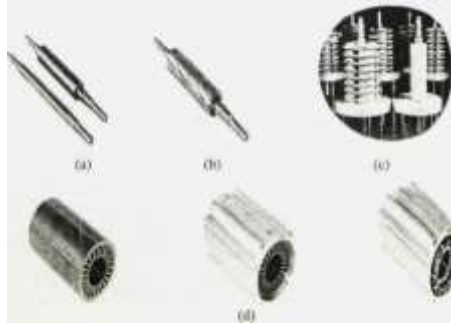
Bu tip servo motorlar, genellikle iki fazlı sincap kafesli indüksiyon tipi motorlardır. İki fazlı asenkron motorlar, büyük güçlü yapılmakla birlikte çoğunlukla otomatik kontrol sistemlerinde servo motorlar olarak kullanılmak amacı ile küçük güçlü yapılır. Fırça ve kolektör olmadığından arıza yapma ihtimalleri az, bakımları kolaydır. A.C. servo motorlar, iki fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki tipte incelenir.



Şekil 2.18 Servo motor ve sürücüsü

AC Servo Motorların Yapısı

İki fazlı servo motorun statorunda eksenleri arasında 90° lik elektriksel açı olan referans ve kontrol sargısı olmak üzere iki adet sargı vardır. Rotoru ise sincap kafesli sargı taşır, fakat yüksek dirence sahip olması gibi birtakım özellikler kazandırılmıştır. AC. servo motorlarında rotor devresi, oldukça yüksek dirence sahip olacak şekilde imal edilir. Bu işlem ya sincap kafes çubuklarında ya da çubukların bağlantı noktalarında yüksek dirençli maddeler kullanılarak yapılır. Şekil 2.19-a'da fırçasız servo motorun rotoru, 2.19-b'de düşük momentlere karşı kobalt malzemenin kullanılması, 2.19-c'de yüksek ısı ile rotorun hazırlanışı, 2.19.d'de ise stator ve sargılarının montajı görülmektedir. Şekil 2.20'da ise komple servo motor kesiti ve parçaları görülmektedir.



Şekil 2.19. AC servo motor stator ve rotorları



Şekil 2.20 Servo motor kesiti

Büyük güçlü AC servo motorlar iki ya da üç fazlı olarak üretilmektedir. Bu tip motorların rotorları, doğal mıknatıslı ya da kısa devre çubuklu olmaktadır. İki ya da üç fazlı servo motorların çalışma prensibi, senkron ya da asenkron tip motorlara çok benzemektedir. Üç fazlı servo motorların hız denetimi, pals frekans çevirici devresi üzerinden pals genişlik modülasyonu (PWM) devreleriyle yapılmaktadır. Küçük güçlü (110W) AC servo motorlar ise minik boyutlu olarak iki faz ile çalışabilecek şekilde üretilir. Bunların iç yapısında aralarında, 90° elektriksel açı yapacak şekilde yerleştirilmiş iki bobin ve sincap kafesine benzer rotor vardır. Servo motorların rotorları, savrulma ve atalet momentlerinin küçük olabilmesi için uzun; çapları ise küçük yapılıdır. Stator sargılarına uygulanan gerilimlerin frekansı 50-60-400-1000 Hz olabilir.

İki fazlı servo motorların sargılarının biri referans, diğeri ise kontrol sargısı olarak da adlandırılır. Referans sargısına sabit değerli, sabit frekanslı alternatif akım uygulanır. Kontrol sargısına ise yükselteç devresinden gelen kontrol gerilimi verilir. Kontrol sargısına uygulanan akım, faz kaydırma devreleriyle 90° kaydırılarak uygulanır. İki sarımda oluşan manyetik alanlar sonucunda rotor döner.

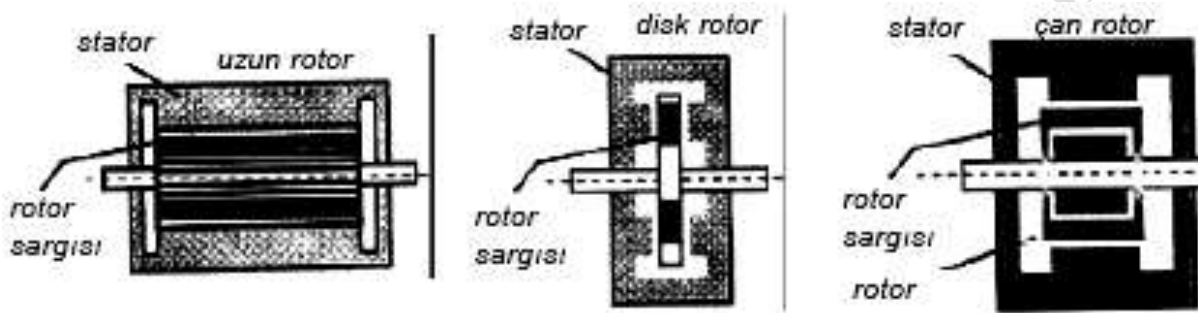
B. DC Servo Motorlar

DC servo motorlar, genel olarak bir DC motoru olup, motora gerekli DC akımı aşağıdaki metotlarla elde edilir.

- Bir elektrik yükselteçten
- AC akımın doyumlu reaktörden geçirilmesinden
- AC akımın tristörden geçirilmesinden
- Amplitudin, retotrol, regüleks gibi dönel yükselteçlerden elde edilir.

DC servo motorlar, çok küçük güçlerden çok büyük güçlere kadar imal edilir (0,05Hp'den 1000 Hp'ye kadar). Bu motorlar, klasik DC motorlar gibi imal edilir. Bu motorlar, küçük yapıdır ve endüvileri (yükseklik.uzunluk/çap oranıyla) kutup ataleti momentini minimum yapacak şekilde tasarlanır.

Küçük çaplı ve genellikle içerisinde bir kompanzasyon sargısı olan kuvvetli manyetik alanlı, boyu uzun doğru akım motorlarına da **servo motor** denir. DC servo motorlarda, sabit bir kutup manyetik alanı elde etmek için DC kaynak kullanılır. Endüviye ise değişken bir gerilim verilir. Bu iki gerilimin dolaştırdığı akımların oluşturduğu manyetik alanlar birbirini iterek dönüşü başlatır. DC servo motorların rotorları uzun, disk ve çan şeklinde olabilmektedir (Şekil 2.21). Disk rotorlu servo motorlar, kısa ve hafif oldukları için robot mafsallarında hareket elemanı olarak kullanılabilir.



Şekil 2.21 "Uzun", "disk", "çan" rotorlu DC servo motorların yapıları

İnce ve uzun rotorlu servo motorlarda ise boyutlar çok küçük olduğundan bunları her ortama monte etmek kolaydır. Çan tipi rotorlu servo motorlar ise 3000 d/d gibi yüksek hızlara çok çabuk ulaşabilme özelliğine sahiptir. Servo motorlar; dijital denetimli makineler, pozisyon belirleme sistemleri, bilgisayar donanımları, bellekli makineler, askeri cihazlar, büro makineleri, alternatör devir ayar mekanizmaları vb. gibi yerlerde kullanılmaktadır.

Doğru akım servo motorlarında, yüksek bir dönme momenti ve aşırı yüklenebilirlik elde etmek için özellikle şiddetli bir manyetik alan oluşturulmalıdır. DC servo motorun en büyük dönme momenti kısa çalışmalar sırasında ve en küçük devir sayısında yaklaşık anma dönme momentinin dört katıdır.

2.4.2 Mekanik Yapı Elemanları

2.4.2.1 Tezgah Gövdesi

Mekanik yapı elemanlarının en önemli bileşenleri tezgah gövdesi, kızaklar ve bilyeli-mil/somun gibi elemanlardır.

Klasik tezgahlarda olduğu gibi CNC tezgahların da ana gövde malzemesi olarak dökme demir yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.22-a). Dökme demirin ucuz olma özelliğinin yanısıra istenilen şekilde üretilebilmesi avantajlıdır. Ayrıca kır dökme demir iyi bir sönümleme ve kendi kendine yağlama özelliğine sahiptir. Çelik malzemelerde en fazla kullanılan malzemeler arasındadır (Şekil 2.22-b). Çelik yapılar dökme demirden daha hafif buna karşı yaklaşık iki kat dayanıklıdır. Bu nedenle özellikle büyük tip tezgahlarda çelik gövdeler tercih edilmelidir. Özellikle siparişe dayalı makine imalatlarında uygundur.



Şekil 2.22-a Döküm gövde



Şekil 2.22-b Çelik konstrüksiyon gövde

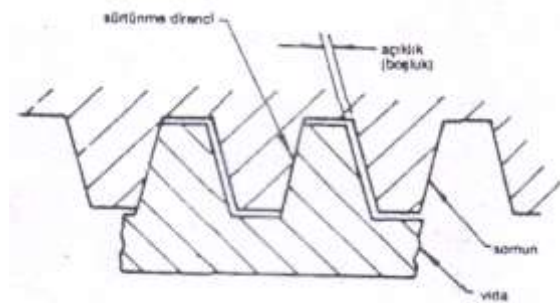
Şekil 2.23 'de Monoblok gövdeye sahip diş işleme merkezi görülmektedir.



Şekil 2.23 Monoblok gövdeli dik işleme merkezi

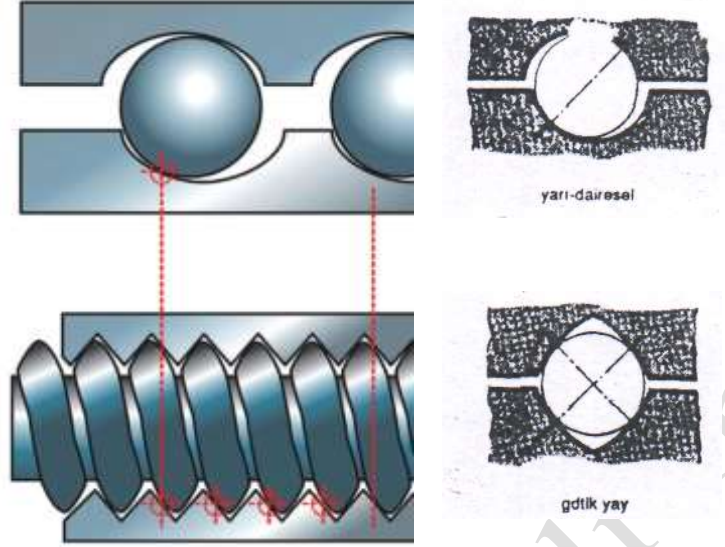
2.4.2.2 Sonsuz Vidalar

Klasik tezgahlarda kullanılan trapez kesitli sonsuz vidaların sayısal denetimli tezgahlarda kullanılması yeterli bulunmamıştır. Trapez kesitli sonsuz vidanın hareketi, iki diş arasındaki sürtünme iki diş arasındaki diş boşluğuna bağlıdır. Aynı zamanda vidanın diş yüzeyleri arasındaki sürtünme harekete karşı çok büyük bir direncin olduğunu göstermektedir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 Klasik tezgahlarda kullanılan trapez kesitli sonsuz vida

Günümüzde eğitim amaçlı ucuz tezgahlar dışında kalan bütün sayısal denetimli tezgahlar, sürtünme direncini azaltmak için kayma hareketini yuvarlanma hareketine dönüştüren devir daimli bilyalı vidalar ile donatılmıştır. Temas yüzeyi geometrisi ya yarı dairesel ya da gotik yay şeklindedir (Şekil 2.25)



Şekil 2.25 Sirkülasyon yapan bilyalı yönlendirici vida şekilleri

Hassas takım tezgahları uygulamalarında, mil etrafında dönen silindirik bilyalı vidalar kullanılır. Boşta bilya olmadığından daha yüksek devir sayılarına erişilebilir. Şekil 2.26-a'da bilyanın dıştan dönüşü, Şekil 2.26-b'de bilyanın içten dönüşü görülmektedir. Şekil 2.27 'de her iki bilyalı-milin uç yataklamalarına ait örnek görülmektedir.



Şekil 2.26-a Dönen bilyalı vida (dıştan dönüş)



Şekil 2.26-b Dönen bilyalı vida (içten dönüş)



Şekil 2.27 Vidalı mil uç yataklama örnekleri

Sirkülasyon yapan bilyalı vidaların trapez vidalara göre avantajları şunlardır;

- ⇒ Ömürleri daha uzundur
- ⇒ Aşınmaları azdır
- ⇒ Sürtünme direnci düşüktür
- ⇒ Azalan sürtünme nedeniyle daha az güç gereksinimi
- ⇒ Daha yüksek hızlara erişebilme
- ⇒ Yapışma, kayma etkisi görülmemesi
- ⇒ Tezgah ömrü boyunca konumunu koruma hassasiyeti

2.4.2.3 Tezgah Kızakları

Sayısal denetimli tezgahların çoğu düz yatak yüzeylerine sahiptir. Bu yüzeyler genellikle sertleştirilmiş ve bütün malzemeler içinde en düşük sürtünme katsayısına sahip olan politetrafluoroetilen (PTFE-Teflon) ile kaplanmışlardır. Bu malzemenin yüzeyi yağ tutacak şekilde hafif gözenekli yapıya sahiptir. Düz yüzeylerin yük taşıma özellikleri diğer yüzeylere göre oldukça iyidir.

Sürtünme direncini azaltmak ve daha az güç harcamak için, kayma hareketi sağlayan düz yataklar yerine dönme hareketi sağlayan masuralı yataklar da kullanılır. Şekil 2.28'de lineer kızak sistemlerine ait örnekler verilmiştir.



Şekil 2.28 Lineer kızak sistemi örnekleri

2.4.2.4 Otomatik Takım Değiştirme Mekanizmaları

CNC takım tezgahları otomatik takım değiştirme sistemleri ile donatılmıştır. Yani, yazılan parça programı denetimi altında takımlar seçilebilir ve değiştirilebilir. Böyle bir sistem üretimi arttırır ve insansız bir operasyon için potansiyel yaratır.

Bir çok CNC tezgahında, takım bağlama elemanlarının bulunduğu ve bağlandığı taretli standart takım bağlama sistemleri kullanılmaktadır.

Taret, içine kesici takımların yerleştirildiği tezgah parçasıdır. Bunlar otomatik olarak döner, yani; iş parçasının işlenmesi için farklı bir takım bağlamak ve takımın yeni bir konuma dönmesi için programlanabilir. Şekil 2.29'da bir döner takım magazinini resmi verilmiştir. Şekil 2.30'da freze tezgahında kullanılan şemsiye tipi takım magazini görülmektedir.

Şekil 2.31 'de zincir tip takım magazini örnek olarak verilmiştir. Tezgahlarda takım değişimi; tornalarda magazin dönmesiyle, işleme merkezlerinde ise takım değiştirme kolunun istenilen takımı magazinden alıp iş miline aktarmasıyla gerçekleşir (Şekil 3.32).



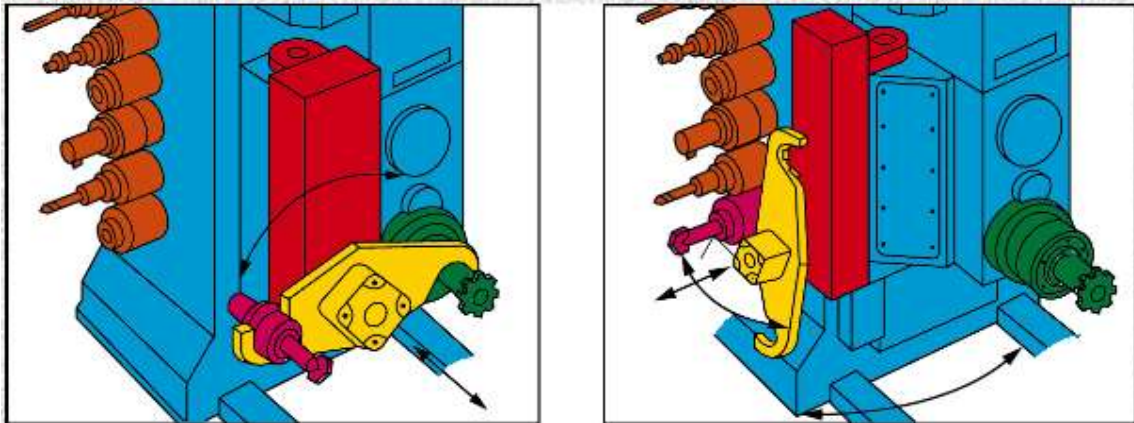
Şekil 2.29 CNC torna takım magazini



Şekil 2.30 Şemsiye tip takım magazini



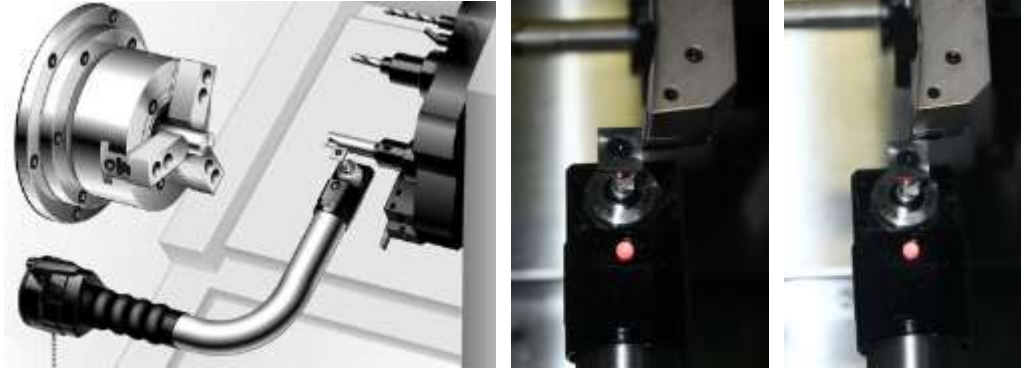
Şekil 2.32 Zincir tip takım magazini



Şekil 2.32 Takım değiştirme kolu

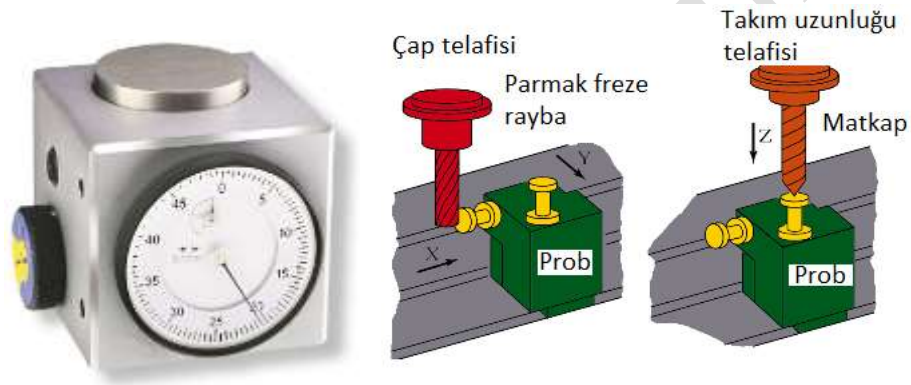
2.4.2.5 Takım/Parça Sıfırlama Aygıtları

Frezelerde, tornalarda takım sıfırlama/tanıtma ve parça sıfırlama için kolaylık sağlayan çeşitli aygıtlar bulunmaktadır. Bu aygıtlara örnekler aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Takım sıfırlama işlemleri torna tezgahlarında sıfırlama probrarı yardımıyla gerçekleştirilir (Şekil 2.33).



Şekil 2.33 Torna takımlarının sıfırlanması

Frezeleme işlemleri için kullanılan kesici takımların sıfırlanması işlemleri temaslı ve temassız aygıtlarla gerçekleştirilebilir. Şekil 2.34 'te temaslı problemlerle sıfırlama aygıtı ve sıfırlama işlemleri görülmektedir. Şekil 2.35 'te temassız takım tanıma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.34 Temaslı Takım sıfırlama problemleri



Şekil 2.35 Temassız takım sıfırlama sistemi

Şekil 2.36 'da parça sıfırlama probu görülmektedir.

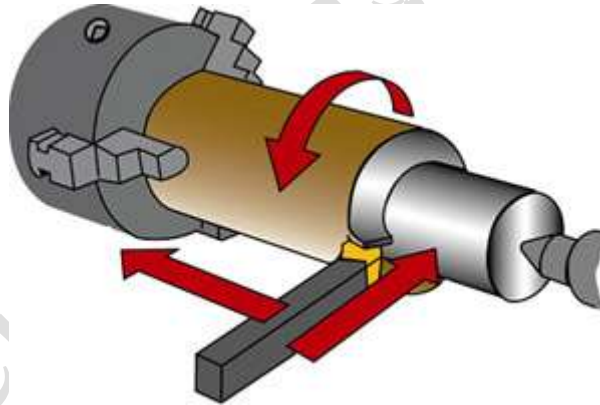


Şekil 2.36 Parça sıfırlama probu

3. SAYISAL DENETİMİN ÜRETİM ARAÇLARINDA KULLANIMI

3.1 CNC Torna Tezgahı

Tornalama, parçanın dönme, kesici takımın ilerleme hareketi ile gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir (Şekil 3.1). Takımın ilerleme hareketi parçanın simetri eksenine paralel veya dik olabilir. Hareketin simetri eksenine paralel olması haline boyuna tornalama, diğerine alın tornalama denir. Tornalama işlemi, universal torna, çubuk işleme otomatları, NC veya CNC torna tezgahları gibi tezgahlarda yapılır.

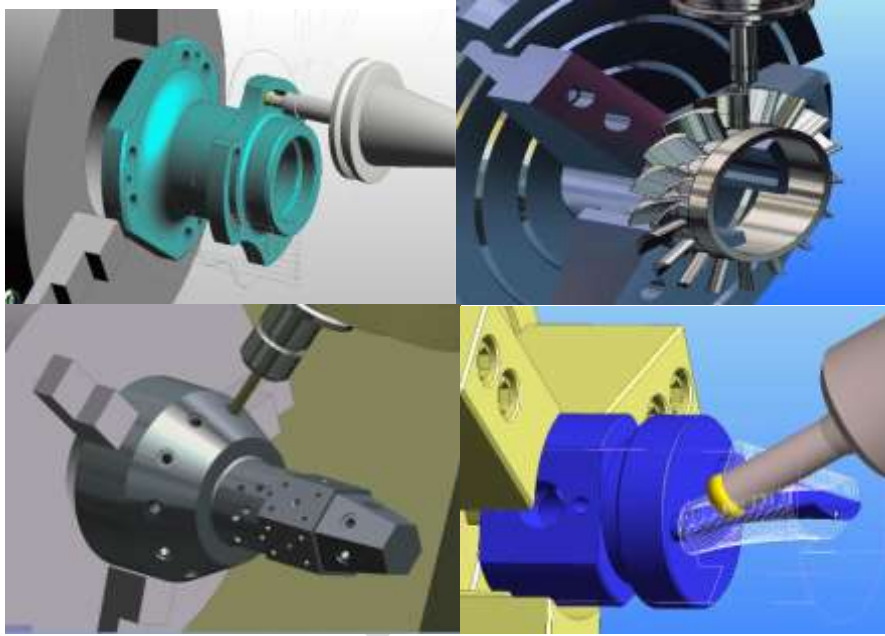


Şekil 3.1 Tornalama işlemi

Torna tezgahlarında dönel simetrik parçalar işlenir. Kesme hareketi için takımın ilerleme doğrultusu (Z) ve parçanın çapı (X eksen) tanımlanmalıdır. Şekil 3.2 'de CNC torna tezgahı genel görünümü verilmiştir. CNC torna tezgahlarında özel takım tutucular vasıtasıyla kesici takımın dönmesi ve iş parçasının sabit kalması sağlanarak bazı frezeleme işlemleri de yapılabilir (Şekil 3.3). CNC tezgahlarda iş parçasının işlenmesi için bütün tezgah hareketleri bilgisayarlı sayısal denetimle yapılmaktadır. Üretilen her parça, kesici takım hasara uğramadığı sürece aynı boyutlara sahiptir. CNC torna tezgahları ile, operatör hataları ortadan kalkmış, üretim hızı artırılmış ve çok daha hassas yüzey kaliteleri elde edilmiştir.



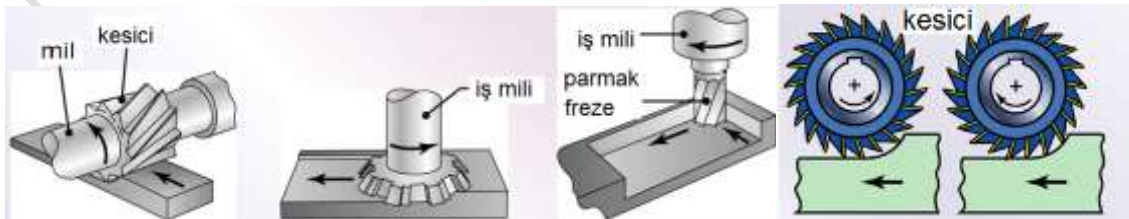
Şekil 3.2 CNC Torna tezgahı



Şekil 3.3 C eksenli torna tezgahında yapılan frezeleme işlemlerine örnekler

3.2 CNC Freze Tezgahı

Frezeleme, parçanın ilerleme takımının kendi ekseninde dönme hareketi yapması sonucu yapılan talaş kaldırma işlemidir (Şekil 3.4). Frezeleme, çevresel ve alın olmak üzere iki gruba ayrılır. Freze tezgahları ile simetrik olmayan iş parçaları üretilmektedir. Şekil 3.5-a 'da freze tezgahı ile üretilen iş parçalarına ait örnekler verilmiştir.



Şekil 3.4 Frezeleme işlemleri



Şekil 3.5 Freze tezgahı ile üretilebilecek örnek iş parçaları

Freze tezgahları, kesici takım taşıyan elemanın konumuna göre yatay ve dikey işleme merkezi olmak üzere iki gruba ayrılırlar. (Şekil 3.6).



a. Yatay işleme merkezi

b. Dik işleme merkezi

Şekil 3.6 CNC Freze tezgahları

CNC freze tezgahlarında tornalamadan farklı olarak herhangi bir kesme hareketinin planlanması için X,Y,Z eksenlerinin belirtilmesi gerekir. Kesme derinliği, ilerleme, kesici takımın devir sayıları için tezgah, oluşturulan parça programı tarafından yönlendirilir.

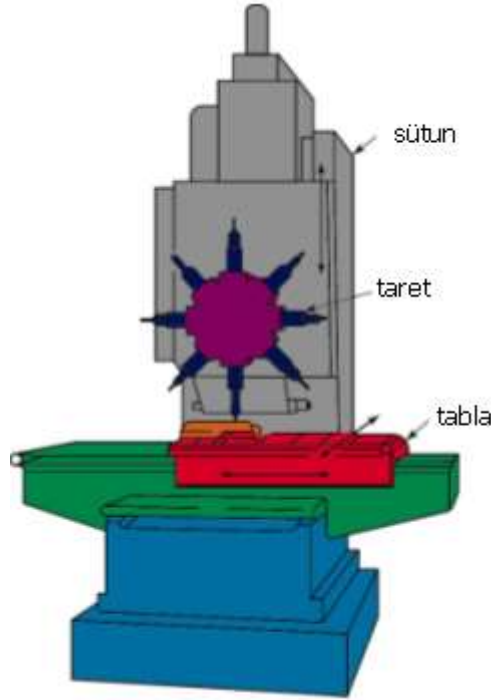
NC programının doğrulanmasından sonra yapılacak kesme işleminde insan hatası ortadan kalkar. Parça malzemesi-kesici takım çiftine bağlı olarak uygun kesme şartları belirlendiğinde optimum işleme ekonomisi de elde edilmiş olacaktır. Kesme işlemlerinde, bir kesme işleminin tamamlanmasından sonra kesici takım bir sonraki kesme düzlemine otomatik olarak gideceğinden, bu işlemin elle yapılmasına göre ayarlama zamanlarının minimuma indirilmesi nedeniyle üretim zamanının da kısalmasına neden olur.

3.3 CNC Matkap Tezgahı

Delme işlemi, dönel-helisel yivli bir kesici takımın dönerek iş parçası içine doğru hareketi sırasında gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemidir.

Matkap tezgahları ile çeşitli uzunluk ve çaptaki delikler delinebilir. Parça koordinatları X,Y,Z şeklinde verilir. Manuel tezgahlarda zaman alıcı olan konumlandırma problemi sayısal denetim ile çözülmüştür.

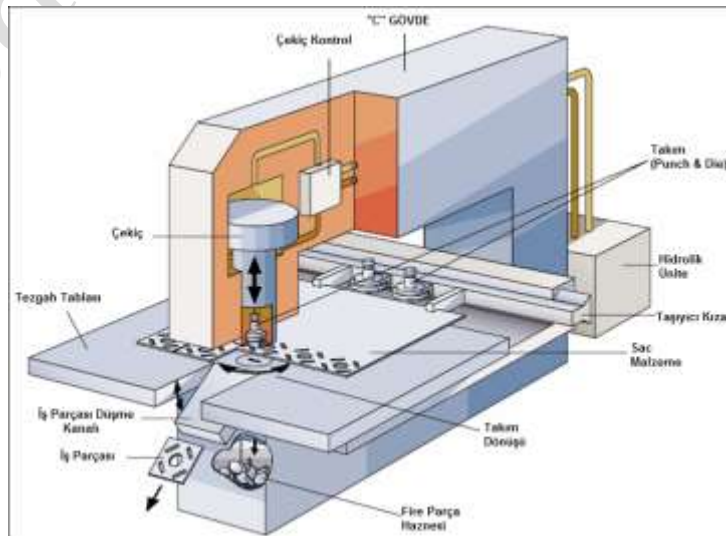
CNC 'li delme işlemi yapan tezgahın resmi Şekil 3.7'de verilmiştir. Bir iş parçası üzerinde farklı çap ve uzunlukta delikler varsa uygun takım, program aracılığı ile makine tarafından otomatik olarak alınır.



Şekil 3.7 CNC matkap

3.4 CNC Zımbalı Deliciler

Zımbalama işlemi, CNC tezgahları (Şekil 3.8) için en ideal uygulamalardandır. Temel olarak X ve Y eksenlerinin konumları hassas olarak ayarlanmaktadır. Basit standart bir zımba kullanarak basit bir şekilden karmaşık şekle kadar delebilmek imkanı mühendislik için oldukça ilgi çekicidir. Çeşitli zımba boy ve çapları gerektiğinde otomatik zımba değiştiricileri kullanılır. Bu makinelerde kullanılan sezgi elemanlarıyla, itme ve pres gücü denetimi de yapılmaktadır.



Şekil 3.8 Zımbalı delici

3.5 CNC Taşlama Tezgahı

Taşlama, abrazif bir malzemedan yapılan ve kesme kısımlarının geometrisi belli olmayan bir takım ile talaş kaldırma işlemidir. Taşlamada talaş kaldırma işlemi, taş denilen takımın dönme hareketi ile gerçekleşir. İlerleme parça veya takım tarafından yapılabilir. Genellikle, frezeleme, planyalama ve tornalama işlemlerinden sonra yüzey kalitesini arttırmak için yapılan nihai bir işlemdir. Bu işlemin yapıldığı tezgahlara taşlama tezgahı denir

Taşlama işlemi, yatay ve dikey olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ayrıca iç yüzey ve dış yüzey olmak üzere de diğer alt kategorilere ayrılabilirler. CNC taşlama tezgahının genel görünümü Şekil 3.9 'da görülmektedir.



Şekil 3.9 CNC Taşlama tezgahı

3.6 CNC Alevle Kesme Makinesi

Alevle kesme tezgahı da CNC uygulamaları için ideal uygulama alanıdır. Sac levhaların oksiasetilen alevi ile kesilerek istenilen şeklin elde edilmesi amacıyla kullanılır. Elde edilecek şeklin karmaşık olması bir problem oluşturmaz. X ve Y koordinatlarının uygun şekilde tanımlanması prosesin tamamlanması için en önemli etkidir.

Kesme işleminin CNC 'li tezgahlarda yapılması, üretim zamanını kısaltır ve malzeme kayıplarını azaltır. Ayrıca elle kesmede olduğu gibi, sac şeması çizimine gerek yoktur çünkü koordinatlar parça programı tarafından denetlenmektedir. Bu ise operatörün başka bir işle ilgilenmesini sağlamaktadır. Şekil 3.10'da termal kesme işlemleri yapan CNC makineler görülmektedir.

3.7 CNC Presleme Makineleri

Sayısal denetimli presleme tezgahları (Şekil 3.11), sac şeması çizme işlemini ortadan kaldırır. Böylece operatör diğer işlerle ilgilenebilir. Malzeme tezgaha yüklenir yüklenmez parçanın bütün hareketleri (uzaklaştırma-istifleme) otomatik olarak yapıldığından malzeme denetimi de büyük oranda bu makineler tarafından yapılmaktadır.



a-Plazma

b-Oksi-asetilen

Şekil 3.10 CNC termal kesme işlemleri



Şekil 3.11 CNC bükme presi

3.8 Geleneksel Olmayan İmalat Yöntemleri

Geleneksel olmayan imalat yöntemleri, talaşlı imalat yöntemlerinin yetersiz kaldığı, işlenmesi zor malzemelerin şekillendirilmesinde ve ekonomik açıdan uygun olduğu durumlarda tercih edilen yöntemlerdir. Çok çeşitli geleneksel olmayan imalat yöntemleri vardır, uygulama alanları ve uygulandığı malzemeler gün geçtikçe artmaktadır. Geleneksel olmayan imalat yöntemleri arasında yer alan uygulamaları, su jetiyle işleme, tel/elektro erozyonla işleme, laser ile işleme, kimyasal yöntemlerle işleme şeklinde saymak mümkündür. Geleneksel olmayan imalat yöntemleriyle üretilebilecek olan iş parçalarına örnekler Şekil 3.12 'de görülmektedir.

Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden, su jetiyle işleme ve lazerle işlemeyle ilgili genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.8.1 Su Jeti ile işleme

Teorik olarak; yüksek basınçlı hızlandırılmış olan su, çok ince kesitli lüleden geçerek işlenecek veya kesilecek iş parçası yüzeyine gönderilir. Malzemenin işlenecek bölgesi yüksek



Şekil 3.12 Su jeti ve lazer ile kesme sonucu üretilen iş parçaları

basınçlı suyun çarpması sonucunda mikro aşınmaya uğratılır. İşlem sırasında yüksek basınçlı suyun iş parçası üzerinde mikro çatlak oluşturularak aşınma olayı gerçekleştirilir ve aşınan parçacıklar basınçlı su yardımı ile işlenen bölgeden uzaklaştırılır. İnce parçaların işlenmesinde kullanılan su jeti işleme yöntemi mikron boyutunda şekillendirme yaptığından mikroişleme teknolojisi içinde sayılmaktadır.

Su jeti uygulama tekniği genel olarak iki ana gruba ayrılabilir. Yalnız su kullanarak yapılan su jeti işleme yöntemi ilk olarak uygulanmış ve daha sonra çeşitli aşındırıcı parçacıkların kullanılması ile yöntem daha geniş uygulama alanında kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde yalnız su içeren su jeti işleme yöntemi daha sınırlı malzeme grubu için kullanılmakta, aşındırıcı parçacıkların kullanılması ile mühendislik malzemelerinin de işlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Su jeti işleme yönteminin uygulanması şematik olarak Şekil 3.14 'de gösterilmiştir. Uygulama olarak, depodaki suyun yüksek basınç altında hızlandırılarak lüleye gönderilmesi ve lüledeki çap değişimi ile birlikte daha yüksek hızlara ulaşan suyun basıncının kinetik enerjiye dönüşerek iş parçası üzerinde aşındırma yapması ve sonucunda işleminin gerçekleştirilmesi olarak açıklanabilir. İşlem için kullanılan su kullanılmış su tankına alınır ve filtreden geçirilerek sisteme tekrar gönderilir.

Lüleden çıkan suyun basıncı yaklaşık olarak 400 Mpa civarındadır. Daha sert malzemelerin işlenmesinde bu değer 700 Mpa değerine kadar çıkabilmektedir.



Şekil 3.13 Su jetiyle kesme makinası

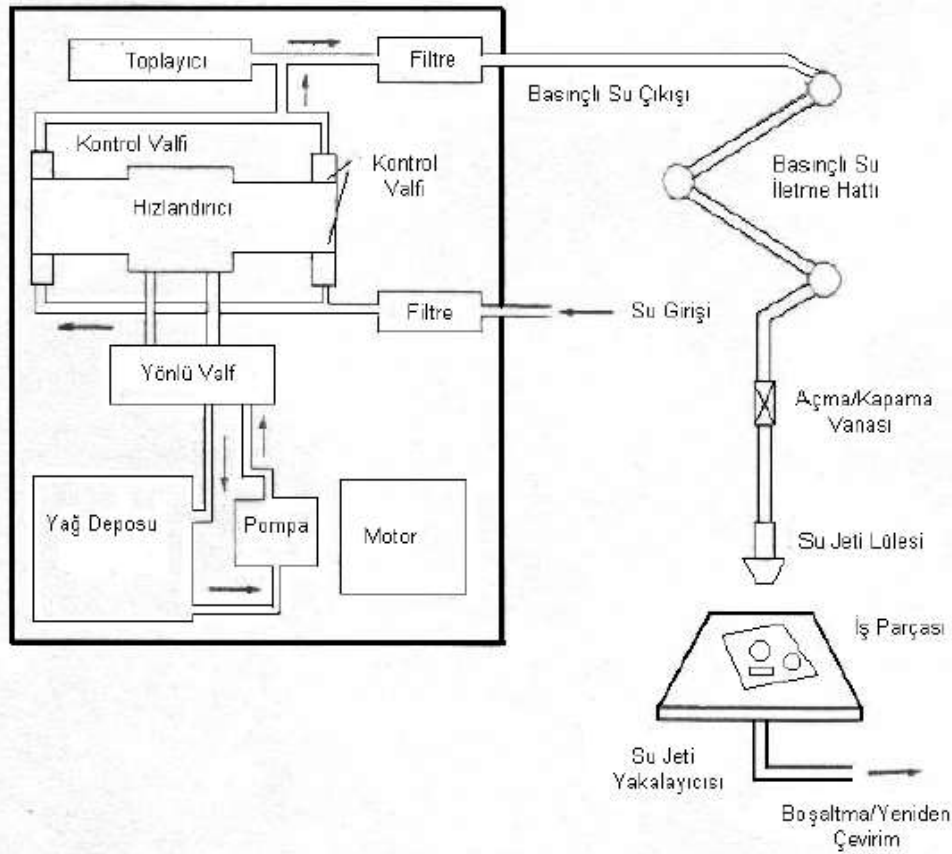
Lüle malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzeme sentetik safirdir. Bununla birlikte sertleştirilmiş çelik, paslanmaz çelik veya tungsten karbür malzemeler de kullanılmaktadır. Son yıllarda elmas lülelerin de kullanıldığı uygulamalar vardır. Elmas lülelerin kullanılması ile daha kaliteli işlemlerin gerçekleştirilmesi söz konusudur. Ayrıca lüle kullanım zamanı olarak safir ile yaklaşık 200 saatlik bir zamana ulaşılırken, elmas lüle kullanımı durumunda bu değer 50 katına kadar çıkmaktadır.

Su jeti ile işleme yönteminin uygulanmasında lüle çapı da işleme etki eden faktörlerdendir. Endüstriyel uygulamalarda lüle çapı olarak 0.05-0.4 mm arasında değişen lüleler kullanılmaktadır. Bu çap değişimi işlenecek malzemeye ve malzeme kalınlığına bağlı olarak seçilebilecek bir parametredir. İnce parçalarda lüle çapının küçük, kalın parçalarda lüle çapının büyük seçilmesi söz konusudur.

İşleme veya kesme genişliği lüle çapı ile bağlantılıdır, kesme genişliği lüle çapından her zaman fazladır. İnce parçalarda kabul edilen kesme genişliği yaklaşık olarak 0.3 mm civarındadır. Kesme genişliğinin artması ile malzeme sarfıyatı artacaktır, bu nedenle kesme genişliği daima küçük tutulmaya çalışılır.

Kullanılacak suyun basıncı işleme etki eden faktörlerden biridir. Yüksek basınç daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesine olanak sağlar, fakat bu durumda sistemin ihtiyaç duyduğu güç artacaktır. İşlenecek malzemeye uygun su basıncı değerinin seçimi istenen su jeti hızı, kullanılacak lüle çapı ve ihtiyaç duyulan güce göre seçilmelidir.

Su jeti işleme yönteminde kullanılabilecek kesme hızları iş parçasının özelliğine, malzeme kalınlığına, su basıncına ve lüle çapına bağlı olarak seçilebilen bir değerdir. Endüstriyel uygulamalarda bazı malzemelerin işlenmesinde yöntemin uygulama koşullarına ait bazı parametreler Tablo 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.14 Su jeti işleme yönteminin şematik gösterimi

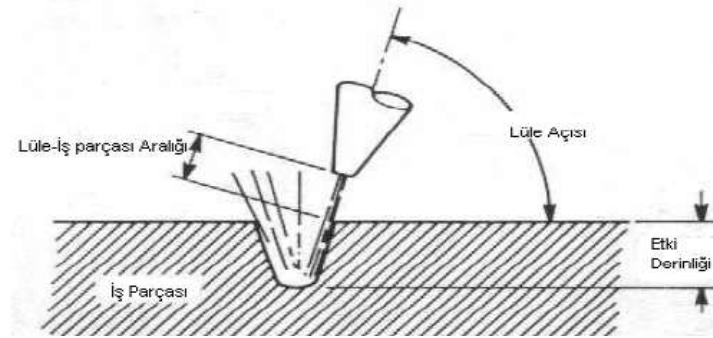
Tablo 3.1 Su jeti işleme yönteminin uygulandığı bazı malzemeler ve işleme Özellikleri

Malzeme	Malzeme Kalınlığı (mm)	İşleme Hızı (m/dak)	Su Basıncı (Mpa)	Nozül Çapı (mm)
Kontrplak	6.3	5.10	420	0.30
Kevlar	6.3	2.50	412	0.30
Baskı Devre Kartı	2.2	1.50	420	0.20
Fiber Cam	6.3	3.00	412	0.30
Deri	4.4	0.60	303	0.05
Alüminyum	25.0	0.85	420	0.30

Su jeti uygulamalarında kullanılan su, şehir şebeke suyu olabilir. İşlem öncesinde kullanılacak suyun filtreden geçirilmesi ve içindeki minerallerden arındırılması önerilmektedir. Kullanılacak suyun içindeki demir ve klor maddeleri lüle ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Keskin köşe istenen işlemlerde polimer katkılı suyun kullanılması önerilmektedir. Katkı maddeleri olarak gliserin ve polietilen oksit gibi maddeler de çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerinin kullanılması, su jeti uygulamalarının daha kullanışlı hale gelmesini sağlamaktadır. Farklı katkı maddeleri içeren su jeti uygulamalarının aşındırıcı parçacık içeren su jeti uygulamaları ile karıştırılmaması gerekmektedir.

Su jeti ile işlemede diğer önemli işlem parametresi lüle ile iş parçası arasındaki uzaklıktır. Su jeti uygulamalarında bu aralık değeri işlemin özelliğine göre 2.5-75 mm arasında değişmektedir. Lüle-iş parçası aralığının fazla tutulması durumunda su basıncının artırılması

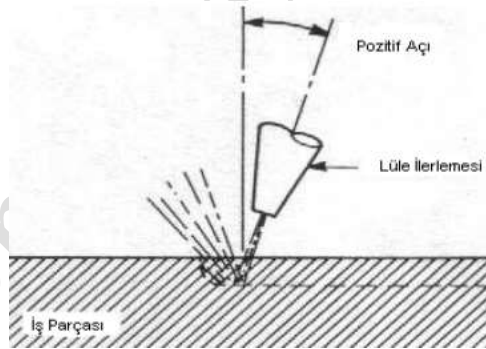
gerekir ve bu daha fazla güç harcanmasına neden olur. Endüstriyel uygulamalarda lüle-iş parçası aralığı yaklaşık 3 mm civarında tutulması önerilmektedir (Şekil 3.15) .



Şekil 3.15 Lülenin iş parçası ile konumu

Su jeti uygulamalarında lülenin iş parçası ile yaptığı açı da işlemin kalitesine etki etmektedir. Lülenin dikeyde iş parçası ile en fazla 30° civarında açılı olması söz konusu ise de endüstriyel uygulamalarda bu değer 15° 'yi geçmez (Şekil 3.15)

Son yıllarda su jeti işleme yönteminin uygulamalarında buz parçacıklarının ve sıvı azot veya karbondioksit gazlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulamalar, yalnız su jetinin uygulandığı durumlara göre daha iyi işleme koşulları ortaya çıkartmıştır.



Şekil 3.16 İşleme anında lülenin iş parçası ile yaptığı açı

Su jeti uygulamalarında son yirmi yılda yapılan çalışmalarla özellikle aşındırıcı (abrasif) parçacıkların kullanılması ile işlemin etkinliğinin artırılması yoluna gidilmiştir ve bu geleneksel olmayan imalat yöntemi “abrasif su jeti ile işleme” olarak tanımlanmaktadır. Su jetinin yetersiz kaldığı malzemelerin işlenmesinde aşındırıcı parçacıklar kullanarak işlemin daha yaygın kullanımı mümkün olmuştur (Tablo 3.1). Aşındırıcı parçacıklar olarak alüminyum oksit, silisyum karbür, silisyum kumu ve cam bilyeler kullanılmakta ve bunların boyutları 10-50 μm arasında değişmektedir. Aşındırıcı parçacıklar ya daha önce suyun içine atılır ve böylece basınçlı su ile birlikte iş parçasına yönlendirilirler ya da basınçlı su ile aşındırıcı parçacıklar lüle içinde karıştırılarak işlem gerçekleştirilir.

Abrasif su jeti ile işleme yöntemi üzerinde son yapılan çalışmalarda yöntemin diğer geleneksel talaş kaldırma yöntemleri ile birlikte kullanılması konusu araştırılmıştır.

Tornalama ve frezeleme işlemi ile birlikte abrasif su jeti ile işleme yönteminin birleştirilmesi sonucunda işlenmesi zor ve sorunlu olan kompozit malzemelerin işlenmesi gerçekleştirilmiştir

Su Jeti İle İşleme Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları;

Su jeti ile işleme yönteminin uygulamalarında ortaya çıkan avantaj ve dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır.

Avantajlar:

- a. İş parçasının ısısal bir etki altında kalması söz konusu değildir.
- b. İş parçasının işlenen bölgesinde mekanik özelliklerde bir değişim yoktur veya çok azdır.
- c. Çok farklı malzemelerin işlenmesi mümkündür
- d. İşlem hassasiyeti yüksektir.
- e. Bilgisayar teknolojisi yardımıyla işlemin otomatik olarak gerçekleştirilmesi mümkündür.
- f. Her türlü geometrik şeklin işlenmesi mümkündür.
- g. Çevresel zararları diğer geleneksel olmayan imalat yöntemlerine göre daha azdır.
- h. Takım masrafı olarak yalnız lülenin maliyeti söz konusudur.

Dezavantajlar:

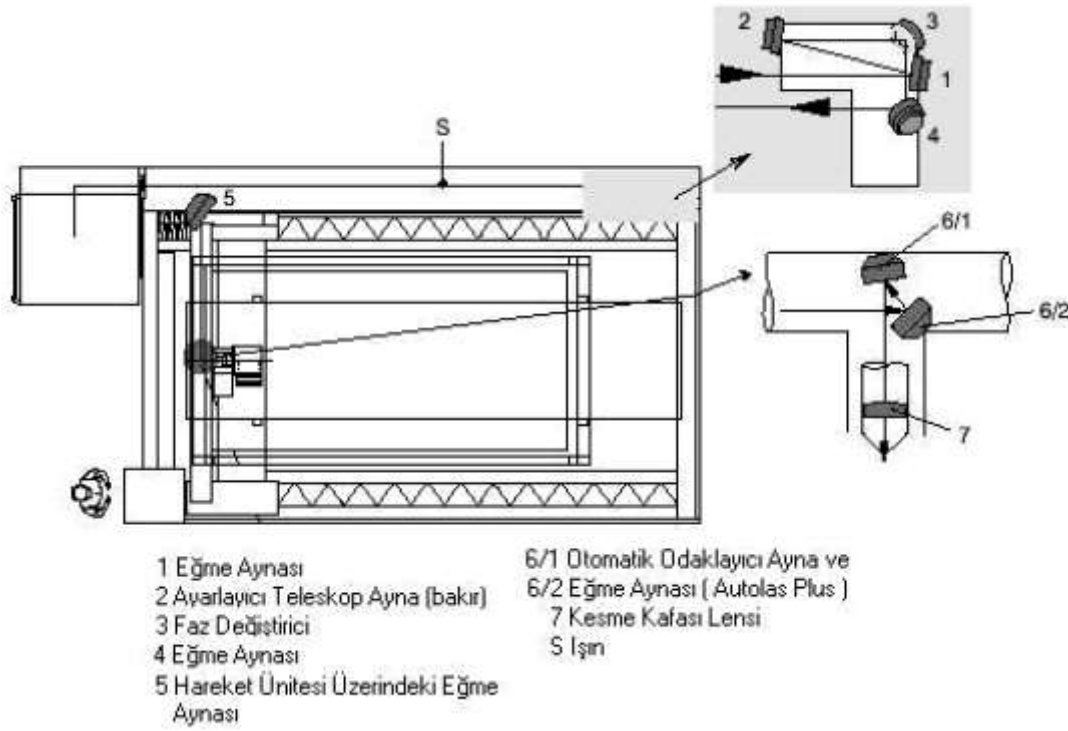
- a. Metal olmayan malzemelerin işlenmesinde daha yaygındır ve abrasif su jeti işleme yönteminin kullanılması ile yöntemin uygulandığı malzeme grubu genişletilmiştir.
- b. Kullanılan lülenin pahalı olması problem oluşturmaktadır.
- c. Yüksek ses nedeniyle rahatsız edici bir gürültü seviyesi (80-100dB) söz konusudur.

3.8.2 CNC Lazer Kesme Tezgahı

Torna ve işleme tezgahlarından farklı olarak lazer kesme tezgahları, işlenecek malzemeyi 0.5 mm'den küçük çaplı bir lazer ışık hüzmesi ile eritir ve buharlaştırır. Sertliği veya yoğunluğu ne olursa olsun, tüm malzemeler çabuk ve pürüzsüz olarak kesilmektedir. Maksimum işlenebilecek malzeme kalınlığı lazer osilatörünün çıkış gücü ile belirlenmektedir.

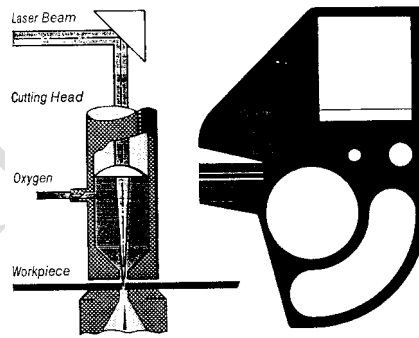
Lazer ışınının elde edilmesi kolaylaştıktan sonra uygulama alanları da artış göstermiştir. Mühendislikte kullanımı kaynak, kesme ve delme işlemleri şeklindedir. Lazerle yapılan üretim hem otomasyonu sağlamakta hem de üretim hatasını azaltmaktadır. Lazerin çeşitli tezgahlarda uygulanmasıyla üretim 24 saat yapılabilmekte, seri üretim sağlanmasıyla maliyet de azalmaktadır. Özellikle lazerle yapılan kesme işlemleriyle birçok kalıp ve aparatlardan tasarruf sağlanmıştır. Bununla birlikte birçok makine kullanılmamış, insan faktöründen kaynaklanan hatalar da azaltılmıştır. Lazer tezgahının çalışması sırasında lazerin izlediği yol aşağıda gösterilmiştir.

CNC lazer tezgahlarında lazer ışını, karbondioksit gazına elektrik akımı verilerek oluşturulur. Bunun yanında kullanılan azot ve helyum gazı düşük verimde olan karbondioksit lazerine eklenerek verim %30 artırılmaktadır.



Şekil 3.17 Lazer Tezgahı Üzerinde Lazerin İzlediği Yol

Laser Cutting Technique



Şekil 3.18 Lazer ile kesme tekniği



Şekil 3.19 Lazer ile kesme işlemi

CNC Lazer Kesme İle Metal İşlemenin Avantajları

Metal kesme işlemleri klasik olarak, oksî-gaz aleviyle yapılmaktadır. Hassas olmayan ve et kalınlığı fazla olan parçalar günümüzde de bu yöntemle kesilmeye devam etmektedir. Bu yöntemin yeterli görülmediği yerlerde yani hassaslık ve temizlik istenen imalatlarda plazma kesme tercih edilmektedir. Bu yöntem oksijenle kesmeye nazaran daha iyi bir kesim yöntemidir. Ayrıca bu yöntem CNC olup, daha hızlı ve pratiklik sağlamaktadır. CNC lazer kesme yöntemine baktığımızda ise imalat teknolojisine farklı bir boyut kazandırmıştır.

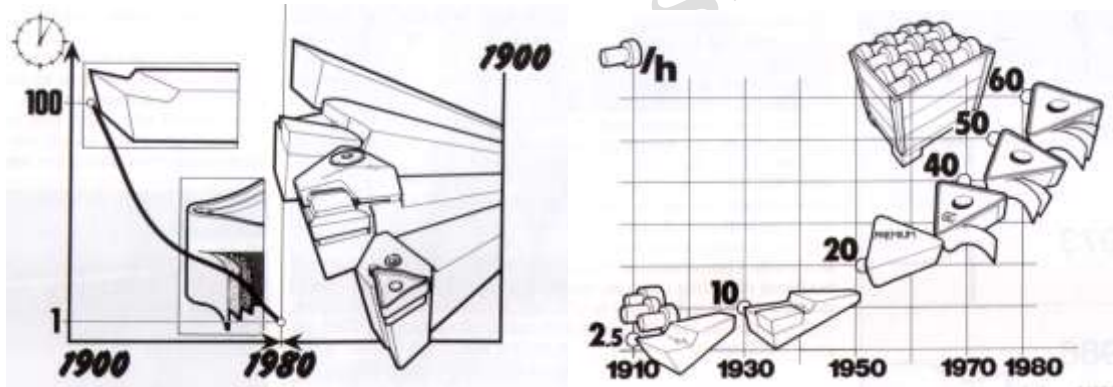
CNC lazer kesme işlemleri tamamen bilgisayar denetimli olup insan faktörü sadece kesilecek parçanın çizimini yapıp bunu cihaza aktarması ve cihazın kontrollerini ayarlayarak kesim işinin başlatılması ile sınırlıdır. Bu yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir.

- Çok hassas ve 0.5 mm' ye kadar ince parçalar kesilmektedir.
- Boyalı galvaniz sac plakalar dahil, çok ince malzemelerden, kalın malzemelere kadar tüm ürünler tek bir makine ile ve en yüksek hızlarda kesilebilmektedir.
- Kesimlerin hatasız ve temiz olması için otomatik önleyici sistemler mevcuttur.
- Malzemenin türüne göre gaz seçimi ve kalınlığına göre nozul seçimi otomatik yapılır.
- Kesme işlemleri 2 boyutlu yapılabildiği gibi 3 boyutlu boru, profil ve değişik geometriye sahip malzemeler kesilebilmektedir.
- Özel yazılımları sayesinde kesilecek parçaların şekilleri, sac plaka üzerine otomatik yerleştirilir.

4. KESİCİ TAKIMLAR

4.1 Giriş

Bir kesici takımın sahip olması gereken en önemli özelliklerinden biri talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklıklara karşı sertliğini koruyabilmesidir. Takım malzemesindeki gelişimler yüksek sıcaklıklarda sertlik kaybı olmaksızın kesme şartlarını koruyabilen daha iyi kesici takımları ortaya çıkarmıştır. Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi 1900 'lü yıllarda 100 dakikada işlenebilen alaşımsız çelikten bir ürünü, 1980'lerin başında gelişen takım malzemeleri ile 1 dakikada işleyebilme mümkün olmuştur.



Şekil 4.1 İşleme performansının zaman içinde değişimi

Kesici takım malzemesinden istenilen özellikler şu şekilde özetlenebilir.

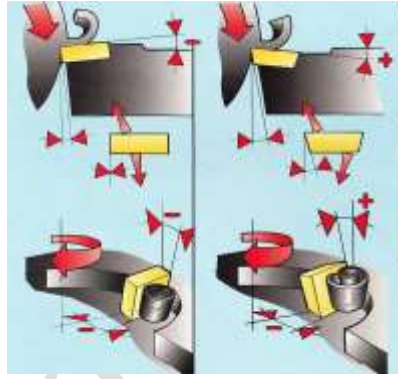
- ⇒ Yüksek sertlik
- ⇒ Yüksek bası ve eğilme mukavemeti, tokluk
- ⇒ Yüksek sıcaklıklara karşı kesici kenar mukavemeti, aşınmaya dayanıklılık
- ⇒ Kabuklanmaya ve difüzyona karşı dayanıklılık
- ⇒ Isı birikiminin önlenmesi için yüksek ısı iletkenlik katsayısı
- ⇒ Düşük maliyet
- ⇒ Uzun ömür

CNC tezgahlarda en çok kullanılan takım malzemeleri sinterlenmiş karbür (Tungsten karbür gibi), seramikler, CBN ve çok kristalli elmaslardır. Sinterlenmiş karbürler CNC tezgahlarda kullanılan en popüler kesici takım malzemesidir. Bu kesicinin performansı kullanılan ana malzemenin sertliğinden gelir.

Karbürler; toz halinde imal edilip kobalt gibi diğer toz malzemelerle karıştırılıp kalıplar içinde sıkıştırılır ve yüksek sıcaklıkta gözeneksiz yoğun bir yapı elde etmek için kaynamaya bırakılır. Bu işleme sinterleme denir. Tungsten titanyum ve tantalium karbürler çok serttirler. Yüksek kesme hızlarına erişilebildiği için sinterlenmiş karbürler kullanıldığında daha iyi yüzey kalitesi elde edilir ve takımın üst yüzeyine talaş yapışma olasılığı da azalır. Az miktarda talaşın takımın üst yüzeyine yapışması doğaldır ve buna "yığıma kenar" denir. Yüksek hız çeliği (HSS) takımların bozulmasının en büyük nedeni budur.

Sinterlenmiş karbürler HSS 'den daha kırılgan olduğundan daha sağlam bir şekilde bağlanmalıdır. Karbür takım uçların çoğu kesme, işlemi sırasında daha büyük kuvvetlere karşı koyabilmek amacıyla "negatif kesme açısına" sahip olacak şekilde bağlanırlar. Şekil 4.2'de pozitif ve negatif kesme açıları verilmiştir.

CNC uygulamalarında kullanılan sinterlenmiş karbür takım malzemelerinin çoğunluğu kaplamalı tiptir. Kaplamasız çeşitleri, kesintili kesme karakteristiklerinden dolayı frezeleme işlemleri için daha uygundur.



Şekil 4.2 Pozitif ve negatif takım kesme açıları

4.2 Sert Metal Uçlu Takımlar

Kesici takım malzemelerinin gelişimi genelde takım konfigürasyonunda önemli şekilde değişikliklere neden olmuştur. HSS kesici takımı malzemesi kesici kenar ile yekpare bir gövdeden oluşmuş iken sinterlenmiş karbürler küçük takma uç şeklinde geliştirilmişlerdir. Bunlara sert metal uçlar da denir. Bu takımlar çeşitli boyut ve şekillerde bulunur. Her takma uçta birden fazla kesici kenar vardır. Kare ve dikdörtgen uç, sekiz kenara kadar, üçgen uç 6 kenara kadar kesici kenara sahiptir. Bir kesici kenarın ömrü bittiğinde diğer kesici uç kesme işlemine alınabilir. Bu takma uçların kullanılabilmesi için takım tutucu adı verilen destekleme elemanına iyi bir şekilde monte edilmelidir. İlk bakışta hantal gibi duran bu sistemin oldukça önemli avantajları vardır.

- ⇒ Aşınan kesici uçlar çabuk değiştirilebilir.
- ⇒ Uzun bütün kesme kenarları ömrünü tamamladıktan sonra atılır.
- ⇒ Takma uçlu takımların kesme geometrisi ve boyutsal doğruluğu sinterleme işlemi ile garanti edilir. Ek maliyet gerektirmeden kesici üzerine talaş kırıcı yivler oluşturulabilmektedir.
- ⇒ Çeşitli büyüklük ve şekillerde standart olarak bulunmaktadırlar, bir çok işleme operasyonunda özel takıma ihtiyacı ortadan kaldırırlar.

⇒ Takma uçlu takımlar, tornalama, frezeleme, delme işlemlerinde kullanıldıklarından, takım oluşturma standart hale gelebilir ve bu şekilde takım maliyetlerinin minimumda tutulması sağlanır.

4.2.1 Kesici Takım Malzemeleri

Kesici Takımların tarihsel gelişimi aşağıda yazıldığı sıraya göre gerçekleşmiştir.

1. Karbon çeliği
2. HSS
3. Döküm Alaşımlar
4. İyileştirilmiş HSS
5. Karbürler (Sinterlenmiş karbürler)
6. Seramikler
7. Sermetler
8. Kaplamalı Karbürler
9. Çok kristalli elmas (PCD)
10. CBN

Burada kesici takım malzemelerinden günümüzde en çok kullanılanlar kısaca incelenecektir.

4.2.1.1 Sinterlenmiş Karbürler

Sinterlenmiş karbür bir bağlayıcı içindeki farklı karbürlerden oluşmuş toz metalurjisi ürünüdür.

S.K sert karbür parçacıkların bir bağlayıcı içerisinde sinterlenmesiyle elde edilir.

- Tungsten karbür (WC)
- Titanyum karbür (TiC)
- Tantal karbür (TaC)
- Niyobyum karbür (NbC)
- Kobalt bağlayıcı maddelerdir.

Karbürler kendi içerisinde de çözünerek bağlayıcı olmaksızın da S.K yapısı oluşturabilirler. Sert parçacıkların büyüklükleri 1-10 mikron arasındadır. Toplam hacmin %60-95'ini bu sert parçacıklar kaplar. S.K uçların kaliteleri şu özelliklere bağlı olarak belirlenir.

1. Sert parçacıkların tipi-büyüklükleri
2. Bağlayıcının tipi ve oranı
3. Üretim teknikleri
4. Kalite

WC-Co karbürleri ilk geliştirilen karbürlerdir. Daha çok dökme demir için uygundur. $\alpha + \beta$ ($Wc + Co$) olmak üzere iki farklı sinterlenmiş karbür olarak bilinirler.

Bu S.K tipi çelik işlerken KRATER aşınmasına karşı dayanıksızdır. Talaş yüzeyinde çelikle sk. Uç arasında kimyasal reaksiyon söz konusudur. Karbon ile östenitin afinitesi takımdan, talaş yüzeyine üzerine akan talaşa, karbon akışına neden olur ve bir krater oluşur.

TiC ve TaC; WC'e göre çok daha kararlıdır. Bu karbürler çeliğin yüksek sıcaklıklarda işlenmesi sırasında krater oluşumuna karşı daha dirençlidirler.

TiC: Son derece serttir. Ancak sertlik; sıcaklık yüksek kesme hızlarındaki değere ulaştığında düşer.

Sinterlenmiş Karbürler metallerle karşılaştırıldığında; çok daha sert, çok daha yüksek basma mukavemetine sahip, ancak çekme mukavemetinden zayıftır. Elastik modülleri çeliklerin 2-3 katı üstündedir. Sinterlenmiş karbürler uzun delikler için delik kateri malzemesi olarak kullanılırlar. Schimleri minimumdur.

4.2.2. Sermetler

Sermet; sert partikül olarak WC yerine TiC ve TiCN, TiN gibi Titanyum esaslı karbürlerin kullanıldığı sinterlenmiş karbürlerin genel adıdır. Sermet (Seramik-Metal) adından gelmektedir. Bunun nedeni metal bağlayıcı içindeki seramik parçacıklarıdır. Toz metalurjisi ürünüdür. Pratikte Sermet tungsten karbür değil Titanyum Karbür'e dayalı S.K'leri içeren malzeme grubudur. Kırılgandır. Ancak zor talaş kaldırma işlemleri için daha tok yapı elde etmek amacıyla geliştirilmişlerdir.

Sermetler:

- Yüksek serbest yüzey ve krater aşınması direncine sahiptir.
- Yüksek kimyasal kararlılık ve yüksek kızıl sertlik
- Yığma kenar oluşturma eğilimi düşüktür.
- Oksidasyon aşınmasına düşük eğilimlidir.

Sermetler ayrıca düşük ilerleme, düşük talaş derinliği ve yüksek kesme hızlarıyla kullanıldığında çok iyi yüzey kalitesi verirler. İşleme koşulları rijit ve sürekli olmalıdır.

WC esaslı karbürler ve kaplamalı karbürlerle karşılaştırıldığında Sermetler aşağıdaki özelliklere sahiptirler:

- 1- Daha uzun ömürlü
- 2- Daha iyi yüzey kalitesi
- 3- Daha yüksek kesme hızlarında daha iyi işleme kalitesi
- 4- Yardımcı kenar üzerinde oksidasyon nedeniyle oluşan çentik aşınmasına daha yüksek direnç
- 5- Sünnek malzemelerde daha iyi yüzey kalitesi elde edebilme

Bu özellikler ince ve bazen orta ince işlemlerde görülen özelliklerdir. Daha zor çalışma şartlarında orta kaba ve kaba işlemler için Sermetler;

- Yüksek ve düşük ilerleme hızlarında daha düşük mukavemetli
- Ortadan ağıra değişen yüklerde düşük tokluk
- Düşük abrezif aşınma direnci
- Çentik aşınması direnci düşüktür.
- Ani darbelere karşı direnci düşüktür.

Sermetler daha çok son işlemlerde uygulanmaktadır. Ağır koşulların söz konusu olduğu profil işleme işlemleri için Sermetler uygun değildir. *Sermetler yüksek kesme hızlarında- orta ilerleme değerlerinde küçük işleme paylarının olduğu kopya işlemlerinde avantajlıdır.*

Frezeleme işleminde özellikle son işlemede çok çeşitli iş parçaları için en uygun takımdır. Orta ilerleme-yüksek kesme hızı için büyük talaş derinliğinde de kullanılır ancak cürufllu yüzeyler sonucu oluşacak abrazyon aşınmaya dikkat edilmelidir

Sermetlerin yüksek tokluğu-paslanmaz çeliklerin ve çok sert çeliklerin işlenmesine olanak verir.

Kaplamalı WC karbürlerde karşılaştırıldığında Sermetlerin uygulama alanı azdır. Artan sıcaklıklarda daha yüksek sertlik isteyen ve özellikle sıvanan malzemelerde son işlemlerde iyi çözümlüdürler.

Sermetler;

- SK ve seramik takımlara göre BUE (yığıma kenar) oluşumu ve kraterleşmeye karşı yüksek dirence sahiptir.
- Aşınmaları az, ömürleri uzun
- Düzgün yüzey kalitesiyle taşlama işlemi elimine edilebilir.
- Sinterlenmiş karbürlerden ucuzdur.

Sert maden uçlu takımlara, talaş yüzeyi aşınması ve BUE eğilimini azaltmak için TaC ve NbC ilavesi yapılır. TiC ve TaC'ın beraber kullanımıyla iyi sonuç alınır. Ana malzemesi WC ve Co olan takıma krater aşınma direnci kazandırmak için TiC ve TaC katılır.

TiC; takım tokluğunu azaltır. Krater aşınma direncini artırır. TiC artarsa abrazyon aşınma direnci azalır.

TaC; krater aşınması için TiC gibidir. Abrazyon aşınmasını etkilemez ve deformasyon direncini artırır.

Abrazyon aşınmasına karşı WC-Co içerikli takım; kraterleşme, kaplama ve BUE TiC içerikli takım; abrazyon ve krater aşınma direnci içeren TaC içerikli takım seçilir.

4.2.3 Seramikler

Seramiğin esas Al_2O_3 'tür. Genellikle dökme demir sert çelikler ve ısıl dirençli alaşımların işlenmesinde kullanılırlar. Seramik takımlar sert, yüksek kızıl sertliğe sahip iş parçası ile reaksiyona girmeyen takımlardır. Seramikleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- ✓ Saf oksit esaslı seramikler
- ✓ Katkılı Al_2O_3 esaslı seramikler
- ✓ Al_2O_3 esaslı seramikler
- ✓ Silisyum nitrür esaslı seramikler

Çeliklere göre temel farklılıkları;

- Yoğunlukları çeliklerin 1/3'ü kadardır.
- Yüksek basma mukavemetine sahiptirler.
- Çeliklerde görülen plastik uzama seramiklerde görülmez.
- Çok daha kırılgandırlar.
- Saf çeliğin elastisite modülünün iki katıdır.

- Seramikler düşük ısı iletim katsayısına sahiptir

Silisyum nitrür esaslı seramik; ısı şoklarına ve darbelere Al_2O_3 esaslı seramiklerden iyidir.

Gri dökme demir yüksek talaş debisiyle işlenebilmesi için ilk seçenektir.

Yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahip olan ve çentik aşınmasına neden olan ısıl dirençli (özellikle Ni alaşımları) alaşımlar katkılı ve takviyeli Al_2O_3 esaslı seramiklerle rahatlıkla işlenebilirler.

4.2.4 CBN (Kübik Bor Nitrür)

CBN elmaştan sonra en sert malzemedir. Çok yüksek kızıl sertlik ($2000^{\circ}C$), mükemmel aşınma direnci ve işleme sırasında genellikle iyi kimyasal kararlılık gibi özellikleriyle mükemmel bir kesici takım malzemesidir. Seramiktir. Seramikten daha sert ancak daha kötü ısıl ve kimyasal dirence sahiptir.



Şekil 4.3 CBN kesici uç

Dövme çelik, sertleştirilmiş çelik ve dökme demir yüzeyi sertleştiren parçalar, Co ve demir esaslı toz malzemeler, perlitik dökme demir ve ısıl dirençli alaşımlar CBN takımların yaygınca kullandığı iş malzemeleridir.

CBN; yüksek sıcaklık ve basınçta, kübik bor kristallerinin bir seramik veya metal bağlayıcıyla bir arada tutulmasıyla üretilir.

Düşük oranda CBN ve bir seramik bağlayıcı daha iyi aşınma ve kimyasal kararlılığa sahip olup çelik ve dökme demir parçalar için uygundur.

Daha yüksek oranlarda CBN daha yüksek sertliğe sahiptir. Sert dökme demir, çelik ve ısıl dirençli malzemeler için daha uygundur.

Seramik bağlayıcıyla üretilen CBN'nin kimyasal kararlılığı ve aşınma direnci çok yüksek ancak tokluğu düşüktür.

Sinterlenmiş karbürden oluşan bir iç yapı üzerine kurulan CBN malzeme tok ve darbeye dayanıklı bir yapı oluşturur. Bu bileşime TiN de eklenir.

CBN sertlikleri 48 HRC'nin üzerinde olan sert iş parçası malzemelerine uygulanmalıdır. İş parçası ne kadar yumuşaksa takım o kadar fazla aşınır. İş ne kadar sertse takım aşınması o derece azdır.

Takım kenarının güçlendirilmesi için pah oluşturulması şarttır. Takım ömrü ve kesme hızı; sinterlenmiş karbürlerden fazladır. Doğru uygulandığında oluşan ısı talaşla birlikte sistemden uzaklaşır. Malzemede sıcaklık artışı fazla değildir.

CBN ile talaş kaldırmada orta-yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerleri önerilir. Kesme sıvısı kullanılacaksa büyük miktarda kesme sıvısı kesici kenarlar çevresine uygulanmalı, aksi halde ısıl çatlakların oluşumuna neden olabileceğinden hiç kullanılmamalıdır.

4.2.5 PCD (Çok Kristalli Elmas)

Bilinen en sert malzeme tek kristalli elmadır. Hemen hemen bu malzeme kadar sert malzeme ise sentetik çok kristalli elmadır.

Çok yüksek sertlik ve çok yüksek aşınma direncine sahiptir. Bu nedenle taşlama işleminde kullanılan taşların üst yüzeylerinde kullanılır. İnce elmas kristallerinin yüksek basınç ve sıcaklık altında bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Çatlak oluşumunun önüne geçmek için kristaller yapı içine gelişigüzel dağıtılırlar. Bu durum sertliğin ve aşınma direncinin her yönde yüksek olmasını sağlar.

PCD takımın sinterlenmiş karbür uçlarla beraber kullanımı yapıya mukavemet ve darbe direnci kazandırır.

Elmas takımın ömrü S.K takım ömrünün hemen hemen 100 katıdır.
Zayıf yönleri;

- Kesme bölgesi sıcaklığı 600°C'yi aşmamalı.
- Afinite nedeniyle *Fe* esaslı malzemelerde kullanılmamalı.
- Tok, yüksek çekme mukavemetine sahip malzemeler için kullanılmamalı.

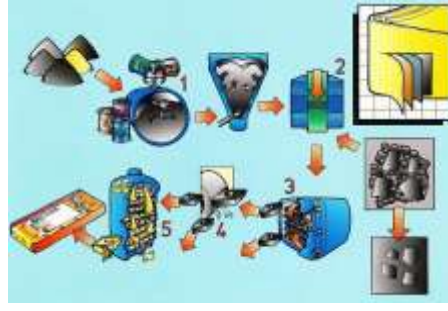
PCD'nin çok kırılgan yapısı nedeniyle, PCD ile yapılan işlemler çok kararlı koşullar, rijit tezgah ve takımlar ve çok yüksek kesme hızları gerektirir. İnce ve yarı ince tornalama ve delik işleme tipik PCD işlemleridir. Alüminyum ve silisyum alaşımlarının torna ve freze işlerinde kullanılır.

Kaplamasız ve ince taneli Sinterlenmiş karbür ve PCD alüminyum işlemleri için iki ana takımdır. Keskin kesici kenar ve pozitif geometri kullanılır. Ön sinterlenmiş seramikler, sinterlenmiş karbürler, kompozitler, babet, bronz, pirinç, çinko alaşımları PCD ile işlenebilirler.

4.3 Sinterlenmiş Karbür Üretimi

Sinterlenmiş Karbür Üretimi şu aşamalardan oluşmaktadır.

1. Toz üretimi
2. Presleme
3. Sinterleme
4. Uç üzerinde işlemler
5. Kaplama



Şekil 4.4 Sinterlenmiş karbür üretim aşamaları

4.3.1 Toz Üretimi

Sinterlenmiş karbür için ana hammadde tungsten tozu konsantresidir. Tipik bir konsantre %70 WO_3 (tungsten oksit) içerir. Konsantre HCl ile işlenir. Çeşitli kimyasal işlemlerden sonra tungsten oksidin hidrojen ile indirgenmesi sonucunda Tungsten tozu elde edilir. İndirgeme koşullarının değiştirilmesiyle çeşitli tane büyüklüğüne sahip tungsten tozu üretilebilir. Tungsten tozu ve karbon büyük bir hassasiyetle karıştırılır. Karışım yüksek frekansta ısıtma yapan fırına konur. Fırında hidrojenin koruyucu atmosferi altında W ve C birleşerek WC oluşturur. Karbürleme sıcaklığı $1700^{\circ}C$ civarındadır.

Ti, Ta ve Nb karbürleri de aynı şekilde üretilir. Bu malzemelerin oksitleri hidrojen kullanılarak oksitlenemez. İndirgeme ve karbürleme karbon kullanılarak gerçekleştirilir. Kobalt tozu kobalt oksidin $800^{\circ}C$ 'ye varan indirgeme sıcaklıklarında hidrojenle indirgenmesi sonucunda üretilir.

Karbürler ve kobalt sinterlenmiş karbür üretiminde kullanılacak ana malzemelerdir. Oluşturulan karbür ve Co tozları öğütülür. Öğütülürken amaç tane büyüklüğünü küçültmek olduğu kadar karışımı homojen hale getirmektir. Karıştırma 24-190 saat arası değişir.

4.3.2 Presleme

Hazırlanan toz 4000-5000 atm basınç altında preslenir. Preslemede arzu edilen boyutlar elde edilmez. Zira sıkıştırılan tozlardan oluşan yapı %50 gözeneklidir. Gözenekli yapı sinterleme sırasında kaybolur. Bu işlemde %17-%20 lineer bir büzülme söz konusudur.

4.3.3 Sinterleme

Preslenen doku %50'ye varan oranda gözeneklidir. Sinterleme gözenekleri doldurularak sert parçacıklar arasında bağ kuran ısıl işlemdir. Bu bağ ile sert karbürlerin bir arada tutulması ve dolayısıyla yüksek mukavemetli yapının elde edilmesi mümkündür. $1400^{\circ} - 1600^{\circ}C$ 'ye ulaşıldığında bağlayıcı malzemenin erimesi ve bir miktar karbürün de çözünmesiyle fizyon sinterleme olarak bilinen reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyonlarda sinterlenmiş karbür büzülür ve gözeneksiz hale gelir. Katılaşma sırasında çözünmüş karbürlerin bir kısmı bağlayıcı metalin dışına çöker.

4.3.4 Uç Üzerine Yapılan İşlemler

İstenilen boyuta indirgemek için yüksek hassasiyeti de sağlayacak şekilde taşlanırlar. Pahlar, radyüsler, boşluk açısı taşlamayla oluşturulur. Elmas taşlarla taşlama yapılır.

4.3.5 Kaplama

Sert maden uçların gelişimi kaplama teknolojileri ile birlikte hızlı bir ivmelenme sürecine girmiştir. Bilinen TiN ile başlayan kaplamalı uçlar, seramik kaplamaların (Al_2O_3) geliştirilmesi ile bir anda sınıf atlamış ve ciddi performans artışları sağlanmıştır. Yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direnci, yüksek aşınma dayanımı ve mükemmel yüzey düzgünlüğü seramik kaplamalara haklı bir talep sağlamış ve marketteki tüm torna uçları bir anda siyah bir renge bürünmüştür.

Oluşan bazı problemler nedeniyle Al_2O_3 üzerine yeniden en üst katman olarak TiN uygulamaya başlamışlardır. Böylece bir dönem siyaha bürünen torna uçları yeniden sarı renk ile marketteki yerini almıştır.

Mevcut kesici uçlardaki TiN en üst katman aşınma miktarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Fakat TiN, aşınma dayanımı, oksidasyon direnci ve yüzey düzgünlüğü gibi önemli parametreler açısından Al_2O_3 ile kıyaslanamayacak kadar geridedir. Bu nedenle çelik kalitelerinde Al_2O_3 üzerinde son bir katman olarak kullanılsa da, yüksek aşındırıcı özelliğe sahip dökme demir malzemelerde başarısız olmaktadır. Bununla birlikte daha düşük yüzey düzgünlüğü nedeni ile kesici kenarda talaş yığılması (build up edge-BUE) açısından da seramik kaplamaların gerisindedir. Yine seramik kaplamalar ile ulaşılan kesme hızlarına da ulaşamamaktadır.



Şekil 4.5 Çok katmanlı kaplamalı sert metal uç

Kaplamalı takımlarda kesme hızları ve takım ömrü önemli ölçüde artmış, takım kısmen aşındığı halde kaplamanın etkisi devam ettiği için özellikle çeliklerle ilgili işlemlerde krater aşınmasının azaldığı görülmektedir. Kaplamalarla; yüksek kesme hızlarıyla ve ilerlemeleriyle yüksek hızlarda çalışmak mümkün olmuştur.

En fazla kullanılan kaplama malzemeleri:

- 1- TiC
- 2- TiN
- 3- Al_2O_3 (Alüminyum oksit)

4- $TiCN$

5- $TiAlN$

TiC ve Al_2O_3 : Yüksek aşınma direnci sağlayan, kimyasal olarak başka malzemelerle reaksiyona girmeyen takım ile talaş arasında ısı kalkanı oluşturan çok sert malzemelerdir.

TiN : Çok sert olmamasına rağmen kesici uç yüzeylerinde daha düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi krater aşınma direnci sağlar.

$TiCN$ ve $TiAlN$ kaplamaları gibi TiC düşük sıcaklıkta uygulandığında tungsten karbürün yapısı pek etkilenmez.

Yüksek aşınma direnci gerektiren, yüksek kızıl sertlik isteyen ve iş parçası malzemesiyle afinitenin olmadığı uygulamalarda kullanılmak üzere kaplama tabakalarının değişik kombinasyonları geliştirilmiştir. Kızıl sertlik, kaplama nedeniyle değişmeyen bir malzeme özelliğidir. Kaplama malzemesinin düşük ısı iletimi katsayısı iç kısma daha az ısı transfer edilmesi anlamına gelir.

TiN : Altın sarısı,

TiC : gri,

Al_2O_3 : Şeffaf renklidir.

$TiCN$: Çok iyi yapışma özelliğine ve çok yüksek bir aşınma direncine sahiptir. En içteki kaplama malzemesi olabilir. Bu tabaka üstüne kaplanacak 2 veya daha fazla tabaka kesici uca bir kalkan ve ilave aşınma direnci özellikleri kazandırır.

Aşınma direnci tabaka kalınlığıyla artar ancak kalın tabakanın kırılabilirliği ve kaplama tabakasının soyulması sorunu görülür. Daha ince bir kaplama daha yüksek tokluk sağlar.

$TiCN$; iyi yapışma özelliğinin yanı sıra içerdiği karbon nedeniyle iyi bir ısı kalkanına gereksinim duyulur. Al_2O_3 iyi bir ısı kalkanı görevi görecektir.

Al_2O_3 ve TiN 'in her ikisi de doğru bir ara kaplama tabakasıyla kullanıldıklarında bir çok uygulama için iyi bir aşınma direncine sahip, kimyasal ve ısıl kalkan sağlayacak, düşük sürtünme katsayılı, yıgma kenar oluşumuna dirençli yapı oluşturur.

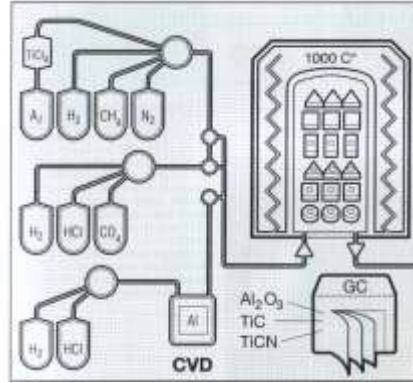
4.4 Kaplamalı Karbürlerin Üretimi

Kesici uçlarda kullanılan kaplama tabakalarının kalınlıkları 2-12 mikron arasında değişir. Çok katmanlı kaplamalı sinterlenmiş karbürler ise kimyasal buhar biriktirme (CVD) tekniği ile kesici uç üzerinde üst üste kaplanırlar.

CVD ile yapılan kaplama malzemesi homojen ve kaplama tabakasının ana malzemeye yapışması mükemmeldir. Tok bir ana malzeme üzerine kaplanan Al_2O_3 kaplamalı kesici uca yüksek performans ve güvenilirlik sağlar. CVD kaplama; farklı gazların kimyasal reaksiyonuyla gerçekleşir. TiC kaplamak için TiC ve metan buharlaştırılıp plakelerin bulunduğu hazneye gönderilir. $900^{\circ}C - 1100^{\circ}C$ 'de TiC sert metal yüzeylerde yoğunlaşarak kaplama tabakası oluşturur. İşlem; oksit oluşumunu önlemek için hidrojen gazı korumasında gerçekleştirilir (Şekil 4.6)

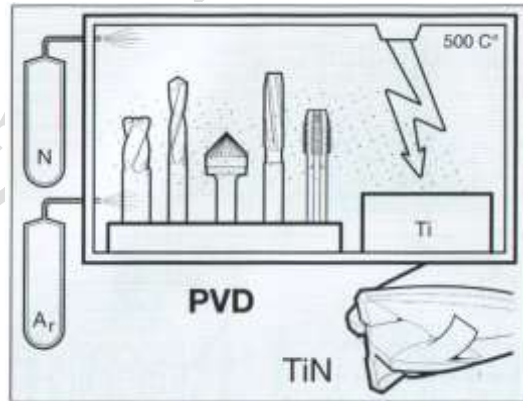
CVD ile $200^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ arasında sertliğini kaybeden takımları kaplamak mümkün olmamıştır. Bu teknik ile WC karbürler üzerine kaplama yapılabilir. CVD ile WC karbürler üzerine kaplama yapılabilir.

Al_2O_3 kaplama Al_2Cl_3 (Alüminyum klorür gazı) kullanılarak gerçekleştir.



Şekil 4.6 CVD Prosesi

Sinterlenmiş karbürlerde PVD (Fiziksel buhar biriktirme tekniği) daha az kullanılmaktadır. PVD işlem sıcaklığı $\cong 500^{\circ}\text{C}$ civarında gerçekleştirilir. Genelde hız çeliklerinde çok uygulanır. İşlem; kaplama malzemesinin bir malzeme kaynağından kesici uç malzemesi üzerine buharlaştırma yoluyla gönderilmesi esasına dayanır. PVD tabakası, CVD tabakasından daha incedir. CVD işleminde elde edilen ve kalınlığı 12 mikrona ulaşan kalın bir tabaka özellikle Al_2O_3 kaplama malzemesi kullanılması durumunda daha iyi aşınma direnci demektir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 PVD prosesi

HSS ve HWS (sıcak iş çeliği) malzemeleri, $100^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ 'de sertliğini kaybeden soğuk iş çeliklerini PVD yöntemiyle mümkün olmuştur. $100^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ arası her türlü ısı işlem görmüş takım çeliklerinin sert seramik filmlerle kaplanması mümkündür.

CVD ve PVD kaplama yöntemlerini karşılaştıracak olursak;

CVD Yöntemi:

- Yüksek sıcaklıklara ve vakum ortamına ihtiyaç vardır. Ana metal sıcaklığa dayanıklı olmalı.
- Kullanılan yüksek enerjiler nedeniyle daha sağlam kaplamalar elde edilir.
- Kaplama üniform olarak dağıtılmıştır
- Tungsten (W), Ta, Karbon gibi yüksek ergime noktasına sahip elementler sadece bu yöntemle kaplanır.
- Kimyasallar yüksek sıcaklıkta korozyon oluşturur.

PVD Yöntemi:

- Yüksek basınç ortamında çalışılır.
- Ana metal basınca dayanıklı olmalıdır.
- Kaplamalar CVD kaplamalar kadar dayanıklı değildir.
- Düşük sıcaklıkta gerçekleşir.
- Kaplama kalınlıkları fazladır.
- Kaplama hızı CVD'ye göre fazladır. Fakat esas metale yapışma sorunu vardır.
- Ana parçada sertlik sorunu olmaz.

4.5 Takım Seçimine Etki Eden Faktörler

Bu bölümde, imalat işleminde kullanılacak takımların belirlenmesi için parça ile ilgili geometrik (unsur) bilgiler, takım tezgahı kısıtlamaları, iş parçası malzemesi, talaş tipi, bağlama yöntemi ve bağlama sayısı takım seçimini etkileyen faktörlerdir.

İmalatta kullanılacak takımların seçim işlemi kolay değildir. Bu işlemde takım seçimine etki eden bir çok faktörün bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Kesici takım seçimi için aşağıda verilen faktörler dikkate alınmalıdır.

- İş parçası malzemesi
- İş parçası geometrisi
- İş parçası ile ilgili kısıtlamalar (yüzey pürüzlülüğü, erişilebilirlik gibi)
- Kullanılan takım tezgahı
- İşlem tipi (kaba/ince tornalama, vida çekme, delme, delik genişletme vb.)

4.5.1 İş Parçası Malzemesinin Takım Seçimine Etkisi

İş parçası malzemesi takım seçiminde etkili olan faktörlerin başında gelmektedir İş parçasının üretim şekli, kimyasal bileşenleri, sertliği ve talaş tipi, kesme verilerinin belirlenmesinde önemli faktörlerdir ve bu faktörler, takım seçimi için de geçerlidir. Karbür takımlar ile işleme için ISO malzeme sınıflandırma yöntemi Çizelge 4.1 'de verilmiştir. İş parçasının talaş tipi kesici takım tipini etkilemektedir. Tabloda P, M ve K olmak üzere üç ISO simgesi görülmekle birlikte, tornalama işlemlerinde 6 temel iş parçası malzemesi mevcuttur (Şekil 4.6). İş parçası malzemesi özellikle kesici uç tipinin seçiminde etkili bir faktördür.

1. Uzun talaş çıkaran malzemeler (bir çok çelik malzeme gibi)
2. Paslanmaz çelikler

3. Kısa talaş veren malzemeler (dökme demirler gibi)
4. Isıl dirençli malzemeler (Ni esaslı malzemeler)
5. Yumuşak malzemeler (Al alaşımları gibi)
6. Sertlikleri 400 HB 'den daha büyük olan sert malzemeler

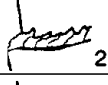
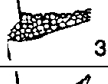
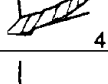
Tablo 4.1 ISO malzeme sınıflandırma sistemi

Malzeme Sınıfı	İşlem Adı	
P Çelik, çelik döküm, paslanmaz çelik, uzun talaşlı dövülebilir demir	01	Çok ince işleme
	10	Yüksek kesme hızıyla ince işleme
	20	Kopya tornalama işlemi
	30	Düşük kesme hızlarıyla kaba tornalama
	40	Çok kaba ve kesikli tornalama
	50	
M Çelik, döküm çelik, mangan çeliği, alaşımlı dökme demir, östenitik paslanmaz çelikler, dövülebilir demir, otomat çeliği gibi ve malzemeler	10	Yüksek kesme hızı ile işleme
	20	
	30	Düşük kesme hızı ile işleme
	40	Çok kaba ve kesikli tornalama
K Dökme demir, kısa talaşlı dövülebilir demir, sertleştirilmiş çelik, demir esash olmayan metaller	10	Yüksek yüzey kalitesi
	20	Yarı ince -yarı kaba
	30	Kaba ve kesikli işleme Düşük kesme verileriyle işleme

WR: Aşınma direnci T: Tokluk

4.5.2 İş Parçası Geometrisinin Takım Seçimine Etkisi

İş parçasının geometrisi, imalatla kullanılacak takım tutucu ve uç geometrisinin seçimini etkileyen en önemli faktördür. İmalatın aksamaması ve mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilebilmesi için talaş kaldırma operasyonlarında kullanılmak üzere seçilen takımın geometrisi, unsura erişim yeteneğine sahip olmalı ve seçim işlemi unsur bilgilerine dayanarak yapılmalıdır, özellikle, iş parçası üzerindeki kanalların işlenmesi sırasında takım vektörü ile iş parçası profilinin birbirine uyumlu olması gereklidir. Takım vektörü ile iş parçası profilinin birbirine uyumsuz olması halinde takım-iş parçası arasında bir çarpışma olması söz konusudur ve bu çarpışmanın önüne geçilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekir. İş parçası geometrisi ve iş parçası üzerindeki unsurlara ait geometrik şekiller, kesici takım seçiminde kullanılan geometrik kısıtlamalar olarak değerlendirilmelidir. Şekil 4.9 çeşitli profillere sahip iş parçaları için kullanılan kesici takımlar ve takma uçlar örnek olarak gösterilmiştir.

Talaş Tipi	ISO
	P
	M
	K
	M
	K
	K

Şekil 4.8 İmalat işlemlerinde kullanılan malzeme tipleri



Şekil 4.9 İşlenecek yüzeylere uygun kesici uç geometrileri

4.5.3 İşlenebilirlik Verilerinin Takım Seçimi Üzerine Etkisi

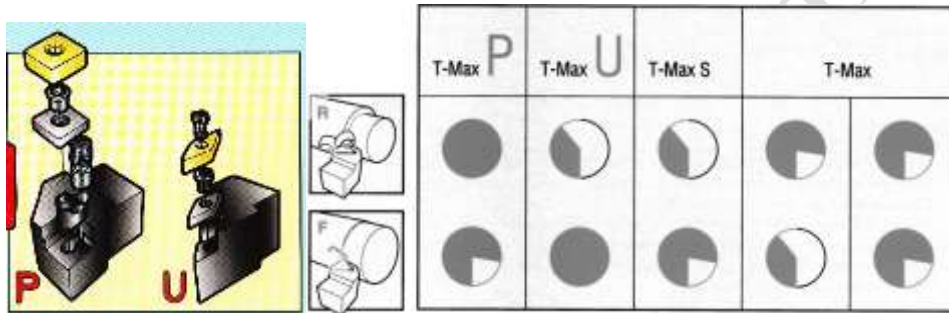
Kesici takım seçiminde, iş parçasının işlenmesi için belirlenen kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme değerleri gibi, işlenebilirlik verilerinin dikkate alınması gereklidir. Örneğin; takımın kesici uç boyutları, işlenebilirlik verilerinden elde edilen kesme derinliğine ve ilerleme değerine bağlıdır. Kesici uç boyutları özellikle kaba talaş kaldırma işlemlerinde uç dayanımı açısından önemlidir.

4.5.4 Tornalama İşlemleri İçin Kesici Takım Seçimi

Modern imalat sistemlerinde kullanılan kesici takımlar, kesici takımını üzerinde tutan takım tutucu ve kesme işlemini gerçekleştiren bir kesici uçtan oluşmaktadır. Tornalama işlemlerinde kesici takım sisteminin (takım tutucu+kesici uç) seçimi dikkat ve özen gerektiren bir işlemdir.

4.5.4.1 Uç Tuturma Sistemi

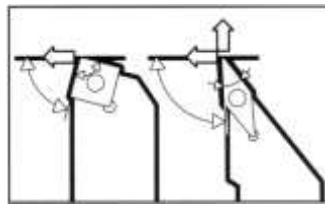
Takma uç için ilk seçilmesi gereken tuturma sistemi olmalıdır. Yapılacak işlemin tipi ve iş parçasının boyutları, takım tuturma sisteminin belirlenmesini sağlar. Büyük iş parçalarına uygulanan kaba işlemler ince işlemlere göre çok daha ağır çalışma koşulları gerektirirler. Sandvik Coromant takımlarında kaba tornalama işlemleri için T-Max P, ince tornalama işlemleri için T-Max U sistemleri kullanılır. Şekil 4.10 'da R:kaba , F: ince tornalama işlemlerini temsil etmektedir. T-Max CBN takımlar içindir.



Şekil 4.10 İki ana modern uç tuturma metodu ve uygulama alanları

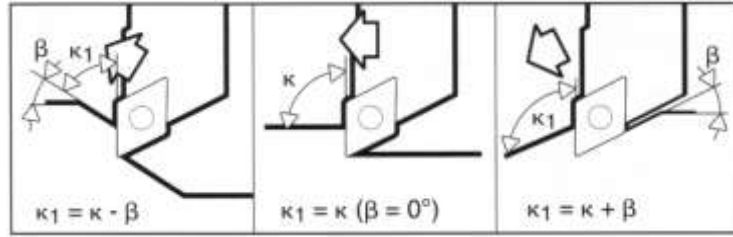
4.5.4.2 Takım Tutucu Boyutu ve Tipi

Uç tuturma sistemi belirlendiğine yapılması gereken sonraki işlem, takım tutucu boyutlarının belirlenmesidir. Bu işlem; ilerleme, kesme derinliği, iş parçası malzemesi, takım tuturma sistemi ve unsura erişebilirlik faktörlerinden etkilenir (Şekil 4.11).

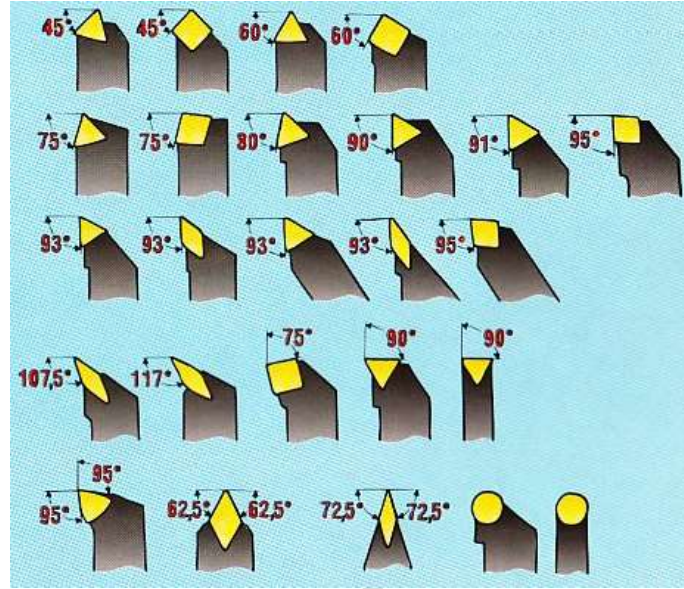


Şekil 4.11 Takım tutucu boyutlarını etkileyen faktörler (yanaşma açısı)

Takım tutucu tipleri, yerleştirme açısı ve kullanılan kesici ucun uç açısına göre belirlenir. Bu aşamada seçim işleminde kesme kuvvetlerinin, uç dayanımının ve unsura erişebilirlik faktörlerinin dikkate alınması gerekir. Efektif yerleştirme açısı (K_1) kopya tornalama ve profil işleme işlemlerinde dikkate alınmak zorundadır (Şekil 4.12). Maksimum kopya açısı (β) her bir takım için tavsiye edilen değerde alınır ve kopyalama işlemine dahil edilir (Şekil 4.13).



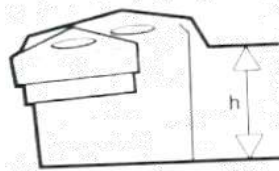
Şekil 4.12 Efektif yerleştirme açıları



Şekil 4.13 Çeşitli işlemler için kullanılan takım tutucular ve tavsiye edilen β açıları

Kopyalama işleminde profil veya konik yüzey tornalanmasında kopya açısı aşılmamalıdır. Kesici ucun kenarı ile iş parçası yüzeyi arasında bırakılan minimum 2°'lik bir açı (optimum değer 8°) takımın iş parçası yüzeyine sürtünmesini engelleyecektir.

Bu işlemi takiben izlenecek kural, tezgah için mümkün olan en büyük takım tutucu boyutunun (h) seçimidir (Şekil 4.14). Takım tutucu boyutu daha sonra kesici uç boyutunun seçimi için kullanılır ve efektif kesme kenarı uzunluğu belirlenir.



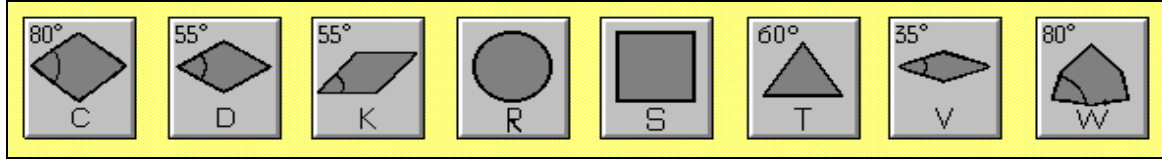
Şekil 4.14 Takım tutucunun boyutu

4.5.4.3 Kesici Uç Şekli

Takım seçim işleminin bu aşamasında yerleştirme açısı ve takımın unsura erişebilirliği dikkate alınmalıdır. Kesici uç şeklinin (Şekil 4.15) seçimini etkileyen faktörler şu şekilde özetlenebilir:

1. Yapılacak işlem
2. Kullanılacak takım tutucu

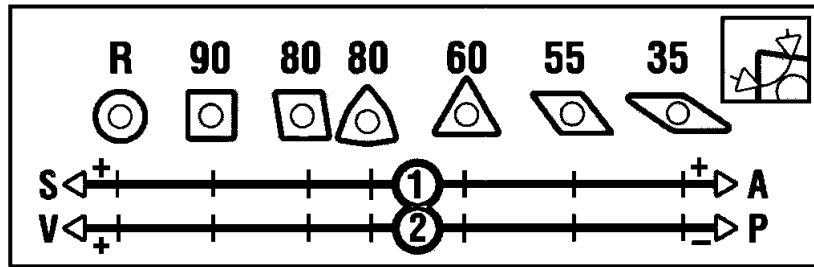
3. İş üzerindeki kavisler
4. Kanallar ve vidalar



Şekil 4.15 Kullanılabilir standart kesici uç şekilleri

Bu faktörlerin tümü standart takımlar ile sağlanabilir. Kesici takım seçiminde genellikle silindirik uçlar kare uçlardan, kare uçlar ise üçgen uçlardan daha dayanıklıdır. Dayanım ve ömür açısından en büyük uç açısına sahip takım seçilmelidir. Ancak kesme işleminde çeşitlilik söz konusu ise dayanım yerine çeşitlilik esas alınacaksa, daha küçük uç açıları da dikkate alınmalıdır (Şekil 4.16). 1 no'lu cetvel kesici kenarın dayanımını göstermektedir. Sola doğru gidildikçe dayanım artmaktadır. Unsur erişim için sağa doğru gidildikçe yani uç açısı küçüldükçe daha iyi sonuçlar alınır. 2 no'lu cetvelde ise sağa doğru gidildikçe titreşim eğilimi azalmakla, bunun yanı sıra güç gereksinimi de azalma göstermektedir.

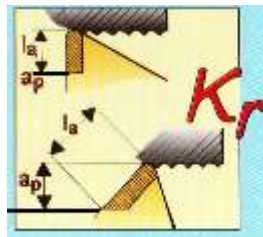
Kanal işleme ve vida açma takımları için bir standart oluşturulmamıştır. Bu işlemler için kesici takım firmalarının kataloglarında verilen takımlar kullanılmaktadır.



Şekil 4.16 Kesici uçların şekli ve dayanım, erişim, güç ve titreşim ilişkisi

4.5.4.4 Kesici Ucun Büyüklüğü

Takma ucun seçimi, seçilen takım tutucuya bağlıdır. Kesici ucun boyutlarının belirlenmesi için, talaş kaldırma sırasında kesme derinliğine bağlı olarak, takma ucun kesme işlemine aktif olarak katılan kesme kenarı uzunluğunun (efektif kesme kenar uzunluğu) belirlenmesi gerekir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Kesme kenarı uzunluğu/kesme kenarı derinliği

Tablo 4.2 'de kesme derinliği ve takım yerleştirme açısına bağlı olarak efektif kesme kenarı uzunlukları. Şekil 4.18 'de kesici ucun şekline göre uç büyüklüğü ile efektif kesme kenarı ilişkileri verilmiştir. Efektif kesme kenarı uzunluğu kesme derinliği değerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikten yararlanarak hesaplanabilir.

$$\ell_a = \frac{a_p}{\sin \kappa}$$

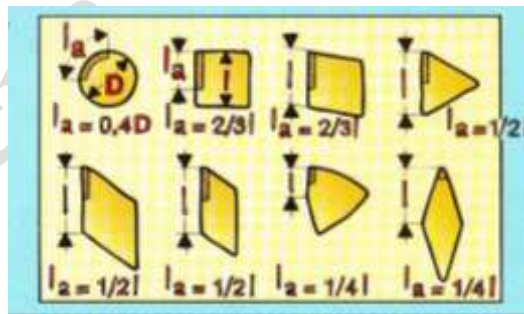
Burada, a_p : Kesme derinliği, κ : Takım yerleştirme açısı'dır.

Tablo 4.2 Yerleştirme açısı-kesme derinliği-efektif kesme kenarı uzunluğu ilişkisi

Yerleştirme açısı (κ)	Kesme Derinliği a_p (mm)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
	ℓ_a (efektif kesme kenarı uzunluğu)											
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
105	75	1.5	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.3	8.3	9.3	11	16
120	60	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7	8.2	9.3	11	12	18
135	45	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.5	10	12	13	15	22
150	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
165	15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

Bu eşitlikten elde edilen ℓ_a , Şekil 4.18 'de verilen ifadelerden yararlanarak kesici ucun boyutlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır

Talaş kaldırma işlemlerinin zor olduğu durumlarda daha büyük ve daha kalın kesici uçlar seçilmelidir. Kademeli alın yüzey işlemlerinde kesme derinliği büyük artış gösterir, bu ise daha büyük bir takma uç veya bir alın tornalama işlemini gerektirir.



Şekil 4.18 Uç şekline bağlı olarak efektif kesme kenarı uzunlukları

4.5.4.5 Uç Yarıçapı

Takım seçiminde göz önüne alınması gereken faktörlerin biri de, kesici takım uç yarıçapının belirlenmesidir. Uç yarıçapı, kaba tornalama işlemlerinde dayanımı, ince tornalama işlemlerinde ise yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir faktördür.

Yarıçapın büyüklüğü titreşim eğilimini ve ilerleme hızını etkiler. Kaba talaş kaldırma işlemlerinde mümkün olan en büyük uç yarıçapı seçilmelidir. Büyük uç yarıçapı daha büyük ilerlemeye izin vermekte ancak büyük uç yarıçapı ile çalışırken titreşim problemi söz konusu

olabilmektedir. Bu durumda daha küçük uç yarıçapına sahip kesici seçilmelidir. Kaba işlemlerde yaygın olarak kullanılan uç yarıçapı değerleri 1.2-1.6 mm 'dir. Kaba işlemlerde, maksimum ilerlemenin uç yarıçapını aşmamasına dikkat edilmelidir. Uç yarıçapı ile ilerleme arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$S_{kaba} = 0.5 r$$

İnce tornalama işlemlerinde arzu edilen yüzey kalitesinin elde edilmesi için aşağıdaki eşitlikte verilen uç yarıçapı ile ilerleme ilişkisinin sağlanması gerekir.

$$S_{ince} = \sqrt{\frac{R_{max} \cdot 8r}{1000}}$$

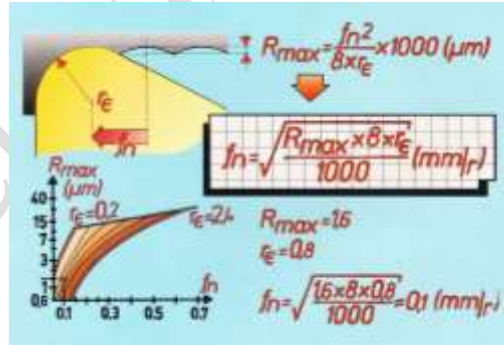
Bu eşitlikte;

S_{ince} : İnce işleme için ilerleme değeri (mm/dev)

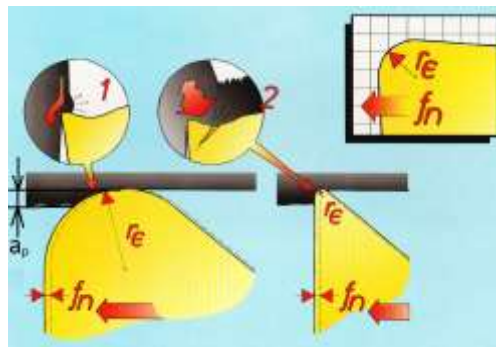
R_{max} :Maksimum yüzey pürüzlülüğü (μm)

r : Uç yarıçapı (mm)

Kaba talaş kaldırma işlemlerinde tezgahın gücü ve kararlılığı ve hatta talaş oluşturma kabiliyeti genellikle sınırlayıcı faktörlerdir. Şekil 4.19 tornalama işlemlerinde uç yarıçapı, ilerleme ve yüzey kalitesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Tornalama işlemlerinde paso değeri uç yarıçapından büyük olmalıdır. Aksi taktirde kesici takım parçaya ilk girdiği anda parçaya nüfuz edemeyecek ve parçayı ezecektir (soğuk deformasyon). Bu olay parça yüzeyinin sertleşmesine neden olduğu gibi yüzeyde tırlama adı verilen titreşim izleri görülmesine de neden olur. Uç yarıçapı kaba işlemlerde uç mukavemeti, ince işlemlerde yüzey kalitesi açısından önemlidir.



Şekil 4.19 a- İlerleme, uç yarıçapı ve yüzey kalitesi ilişkisi



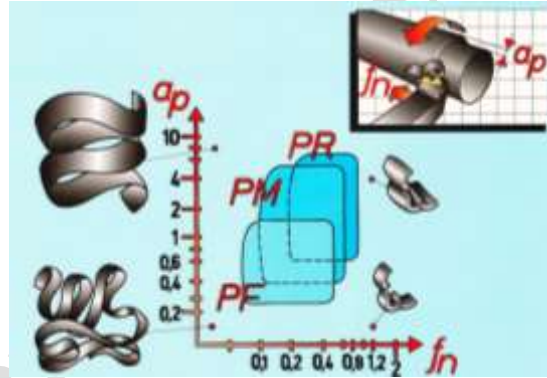
Şekil 4.19-b Uç yarıçapı-paso ilişkisi

4.5.4.6 Takma Uç Tipi

Talaş kaldırma işleminde oluşan talaşın işlem sırasında kırılması için, parça malzemesi talaş tipi kullanılacak uç tipinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Takma uç tipinin seçimi, iş parçası malzemesi ve çalışma alanına (a_p - f) bağlı olarak yapılır. Şekil 4.20 'de dış tornalama işlemleri için çeşitli çalışma alanları gösterilmiştir. Takma ucun belirlenmesi aşamasında ilerleme ve talaş derinliği değerlerinin bu çalışma alanları içinde kalması gereklidir. Her bir çalışma alanına karşılık gelen çeşitli takma uç tipleri mevcuttur. Ancak her takma uç için uygun çalışma alanı, takma ucun büyüklüğü, şekli, uç yarıçapının büyüklüğü gibi faktörlere göre değişir.

Dış tornalama işlemleri için çalışma alanları:

Çok ince işlemler	$f : 0.05 - 0.15$	$a_p : 0.25 - 2.0 \text{ mm}$
İnce işlemler	$f : 0.1 - 0.3$	$a_p : 0.5 - 2.0 \text{ mm}$
Orta kaba işlemler	$f : 0.2 - 0.5$	$a_p : 2.0 - 4.0 \text{ mm}$
Kaba işlemler	$f : 0.4 - 1.0$	$a_p : 4.0 - 10.0 \text{ mm}$
Çok kaba işlemler	$f \geq 1.0$	$a_p : 6.0 - 20.0 \text{ mm}$
Son derece kaba işlemler	$f \geq 0.7$	$a_p : 8.0 - 20.0 \text{ mm}$



Şekil 4.20 Çeşitli kesici takımlar için çalışma alanları

Uç tipini etkileyen diğer bir faktör de iş parçası malzemesidir. Tornalama işlemleri için 6 temel iş parçası tipi mevcuttur. Bunlar Şekil 4.8 verilmiştir.

4.5.4.7 Kesici Takım İlerleme Yönü

Takım seçim işleminde takımın izleyeceği yola göre takımın ilerleme yönünün de belirtilmesi gereklidir. Buna göre; sağ, sol veya her iki yönde talaş kaldırabilecek şekilde uç geometrisi seçimi yapılmalıdır. Şekil 4.21 'de dış tornalama işlemleri için takım tutucuya ait belirlenmesi gereken özellikler, Şekil 4.22 'de kesici uç için belirlenmesi gereken özellikler verilmiştir.

Coromant Capto® C3 - D C L N R 22 040 - 09 - D C L N R 25 25 M 12 - 2 D C L N R 16 4 D -											
1 Bağlama ölçüsü, mm C = Coromant Capto® D_{ba} = Bağlama ölçüsü C3 D_{ba} = 32 C4 D_{ba} = 40 C5 D_{ba} = 50 C6 D_{ba} = 63 C8 D_{ba} = 80 Coromant Capto®											
2 Bağlama sistemi C D M W P S Üstten baskılı ve delğin üstünden bağlama (Riçt Bağlama) Üstten baskılı ve delğin altından bağlama Delğin altından çekimeli bağlama Mali bağlama											
3 Kesici uç ölçüsü C D K S W 30° 35° 45° 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90° 95° 100° 105° 110° 115° 120° 125° 130° 135° 140° 145° 150° 155° 160° 165° 170° 175° 180°											
4 Takım tipi giriş açısı (lerleme açısı) A B C D E F G H J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z 90° (0°) 75° (15°) 60° (30°) 45° (45°) 30° (60°) 15° (75°) 0° (90°) 107.5° (-17.5°) 91° (-4°) 62.5° (27.5°) 50° (40°) 32° (58°) 17° (73°) 10° (80°) 5° (85°) 0° (90°) 107.5° (-17.5°) 91° (-4°) 62.5° (27.5°) 50° (40°) 32° (58°) 17° (73°) 10° (80°) 5° (85°) 0° (90°) 107.5° (-17.5°) 91° (-4°) 62.5° (27.5°) 50° (40°) 32° (58°) 17° (73°) 10° (80°) 5° (85°) 0° (90°)											
5 Kesici uç boyutları B C D E N P 5° 10° 15° 20° 11°											
6 Takım kesme yönü R L N İlerleme İlerleme İlerleme											
7 & 8 Sap ölçüsü (b, genişlik ve h, yükseklik) mm 7 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108 110 112 114 116 118 120 122 124 126 128 130 132 134 136 138 140 142 144 146 148 150 152 154 156 158 160 162 164 166 168 170 172 174 176 178 180 182 184 186 188 190 192 194 196 198 200 202 204 206 208 210 212 214 216 218 220 222 224 226 228 230 232 234 236 238 240 242 244 246 248 250 252 254 256 258 260 262 264 266 268 270 272 274 276 278 280 282 284 286 288 290 292 294 296 298 300 302 304 306 308 310 312 314 316 318 320 322 324 326 328 330 332 334 336 338 340 342 344 346 348 350 352 354 356 358 360 362 364 366 368 370 372 374 376 378 380 382 384 386 388 390 392 394 396 398 400 402 404 406 408 410 412 414 416 418 420 422 424 426 428 430 432 434 436 438 440 442 444 446 448 450 452 454 456 458 460 462 464 466 468 470 472 474 476 478 480 482 484 486 488 490 492 494 496 498 500 502 504 506 508 510 512 514 516 518 520 522 524 526 528 530 532 534 536 538 540 542 544 546 548 550 552 554 556 558 560 562 564 566 568 570 572 574 576 578 580 582 584 586 588 590 592 594 596 598 600 602 604 606 608 610 612 614 616 618 620 622 624 626 628 630 632 634 636 638 640 642 644 646 648 650 652 654 656 658 660 662 664 666 668 670 672 674 676 678 680 682 684 686 688 690 692 694 696 698 700 702 704 706 708 710 712 714 716 718 720 722 724 726 728 730 732 734 736 738 740 742 744 746 748 750 752 754 756 758 760 762 764 766 768 770 772 774 776 778 780 782 784 786 788 790 792 794 796 798 800 802 804 806 808 810 812 814 816 818 820 822 824 826 828 830 832 834 836 838 840 842 844 846 848 850 852 854 856 858 860 862 864 866 868 870 872 874 876 878 880 882 884 886 888 890 892 894 896 898 900 902 904 906 908 910 912 914 916 918 920 922 924 926 928 930 932 934 936 938 940 942 944 946 948 950 952 954 956 958 960 962 964 966 968 970 972 974 976 978 980 982 984 986 988 990 992 994 996 998 1000											
9 Kesici uç genişliği A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100											
10 Takım boyu ve genişliği, mm A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100											
11 Kesici uç ölçüsü A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100											
12 Üretimin spreyi A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100											

Şekil 4.21 Dış tornalama için bir takım tutucuya ait belirlenmesi gereken özellikler.

Genel tornalama için kesici uçlar

[illegible]

Diagram illustrating the evolution of a matrix structure through three stages of doubling:

- Stage 1 (Initial):** A 2x2 matrix with values 12, 04, 08, 07. Below it is a 2x2 block of 1s.
- Stage 2 (First Doubling):** A 4x4 matrix with values C, N, M, G in the first row and 1, 2, 3, 4 in the first column. Below it is a 4x4 block of 1s.
- Stage 3 (Second Doubling):** An 8x8 matrix with values C, N, M, G, 1, 2, 3, 4 in the first row and 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 in the first column. Below it is an 8x8 block of 1s.

1 Keset uun gaki		3 Tolerantaz matik	
C		Sinf	A
D		B	B
K		C	C
R		D	D
T		E	E
S		F	F
V		G	G
W		H	H
2 Keset uun bopok apu		I	I
B		J	J
C		K	K
E		L	L
N		M	M
P		N	N
S		O	O
U		P	P
V		Q	Q
W		R	R
X		S	S
Y		T	T
Z		U	U
A		V	V
B		W	W
C		X	X
D		Y	Y
E		Z	Z
F		A	A
G		B	B
H		C	C
I		D	D
J		E	E
K		F	F
L		G	G
M		H	H
N		I	I
O		J	J
P		K	K
Q		L	L
R		M	M
S		N	N
T		O	O
U		P	P
V		Q	Q
W		R	R
X		S	S
Y		T	T
Z		U	U
A		V	V
B		W	W
C		X	X
D		Y	Y
E		Z	Z
F		A	A
G		B	B
H		C	C
I		D	D
J		E	E
K		F	F
L		G	G
M		H	H
N		I	I
O		J	J
P		K	K
Q		L	L
R		M	M
S		N	N
T		O	O
U		P	P
V		Q	Q
W		R	R
X		S	S
Y		T	T
Z		U	U
A		V	V
B		W	W
C		X	X
D		Y	Y
E		Z	Z
F		A	A
G		B	B
H		C	C
I		D	D
J		E	E
K		F	F
L		G	G
M		H	H
N		I	I
O		J	J
P		K	K
Q		L	L
R		M	M
S		N	N
T		O	O
U		P	P
V		Q	Q
W		R	R
X		S	S
Y		T	T
Z		U	U
A		V	V
B		W	W
C		X	X
D		Y	Y

Şekil 4.22 Kesici uç için belirlenmesi gereken özellikler

4.6 Tornalama Takımlarının Seçimi

Takım seçim işleminde kaba tornalama işlemleri için T MAX-P, ince tornalama işlemleri için T MAX-U takımlar kullanılır. Ancak, özellikle iç takımların seçiminde unsura erişimin zor olduğu geometrik şekillerde kaba işlemlerde de T MAX-U takımlara yer verilebilir.

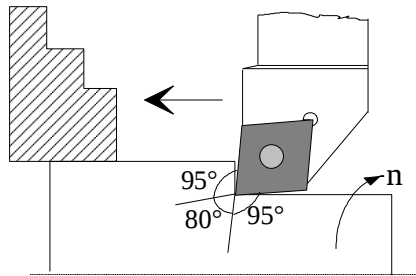
4.6.1 Dış Tornalama İşlemleri İçin Takım Secimi

İş parçasının işlenmesi sırasında, parça unsurları temel ve ikincil unsurlar olarak iki ana bölüme ayrılmıştır. Temel unsurlar; doğrular ve eğrilerden oluşan iş parçasının ana konrunu meydana getirmekte olup silindirik yüzeyler, konikler, iç bükey ve dış bükey eğriler temel unsurlar olarak adlandırılmıştır. İkincil unsurlar; doğrular ve eğrilerin bir araya gelerek oluşturdukları değişik büyüklük ve tipteki kanallar, dip köşe radyüsleri, vidalar vb. den oluşmuştur.

4.6.1.1 Dış Kaba Boşaltma Takımlarının Seçimi

Kaba tornalama işlemleri için takım seçiminde, mümkün olan en büyük kesici uç mukavemeti dikkate alınmalıdır. Örneğin; Temel unsurların işlenmesinde büyük bir uç mukavemeti ve parça üzerindeki bütün unsurlara erişimin sağlanabilmesi için 80° uç açılı kesiciyi üzerinde taşıyan 95° yerleştirme açılı kaba talaş kaldırma takımı seçilebilir (Şekil 4.23). Şekil 4.23'de, kesici ucun bağlama sistemi: **P**, kesici uç şekli: **C**, takım tutucu tipi: **L**, kesici uç boşluk açısı: **N** olarak belirlenmiştir. Şekil 4.23 'deki gibi işleme şekli ve takım konumunda; takımın ilerleme yönü için, takımı karşı merkezden aynaya doğru ilerliyorsa, sol takım (**L**: kesici ağız sol tarafta), aynadan karşı merkeze doğru ilerliyor ise sağ takım (**R**: kesici ağız sağ tarafta) seçilir. Kesme kuvvetleri açısından değerlendirildiğinde yerleştirme açısı küçük olan takımlar dikkate alınmalıdır.

Takım seçim işleminde takım tutucuyu karakterize eden yukarıdaki kodların belirlenmesinden sonra, seçilen takımın takım tutucu boyutları (b,h) seçilmektedir. Takımın takım tutucu boyutları, imalat işleminin gerçekleştirileceği takım tezgahı üzerindeki takım yeri ölçüleri dikkate alınarak belirlenmelidir.



Şekil 4.23 PCLNL takım ve iş parçası

Kesici ucun seçimi için, aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

1. Kesici uç sınıfı belirlenir (tutucu seçimi sırasında).
2. Kesici kenar boşluk açısı belirlenir (tutucu seçimi sırasında).

3. İş parçası malzeme grubuna (P-M-K) göre, kesici uç üzerindeki toleranslar belirlenir (M, G, U).
4. Yapılan işlem tipine (kaba/ince) ve iş parçası malzemesine göre kesici uç tipi belirlenir.
5. Efektif kesme kenarı uzunluğuna göre minimum kesme kenarı uzunluğu belirlenir.
6. Kesme kenarı uzunluğuna bağlı olarak takım kütüphanesinden kesici uç kalınlığı belirlenir.
7. İşlem tipine (kaba/ince) ve ilerleme değerine göre uç yarıçapı hesaplanarak takım kütüphanesinden uygun değer seçilir.
8. İş parçası malzeme grubuna (P,M,K) göre, kesici uç için imalatçı firmanın kodu belirlenir. Bu kod, aynı zamanda kesici takımın çalışma alanını ifade eder.

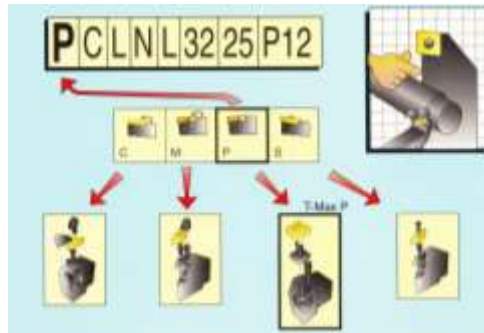
Kesici uç üzerindeki toleransların belirlenmesi işlemi, takım tutucu ve kesici uç geometrisine göre takım kütüphanesinden elde edilmektedir. Kesici uç tipi, yapılan işlem tipine (kaba/İnce) ve iş parçası malzemesine göre belirlenmektedir. Örneğin; 95° yerleştirme açılı takım tutucu ile 80° uç açılı C kodlu kesici ucun K grubu malzemenin işlenmesi için kullanılması halinde uç tipi A olarak seçilmektedir. P ve M grubu malzemeler için ise G grubu tercih edilmektedir.

Kesici ucun büyüklüğü belirlendikten sonra yapılacak işlem, kesici uç kalınlığının belirlenmesi olacaktır. Uç kalınlığı, kesici ucun kesme kenarı büyüklüğüne bağlı olarak takım kütüphanesinden alınmaktadır.

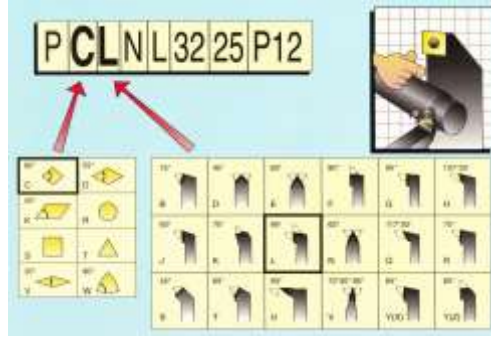
Bu açıklamalardan sonra dış tornalama işlemi için belirlenen kesici takım "**PCLNL3225P12**" olsun (Şekil 4.24). Söz konusu kesici takım için kullanılan kodlar Şekil 4.25'de ve kullanılan takma uç için kullanılan kodlar Şekil 4.26 ve 4.27 'de verilmiştir.



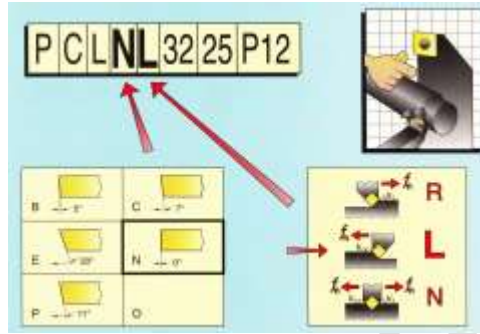
Şekil 4.24 Dış tornalama için kesici takım



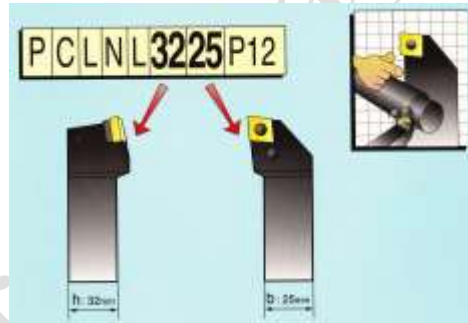
Şekil 4.25-a



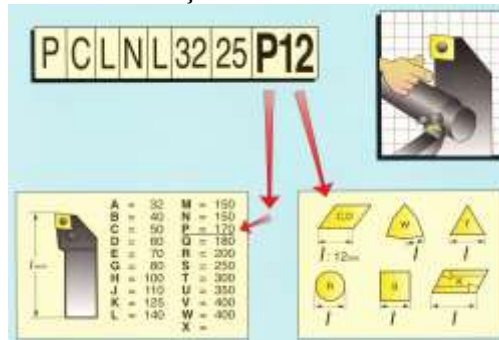
Şekil 4.25-b



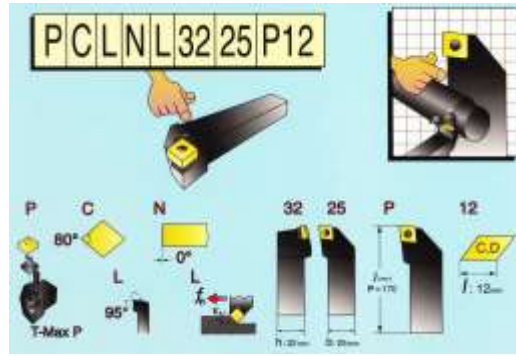
Şekil 4.25-c



Şekil 4.25-d



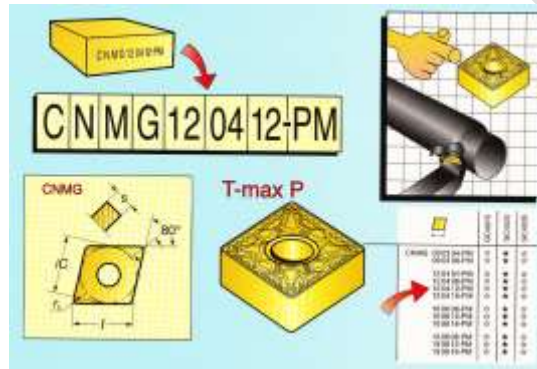
Şekil 4.25-e



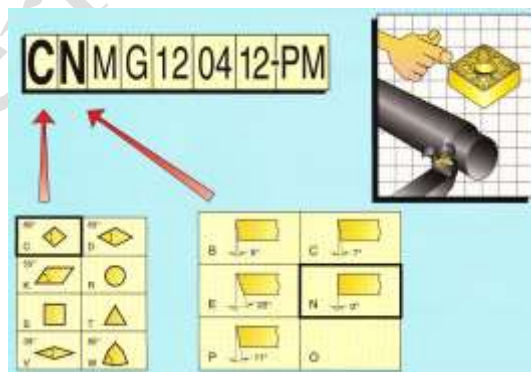
Şekil 4.25 PCLNL3225P12 sipariş kodlu takımın açıklanışı

P: Takım tutucu kodunun ilk parçasıdır ve takım tuturma yöntemi, C: 80° uç açılı kesici ucu temsil eder. L: Yerleştirme açısı (95°), N: Kesici uç boşluk açısı, L: Sol takım (R: sağ takım, N:Nötr takım), 32: Sap genişliği, 25: Sap yüksekliği, P: Sap uzunluğunu, 12: Kesici uç büyüklüğünü ifade eder.

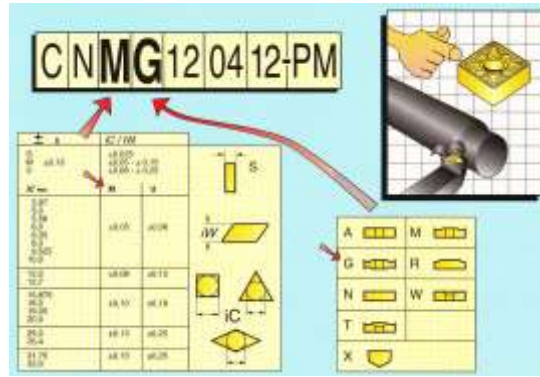
Şekil 4.26'da verilen kesici takımda 80° uç açılı "C" ile gösterilen uç kullanılmaktadır. Ucu tanımlanması için kullanılan semboller Şekil 4.27 'da gösterilmiştir.



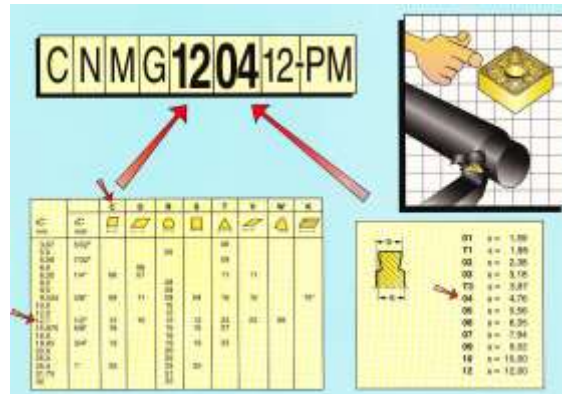
Şekil 4.26 CNMG 120412-PM kesici uç



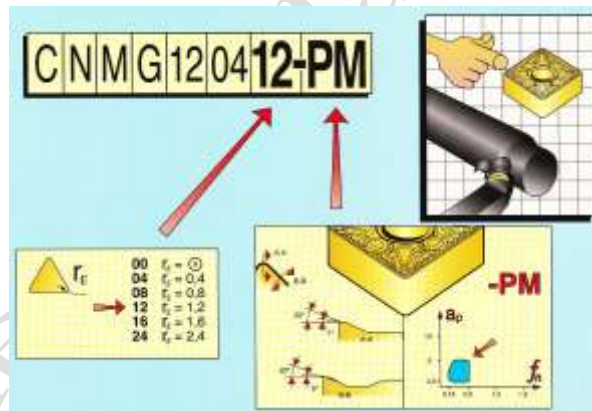
Şekil 4.27-a



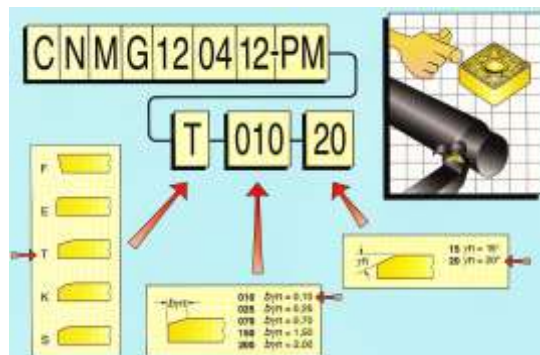
Şekil 4.27-b



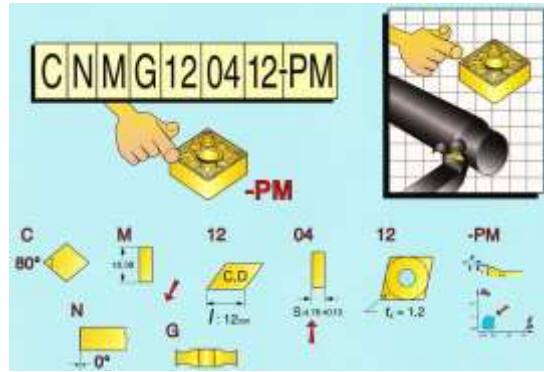
Şekil 4.27-c



Şekil 4.27-d



Şekil 4.27-e CNMG 120412-PM sipariş kodlu takma ucun açıklanışı



Şekil 4.28 Kaba tornalama işlemi için takma uç

C: Uç açısı, N: T-max P için negatif talaş açısı, M ve G: Kesici kalınlığı veya genişliğindeki tolerans, 12: Takma ucun genişliği, 04: Kesici takımın kalınlığı, 12: Kesici takım uç radyüsü, PM : Uç geometrisinin tanımlanmasını desteklemek üzere takım imalatçısının kullandığı ve takımın çalışma alanını belirten koddur.

P,M,K ISO sınıflandırma sistemine göre, çelik P ile gösterilmekte ve orta kaba işleme için M sembolü kullanılmaktadır. Buna göre PM, çelik için orta kaba işlemeyi ifade eder. Şekil 4.28'de sağ alt köşede verilen şekil bu takımın çalışma alanını göstermektedir. Buna göre; çeliğin orta kaba işlenmesi için $a_p=0.5-5$ mm, $f = 0.15-0.5$ mm/dev şeklindedir.

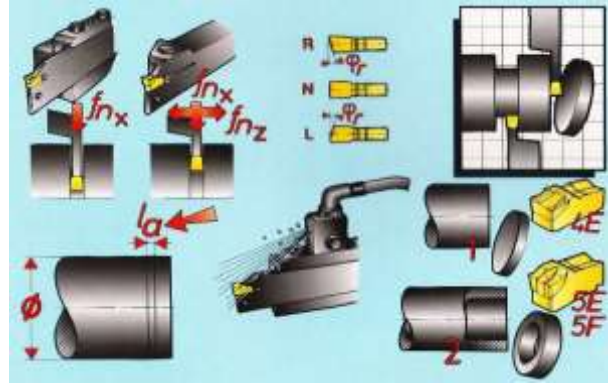
4.6.1.2 Kanalların İşlenmesi İçin Takım Seçimi

Bir kanal işleme için kesici takım seçiminde uygulanacak kurallar, kaba boşaltma takımı seçimine oranla daha fazla dikkat gerektirir. İşlenecek unsurların özelliklerine uygun takımların seçilmesi için, unsur bilgilerinin dikkate alınması gereklidir.

Örnek olarak Şekil 4.29 'da verilen kesici takım ve takma uçları inceleyiniz. Kanal takımı seçiminde dikkate alınacak parametreler şu şekilde özetlenebilir.

1. Kanal genişliği dikkate alınarak kesici ucun takım tutucu üzerinde oturacağı yüzey genişliği belirlenir,
2. 1. madde ile birlikte kanalın derinliği dikkate alınarak, bu derinliği işleyebilecek takım tutucu belirlenir,
3. Belirlenen takım tutucu sap ölçülerinin takım magazinindeki takım yeri ölçüleri ile uyumu denetlenir, uyumsuzluk söz konusu ise bu uyumu sağlayan yeni bir takım tutucu belirlenir,
4. Belirlenen takım tutucuya ait tavsiye edilen kesici uç belirlenerek, kanalın genişliğine bağlı olarak kesici uç genişliği belirlenir,
5. Parça malzemesine bağlı olarak kesici uç geometrisi ve kalitesi seçilir.

Tablo 4.3 'te kanal takımlarına ait uç taşıma yüzeyi ölçüleri, maksimum işleyebilecek derinlikler ve belirtilen takım tutucu ile kullanılacak (tavsiye olarak) kesici uçlar verilmiştir.



Şekil 4.29 Kanal işleme için takımları

Tablo 4.3 Kanal takımlarına ait veri tablosuna örnekler

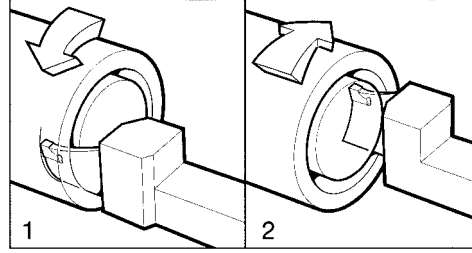
Takım Tipi (Takım tutucu)	Maksimum Kanal derinliği (mm)	Uç taşıma yüzeyi ölçüsü (mm)	Tavsiye edilen kesici uç
R/L F 151.23	15	20	N 151.2-200-20-4G
	20	25	N 151.2-300-25-4G
	25	40	N 151.2-400-30-4G

Düz kanal formu haricinde farklı profillere sahip kanallar için gerekli takımın seçim işleminde unsur bilgileri analiz edilerek, unsuru işleyebilmek için takım kütüphanesinden, işleme uygun takım tutucu ve kesici uç seçimi yapılır. Takım seçim işleminde, takım ucu mukavemeti için mümkün olduğunca en büyük uç açısına sahip takım ilk tercih olmalıdır. İşlem için uygun kesici takımın bulunamaması halinde, gerekirse kanalın işlenmesi için sağ ve sol takımlar kullanılabilir. Bu da mümkün değilse kanalın işlenmesi için düz kanal takımları kullanılır. Tablo 4.4 Geniş kanallar ve ilgili takım seçiminde kullanılabilecek kriterlere örnekler

Tablo 4.4 Geniş kanallar için takım seçim kuralları

No	Unsurun Şekli	Kontrol Kriteri (Unsur Ulaşılabilirlik)	Uç Tuturma Sistemi	Kesici Uç Şekli	Takım tutucu tipi	Kesici Boşluk açısı	Yerleştime/ kesici uç açısı
1		$0 < \alpha \leq 22.00$	M	T	J	N	93 / 60
		$22.01 < \alpha \leq 27.00$	P	D	J	N	93 / 55
		$27.01 < \alpha \leq 44.00$	M	V	J	N	93 / 35
		$44.01 < \alpha \leq 50.00$	S	V	J	B	93 / 35
2		$0 < \alpha \leq 22.00$	M	T	J	N	93 / 60
		$22.01 < \alpha \leq 27.00$	P	D	J	N	93 / 55
		$27.01 < \alpha \leq 44.00$	M	V	J	N	93 / 35
		$44.01 < \alpha \leq 50.00$	S	V	J	B	93 / 35
		$50.01 < \alpha \leq 55.00$	M	T	E	N	60 / 60
		$55.01 < \alpha \leq 60.00$	S	D	N	C	63 / 60
3		$60.01 < \alpha \leq 70.00$	S	V	V	B	72.5 / 35
		$0 < \alpha \leq 22.00$	M	T	J	N	93 / 60
		$22.01 < \alpha \leq 27.00$	P	D	J	N	93 / 55
		$27.01 < \alpha \leq 44.00$	M	V	J	N	93 / 35
3		$44.01 < \alpha \leq 50.00$	S	V	J	B	93 / 35

Alın yüzey kanallarının işlenmesinde iş parçasının dönme yönüne göre iki farklı takım tutucu kullanılmaktadır. Seçim kriteri, bu takımlar belirli çap aralıklarında kesme yapabildiklerinden kanalın büyük çapı, küçük çapı ve derinliklerinden ibarettir. Şekil 4.30'da iş parçasının iki farklı yönde dönmesi halinde alın kanal işlemlerine bir örnek verilmiştir. Tablo 4.5'de alın kanallarının işlenmesi için kullanılan takım tutucu ve kesici uçlara örnekler verilmiştir. Kanal kenarlarının kanal tabanına göre 90° 'den küçük açı yapması halinde kullanılan takımlar ve seçim kriterleri Tablo 4.6 'da verilmiştir.



Şekil 4.30 Alın kanalın işlenmesi için iki farklı takım tutucu

Tablo 4.5 Alın kanallarının işlenmesi için takım tutucu ve kesici uçlara örnekler

Takım tutucu	Kesici Uç
MBS 3-151.21-030A-20	N 1251.2-200-5E
MBS 3-151.21-035A-20	N 1251.2-200-5E
MBS 3-151.21-040A-25	N 1251.2-200-5E

Tablo 4.6 Alın yüzey kanal takımları ile ilgili örnekler

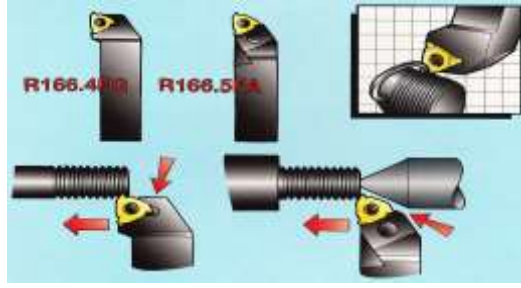
Unsurun Şekli	Kontrol Kriteri (Açı)	Sandvik Kod	Uç Tuturma Sistemi	Kesici Uç Şekli	Takım Tutucu Tipi	Kesici Boşluk Açısı	Yerleştirme /Uç Açısı
	$0 < \alpha \leq 21.99$	C3/C4	M	T	J	N	93 / 60
	$22.00 < \alpha \leq 26.99$	C3/C4	P	D	J	N	93 / 55
	$27.00 < \alpha \leq 43.99$	C3/C4	S	D	J	C	93 / 55
	$44.00 < \alpha \leq 49.99$	C3/C4	M	V	J	N	93 / 35
	$50.00 < \alpha \leq 59.99$	C3/C4	S	V	J	B	93 / 35
	$\alpha \geq 60$	C3/C4	S	V	V	B	72.5 / 35

4.6.1.3 Vida Takımlarının Seçimi

Vida açma takımları (Şekil 4.31) Vida açma işleminde kullanılacak takım seçimi için aşağıdaki sıra izlenmektedir.

1. Unsur bilgilerinden yararlanarak vida hatvesi belirlenir.
2. Takımın ilerleme yönü belirlenir ve takım tutucu boyutları belirlenir.
3. İşlemin iç veya dış vida açma işlemi olduğu belirlenir.
4. İşlem iç vida açma ise, vida açılacak delik çapı belirlenir.

Bu bilgiler belirlendikten sonra, işleme uygun olan takım, kataloglardan seçilmektedir.



Şekil 4.31 Vida açma işlemi

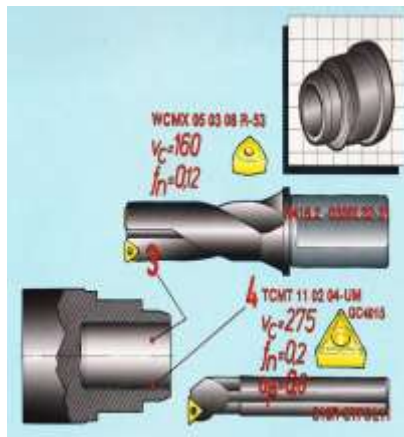
4.6.2 İç Yüzeydeki Operasyonlar için Takım Seçimi

İç yüzeylerin (unsurlar) işlenmesi için dış unsurlarda olduğu gibi, unsurlar iki genel sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar iç temel unsurlar ve iç ikincil unsurlardır. İç temel unsurlar; doğrular ve eğrilerden oluşan iç silindirik iç alın, iç konik, iç büküye, dış büküye gibi yüzeyler, ikincil yüzeyler de iç kanallar ve iç vidalardır. İç unsurların işlenmesi amacıyla gerekli takımların seçiminde dış unsurlar için takım seçimine göre daha fazla kısıtlama söz konusudur. Bu nedenle bu işlem çok daha özen gerektiren bir iş olup işlem, deliğin uzunluğu ve çapı ile sınırlıdır.

4.6.2.1 Delme Takımlarının Seçimi

İş parçası üzerinde delik varsa yapılacak ilk işlemlerden biri deliğin oluşturulmasıdır. Bu işlem için gerekli takım seçiminde iki tür takım kullanılmıştır. Birincisi; "Delta Matkap", ikincisi; "U Matkap" olarak adlandırılmıştır. Bu takımların seçimi için kullanılan çap ve uzunluk/çap oranı değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Delme işlemi için takım seçiminde, iç unsurlar üzerindeki en küçük çap değeri ve deliğin uzunluğu dikkate alınmalıdır.

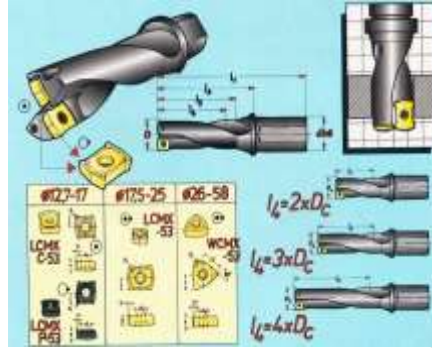
Tablo 4.7'de verilen delta matkaplardan "Coromant Delta" matkaplarda matkap çapı çok küçük aralıklarla değişmektedir, dolayısıyla arzu edilen boyuta uygun takım kolaylıkla seçilebilmektedir. Delme işlemi için U matkap takım grubundan seçim yapılması, halinde takım ile birlikte kesici uç seçiminin de yapılması gerekmektedir. U matkap takımının seçimi durumunda, bu takımlara merkezi ve çevresel uç olmak üzere iki uç takılmaktadır. Şekil 4.32 'da matkap seçiminde kullanılan kodlar ve seçilen matkap için boyutlar örnek olarak verilmiştir. Şekil 4.33'de düşük alaşımlı çeliğin çeşitli çaplarda delinmesi için kullanılabilecek takma uçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Delme takımı ve delik genişletme takımları

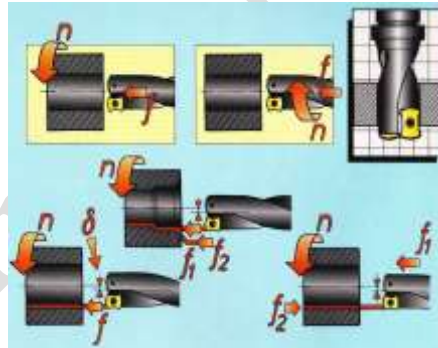
Tablo 4.7 Kullanılan matkaplar ve seçim kriterleri

Kontrol Kriteri	Delta Matkap							U Matkap
	Coromant Delta-S		Coromant Delta-C			Coromant Delta		
Delik çapı mm	2.5-12		2-12.7	5.8-12.7	5.8-12.7	9.5-30.4		12.7-41
Delik uzunluğu mm	2.5-3 D	6 D	2-3 D	2-3 D	4-5 D	3.5 D	5 D	3-4 D
Takım kalitesi	-	-	P 40	P 40	P 40	P 40	P 40	



Şekil 4.33 Düşük alaşımlı çelik için matkap merkezi ve çevresine takılabilecek kesici uçlar

CNC tezgahlarda kullanılan matkaplar sabit ve döner türde olabilir (Şekil 4.34). Bu takımlar, eksenden kaçırılarak delme işlemi haricinde delik genişletme işlemlerinde de kullanılabilir.



Şekil 4.34 Matkabın çeşitli operasyonlarda kullanılışı

4.6.2.2 Delik Genişletme Takımlarının Seçimi

Dış tornalama takımları için kaba boşaltma işlemlerinde, unsura erişebilirlik kadar mümkün olan en büyük uç mukavemeti dikkate alınmasına karşın delik işleme takımlarının seçiminde belirtilen kısıtlamalar nedeniyle unsura erişebilirlik ön planda tutulabilir. Delik işleme için seçilecek takımlar için seçim kriterlerine örnekler Tablo 4.8 'de verilmiştir.

Takım seçimi sırasında, unsurun çapı ve uzunluğu dikkate alınır. Bu işlem sırasında çap kısıtlamasına uygun takımın bulunması delik uzunluğu ile kesici uzunluğu karşılaştırılır. Uzunluk açısından da bir problem olmaz ise bu takım imalat işlemlerinde kullanılabilir. İşlenecek uzunluk kesici takım uzunluğundan büyük ise ve alternatif yok ise değiştirilebilir kesme başlıklar ile bu başlığın takıldığı uzun delik katerlerinden oluşan takım tutucu seçilir.

Değiştirilebilir kesme başlıklı takım sisteminin seçilebilmesi için minimum delik çapının 20 mm olması gerekmektedir. Şekil 4.35'de uzun delik işleme için kullanılabilecek bir delik kateri ve kesme başlığı görülmektedir. İç takım seçimi sırasında, takım uzunluğundan oluşabilecek titreşim eğiliminin önlenmesi için mümkün olan en büyük tutucu seçilmekte ve kesici uç yarıçapının küçük olması tercih edilmektedir. Ayrıca, yerleştirme açısı 90° 'ye yakın değerler alındığında titreşim eğilimi azalacaktır.

Tablo 4.8 Delik işleme takımlarının seçimi için kriterler

Delik Çapı	Uç Bağlama Sistemi	Kesici Uç Şekli	Tutucu Tipi	Kesici Boşluk Açısı	Yerleştirme/ Kesici Uç Açısı
13-15	S	D	U	C	93/55
15-16	S	D	U	C	93/55
16-18	S	C	L	C	95/80
18-20	S	D	U	C	93/55
20-25	P	C	L	N	95/80
25-32	P	C	L	N	95/80
32-40	P	C	L	N	95/80
≥ 40	P	C	L	N	0



Şekil 4.35 Uzun deliklerin işlenmesi için kullanılabilecek titreşimsiz delik kateri

4.6.2.3 İç Kanalların İşlenmesi için Takım Seçimi

İç unsurlar üzerinde bulunan kanalların işlenmesinde yine delik çapı, işlenecek kanal/faturanın parçanın dış ucuna olan uzaklığı ve unsura erişebilirlik takım seçimini etkileyen önemli faktörler olarak değerlendirilmelidir.

İç kanalların işlenmesi için diğer önemli bir kriter kanal kenarlarının dönme eksenine göre yaptığı açının büyüklüğüdür. İç kanalların işlenmesinde kullanılacak takımların seçimi için dikkate alınan kriterlere örnekler Tablo 4.9 verilmiştir.

Tablo 4.9 İç kanal ve faturaların işlenmesi için kullanılan takımlara Örnekler

Unsurun Şekli	Açı maks.	Min. delik çapı	Takım Tipi	Kesici Uç Şekli	Yerleştirme/ Kesici uç açısı
	24	32	PTFN	T	91 / 60
	27	32	PDUN	D	93 / 55
		20	L 571.05C	D	93 / 55
	30	13	SDUC	D	93 / 55
		20	L 571.05C	D	93 / 55
	35	22	SVQB	V	107.5 / 35
	50	50	MVUN	V	93 / 55
	30	22	SDUC L 571.05C-X*	D	93 / 55
		27			
		33			
		40			

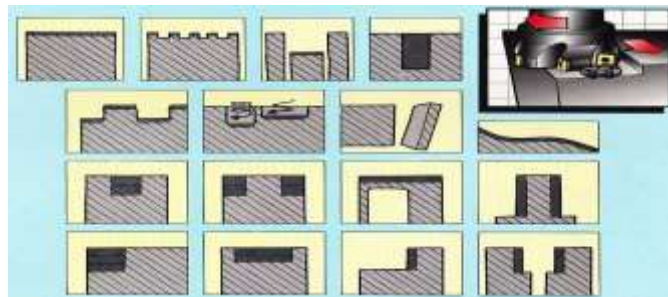
*Özellikle uzun deliklerin işlenmesi için

4.7 Frezeleme İşlemleri için Kesici Takım Secimi

Frezeleme işlemleri freze tezgahları ile gerçekleştirilir (Şekil 4.36). Bir çok talaş kaldırma işlemi, geniş kullanım alanına sahip, hassas frezeleme takımları ile elde edilebilir. Frezeleme ile gerçekleştirilebilecek operasyonlara örnekler Şekil 4.37'de verilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştirebilecek çeşitli takımlar ve ilerleme yönleri Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.36 Frezeleme işlemi için kesici takımlar

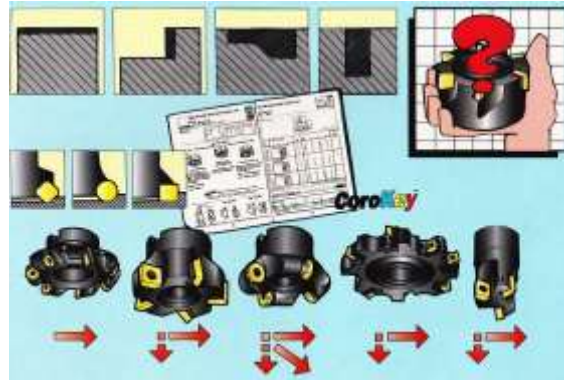


Şekil 4.37 Çeşitli frezeleme yüzeyleri

Frezeleme takımlarının seçiminde dikkate alınması gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir.

- ⇒ Operasyonun tipi
- ⇒ İş parçası malzemesi, sertliği, üretim koşulu

- ⇒ İşleme koşulları
- ⇒ Takım tezgahı tipi, gücü,
- ⇒ Yerleştirme açısı
- ⇒ Çapı
- ⇒ Adımı
- ⇒ Uç geometrisi
- ⇒ Stabilite
- ⇒ İş parçasının bağlanma şekli
- ⇒ Soğutma sıvısı
- ⇒ Kesme verileri
- ⇒ Takım ömrü
- ⇒ Kesme tipi (sürekli ya da aralıklı)



Şekil 4.38 Frezeleme işlemlerinde kullanılacak kesici takımlara örnekler

4.7.1 Yüzey Frezeleme için Kesici Takımlar

Yüzey frezeleme için 45° ve 75° yerleştirme açılı kesici takımlar kullanılabilir. En uygun kesici takıma karar verilmesi için yukarıda belirtilen hususların tek tek incelenmesi ve önceliklerin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla kullanılacak kesici takımlara ait farklı kombinasyonlar Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39 Yüzey frezeleme için kullanılacak kesici takım kombinasyonları

Şekil 4.40 'da görülen kesici takımlardan seyrek adımlı olarak tanımlanan, denge ve güç sınırlı ise kullanılır. Genellikle küçük tezgahlarda kullanıma uygundur. Kesici uç sayısı azaltılmıştır. Dengeli koşullarda çok yakın adımlı olarak verilen kesici takım kullanılabilir. Bu takımda kullanılan kesici uç sayısı fazla olup, kısa talaş çıkaran ve ısıl dirençli malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Bu takımlar için sipariş kodları ve takımlar üzerindeki boyutlar, kullanılan kesici uç ölçüleri Şekil 4.38 'de verilmiştir.



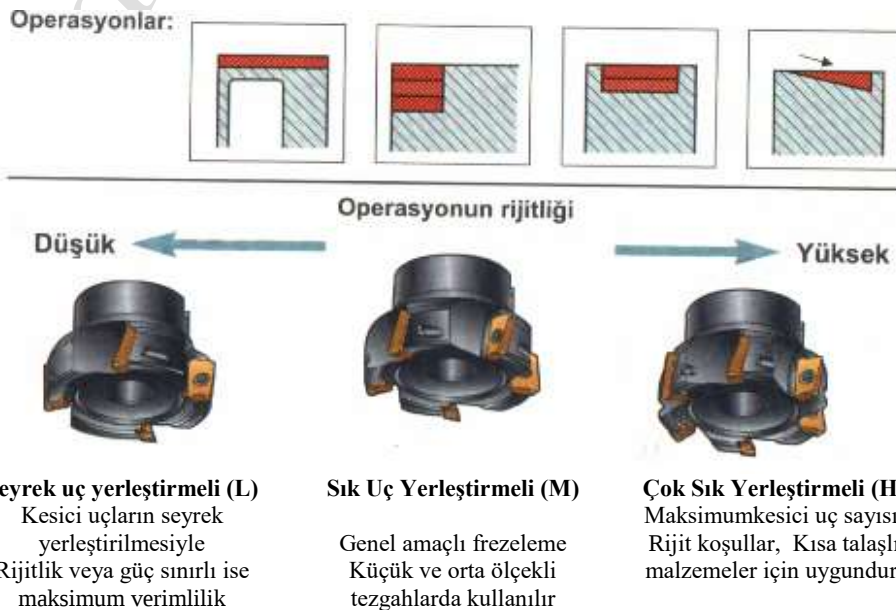
D_0 mm	SİPARİŞ KODU	D_0	L_0	A_0	Mata $A_0 = 8$ mm	KESİCİ UÇ
50	Seyrek uç yerleştirilmeli RD45-080Q23-12L	3	62,5	40	20	14070
63	-080Q23-12L	4	75,5	40	20	14430
80	-080Q27-12L	4	82,5	50	27	12730
100	-100Q23-12L	5	112,5	50	30	11300
125	-125Q40-12L	8	137,5	60	40	10100
160	-160Q45-12L	7	172,5	60	40	8800
50	İLK TERCİH Sık uç yerleştirilmeli freze RD45-080Q23-12M	4	62,5	40	20	14070
63	-080Q23-12M	5	75,5	40	20	14430
80	-080Q27-12M	6	82,5	50	27	12730
100	-100Q23-12M	7	112,5	50	30	11300
125	-125Q40-12M	8	137,5	60	40	10100
160	-160Q45-12M	10	172,5	60	40	8800
50	Çok sık uç yerleştirilmeli freze RD45-080Q23-12H	5	62,5	40	20	14070
63	-080Q23-12H	6	75,5	40	20	14430
80	-080Q27-12H	8	82,5	50	27	12730
100	-100Q23-12H	10	112,5	50	30	11300
125	-125Q40-12H	12	137,5	60	40	10100
160	-160Q45-12H	16	172,5	60	40	8800

Sipariş örneği: 2 adet RD45-080Q23-12L

Şekil 4.40 Yüzey frezeleme takımları için sipariş kodları ve boyutları

4.7.2 Dik Kenarlı Yüzey İşleme

Dik kenarlı yüzey işleme işlemleri için kullanılması gereken yerleştirme açısı 90° 'dir. Şekil 4.41'de dik kenarlı yüzey frezeleme işlemleri ve bu amaç için kullanılabilecek kesici takım kombinasyonları verilmiştir. Dar adımlı, azaltılmış kesici uca sahip takım gücün kısıtlı olduğu küçük tezgahlarda kullanılır. Güç kısıtlamasının fazla olmadığı tezgahlarda, kısa talaşlı ve ısıl dirençli malzemelerin işlenmesinde çok dar adımlı kesici takım kullanılır.

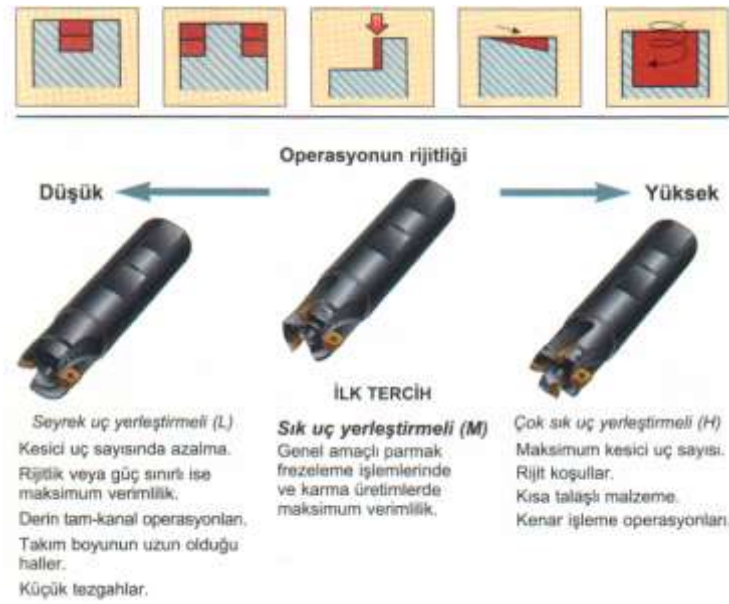


sağlanır.
Takım uzunluğunun fazla
olması halinde, küçük
tezgahlarda ve düşük kesme
kuvvetlerinde uygundur

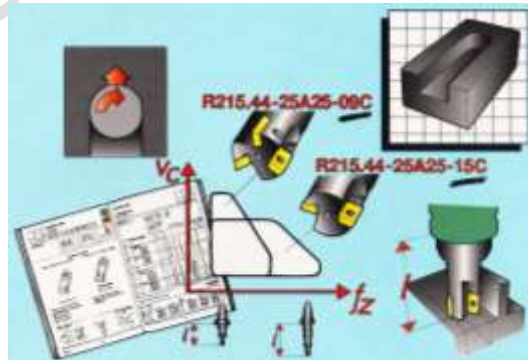
Şekil 4.41 Dik kenarlı yüzey frezeleme ve uygun kesici takımlara örnek

4.7.3 Parmak Frezeleme

Dar alanların, ve talaş miktarının küçük olduğu iş parçalarının frezelenmesi işlemlerinde kullanılırlar. Şekil 4.42'de takma uçlu parmak frezeleme takımlarına örnekler verilmiştir.



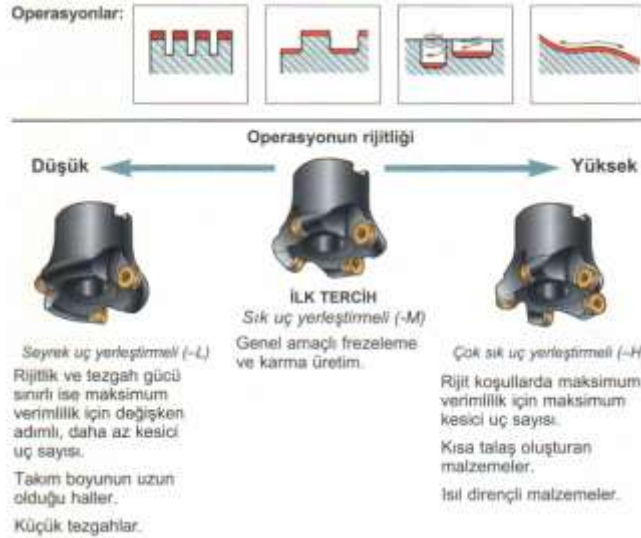
Şekil 4.42-a Parmak frezeleme işlemleri için kesici takım örnekleri



Şekil 4.42-b Frezeleme işlemlerinde kesme parametreleri ilgili kataloglardan alınır.

4.7.4 Değişken Yüzeyli Parçaların İşlenmesi için Freze Takımları

Şekil 4.43'de eğrisel ve değişik yüzeylerin işlenmesi için kullanılabilecek takımlara örnekler verilmiştir. Eğrisel yüzeylerin elde edilebilmesi için kesici uçların dairesel uçlu olması işlemi kolaylaştıracaktır.

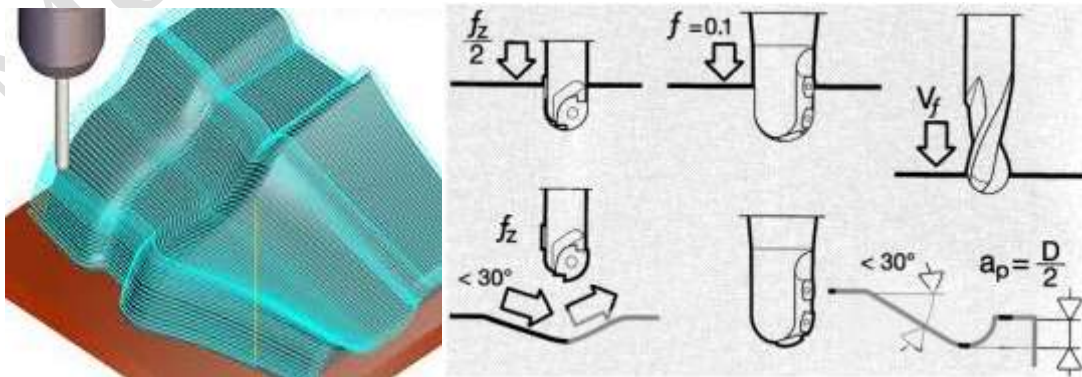


Şekil 4.43 Çok amaçlı frezeleme takımları

4.7.4.1 Konturlar için Freze Takımları

İş parçası üzerindeki çeşitli konturlar kopya freze ve CNC tezgahlarda işlenir. Profil işleyebilme yeteneği bir takım için önemli bir özelliktir. Kanal ve cep işleyen takımların bazı konturları işleyebilmelerine karşın, 3 boyutlu profiller küresel uçlu parmak frezeler veya yuvarlak kesici kenarlı parmak frezelerle oluşturulur.

İçbükey ve dışbükey yüzeyler boyunca sürekli bir talaş kaldırma işlemi için freze tabanındaki kesici kenar, genel amaçlı bir işleme kapasitesine sahip olan, yuvarlak bir kesici kenar olmalıdır. (Şekil 4.44). Bu kenar, lehimli karbür bir kesici kenar olabileceği gibi değiştirilebilir bir uca ait bir kenar da olabilir. Değiştirilebilir bir kesici uç kaba ve yarı ince işlem için uygun iken lehimli tip ince işlemlerde hassas bir yüzey elde edilmesini sağlar



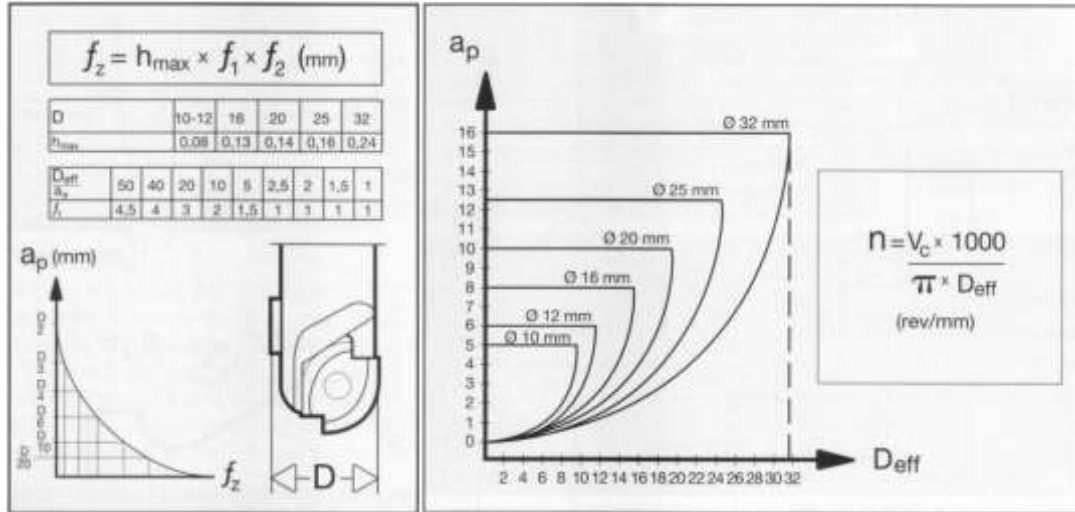
Şekil 4.44 Örnek parça ve yuvarlak kesici uç frezelerin hareket sınırları

Küresel değiştirilebilir uç kavramı, düzenli bir kesme hareketi sağlamak amacıyla hassas olarak yerleştirilmiş birçok kesici uçtan oluşan bir kesici kenara sahip, büyük boyutlardaki frezeleri de içerecek şekilde genişletilmiştir. Küresel uçlu parmak frezenin merkezi delme işlemi için etkili bir geometriye sahiptir. Ancak merkez noktada yuvarlaklıktan bir sapma olabileceği ve ince işlemlerde dikkate alınması gereken bazı profil uyumsuzluklarının bulunabileceği unutulmamalıdır. Verimlilik ve güvenilirlik modern küresel uçlu parmak frezelerin sağladığı önemli yararlarıdır. Şekil 4.45'te parmak frezelerin ana boyutları gösterilmiştir.

Küresel uçlu parmak frezelerde kesici uç başına ilerlemenin hesaplanması işlemi, frezenin farklı işleme yönlerinde başarı ile kullanılmasının sağlanması amacıyla, radyal ve eksenel talaş derinlikleri için belirli düzeltme faktörleri kullanılarak yapılmalıdır. Etketif takım çapı devir sayılarının hesabında da kullanılmalıdır. (Şekil 4.46).

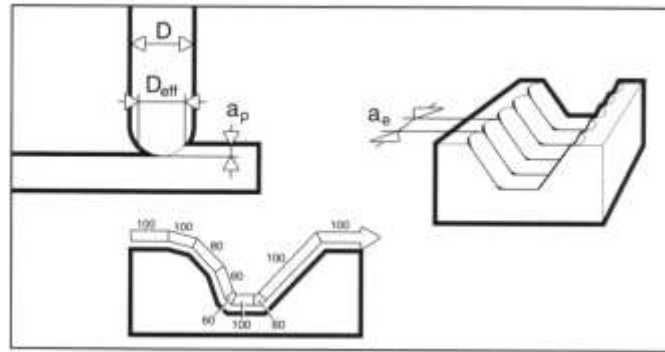


Şekil 4.45 Küresel uçlu parmak frezelerde ana boyutlar



Şekil 4.46 Küresel uçlu parmak frezelerde ilerlemenin hesaplanması

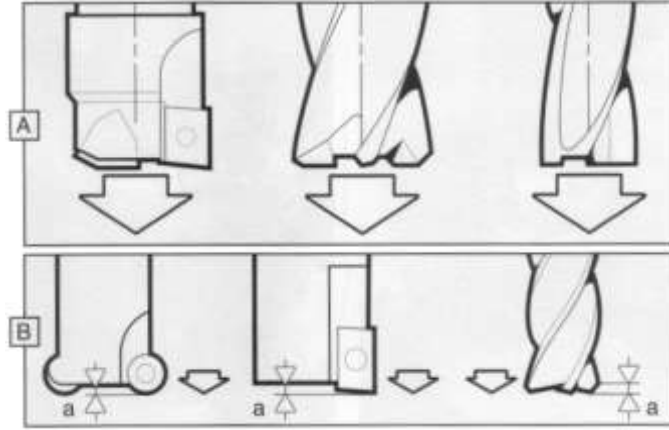
Rampa çıkma yeteneği iyidir ve içe veya dışa 30° ‘den büyük bir açıda rampayla karşılaşılana dek mevcut değerlerden farklı ilerleme değerleri kullanmaya gerek yoktur (Şekil 4.47). Delme işlemi ilerleme değeri genel frezeleme işlemindeki değerin yarısı olacak şekilde yapılmalıdır.



Şekil 4.47 Kontur frezeleme işleminde ilerleme hızının ayarlanması

4.7.4.2 Cep Frezeleme için Kesici Takımlar

Cep frezeleme işlemi takımın belirli bir derinliğe kadar delip daha sonra frezelemesini gerektirir. Bu işlemi gerçekleştirecek freze cebin tüm derinliği boyunca aksel olarak ilerleme yeteneğine sahip olmak zorundadır (ileriye doğru tek bir kesme işlemi veya birkaç pasoda dalma veya rampa işlemi). Parmak frezenin (A) tipi takımlarda olduğu gibi alt yüzeyinde merkeze dek uzanan bir kesici kenarı olmalıdır – bu sayede bu takımlar delik delebilme özelliğine sahip olacaklardır. Alternatif olarak parmak freze, hatta bazı durumlarda alın freze, (B) tipi takımlarda olduğu gibi aksel ilerleme kapasitesi alt yüzeydeki kesici kenar ile takım gövdesi arasındaki aksel boşluktan fazla olmamak kaydıyla delik delebilir veya eğimli yüzey işleyebilir (Şekil 4.48).



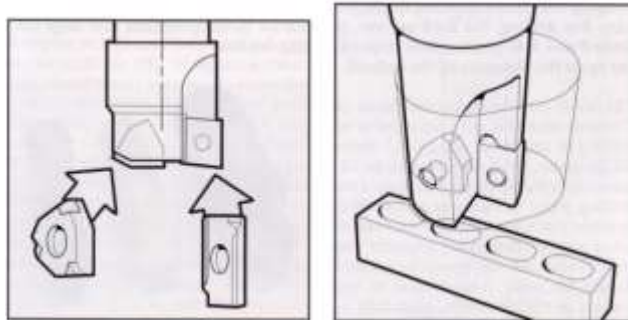
Şekil 4.48 Çeşitli frezelerde aksel ilerleme kapasitesi

Delme kabiliyeti sadece modern değiştirilebilir uçlu parmak frezelerin sahip olduğu bir özellik değildir. Günümüzde kama kanalları ve cepler için yüksek hız çeliği ve sinterlenmiş karbür parmak frezeler de kullanılmaktadır. Ancak, modern frezeler ile işlemler çok daha kısa bir sürede tamamlanır.

Bir parmak frezenin sürekli delik delebilmek kabiliyetinin olup olmadığı alt yüzeyinin tasarımına bakılarak anlaşılabilir. Delik delebilen bir parmak freze alt yüzeyi boyunca uzanan bir veya birçok kesici kenara sahiptir.

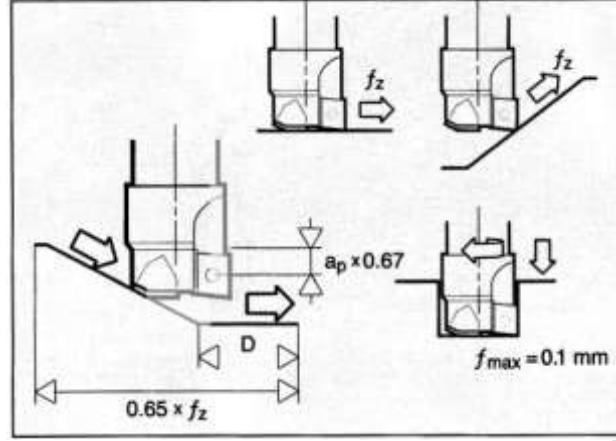
Sınırlı delme yeteneğine sahip, ancak çeşitli seviyelerdeki dalma ve eğimli yüzey işleme yapabilen takımlar merkeze doğru uzanan bir kesici kenara ve freze alt yüzeyine göre belirli bir boşluğa sahiptirler. Bu durumda aksel ilerleme ve eğimli yüzey işleme kapasitesi kesici kenar – freze alt yüzeyi arasındaki mesafeye (a) ve aksel kesici kenarın uzunluğuna bağlı olarak sınırlıdır. (Şekil 4.48).

Değiştirilebilir kesici uçlarla donatılmış, delme yapabilen modern bir parmak freze, iki klasik takımın (bir matkap ve kanal açan bir parmak freze) işini yapabilme avantajına da sahiptir (Şekil 4.49). Bu freze, özellikle işleme merkezlerinde yararlı olabilecek bir özelliğe, tüm ilerleme yönlerinde işleme özelliğine sahiptir. Takım kanal ve fatura açma işlemlerine ek olarak belirli işlemleri de gerçekleştirilebilir: havşa başı açma, eğimli cepler ve çeşitli kopya frezeleme işlemleri gibi. Delme işlemleri için soğutma sıvısı kullanılmalıdır; talaşın kesme bölgesinden nakli çok önemlidir.



Şekil 4.49 Delme yapabilen, modern bir parmak frezede uç kombinasyonu

İlerleme hızındaki ayarlamalar ilerleme yönlerine bağlı olarak yapılmalıdır. Düz radyal ve karşıt yönlü frezeleme için kullanılan mevcut ilerleme değerleri her pasoda sınırlı talaş derinliğinin söz konusu olduğu rampa inme işlemi için azaltılmalıdır (Şekil 4.50). Delme için devir başına ilerleme sınırlıdır ve bir yerde parmak frezenin çapına bağlıdır.



Şekil 4.50 İlerleme hızının ayarlanması

Yekpare karbür parmak frezeler çapın 0,7 katına kadar olan derinlikleri delebilmek kapasitesine sahiptirler. Sonrasında bir kanal açma işleminin, dolayısıyla radyal ilerlemenin söz konusu olduğu bir delme işlemi için ilerleme hızları oldukça düşük değerlere ayarlanmalıdır. Talaş naklinin sağlanması da son derece önemlidir, bu amaçla basınçlı hava veya basınçlı soğutma sıvısı kullanılmalıdır.

Yuvarlak uçlu parmak ve alın frezeler takımın yüksek mukavemete ve freze gövdesine göre 270°'ye varan bir boşluğa sahip olması demektir (Şekil 4.51). Bu boşluk takımın çeşitli delme/frezeleme işlemlerinde kullanılabilmesine olanak sağlar. Yüksek talaş debisi ve kesici kenarın yüksek mukavemeti bu takımı zor işlemler için uygun takım haline getirir.

Yüksek ilerleme hızlarında eğimli yüzey işleme ve iş parçasının en uzak noktasına erişebilme kabiliyeti yuvarlak uçlu frezelerin karmaşık şekiller için uygun takım olma nedenleridir. Örneğin bu takımlar beş eksenli tezgahlarda profil frezeleme ve üç eksenli tezgahlarda kaba talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilirler. Alın frezeleme ve ceplerde düz hat boyunca frezeleme kesici uç çapının yarısı kadar bir talaş derinliğinde gerçekleştirilebilir. Eğimli yüzey (rampa) açısı kullanılan frezenin çapına bağlıdır: 16 mm 'lik bir freze 3 derece eğim yapabilir. Boşluk miktarı da freze çapına bağlıdır.

4.7.4.3 Pah Frezeleme için Kesici Takımlar

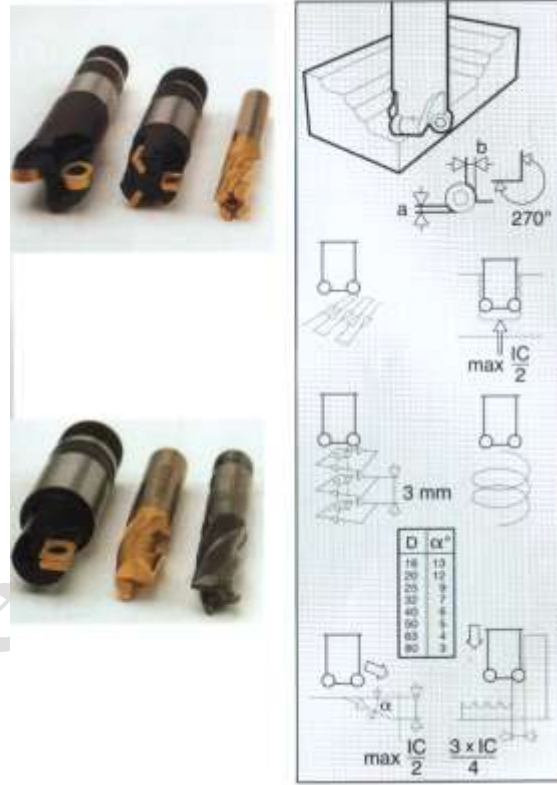
Pah kırma, V kanallarının ve dip köşe kanallarının açılması, iş parçası kenarları boyunca çapak alma işlemleri sıkça yapılan işlemlerdir. Bu işlemler tezgahın tipine ve ayarlarına bağlı olarak çeşitli yollarla gerçekleştirilebilirler. İşlemlerde ana mil konfigürasyonuna bağlı olarak küçük bir alın freze veya uzun kenarlı bir freze kullanılabilir. Ancak ana mil eğiminin pah açısına uyması da gerekir. (Şekil 4.52). Yüksek hız çeliğinden imal edilmiş açılı frezeler açılı pahlar oluşturmak, form frezeler ise V-kanal açmak için sıkça kullanılan takımlar olmuşlardır.

Günümüzde işleme merkezleri ve freze tezgahları iki yüzey arasında belirli bir açıyla işleyebilecek tezgahlar olmak zorundadırlar. Kenarın keskinliğini giderme, kaynağa hazırlık,

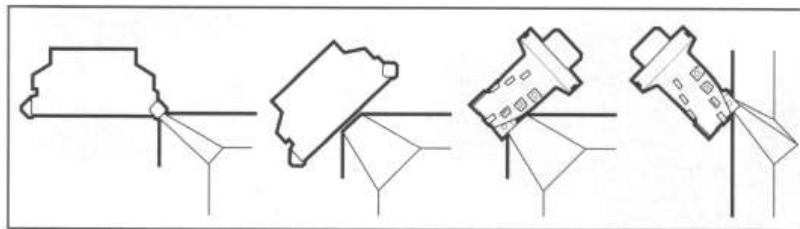
boşluklar ve benzeri işlemler standart değiştirilebilir kesici uçlu frezelerle, yüksek hızlarda gerçekleştirilebilir. Yuvarlak profillerin, yuva içlerinin ve özellikle ters pahların tek düzenlemede işlenebilmesi için erişebilirliğin ve rijitliğin de sağlanması şarttır.

Pah kırma işlemlerinde kullanılan küçük çaplı, küçük bir yanaşma açısına sahip, saplı alın freze sınırlı alın frezeleme işlemleri de gerçekleştirilebilen bir takımdır (Şekil 4.53).

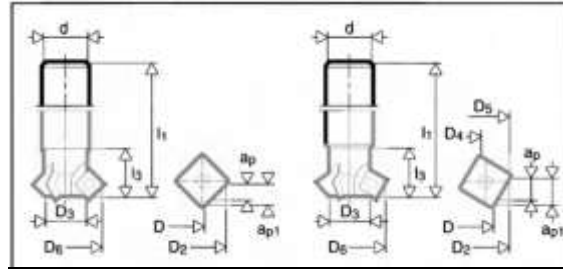
Değiştirilebilir uçlu pah parmak frezesi 45° 'lik bir yanaşma açısıyla açık kenarları, delikleri ve arka tarafta kalan kenarları işler. 60° 'lik bir yanaşma açısıyla kaynak hazırlıklarını yapar veya 60° ve 30° 'lik açıları işler. Uzun saplar çeşitli seviyelerde erişebilirlik ve **rijitlik sağlar**. **Pah** kırma, kaynak hazırlıkları, çapak alma ve yüzeylerin ince işlenmesi gibi küçük boyutlu işlemler kesici kenarları boyunca talaş kırma özelliğine sahip, sinterlenmiş karbür, döner çapak alma takımları tarafından gerçekleştirilir. Bu takımlar küçük frezeler olarak kullanıldıklarında oldukça etkilidirler. Birçoğu robotlarla yapılan çeşitli uygulamalara uyan geniş bir şekil ve boyut aralığına sahiptir. Spiral takım üzerindeki helisel dişler kesme işlemine yeterli sayıdaki dişin katılımını, rijitlik ve uzun takım ömrü sağlar. (Şekil 4.54).



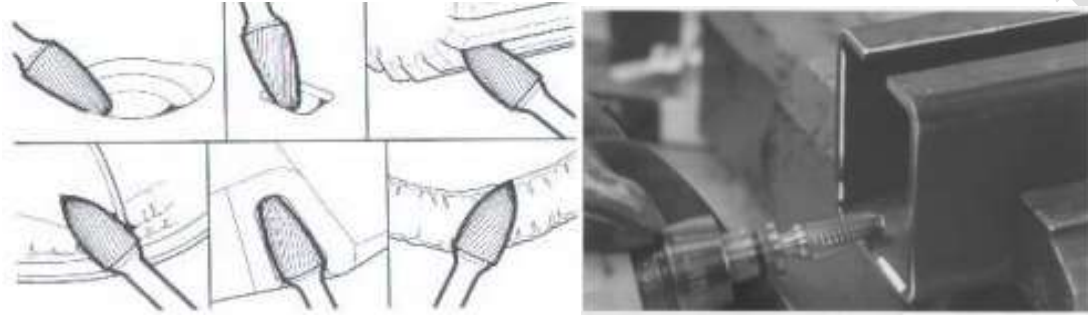
Şekil 4.51 Çeşitli tip parmak frezelerin ana boyutları



Şekil 4.52 Alın freze ve uzun kenarlı freze ile pah frezeleme

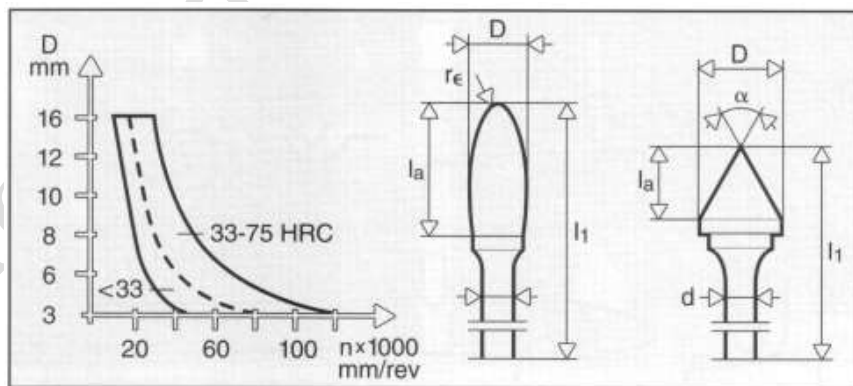


Şekil 4.53 Değiştirilebilir uçlu pah kırma frezesi



Şekil 4.54 Döner çapak alma takımları ile işleme

Küçük çaplı takımlar ana mil hızının yüksek olması demektir, dolayısıyla bu takımların bakımlarının düzenli olarak yapılması zorunludur. En çok kullanılan döner çapak alma takım tipleri, kesici takım olarak prensipte parmak frezelere benzerler. Ancak parmak frezelerden daha yüksek kesme hızlarıyla kullanılabilirler. Kesme hızları çelik için iki kat ve pirinç gibi alaşımlar için beş kat daha yüksektir. Ana mil hızı iş parçası malzemesinin işlenebilirliği ile olduğu kadar çapak alma takımının çapı ile de belirlenir. Sinterlenmiş karbür çapak alma takımları normalde 15000 dev/dk' nın oldukça üstünde çalıştırılmalıdır. (Şekil 4.55).

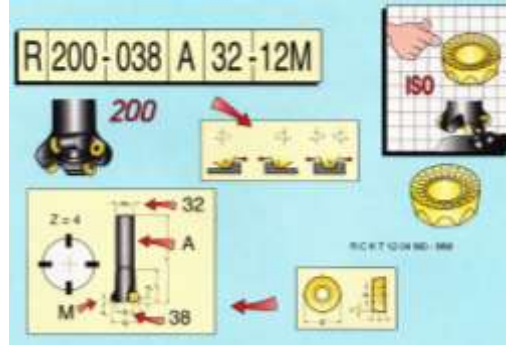


Şekil 4.55 Çapak alma takımlarının ana boyutları

4.7.5 Frezeleme Takımların Seçiminde Kullanılan Kodlar

Frezelemede kullanılan kodlar aşağıdaki örnek şekillerle özet olarak açıklanmıştır. Frezeleme işlemi için seçilen takım: "R200-038A-12M" olsun, bu kodun açıklanışı Şekil 4.56 'de verilmiştir.

Bu takım ile kullanılabilecek kesici uç: **RCKT 12 04 M0 -WM** olup, bu kodlar aşağıdaki şekil üzerinde gösterilmiştir. (WM, imalatçı opsiyonu olup, parça malzemesine bağlı olarak talaş kırma alanlarını ifade eder.)



Şekil 4.56 R200-038A-12M kodlu kesici takımının açıklanışı

R: Freze kesicisinin dönüş yönünü ifade eder (R:sağ, L:sol, N:her iki yöne), 200: Freze kesicisi tipi, 38: Kesici uç merkezleri arasındaki mesafe(Dc), A: Kesici takımın sap kısmının çapını temsil eder (32 mm), 12M: Kesici ucun çapını ifade eder.



Şekil 4.57 RCKT 12 04 M0-WM kesici ucun açıklanışı

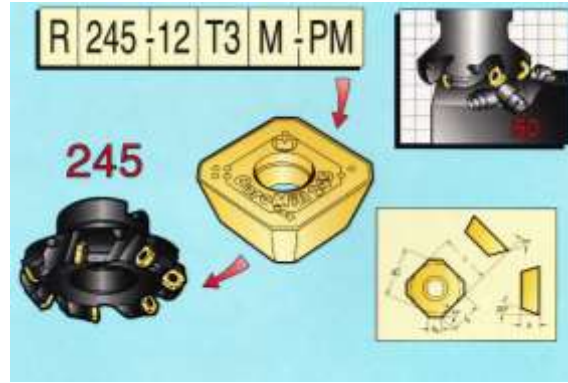
Dik kenarlı yüzey frezeleme için seçilen takım "**R290.90-12 T3 20M-WM**" için kodların açıklanışı Şekil 4.58 'de verilmiştir.



Şekil 4.58 R290.90-12 T3 20M-WM sipariş kodlu kesicinin açıklanışı

290: Dik kenarlı frezeleme için takım ve kesici uç kodu, 12: Kenarı 12 mm uzunluğunda karesel uç, T3: Kesici ucun kalınlığını ifade eder (T3 için S=3.97 mm), 20: Kesici ucun köşe radyüsünü ifade eder (r = 2 mm), M: ISO 'ya göre kesici geometrisini gösterir. WM: İmalatçı opsiyonudur. (WM: Orta işleme için , WH: Kaba işleme için, WL: İnce işleme için)

Alın frezeleme işlemleri için kullanılabilecek kesici takım, "R245-12-T3 M-PM" olarak belirlendiğinde kullanılan kodlar Şekil 4.59'da açıklanmıştır.



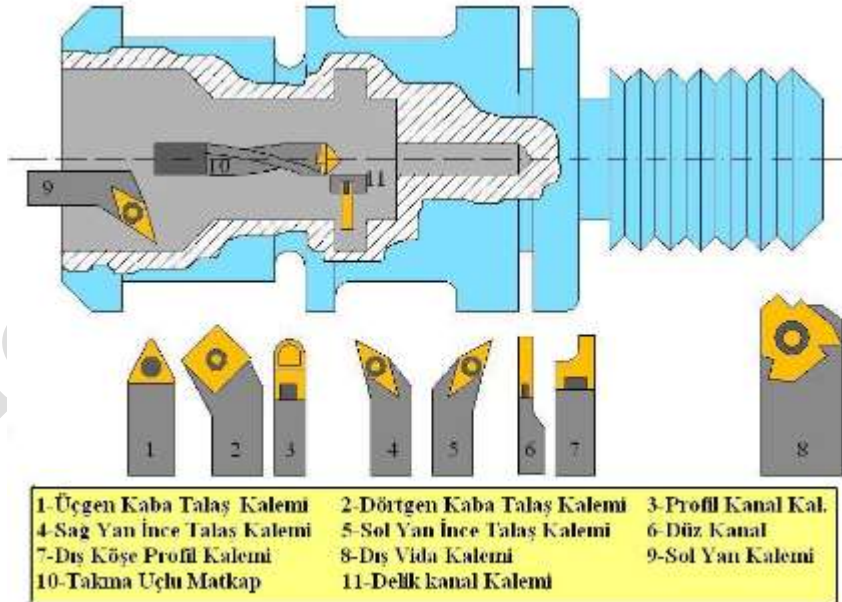
Şekil 4.59 R245-12-T3 M-PM sipariş kodlu kesici takımın açıklanışı

R245: Kesici dönme yönü ve tipi, 12: Kenarı 12 mm uzunluğunda karesel uç, T3: Kesici ucun kalınlığını ifade eder (T3 için S=3.97 mm), 20: Kesici ucun köşe radyosunu ifade eder (r = 2 mm), M: ISO ya göre kesici geometrisini gösterir, PM: Genel amaçlı kesici uç geometrisi tipi,

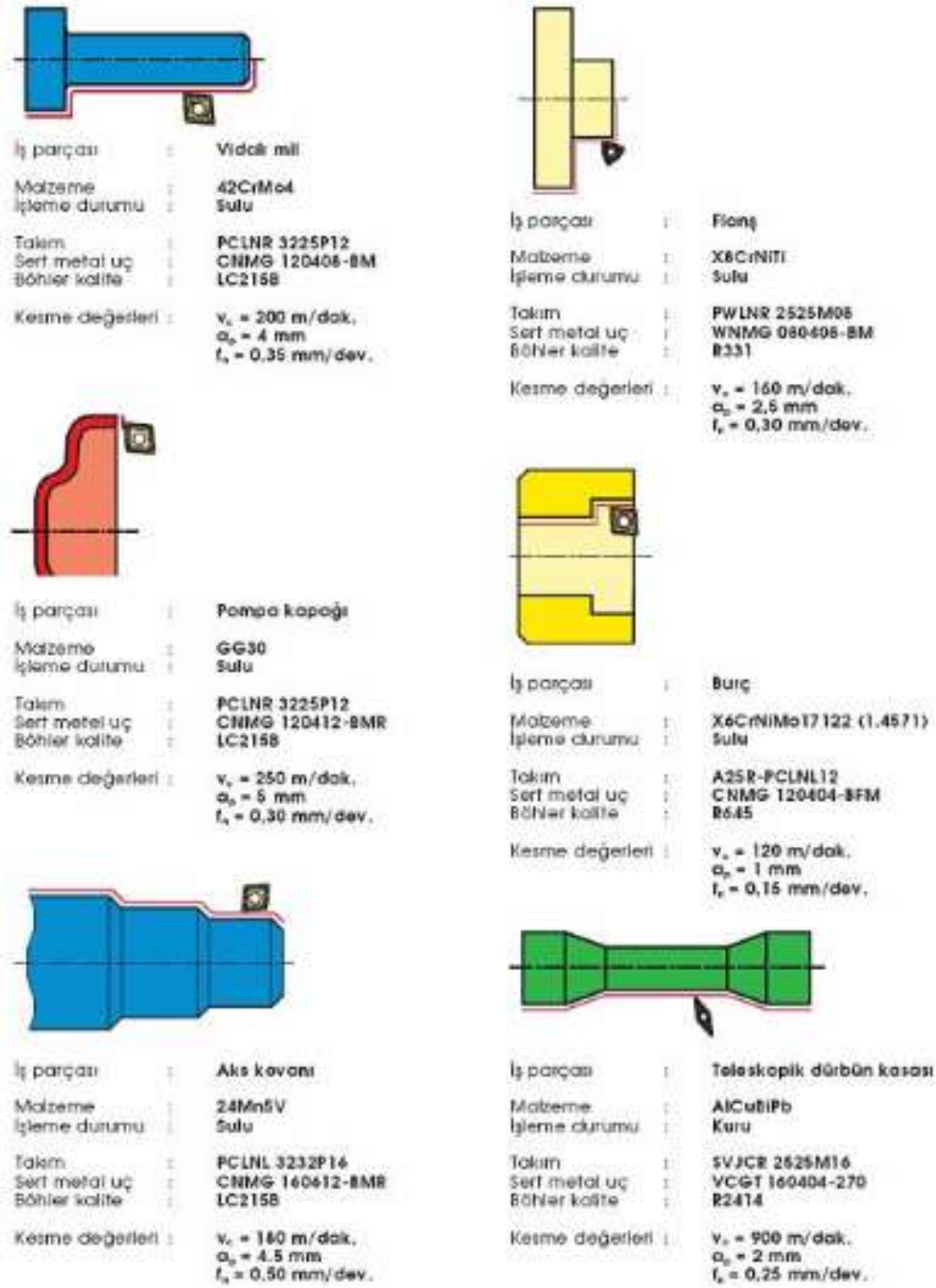
Şekil 4.60 'da bir iş parçasının işlenmesi için kullanılabilecek kesici takımlar görülmektedir.

Şekil 4.61 'de ise kesici takım seçimine ait örnekler verilmiştir.

Bu bölümde kesici takımlar ile ilgili özet bilgi verilmeye çalışılmıştır. Konu çok geniş kapsamlı olup, ders müfredatı içinde daha fazla ayrıntıya girilmeyecektir. Konu anlatımları sırasında yeri geldiğinde dersin akışına göre farklı örnekler verilecektir.



Şekil 4.6 Takma uçlarla donatılmış bir freze



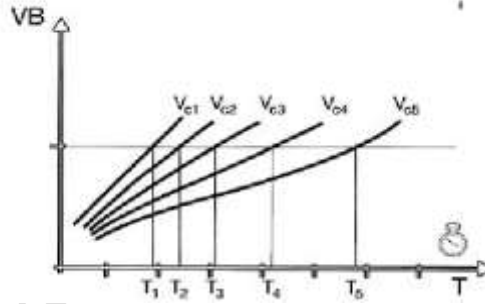
Şekil 4.61 Torna tezgahında derin delik delme işlemi

4.8 Takım Ömrü Ve Takım Aşınması

4.8.1 Takım Ömrü

Talaş kaldırma işlemini ekonomik kılan koşulların belirlenmesi arzu edildiğinde dikkate alınması gereken en önemli faktör kesici takımın ömrüdür. Takım ömrü, kesici kenarın iş parçasını, iş parçasına ait yüzey pürüzlülüğü, boyut hassasiyeti ve talaş kontrolü gibi sınırlayıcı parametrelerin belirlenen sınırlar içerisinde kalması koşuluyla, işlemesi için gerekli olan zaman olarak tanımlanabilir. Genellikle takımın ömrü ucun veya kenarın aşınması ve/veya kırılması ile sona erer. Talaşlı imalat alanında en önemli hususlardan biri en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Tamamıyla takım-iş parçası malzemesi çifti, kesme koşulları, takım tezgahı, kesici takım bağımlı olan bu işlem son derece zordur. Son yıllarda kesici takım teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda kaplamalı kesici takımlar talaşlı imalat işlemlerine gerek takım ömrü, gerekse işleme zamanı açısından önemli katkılarda bulunmuşlardır.

Talaş kaldırma işlemleri takım, iş parçası, kesme sıvısı veya bir başka ara katkı maddesinin yanı sıra hız, kuvvet ve sıcaklık gibi parametrelerden etkilenen işlemlerdir. Takım ile iş parçasındaki izafi hareket ve kesme kuvveti talaş oluşumu için gereklidir. Hareket ve kuvvet etkisine bağlı olarak oluşan sürtünme, ısı artışına neden olmaktadır. Talaş kaldırma esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder. Şekil 4.63’de belirli bir takım aşınması (VB) için kesici takım ömründeki değişim görülmektedir.



Şekil 4.63 Takım aşınmasının kesme hızı ve zamana bağlı değişimi

Kesici takım ömrü kriterleri takım aşınmasına göre belirlenir. Talaş kaldırma esnasında doğru kesici takımın seçilmesi maksimum verimliliğin sağlaması açısından şarttır. İşlemin başarısı için kesici takımın ve kesme parametrelerin doğru seçimi tek başına yeterli değildir. İş parçası bağlama elemanlarının rijit olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü, belirlenen süreden önce tamamlanmasına neden olacaktır.

4.8.1.1 Taylor Takım Ömrü Denklemi

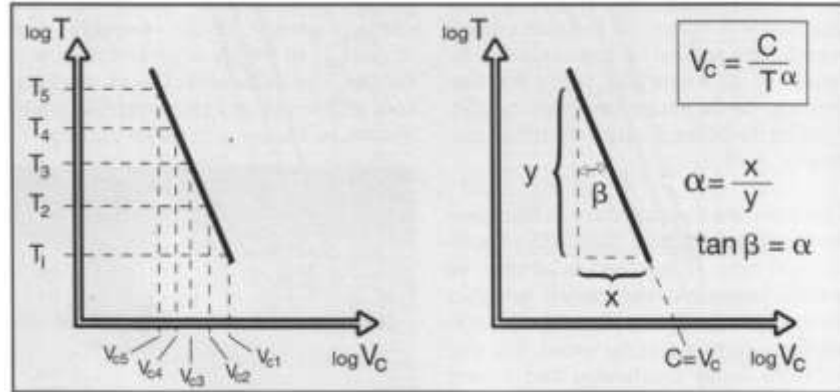
Talaş kaldırma ile ilgili ilk çalışmalar Taylor tarafından yapılmıştır. 1907 yılında F. W. Taylor tarafından ortaya konulan ve takım ömrünü (T); kesme hızı (V) ve ilerlemenin (f) bir fonksiyonu olarak ifade eden model, ilk defa aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$T = \frac{\text{sabit}}{V^x \cdot f^y}$$

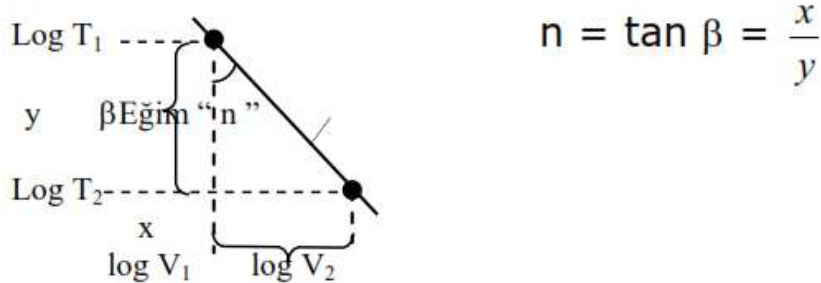
Daha sonraki yıllarda bu eşitlik daha yaygın olarak bilinen aşağıdaki formunu almıştır.

$$V \cdot T^n = C$$

Bu eşitlikte; (n) öncelikle takım malzemesine bağlıdır. Bu üs değeri, iş parçası malzemesinden, kesme şartlarından ve ortamdan da etkilenmektedir. C ise logV-logT diyagramında 1 dakikalık takım ömrüne karşılık gelen kesme hızı değeridir. n ise doğrunun eğimidir (Şekil 4.64 ve 4.65)



Şekil 4.64 Ömür- Kesme hızı ilişkisinin diyagramı b) Eğim ve n üssü ile C katsayısı



Şekil 4.65 takım ömrü üs değeri

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^n$$

Öncelikle takım malzemesine bağlı “n” değeri için, en çok aşağıda verilen değerler kullanılmaktadır.

- ✓ Yüksek Hız Çelikleri (HSS) için n=0.14~0.16
- ✓ Kaplanmış karbür uçlar (C) için n=0.21~0.25

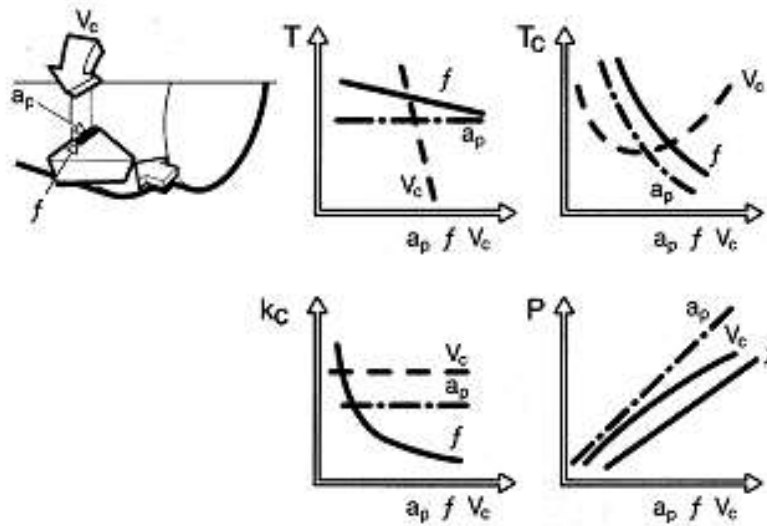
- ✓ TiC (titanyum karbür-karbür) kaplı uçlar (GC) için $n=0.3$
- ✓ TiN (titanyum nitrit) kaplı uçlar (GC) için $n=0.35$
- ✓ Sentetik çok kristalli elmas uçlar (PCD) için $n=0.33$
- ✓ Seramik-kaplanmış uçlar (CC) için $n=0.4$

Taylor bağıntısı daha sonra kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak yapılan çalışmalar ile aşağıdaki şekilde genişletilmiştir.

$$T = \frac{C_s}{v^k f^m a^p}$$

Burada $k>m>p$ takım malzemesine bağlı sabitlerdir.

Takım ömrünü en fazla sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği etkilemektedir (Şekil 4.66). Bu nedenle belirli bir takım ömrü için kaldırılan talaş hacminin artırılması için önce paso kalınlığının, sonra ilerlemenin ve en son kesme hızının artırılması uygun olacaktır.



Şekil 4.66 Kesme parametrelerinin takım ömrü- k_c ve kesme gücü değerine etkileri

Takım ömrü birçok etkene bağlı olarak belirlenir. Talaş kaldırma işleminde kesici takım ısı ve mekanik yüklenmeler altında aşınır ve kesme özelliğini kaybeder. Kesme özelliğini kaybettiğinin göstergeleri şu şekilde sıralanabilir.

- ✓ Kesici ucun aşırı yük ile kopması,
- ✓ Kesici ucun yüksek sıcaklıklarda şeklini kaybetmesi veya erimesidir.

Kesici ucun görev yapamamasının nedenleri ise:

- ✓ Kullanılan kesiciye göre çok yüksek kesme hızları,
- ✓ Uygun olmayan kesici uç geometrisi,
- ✓ Tezgah rijitliğinin yetersizliğidir.

Kesici ucun aşınma ve kırılmalarla tamamen kullanılamaz hale gelmesi istenmeyen bir durumdur. Bunun sonucu takım masrafları çok artar. Kesici takımların kullanılamaz duruma gelmesi genel olarak iki grupta toplanır.

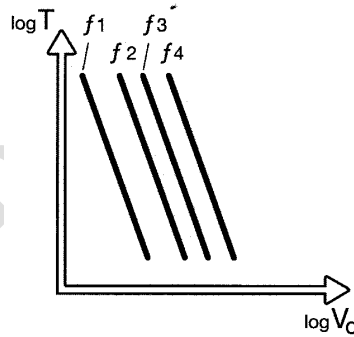
1. Talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki dereceli veya sürekli aşınma
2. Takımın belirlenen ömründen önce aşınmasına neden olan hatalar

Kesme verilerinin takım ömrüne etkileri

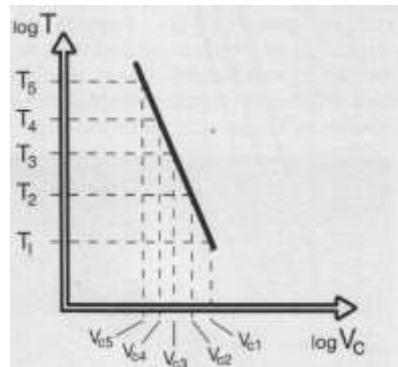
Genelde talaş kaldırma olayı: **iş parçası, takım, tezgah ve talaş kaldırma işlemi** olmak üzere dört faktöre bağlıdır. Kesme işlemine etki eden ve en uygun talaş kaldırma işlemi için değiştirilebilen faktörler; kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarıdır. Yapılan deneyler sonucu bu faktörlerin takım ömrüne etkileri farklı oranlarda olmaktadır.

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi takım ucunda kopmalara ve bunun sonucu takımın değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. En uygun kesme hızının belirlenmesinde takım ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. En uygun ilerleme ve talaş derinliğinin belirlenmesinde maksimum talaş derinliği ve ilerleme miktarı seçilmelidir. Çünkü bu iki parametrenin takım ömrüne etkisi kesme hızına göre çok azdır.

Çok kısa takım ömrü veren koşullar (yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme) takım değiştirme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ekonomik değildir. Öte yandan çok düşük kesme hızları ve ilerleme değerleri kullanılarak takım ömrünün arttırılması da üretim hızının düşmesine neden olacağı için ekonomik olmayacaktır. Bu nedenle işlemler için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi işlemi büyük önem taşır.



Şekil 4.67 İlerlemenin etkisi



Şekil 4.68 Ömür-kesme hızı ilişkisi

4.8.2 Takım Aşınması

Kesici takımın aşınmasını etkileyen faktörler 4 ana grupta özetlenebilirler:

1. İş parçasının malzemesi ve fiziksel özellikleri: (mekanik ve termal özellikler, mikro yapı, sertlik, vs.): ilgili kesme parametreleri için kesme kuvvetlerini ve kesme enerjisini tayin eder.

2. Kesici takım - talaş etkileşimi: Endüstriyel talaş kaldırma işlemlerinin büyük çoğunluğunda kesme sıcaklıklarını düşürmek için kesme sıvıları kullanılmaktadır. Ancak yeni teknolojilerde kesme sıvısı maliyetlerini azaltmak için minimum sıvısı yağlama veya kuru kesme uygulamaları da yaygınlık kazanmaktadır.

3. Kesici takım: takım malzemesi, kaplama tipi ve malzemesi, ve kesici takımın geometrik tasarımı (kenar yuvarlatma, pah kırma, talaş açısı, vs.) gibi takım parametrelerinin gerçekleştirilecek talaşlı imalat tipine (kaba, yarı-kaba, ince talaş kaldırma işlemleri) uygun seçilmesi gerekir. Kesici takımın optimum performansı yukarıda sayılan takım parametreleri ile kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, paso, vs.) arasındaki doğru ilişkiye bağlıdır.

4. Takım tezgahının dinamiği: takım tezgahının ve kesme işlemine katılan elemanlarının dinamik yapısı başarılı bir talaş kaldırma işlemi için büyük önem taşır. Rijit koşullarda gerçekleştirilmeyen bir talaşlı imalat işleminde ortaya çıkan büyük titreşimler kesici takım üzerinde değişken aşırı yüklemelere neden olur ve takım üzerinden küçük parçacıkların kopmasına veya takımın kırılmasına yol açar.

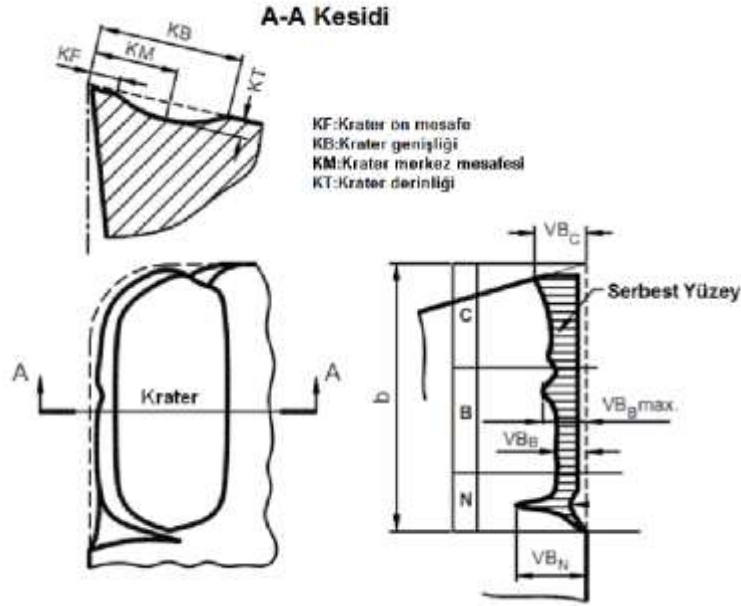
Takım aşınması talaş kaldırma esnasında oluşan sürtünmeler ve sıcaklık nedeniyle ortaya çıkar. Bu olayın ana nedeni sürtünmedir, ancak sıcaklık da takımın aşınmaya karşı direncini azaltıp olayı hızlandırdığı için önemlidir. Sürtünme talaş ile takımın talaş yüzeyi ve işlenen yüzey ile takımın serbest yüzeyi arasında meydana geldiğinden aşınma sadece talaş yüzeyinde, sadece serbest yüzeyde veya her iki yüzeyde birden meydana gelebilir.

Talaş kaldırma işleminde oluşan sürtünme makine elemanları arasında meydana gelen sürtünmeden farklıdır. Farklılık, talaş kaldırma olayındaki sürtünmenin sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük temas alanlarında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle takım aşınması, çeşitli aşınma şekillerini kapsayan çok karmaşık bir olaydır. Talaş kaldırma işleminde takım aşınması belirlenmesi gereken en önemli karakteristik parametrelerden biridir. Şekil 4.69'da kesici takımda görülebilen aşınmalar şematik olarak gösterilmiştir. Bunlardan, özellikle de serbest yüzeyde oluşan aşınma, üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir. ISO 3685'e göre serbest aşınma değeri 0.3 mm olduğunda takım ömrünü tamamlamış demektir.

4.8.2.1. Aşınma Mekanizmaları

Talaş kaldırma işlemi esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder. Takımların aşınması kaçınılmazdır, ancak aşınmanın oluşum zamanının, miktarının ve tipinin bilinmesi halinde fazla olumsuz etkisi de yoktur.

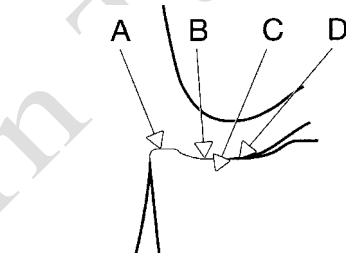
Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen **yük** faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır.



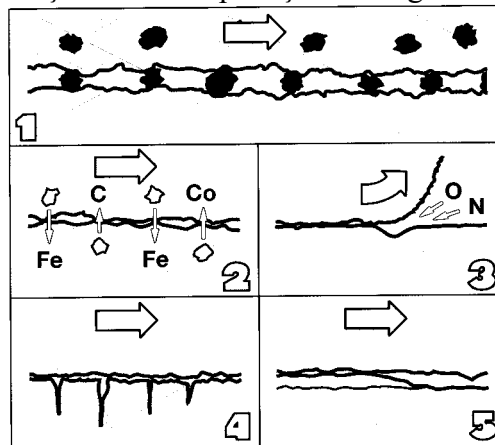
Şekil 4.69 Kesici takımda serbest yüzey aşınması ve krater aşınması

Temel yük faktörleri ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler Şekil 4.70’de gösterilmiştir. Şekilde (A) mekanik, (B) ısı, (C) kimyasal, (D) abrasiv yükleri temsil etmektedir.

İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkiyen temel yük faktörleri nedeniyle ortaya çıkan 5 farklı aşınma mekanizması talaş kaldırma işlemine etkide bulunur (Şekil 4.71). Şekilde (1) abrasiv aşınma, (2) difüzyon aşınması, (3) oksidasyon aşınması, (4) yorulma aşınması (statik veya dinamik), (5) adeziv aşınma mekanizmalarıdır.



Şekil 4.70 Tipik aşınma bölgeleri



Şekil 4.71 Temel aşınma mekanizmaları

Şekilde görülen aşınma mekanizmaları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Abraziv Aşınma:

Genellikle iş parçasına ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar.

Kesici kenarın abraziv aşınmaya dayanma yeteneği büyük oranda ucun sertliğine bağlıdır. Takım malzemesi ne kadar sert ise abraziv aşınmaya direnci o kadar yüksektir. Karbürlerin sinterlenmesi sonucu oluşan sert maden uçlar buna dayansa da diğer faktörlerin de dikkate alınması gerekir.

Difüzyon Aşınması:

Takımın kimyasal özellikleri ile iş parçası malzemesi arasındaki afinite difüzyon aşınmasının oluşmasına neden olur.

Takım malzemesi sertliğinin bu aşınma türü ile ilgisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişkiler aşınma miktarını belirler. Örneğin tungsten karbür ile çelik arasında etkileşim söz konusudur. Bu difüzyon aşınmasını ortaya çıkartır. Aşınma; krater aşınması şeklindedir. Bu aşınma mekanizması büyük oranda sıcaklığı bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır. Elmas takım ile demirli malzeme işlenmemesinin nedeni de karbon ile demir arasındaki yüksek kimyasal ilişkiden kaynaklanmaktadır. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığı bağlıdır.

Oksidasyon Aşınması:

Yüksek sıcaklıklar ve oksijen birçok metal için **oksidasyon** demektir. Oksidasyon aşınması özellikle kesici kenarın talaş ile birleştiği veya ayrıldığı kısımda, talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) havanın da etkisiyle oluşur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur.

Yorulma Aşınması:

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Frezeleme işleminde olduğu gibi aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bu termal şok sonrasında kesici takımda kesici kenara dik çatlaklar oluşur

Adeziv Aşınma:

Genellikle takımın talaş yüzeyinde düşük işleme sıcaklığı nedeniyle oluşur. Çelik, Alüminyum, dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma türü genellikle takım ve talaş arasında yığma kenar oluşumuna neden olur. Yığma kenar oluşumu, talaş tabakalarının sürekli olarak kesici kenar üzerine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmesi işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir miktar malzeme kopmasına neden olabilir. Bazı kesici takımlarda ve sünek çeliklerde BUE oluşumu diğerlerine göre çok fazladır. Belirli sıcaklık aralığında takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki afinite ve kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük adeziv aşınmayı oluşturan nedenlerdir.

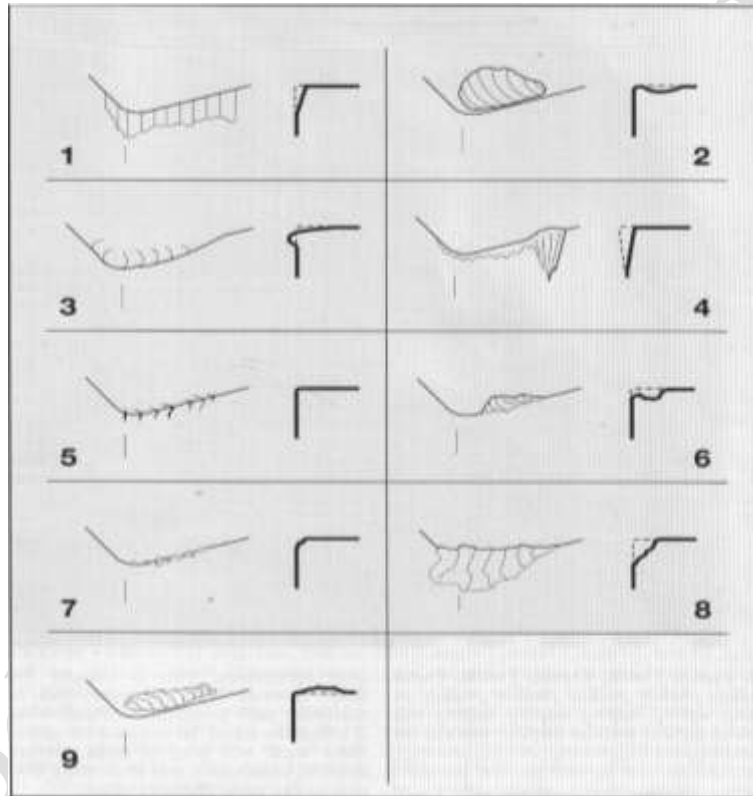
Sertlik, mukavemet / tokluk, kimyasal kararlılık, ısı iletkenlik, ısı genleşme, kaplama tabakasının yapışma özelliği malzeme özellikleri özellikleri takımın yüklere dayanımı ve kesici kenara etkiyen aşınma mekanizmalarının önlenmesi açısından oldukça önemlidir:

4.8.2.2 Aşınma Tipleri

Takım aşınması çeşitli aşınma mekanizmaları nedeniyle kesici kenarın çeşitli bölgelerinde ortaya çıkan malzeme eksilmesi, kırılma-kopma gibi kalıcı şekil değişiklikleridir. Talaşlı imalat işlemlerinde başarı elde edilmesi için aşınma tiplerinin bilinmesi ve aşınma tiplerine göre gerekli önlemlerin alınması gerekir..

Belli başlı aşınma tipleri arasında **serbest yüzey aşınması, krater aşınması, plastik deformasyon, çentik oluşumu, ısıl çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, kesici kenardan parçacık kopmaları, kesici ucun kırılması ve yığma kenar oluşumu** sayılabilir (Şekil 4.72).

Kesici takım kesici kenar ve bu kenara bitişik yüzeyler boyunca aşınır. Şekil 4.73'te kesici uçtaki kontrollü aşınma ve kırılma olayı görülmektedir.



Şekil 4.72 Aşınma tiplerinin sınıflandırılması

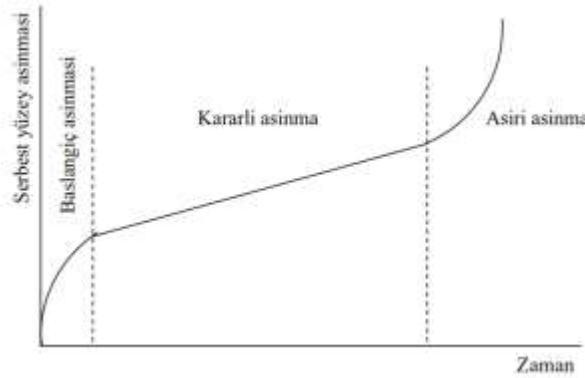


Şekil 4.73 Kontrollü takım aşınması ve kırılma

Aşınma tiplerinin konumları ve boyutları kesici takımın ömrünün belirlenmesinde önemli bir rol oynarlar. Şimdi bu aşınma tipleri daha detaylı inceleyelim:

1) Serbest Yüzey Aşınması:

Takımın serbest yüzeyinde (takımın, işlenen iş parçasıyla temas halinde olan yüzeyi serbest yüzey olarak adlandırılır) meydana gelen aşınma serbest yüzey aşınması olarak adlandırılır ve bir aşınma bölgesi oluşur. Bu aşınma bölgesinin işlenmiş yüzeyle sürtünmesiyle, talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar meydana gelir ve böylelikle oluşan yüksek serbest yüzey kuvvetleri nedeniyle boyutsal doğrulukta azalma ve sapmalar meydana gelir. Serbest yüzey aşınması genellikle kesme kenarlarının abrazyonu ile oluşur. Serbest yüzey aşınmasının büyüklüğü, ortalama serbest yüzey aşınması veya takım ucuna olan maksimum mesafesi ile ifade edilir. Serbest yüzey aşınma bölgesi genellikle üniforma genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşur. Zamana göre serbest yüzey aşınmasının gelişimi Şekil 4.74'te verilmiştir. Serbest yüzey aşınmasının ortadan kaldırılması mümkün olmayıp, azaltılabildiği için tedbir alınması mümkündür. Aşınmayı azaltmak için alınabilecek önlemler tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.74 Serbest yüzey aşınmasının gelişimi

Talaş oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kenar, köşe radyüsü iş parçasıyla temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan serbest yüzey aşınması (Şekil 4.75) en yaygın aşınma türlerinden biridir. $V_B = 0,3mm$ 'nin üzerinde yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar.

Boşluk açısının azalması nedeniyle işlem esnasında ortaya çıkan ısı artar. Aşırı serbest yüzey aşınması; genellikle titreşime, daha fazla güç tüketimine ve kesici kenarın kırılmasına neden olabilir. İş parçası sertliğinin yüksek olması da bu hızlı aşınmanın bir sebebi olabilir. Daha yüksek aşınma direncine sahip bir takım kalitesinin seçimi genellikle en iyi çözümdür.



Şekil 4.75 Serbest yüzey aşınması

2) Krater Aşınması:

Kesici takımın talaş yüzeyinde krater aşınması (Şekil 4.76) adı verilen krater şeklinde bir aşınma oluşur. Takımın talaş yüzeyi, iş parçasından kaldırılan talaşın takım üzerinde kaydığı yüzeydir. Genellikle orta derece bir krater aşınması takım ömrünü sınırlamaz. Gerçekten de krater oluşumu takım talaş açısının etkinliğini artırır ve böylece kesme kuvvetleri azalır.

Fakat, aşırı krater aşınması kesme kenarlarını zayıflatır ve bu durum takımın deformasyonuna veya kırılmasına yol açar. Buradan da anlaşılacağı gibi takım ömrünü kısalttığı için aşırı krater aşınmasından kaçınılmalıdır. Krater aşınmasının zamana göre değişimi, serbest yüzey aşınmasının zaman göre değişimi gibidir. Aşırı krater aşınması, difüzyon veya kimyasal asınma mekanizmalarıyla meydana gelir. Krater aşınması, takım malzemelerinin kimyasal kararlılığının arttırılması veya takım ile iş malzemesinin kimyasal afinitesi olmaması sağlanarak minimize edilebilir.

Talaş yüzeyinde abraziv ve difüzyon aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşur. Krater; sert talaşın takım talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmesi sonucunda ve talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle gerçekleşir. Yüksek sertlik, yüksek kızıl sertlik ve malzemeler arasında minimum afinite krater aşınması eğilimini azaltır.



Şekil 4.76 Krater aşınması

Krater aşınmasının çok hızlı olması kesme hızının işlem için çok yüksek olması anlamına gelir, bu durumda daha yüksek aşınma dirençli bir kesici uç kalitesinin seçilmesi gerekir.

3) Plastik Deformasyon:

Kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın kombinasyonu sonucu oluşur. Yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme değerleri ve sert iş parçası malzemeleri ısı ve basınç demektir. Takımın plastik deformasyona uğramaması için yüksek kızıl sertliğe sahip olması gerekmektedir. Kenarların yuvarlatılması ve uygun kesici geometrisi bu tip aşınmanın önlenmesinde önemli rol oynar.



Şekil 4.77 Plastik deformasyon

Daha sert olan daha yüksek aşınma direncine sahip bir takım kalitesinin seçimi veya işleme yönündeki deformasyon söz konusu ise kesme hızının ve serbest yüzeye doğru bir deformasyon varsa ilerlemenin azaltılması yine bu tip bir aşınmanın önüne geçecektir.

4) Yardımcı Kenarda Çentik Oluşumu:

Kaba yüzeylerin tornalanmasında kullanılan takımlarda, takım ile işlenmemiş yüzey veya talaş kenarı arasındaki temas noktasında takım yüzeyinde çentik (notch) aşınması meydana gelir (Şekil 4.78). Çentiğin derinliği genellikle işlenen parçaların sert bir yüzey tabakasına sahip olması veya işlenen parçanın kendi sertliğinden dolayı oluşan abraziv talaşın (örneğin paslanmaz çelik ve nikel-bazlı süper alaşımlar) bir sonucudur. Kullanılan bir soğutucunun

neden olduğu veya takım ile atmosfer arasındaki kimyasal reaksiyon veya korozyon nedeniyle oluşan oksidasyon da çentik aşınmasına neden olur. Çentik, kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur ve aşınma bölgeseldir.



Şekil 4.78 Çentik Aşınması

5) Isıl Çatlaklar :

Isı sirkülasyonu nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Kesici kenara dik çatlaklar oluşur ve takım malzemesi kenardan dışa doğru zorlanır. Bunun sonucunda takım kırılabilir. Kesme sırasında değişen talaş kalınlıkları da sıcaklık oluşumuna katkı sağlar.



Şekil 4.79 Isıl Çatlaklar

Tornalama işleminde işlem esnasında talaş kalınlığındaki büyük farklılıklar da ısıl çatlakların oluşumuna neden olabilir. Kesme sıvısının hatalı, yetersiz uygulanması; hatta bazı durumlarda uygulanması bile ısıl çatlakların oluşum nedenidir. Frezeleme işlemlerinde kesme sıvısının kullanılması tavsiye edilmez. Birçok tornalama uygulamasında son yıllarda modern kesici uçların kesme sıvısının soğutma etkisine gereksinim duymadan işlevlerini yerine getirmeleri sayesinde kesme sıvısının kullanımı en aza indirilmiştir.

6) Mekanik Yorulma Çatlakları :

Kesme kuvvetlerindeki ani değişim nedeniyle ortaya çıkar. Mekanik yükteki sürekli değişim çatlaklara neden olur. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun mukavemetinden ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip bir aşınma görülür.

Çatlak oluşumu daha tok bir takımın seçilmesi, kesme hızının azaltılması ve takımın parçaya giriş yönünün değiştirilmesi suretiyle en aza indirilebilir.



Şekil 4.80 Mekanik Yorulma Çatlakları

7) Kesici Kenardan Parçacık Kopması (Dökülme) ve Kesici Ucu Kırılması

Aşınmadan çok kırılma nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli alt-üst sınırlar arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Darbeli kesme bu tip aşınmanın en büyük nedenidir.

Kenarda oluşan kırılmadan kaçınmak gerekir. Bu olay takım için yolun sonu demektir. Geometrinin değişimini kenarın zayıflaması, sıcaklıktaki ve kuvvetteki artışlar, kesici kenarın bu tip aşınmasına neden olurlar. Yüksek kesme hızlarında ve ağır talaş kaldırma koşullarında kesici kenar üzerinde oluşan gerilmeler kesici ucun mukavemet sınırını aştığında kırılma oluşumu kaçınılmazdır.



Şekil 4.81 Parçacık kopması ve kenar kırılması

Takım kırılmasını önlemek için kesme yükünün azaltılması düşünülebilir. Ancak, kesme yükünün azaltılması genellikle talaş debisinin, dolayısıyla işlemin verimliliğinin azaltılması anlamına gelmektedir. Bu nedenle talaş debisinin değiştirilmesi istenmediğinden bu yol en son yapılması gereken şey olmalıdır. Bir başka seçenek olarak takımın dayanımının artırılması yoluna gidilebilir.

Takımın dayanımının artırılması ise: köşe radyüsünün artırılmasıyla, pozitif yerine negatif talaş açısının kullanılmasıyla ve daha kalın bir uç kullanılmasıyla sağlanır. Bu üç durumda da yük daha büyük bir hacim üzerine yayılacağından takım üzerinde oluşan gerilmeler azalacaktır. Daha tok veya daha yüksek kırılma direncine sahip bir takımın seçilmesi de uygun bir çözüm olabilir.



Şekil 4.82 Pozitif ve negatif talaş açıları

İlerlemenin veya kesme derinliğinin azaltılmasıyla, veya kesme hızının artırılmasıyla bu tip kırılmaların önüne geçilebilir.

9) Yığma Kenar Oluşumu:

Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma tipidir (Şekil 2.19). Takım yüzeyine kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığma kenar istenmeyen bir durumdur. Yığma kenar oluşumuna iş parçası ve takım arasındaki kimyasal ilgi de etkide bulunur. Yığma kenar genellikle düşük kesme hızlarında ortaya çıkan bir durumdur.



Yığma Kenar

Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan talaş kaldırma mekanizmasının anlaşılabilmesi için yapılan çalışmalar sonucunda; talaş kaldırma sırasında takımın çok yüksek gerilme ve sıcaklıklara maruz kaldığı, bunun sonucunda takımın elastik ve plastik şekil değişimleri ile şiddetli bir aşınmanın meydana geldiği anlaşılmıştır. Talaş kaldırma sırasında takımın meydana gelen bu şekil değişimleri ve aşınma talaş kaldırma işlemini şüphesiz olumsuz yönde etkilemekte, takım ömrünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Takım ömrünün azalması, takım maliyetini ve sonuç olarak da üretim maliyetini olumsuz yönde etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle takım ömrünü etkileyen faktörlerin bilinmesi, bu faktörleri kontrol altına alınabilecek tedbirlerin geliştirilmesi, efektif takım ömrünün belirlenebilmesi ve optimum takım değiştirme zamanının belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır.

Takım ömrünü; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, iş parçasının malzemesi, takım malzemesi, takım geometrisi, talaş kaldırma yöntemi ve diğer kesme şartları gibi bir çok faktör etkilemektedir. Bu nedenledir ki; herhangi bir talaş kaldırma operasyonunda kullanılan herhangi bir takım için ömür değeri kesin olarak bilinmemekte, yaklaşık değerler kullanılmaktadır. Bu amaçla takım üreticisi firmanın kesme şartlarına bağlı olarak vermiş olduğu yaklaşık değerler kullanılmakta veya tecrübelerle dayanan çözümler bulunmaktadır.

Tablo 4.10 Aşınma mekanizmaları ve alınabilecek önlemler

Aşınma Tipi	Mekanizma	Karakteristiği	Alınabilecek Tedbirler
Serbest yüzey aşınması	Abrazyon	Düzensiz aşınma dağılımı	Sert takım kullanmak
			Kaplanmış takım kullanmak
			Kesme Sıvısını Filtrelemek
	Isıl yumuşama	Kalitesiz parça yüzeyi	Is parçasını mikroyapısını arıtmak
Krater aşınması	Difüzyon	Çok hızlı aşınma	Herleme hızını azaltmak
			"Kenar Deformasyonu" bölümüne bakınız
	Kimyasal aşınma	Deforme olmuş kenarlar	Herleme hızını arttırmak
Çentik aşınması	Abrazyon	Serbest yüzeylerde olur	Kesme hızını azaltmak
			Sogutucunun sogutma özelliğini arttırmak
	Oksidasyon	Renk değişimi	Sogutucunun basıncını ve hacmini arttırmak
			Talaş/Takım arayüzüne direk sogutucu sokmak
Burun radyüslü aşınması	Abrazyon	Kaba, düzensiz olmayan aşınma	Takımı veya kaplamayı yada sogutucuyu degistirmek
			Herleme hızını arttırmak
	Isıl yorulma	Kenara dik çatlak	Herleme hızını azaltmak
Kenar çatlaması	Mekanik yorulma	Kenara paralel çatlak	Sert takım kullanmak
			Burun yarıçapını arttırmak
	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	Kesme hızını azaltmak
BUE oluşumu	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	Kuru talaş kaldırma yapmak
			Tok takım kullanmak
	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	Herleme hızını azaltmak
BUE oluşumu	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	Tok takım kullanmak
			Kesme hızını arttırmak
	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	Talaş açısını arttırmak
BUE oluşumu	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	Sogutucunun yağlama özelliğini arttırmak
	Abrazyon	Kalitesiz parça yüzeyi	

Kesici takımlar ile daha fazla bilgi almak isteyen okuyucuların aşağıdaki kaynakları okumalarını öneririm.

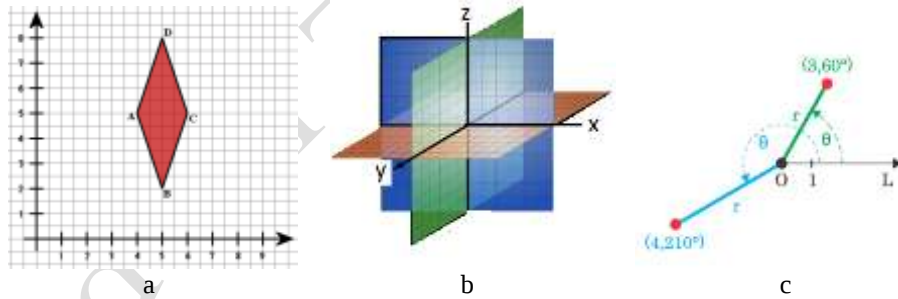
Prof.Dr. Cemal ÇAKIR, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Dora Yayınları

Prof.Dr. Cemal ÇAKIR, Modern Talaşlı İmalat, Dora Yayınları

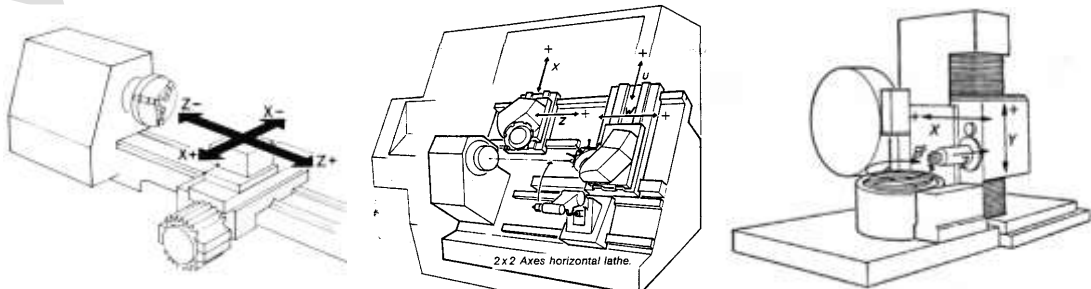
5. CNC TEZGAHLARDA EKSENLER

5.1 Giriş

CNC tezgahlarda takım yolları bir koordinat sistemi referans alınarak matematiksel bağıntılarla ifade edilir. Bu nedenle programlamada ve tezgahların çalışmasında koordinat sistemi önemli bir yer tutmaktadır. Bilindiği gibi sıfır değeri olan bir noktadan geçen, belirli ölçeklerle bölünen ve eksen adını taşıyan çizgilere koordinat sistemi denir. (Şekil 5.1) Eksenler birbirine dik olduğunda bu sisteme kartezyen koordinat sistemi denir. Koordinat sistemi tek bir düzlemi ifade eden iki eksenli (Şekil 5.1-a) veya 3 düzlemi gösteren 3 eksenli; olabilir. (Şekil 5.1-b) Eki eksenli koordinat sisteminin eksenleri x-y, x-z veya y-z; üç eksenli sistemin eksenleri x,y,z şeklinde ifade edilir. CNC sistemlerde koordinat sisteminin orijine sıfır noktası da denilir. Bunun yanı sıra iki düzlemde nokta konumunu uzunluk ve açı ile veren polar (Şekil 5.1-c) koordinat sistemleri kullanılır. Şekil 5.2'de dikey ve yatay tezgahlar ile torna tezgahındaki ana eksenler şematik olarak verilmiştir.

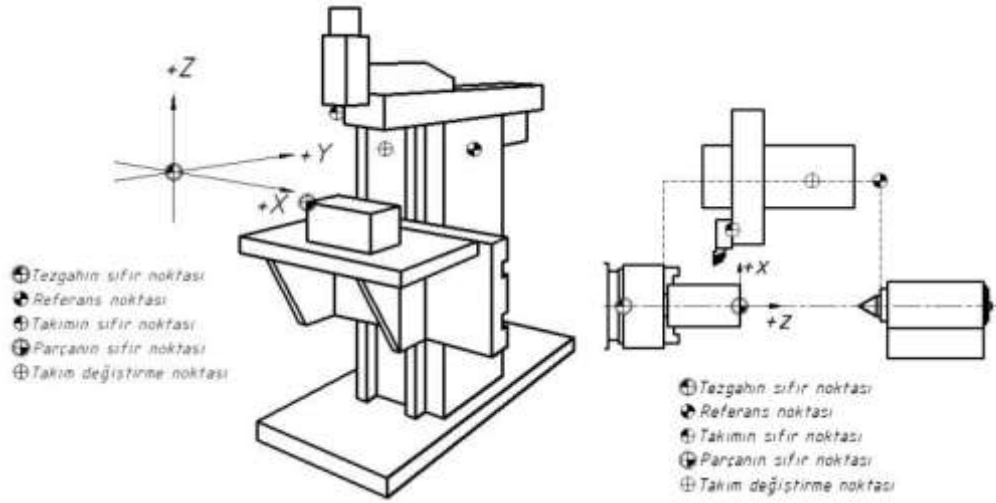


Şekil 5.1 a- İki eksenli, b- Üç eksenli, c- Polar koordinat sistemi



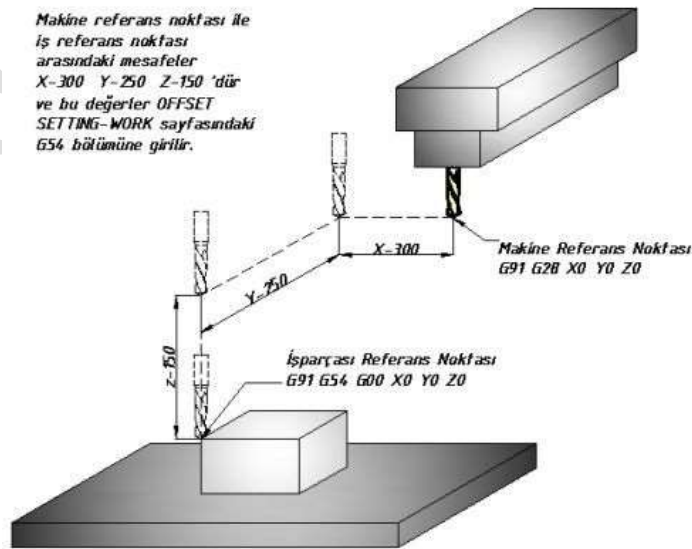
Şekil 5.2 CNC tezgahlarında ana hareket eksenlerine örnekler

CNC tezgahlarda; tezgah, parça ve takım olmak üzere üç ayrı koordinat sistemi vardır. Bu koordinat sistemlerinin orijinlerine; tezgaha ait olanına tezgah sıfır noktası, parçaya ait olanına parça sıfır noktası veya program referans noktası, takıma ait olanına da takım sıfır noktası denir. Bu noktalar, freze ve dik işleme merkezleri için Şekil 5.3-a'da, torna için Şekil 5.3-b'de verilmiştir.



Şekil 5.3 a-Freze, b-Torna tezgahlarının sıfır noktası

Bu noktaların yanısıra, genellikle parçadan en uzak noktada bulunan takım değiştirme noktası ve genel bir referans noktası bulunur. Bir çok sistemde referans noktası ve takım değiştirme noktası aynıdır. Bu durumda, esas referans noktası tezgahın sıfır noktasından en uzak noktadır ve takımın parçaya veya parçanın takıma göre gidebileceği en uzak noktayı temsil etmektedir. Bir başka deyimle; tezgahın sıfır noktasıyla referans noktası, takım veya parçanın hareket sınırlarını, yani işlenecek parçanın büyüklüğünü temsil eder.



Şekil 5.4 Tezgah referans noktaları

5.2 CNC Tezgahlarda Referans Noktaları

CNC işleme yoluyla parça imalatı düşünüldüğünde tezgah referans noktası ve parça referans noktaları aynı öneme sahip olmalıdır.

Tezgah referans noktası: Tezgahın programlanmış boyutsal hareketini yaptığı programlanan hareket sahası içindeki belirlenmiş bir pozisyonudur. Genellikle sıfır referans noktası ya da yaygın adıyla sıfır olarak adlandırılır. Tezgahtaki her hareket eksenini sıfır referans noktasına sahip olmalıdır. Tezgah referans noktası sistemleri genel olarak üç çeşittir.

Sabit sıfır: Sabit sıfır terimi tezgahtaki mutlak sabit bir noktayı tanımlar. Takım tezgahı kızıağı herhangi bir işleme operasyonu olmadan önce normal olarak el kontrolüyle sıfır noktasına hareket ettirilir. Bütün hareket eksenleri hareketlerini sıfıra ayarlar. Sabit sıfır hareket eksenlerinin uç noktalarındaki sınır anahtarları yoluyla kontrol sistemine tanıtılabilir. Örneğin freze tezgahında tablanın dört köşesinden biri sabit sıfır olabilir. Genellikle sol taraftaki köşelerden biri seçilir.

Tezgah sıfır noktası: Tezgah sıfır noktası sabittir ve operatör tarafından değiştirilemez. Bu tür bir sistemle programlanmış tüm hareketler tezgahın sabit referans noktasına göre yapılmalıdır.

Gezer sıfır: Yukarıdaki sistemler eski NC tezgahlarda vardır. Gezer sıfır veya tam gezer sıfır modern CNC takım tezgahlarında bulunan en yaygın referans sistemidir. Bu sistem sıfır noktasının, tezgahın programlanabilen bölgesi içindeki istenilen yere kaydırılmasını sağlar. Herhangi bir pozisyon koordinatı sıfır noktasına göre (+) veya (-) olarak tanımlanabilir.

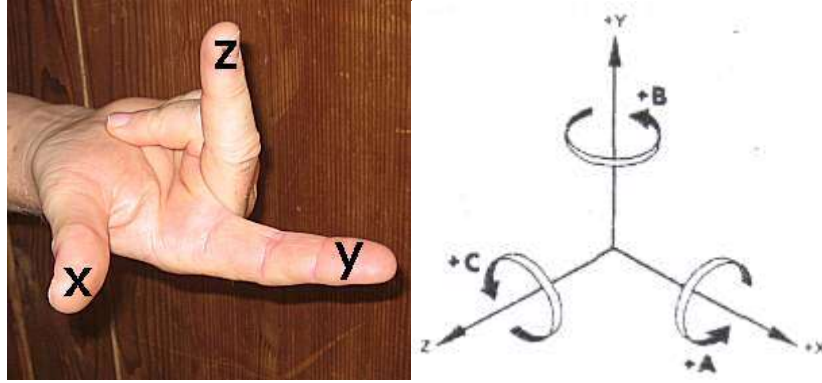
Bu sistem, teknik ressamın çizim oluşturulması esnasında parça referans noktasının uygun yere konulmasına izin verir.

İş parçası referans noktası; boyutların hesaplandığı nokta, çizgi veya yüzey olarak tanımlanabilir. Referans noktası, fonksiyonel çizgilerin yaratılmasındaki temel fikirdir.

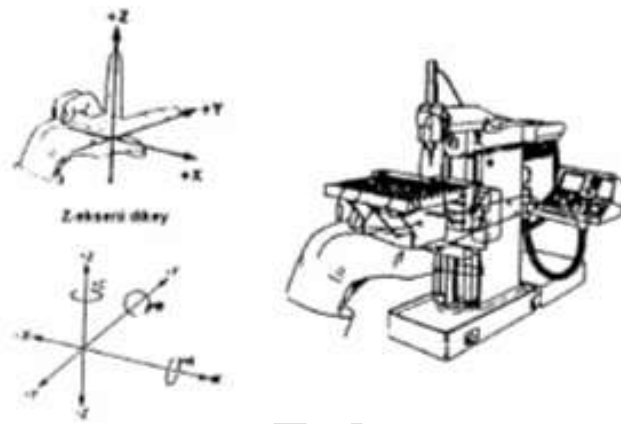
5.3 Tezgah Eksenleri

CNC tezgahların çalışması, tezgah eksenlerine dayanmaktadır. Tezgah eksenleri parça veya takımın kontrol edilen hareket yönlerini belirtir. CNC sistemlerinde ISO ve ABD'de EIA (Electronic Industries Association) tarafından kabul edilen sağ-el kartezyen koordinat sistemi kullanılmaktadır. Şekil 5.5'de sağ el koordinat sistemi gösterilmiştir. Şekil 5.6'da dikey tezgahlar ve Şekil 5.7'de düşey tezgahlar için bu koordinat sistemi gösterilmiştir.

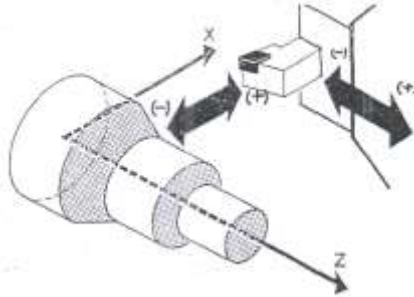
Bu sistemde X,Y ve Z ile gösterilen üç doğrusal hareketin yanı sıra A,B,C ile simgelenen üç dönme hareketi olmak üzere toplam altı eksen vardır. Burada Z eksenini iş mili yönündedir. X eksenini Z eksenine dik olup ana ilerleme yönündedir. Y eksenini bu iki eksene diktir. Takım hareketi esas alınır, genelde sağ elin baş parmağı X orta parmağı Z ve işaret parmağı Y eksenlerinin pozitif yönlerini göstermektedir. Takım hareket yönleri X,Y,Z,A,B,C (Şekil 5.5); parça hareket yönleri X',Y',Z',A',B',C' ile gösterilir. Takım eksenlerinin pozitif yönleri takımın parçadan uzaklaştığı yönlerdir, parçaya yaklaştığı yönler negatif (-X,-Y,-Z) kabul edilir (Şekil 5.7).



Şekil 5.5 Sağ el koordinat sistemi ve dönel eksenlerin tanımlanması



Şekil 5.6 Z eksenini dikey sağı el koordinat sistemi

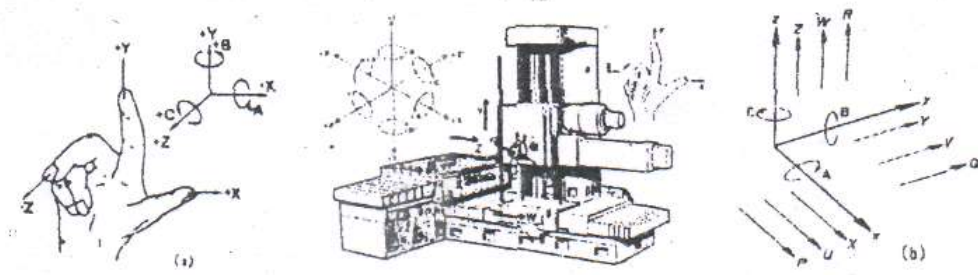


Şekil 5.7 Takımın pozitif ve negatif yönleri

Bazı tezgahlarda, takım veya parça üst üste yerleştirilen kızaklarla aynı yönde ve aynı anda birden fazla ilerleme hareketi yapabilir (Şekil 5.8-a). Bu durumda Z yönündeki ek hareketler W,R; X yönünde, U,P ve Y yönünde V,Q ile ifade edilir (Şekil 5.8-b). Dönme hareketlerinin yönleri, sağı-el baş parmak ilkesine göre tayin edilir. Buna göre, baş parmak doğrusal eksenin pozitif yönünde iken, o eksene ait pozitif dönme yönü parmağı bakıldığında soldan sağa doğrudur. Tablo 5.1 'de CNC tezgahlarda temel ve yardımcı eksenler verilmiştir.

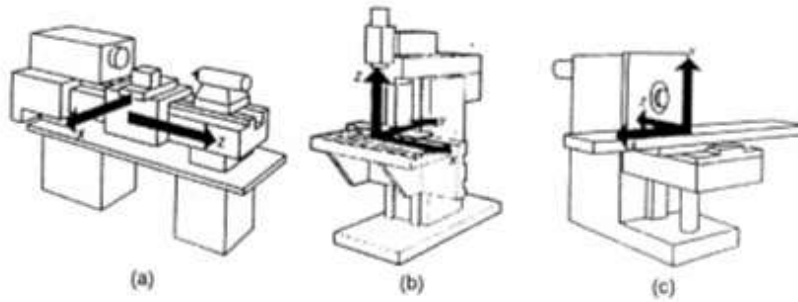
Tablo 5.1 Temel ve yardımcı eksenler

TEMEL EKSENLER	YARDIMCI DOĞRUSAL EKSENLER	YARDIMCI DÖNEL EKSENLER
X	U	A
Y	V	B
Z	W	C



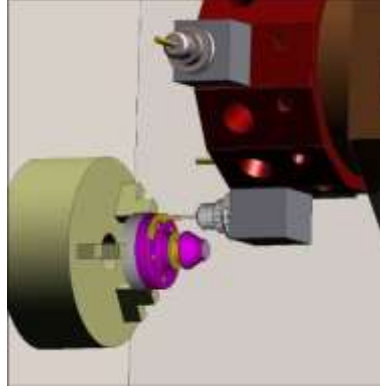
Şekil 5.8 Z eksenli yatay sağ el koordinat sistemi

Yukarıdaki kurallara göre; Şekil 5.9-a 'da torna , Şekil 5.9-b 'de dikey ve Şekil 5.9-c 'de yatay freze tezgahlarının eksenleri gösterilmiştir. Tornada ana kazağın parça uzunluğuna göre hareketi Z; parça eksenine göre dik olan üst kazağın hareketi X ile gösterilir. X eksen parçanın yarıçapını ve Z eksen parçanın uzunluğunu temsil eder. Torna tezgahlarında Y yönünde hareket olmadığından Y eksen yoktur. Bu nedenle torna tezgahlarında takım konumu sadece X ve Z konumu ile ifade edilir. Burada kesme hareketinin gerçekleşmesini sağlayan iş milinin de dönmesi kontrol edilirse (Şekil 5.10) bunun yönü C ile gösterilir. Freze ve işleme merkezlerinde X,Y ve Z koordinatları kullanılır.



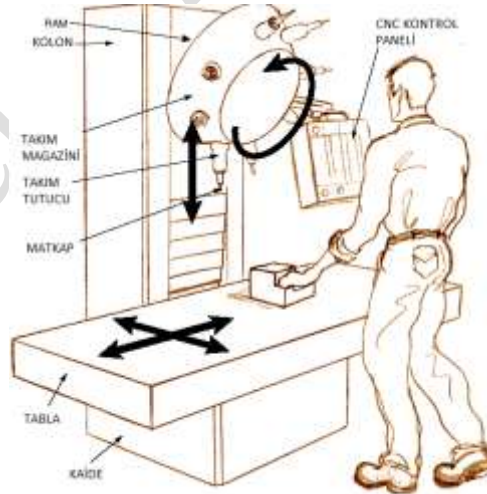
Şekil 5.9 a-Torna, b-Dikey, c-Yatay freze tezgahlarının eksenleri

Şekil 5.11-a 'da 3 eksenli yatay. Şekil 5.11-b 'de 6 eksenli dikey bir işleme merkezi verilmiştir. Bu çeşit tezgahların dönme yönlerine dikkate edilmesi gerekir. Şekil 5.12-a 'da iki taretli torna tezgahının dönme eksenleri verilmiştir. Burada birinci taretin hareket yönleri **Z** ve **X**; İkincisinin ise **W** ve **U** ile gösterilmiştir. Şekil 5.12-b 'de altı eksenli taşlama tezgahları gösterilmiştir.



Şekil 5.10 C eksenli torna tezgahında bir iş parçasının işlenmesi

Şekil 5.12-a 'da takım magazinine ve palet sistemine sahip 5 eksenli bir işleme merkezi verilmiştir. Eksen bakımından önemli bir konu, frezeleme işlemi yapan torna tezgahı ile ilgilidir. Burada bu işlemi yapmak için tarette döner başlıklı bir freze takımı yerleştirilir (Şekil 5.12). Bu sistemde tornalama işlemleri için **X,Z** eksenleri; frezeleme işlemleri için **X,Z** koordinatlarının yanı sıra **Y** koordinatı yerine iş milinin dönme eksenini olan **C** alınır.

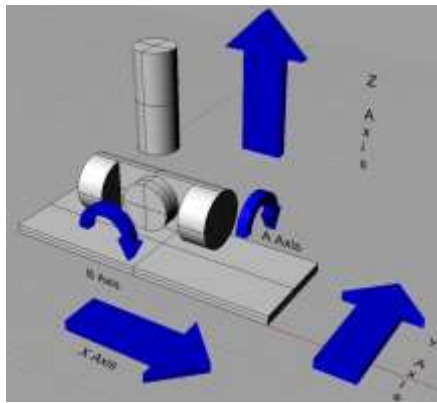


Şekil 5.11 a-yatay, b-dikey işleme merkezlerinin eksenleri

Yukarıdaki açıklamalardan görüldüğü gibi CNC tezgahları eksen bakımından 1,2,...6 veya daha fazla eksenli olabilir (Şekil 5.12-a). Eksen sayısı arttıkça tezgahın karmaşık parçalar işleme kabiliyeti artmaktadır. Ancak, her eksenin bir kontrol devresi vardır; dolayısıyla eksen sayısı arttıkça tezgah daha karmaşık ve pahalı olur. Eksenlerle ilgili dikkat edilmesi gereken

husus kesme (dönme) hareketi yapan iş milleri ile ilgilidir. Genellikle iş millerinin dönme hareketi eksen sayılmaz. Örneğin bir tornanın iş mili bir sviçin yardımıyla otomatik olarak harekete geçse ve hız değiştirse dahi eksen sayılmaz. Ancak iş milinin dönme konumu kontrol edilirse, yani istenilen açıda tam olarak durdurulursa eksen sayılır. Bu kontrol, bir devir (360°) boyunca sürekli yapılırsa tam eksen, belirli konumlarda yapılırsa (örneğin her 15° de) yarım eksen (1/2) sayılır.

Tezgah eksenlerinin orijini, yani tezgahın sıfır noktası tezgah imalatı sırasında tayin edilir ve tezgah kontrol ünitesi belleğinde saklanır. Dolayısıyla sabittir ve değiştirilemez.



a



b

Şekil 5.12 a- 5 eksenli bir tezgahın eksen sistemleri, b-Beş eksenli işleme merkezi

6. CNC TEZGAHLARIN PROGRAMLANMASI

6.1 Giriş

Sayısal denetimli tezgahlarda herhangi bir parça üretiminin yapılabilmesi için gerekli olan bilgilerin tezgaha sistematik olarak girilmesi gerekir. Girilen bilgiler tezgah kontrol ünitesinin anlayacağı dilden olmalıdır. Aksi taktirde operatör ile tezgah arasında ilişki kurabilmek mümkün olmaz. Operatör ile tezgah arasındaki ilişkinin en önemli bileşeni teknik resmin kurallara uygun olarak çizilip anlaşılabilmesidir. Şekil 6. 1 ' de bu ilişkiler gösterilmiştir.



Şekil 1.1 CNC parça programının oluşturma aşamaları

Şekil 1.1 'den görüldüğü gibi CNC tezgahlar herhangi bir dildeki konuşma dilinden değil sadece bilgisayar dilinde yazılmış özel programlardan anlarlar. Bir parçanın üretimi için gerekli olan CNC programı, işleme için gerekli olan tüm bilgilerin tezgah kontrol ünitesine girilmesini sağlamalıdır. Kontrol ünitesi bilgilerin özelliğine göre bunlarla ilgili sinyalleri doğru zaman ve sırayla değişik hareketler sağlayacak olan servo motorlara gönderir.

Takım veya parça hareketlerinin kontrolü için pozisyon bilgileri, ölçüsel bilgiler olarak tanımlanır ve X,Y,Z eksenlerine göre verilir. Herhangi bir iş parçasının CNC programı yazılırken öncelikle ölçülerin nereye göre veya ölçülendirmenin hangi esaslara göre yapıldığı bilinmelidir. Ölçülendirme için genel olarak mutlak ve eklemeli yöntemler kullanılır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

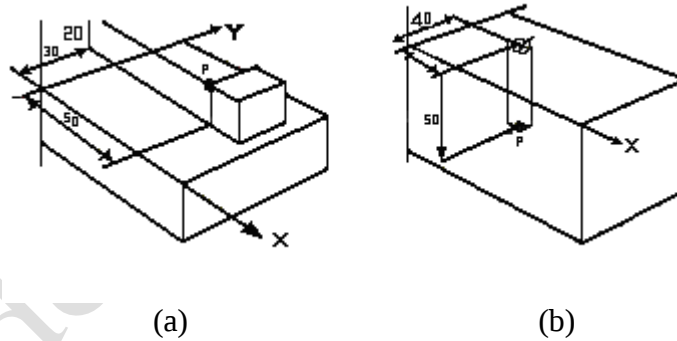
6.2 Mutlak Koordinatlar

Mutlak koordinatlar daima aynı referans noktasından ölçülen boyutlardır. Bu, X,Y ve Z eksenlerindeki referans noktaları pozisyonudur. Her eksenin referans noktası kullanıcı tarafından belirlenebilir ve aynı nokta olmayabilir. Mutlak koordinatlar, referans noktasından ölçülen X,Y koordinat sistemini kullanılır. Her koordinat pozisyonu, iki boyutlu çalışılıyorsa X,Y (tornalamada X,Z) boyutlarıyla tanımlanmalıdır. Üç boyutlu uygulamalar için her koordinat noktası X,Y,Z ile tanımlanır.

Bir CNC programında, mutlak ölçülendirme sisteminin kullanılacağı G90 hazırlık kodu ile belirtilir. İş parçasının bütün ölçüleri bir referans noktasına göre verilir. Bu referans noktasında tüm eksenlerdeki koordinatların değeri sıfırdır.

Mutlak ölçülendirme sisteminin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki örnekleri inceleyiniz.

Örnek. Şekil 6.2 ‘de görülen P noktalarının koordinatlarını bulunuz.



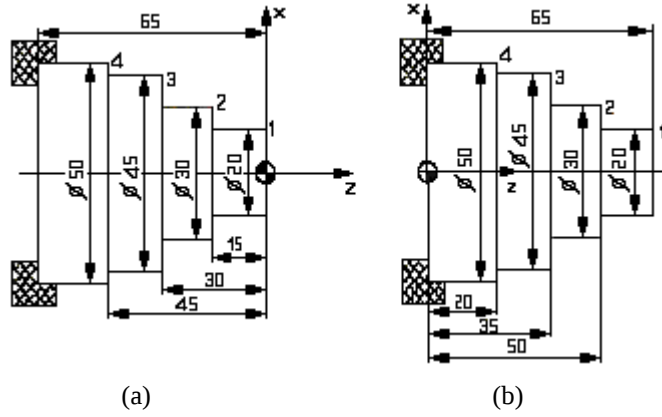
Şekil 6.2 Prizmatik parçalar için koordinatların belirlenmesi

Şekil 6.2.-a için P noktasının X,Y,Z koordinatları; P:X50 Y30 Z20

Şekil 6.2.-b için P noktasının X,Y,Z koordinatları; P:X30 Y50 Z-50

Örnek. Şekil 6.3’de aynı parçanın sıfır noktası sağ ucunda (Şekil 6.3-a) ve sol ucunda (Şekil 6.3-b) olduğu durumlarda 1,2,3,4 noktalarının koordinatlarını belirleyiniz.

Şekil 6.3’de görülen iş parçası, torna tezgahlarında üretilebilecek bir parçadır ve torna tezgahları için çap değerlerinin X, uzunluk değerinin Z koordinatı ile verilmekte olduğunu hatırlayınız.



Şekil 6.3 Silindirik parçalar için koordinatların belirlenmesi

Şekil 6.3-a için 1,2,3 ve 4 noktalarının koordinatları;

- 1: X10 Z0
- 2: X15 Z-15
- 3: X22.5 Z-30
- 4: X25 Z-45

Şekil 6.3-b için 1,2,3 4 noktalarının koordinatları;

- 1: X10 Z65
- 2: X15 Z50
- 3: X22.5 Z35
- 4: X25 Z20

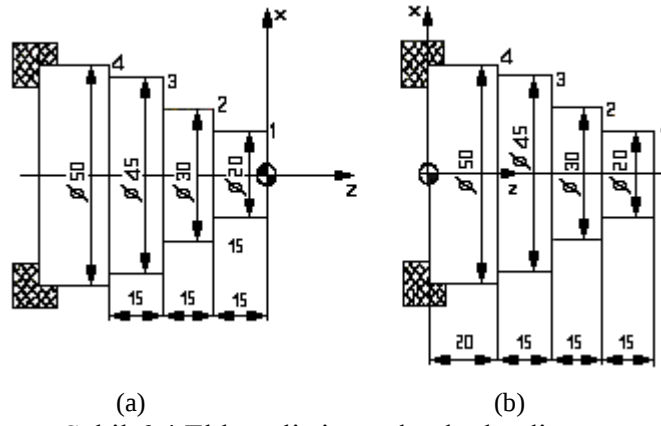
6.3 Eklemeli Koordinatlar

Eklemeli koordinatlar bir önceki boyutun son noktası ile bağlantılıdır. Boyutlanan veya işlenen nokta, sonraki nokta için referans görevi yapar. Bu sistem, farklı noktalar veya boyutlanan özellikler arasında tolerans birikimi olabileceğinden ilk zamanlar pek önerilmemiştir. Bu sistemde belli ilişkileri korumak için daha sıkı toleranslar belirtilmelidir. Bu dezavantajlar CNC tezgahının doğruluk ve bu problemi yok etmesinden dolayı önemli bir sorun oluşturmamaktadır. Çok kullanılan tekrar edilebilen şekiller için (delikli şeritlerde) veya simetrik şekiller için eklemeli koordinatlardan yararlanılır.

Bir CNC programına eklemeli ölçü sisteminin kullanılacağı **G91** hazırlık kodu ile belirtilir.

Eklemeli sisteme ait ölçülendirme şekilleri aşağıdaki örneklerde verilmiştir.

Örnek. Aşağıdaki şekillerde verilen 1,2,3,4 noktalarının değerlerini eklemeli sisteme göre yazınız.



(a) (b)
Şekil 6.4 Eklemeli sistemde ölçülendirme

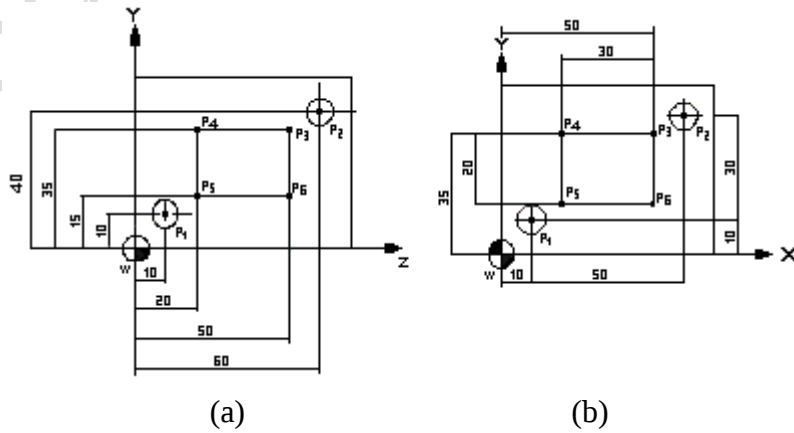
Şekil 6.4-a için 1,2,3 4 noktalarının koordinatları;

- 1:X10 Z0
- 2:X5 Z-15
- 3:X7.5 Z-15
- 4:X2.5 Z-15

Şekil 6.4-b için 1,2,3 4 noktalarının koordinatları;

- 1:X10 Z-65
- 2:X5 Z-15
- 3:X7.5 Z-15
- 4:X25 Z-15

Örnek. Aşağıda verilen şekildeki P noktalarının koordinatlarını mutlak ve eklemeli sistemde yazınız.



(a) (b)
Şekil 6.5 a- Mutlak b- Eklemeli koordinat sistemi

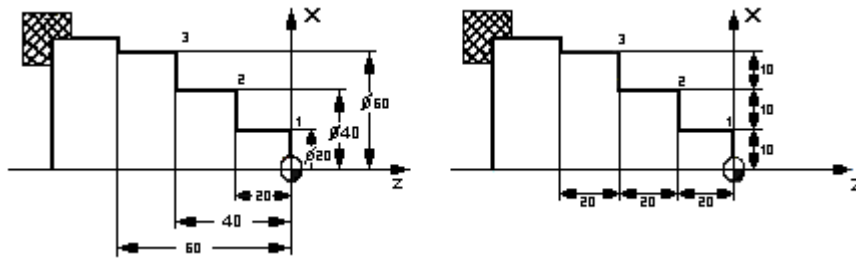
Mutlak sistemde;

P1:X10 Y10
P2:X60 Y40
P3:X50 Y35
P4:X20 Y35
P5:X20 Y15
P6:X50 Y15

Eklemeli sistemde;

P1:X10 Y10
P2:X50 Y30
P3:X-10 Y-5
P4:X-30 Y0
P5:X0 Y-20
P6:X30 Y0

Örnek. Şekil 6.6’da verilen parça için mutlak ve eklemeli sistemde 1,2,3 noktalarının koordinatlarını yazalım.



Şekil 6.6’da a- Mutlak ve b- Eklemeli sistemde ölçülendirme

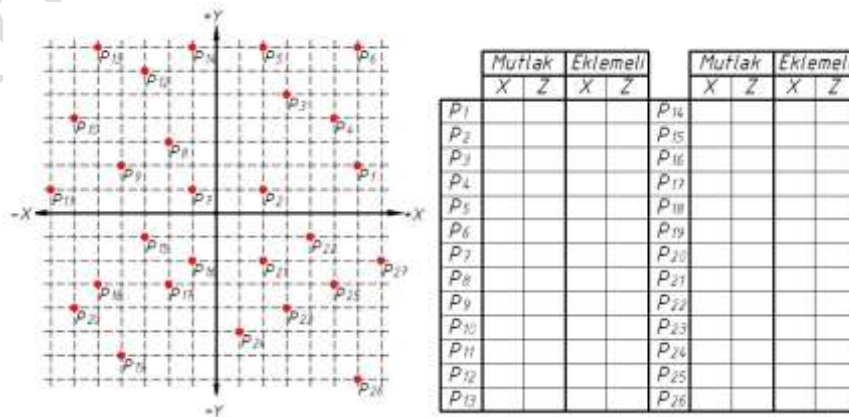
Mutlak sistemde;

1:X10 Z0
2:X20 Z-20
3:X30 Z-40

Eklemeli sistemde;

1:X10 Z0
2:X10 Z-20
3:X10 Z-20

Sonuç olarak; takım yolu mutlak veya eklemeli olarak verilebilir. Mutlak sistemde tüm noktaların koordinatları orijine göre verilir. Eklemeli sistemde ise daha önceki noktaya yani takımın bulunduğu noktaya göre verilir.



Şekil 6.7 Eklemeli ve mutlak sistemin karşılaştırılması

6.4 CNC Tezgahlarda Kullanılan Kodlar ve Formlar

CNC tezgah ve sistemlerinde programlama ASCII (American Standart Code For Information Interchange) Kod esasına göre oluşturulan ISO, IEA, DIN gibi aynı içerikli kod sistemine dayanmaktadır. Bununla birlikte NC sistemleri için kontrol ünitelerini üreten firmaların kontrol sistemlerinde bazı farklılıklar vardır. Ancak tüm bu sistemlerde programlamanın esası aynıdır.

ISO kod sistemine dayanan bir program aşağıdaki unsurlardan meydana gelir.

- ⇒ Programın adını temsil eden program numarası
- ⇒ Programı oluşturan ve satır şeklinde yazılan bloklar
- ⇒ Blokları oluşturan kelimeler

Örneğin;

O0001	: Programın adı
N01 G90 G21 G40;	: 1. Blok
N05 G00 X45;	: 2. Blok
N10 G01 Z-20 F200;	: 3. Blok
...	
N40 G00 G40 X150 Z40;	: N-1 Blok
N45 M02;	: Programın son bloğu

Programın adı görüldüğü gibi "O" harfini takibeden 4 basamaklı bir sayıdan oluşur. Programın esasını oluşturan bloklar, satır şeklinde yazılır. Bloklar ile takımın hareketleri yönlendirilir, iş mili çalıştırılır veya durdurulur, kesme hızı ve ilerleme hızı belirlenir, soğutma sıvısı açılır kapatılır. Her bloğun başında bir blok numarası bulunabilir. Blok numarası "N" harfi ve bunu izleyen bir sayıdan oluşur. Bu sayı 1'den 9999'a kadar dört basamaktan oluşabilir. Sayılar küçükten büyüğe artacak şekilde keyfi olarak seçilebilir. N1..., N2..., N5..., N20..., ...

Bloklar N01, G90, X30, F200 vb. gibi kelimelerden meydana gelir. Kelimeler esasen bir komuttur; yani bir işlemi temsil eder. Görüldüğü gibi her kelime adres adını taşıyan bir sayıdan oluşur. Sayılar ise kod veya değer olabilir. Örneğin;

G	01	X	35	F	200	M	06
<u>Adres</u>	<u>Kod</u>	<u>Adres</u>	<u>Kod</u>	<u>Adres</u>	<u>Kod</u>	<u>Adres</u>	<u>Kod</u>
Kelime		Kelime		Kelime		Kelime	

Adresli kelimelerden oluşan bloklara adresli blok formatı denir.

Adresli kelimelerin sayıları; kod örneğin yukarıdaki örnekte G ve M adreslerinin yanındaki sayılar; veya değer olabilirler. Örneğin X, Y, F adreslerinin yanındakiler X ve Y'ye ait koordinatları ve değerlerini ifade ederler.

ISO sistemine göre adresler için İngiliz alfabesinin A'dan Z'ye harfleri kullanılmaktadır. Bu harflerin çoğuna anlam verilmiş; birkaçı boş bırakılmıştır. Boş olanlar çeşitli kontrol sistemleri tarafından farklı anlamlar için kullanılır. O harfi sıfır ile karışmaması için kullanılmaz Tablo 6.1'de ISO kod sisteminden adres olarak en çok kullanılan harfler

verilmiştir. Anlam sütunundaki parantez içindeki sayılar; adreslerin sayısal kısmının basamak sayısını ifade etmektedir. Bu adreslerin yanı sıra çeşitli kontrol sistemlerinde anlamları farklı olan adresler kullanılmaktadır.

Tablo 6.1 ISO kod Sistemine göre Adresler (Harfler)

Adres	Anlam	Adres	Anlam
A	X eksen etrafında dönme	N	Blok numarası
B	Y eksen etrafında dönme	O	kullanılmaz
C	Z eksen etrafında dönme	P	3. ek eksen veya serbest
D	Serbest veya ek eksen etr. dön.	Q	3. ek eksen veya serbest
E	Serbest veya ek eksen etr. dön.	R	3. ek eksen veya serbest
F	İlerleme hızı	S	Kesme hızı
G	Hazırlık fonksiyonu	T	Takım fonksiyonu
H	Takım uzunluk telafisi	U	2. ek eksen; X'e paralel
I	Dairesel interpolasyonda X eksenine göre yarıçap bileşeni	V	2. ek eksen; Y'e paralel
J	Dairesel interpolasyonda Y eksenine göre yarıçap bileşen	W	2. ek eksen; Z'ye paralel
K	Dairesel interpolasyonda Z eksenine göre yarıçap bileşen	X	Ana eksen
L	Serbest	Y	Ana eksen
M	Yardımcı fonksiyonu	Z	Ana eksen

Tablo 6.2 ISO Kod Sistemine göre Adresler (Harfler)

Adres	Anlam
N	Blok numarası (1...9999)
G	Hazırlık (takım yolu) fonksiyonu (0...99)
X,Y,Z,A,B,C	Doğrusal ve dönme eksenlerinin koordinatları (± 99999.999)
I,J,K	Yay (daire) merkezinin koordinatları (± 99999.999)
F	İlerleme hızı (1...100,000 mm/dak) (0.01...0.5 mm/dev)
S	Kesme hızı (0...9999)
T	Takım numarası (0...99)
M	Yardımcı fonksiyonu (0...99)

6.5 Blokların Yapısı

CNC tezgahlar ve sistemlerde işlemler, blokların içerdiği bilgilere göre yapılır.

Genelde bir blok şu bilgileri içerir:

- ⇒ Blok numarası;
- ⇒ Takım yolu ile ilgili bilgiler (geometrik bilgiler);
- ⇒ Kesme hızı, ilerleme, kullanılan takım gibi teknolojik bilgiler;
- ⇒ İş milinin çalışması, kesme sıvısının çalışması, programın durması gibi yardımcı bilgiler

Takım yolu şu bilgileri içermektedir:

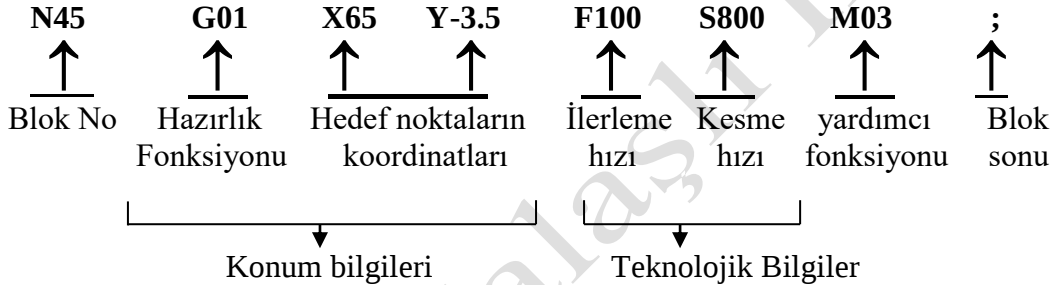
⇒ Takımın gideceği hedef konum; bu konum X, Y, Z koordinatları ile açıklanır.

⇒ Hedef konuma nasıl gidecek; burada çabuk hareket (G00); doğrusal bir hareket (G01) veya dairesel bir hareket (G02, G03) gibi seçenekler vardır.

Bu bakımdan bir blok şu kelimelerden (komutlardan) oluşur:

1. Blok numarasını gösteren kelime (N)
2. Hareket şeklini gösteren hazırlık fonksiyonu (G)
3. Hareketin hedef noktasını (eksenlerini) gösteren kelime (X,Y,Z,A,B,C)
4. Yay merkezini gösteren kelime (I,J,K) (varsa)
5. İlerleme hızını gösteren kelime (F)
6. Kesme hızını gösteren kelime (S)
7. Takım numarasını gösteren kelime (T)
8. Yardımcı işlemleri gösteren hazırlık fonksiyonu

Buna göre bir blok örneği şöyledir :

**1. Blok Numarası**

Yukarıda da belirtildiği gibi blok numarası; N ve ondan sonra bir sayı ile ifade edilir; sayı 1'den 9999'a kadar dört dijitten oluşur. Sayıların düzeni ard arda değil de keyfi alınır, örneğin; N01, N02, N05, N10. Kontrol ünitesinde işlem görmedikleri için blok numarası kullanılması mecburi değildir. Blok numarasının kullanılması halinde, kullanım ve takip kolaylıkları vardır.

2. Hazırlık Fonksiyonları (G Kodu)

G adresi ile ifade edilen hazırlık fonksiyonları, blok içinde komutların anlamını belirler. Buna göre hazırlık fonksiyonu; hareket (enterpolasyon) tipini, boyutların mutlak veya eklemeli, milimetre veya inç olarak verilmesi, çalışma şeklini, özel işlemleri vb. belirtir. Fonksiyonun sayısal kısmı 0'dan 99'a kadar iki basamaktan oluşur. Her sayı kod şeklindedir; yani sabit bir anlam taşır. Bu anlamların çoğu ISO tarafından standart veya seçmeli olarak belirtilmiş bazıları da boş bırakılmıştır. Bu kodlarla ilgili şu hususlara dikkat edilmesi gerekir:

⇒ Bir takım hazırlık fonksiyonları, hemen hemen tüm kontrol sistemlerinde aynı anlamda; bazıları ve boş olanları farklı anlamda kullanılmaktadır.

⇒CNC tezgahlar torna, freze, delme işlemlerini de yapan iş merkezleri, tel erozyon/ taşlama tezgahı şeklinde üretilir. Dolayısıyla kontrol sistemi tezgahın amacına uygun olarak

yapılır. Bu bakımdan örneğin torna ve freze tezgahı için bir hazırlık fonksiyonu, farklı anlam taşıyabilir.

Tablo 6.3'te Fanuc, Tablo 6.4'te Boxford 'da kullanılan G hazırlık fonksiyonları verilmiştir. Her iki tablo incelendiğinde kullanılan G kodlarının bazılarının aynı kodlar olmasına rağmen farklı anlamlara geldiği görülmektedir. Yazılacak parça programı, her kontrol sisteminin içerdiği kodlara göre düzenlenmelidir. Bu kodların ayrıntıları üretici firmaların el kitaplarından bulunabilir. Bu fonksiyonlara kısaca G kodu denilecektir: G kodları yukarıda 01, 02 vb. ile gösterilen çeşitli gruplara ayrılmıştır. Buna göre bir blokta aynı gruptan olmamak koşulu ile birçok G kodu bulunabilir. Örneğin bir blokta G00 ve G90 kodları bulunabilir; ancak G00 ve G01 kodları bulunamaz; bulunduğu durumda yazılan son kod dikkate alınır.

Tablo 6.3 Fanuc' ta kullanılan G kodlarından bazıları

G Kodu	Anlamı
G00	Hızlı hareket
G01	Doğrusal hareket (Belirli bir F ilerleme hızı ile ilerleme hareketi)
G02	Dairesel hareket (saat yönünde, Radyüslü paso hareketi)
G03	Dairesel hareket (saat yönü tersine, Radyüslü paso hareketi)
G04	Geçici durdurma
G20	İnç sistemde program girişi
G21	Metrik sistemde program girişi (mm)
G70	Nihai işleme çevrimi
G71	Z eksenine paralel otomatik silindirik kaba boşaltma çevrimi
G90	Mutlak komut sistemi
G91	Eklemeli komut sistemi
G96	Sabit kesme hızı kontrolü (S: m/dak)
G97	Sabit devir kontrolü (S:dev/dak)
G98	Dakikadaki ilerleme (mm/dakl)
G99	Dönmedeki ilerleme (mm/dev)

Tablo 6.4 Boxford 'da kullanılan G kodlarından bazıları

G Kodu	Anlamı
G00	Hızlı hareket
G01	Doğrusal hareket (Belirli bir F ilerleme hızı ile
G02	Dairesel hareket (saat yönünde, Radyüslü paso
G03	Dairesel hareket (saat yönü tersine, Radyüslü paso hareketi)
G04	Geçici durdurma
G70	İnç sistemde program girişi
G71	Metrik sistemde program girişi (mm)
G70	Nihai işleme çevrimi
G81	Z eksenine paralel otomatik silindirik kaba boşaltma çevrimi
G90	Mutlak komut sistemi
G91	Eklemeli komut sistemi
G94	Dakikadaki ilerleme (mm/dak)
G95	Devirdeki ilerleme (mm/devir)
G96	Sabit kesme hızı kontrolü (S:m/dak)
G97	Sabit devir kontrolü (S:m/dak)

G kodları modal ve modal olmayan gibi iki gruba ayrılır. Modal G kodları bir bloğa yazıldıktan sonra; iptal edilinceye kadar, ondan sonra gelen bloklarda da geçerli olur. İptal işlemi aynı gruptan bir başka G kodunun veya o işlemi iptal eden bir kodun yazılması ile gerçekleşir. Örneğin G00 kodu G01, G02, G03 veya G33 kodları ile iptal edilir; G41, G42 takım telafisi kodları G40 kodu ile iptal edilir. Çok az olan modal olmayan kodlar sadece bulunan blokta geçerlidir.

G kodlarının sayılarının önündeki sıfır yazılmayabilir; örneğin G00 kodu G0 gibi.

G kodları arasında takım hareket kodları önemli bir yer tutmaktadır; G00 (G0) çabuk hareket; G01 (G1) doğrusal hareket; G02 (G2) saat ibresi yönünde dairesel hareket ve G03 (G3) saat ibresinin ters yönünde dairesel hareket kodlarıdır. Bu hareketlerin başlangıç noktası denilen takımın bulunduğu ve hedef noktası adını taşıyan takımın gideceği noktaları vardır. Hareket kodlarından sonra daima hedef noktasının koordinatları verilir. Örneğin; G00 X35 Y17 Z3 gibi.

6.6 Tornalama İşlemleri için hazırlık fonksiyonları

Daha önce belirtildiği gibi G kodları hareketin tipini tayin eder ve nümerik sistemi işlem için hazırlar; bu nedenle onlara hazırlık fonksiyonları da denir. En çok kullanılan G kodları aşağıda verilmiştir.

Hareket Kodları :

- G00** Çabuk hareket (konumlama)
- G01** Doğrusal hareket (enterpolasyon)
- G02** Saat ibaresi yönünde dairesel hareket (enterpolasyon)
- G03** Saat ibaresinin ters yönünde dairesel hareket (enterpolasyon)



Şekil 6.13 Hareket fonksiyonları

Boyut kodları :

- G90** Mutlak Boyutlama
G91 Eklemeli boyutlama

Programda belirtilmese bile programlama G90 'ile başlayacaktır. Eklemeli sistem ile çalışılacaksa G91 ile eklemeli sistem ile program yapılacağı belirtilmelidir. Programın farklı farklı yerlerinde mutlak sifıra göre ve eklemeli sisteme göre program yazılabilir. Mutlak sistem ile başlayan program eklemeli sisteme döndürülecekse komut satırlarına G91 yazılarak eklemeli sisteme geçiş yapılır. Sonra tekrar mutlak sisteme geçilecekse komut satırlarına G90 yazılarak mutlak sisteme geçiş yapılır.

Mutlak sistemde program yazılırken eklemeli sistem ile programlama yapılırken yarıçaptaki yer değiştirmeleri göstermek üzere U, uzunluktaki yer değiştirmeleri göstermek üzere W parametreleri kullanılır. Bu konuyla ilgili örnek programlar ilerleyen bölümlerde verilecektir.

Birim kodları :

- G20** İnç sistemi (G70: Boxford 'da)
G21 Metrik (mm) sistem (G71: Boxford 'da)

Takım telafisi kodları :

- G40** Takım telafisi iptali
G41 Sol takım telafisi
G42 Sağ takım telafisi

Sıfır nokta kodları :

- G54...G59** Sıfır nokta kaydırma (parça referans noktaları)

Kesme hızı kodları :

- G96** Kesme hızı mm/dak; sabit kesme hızı kodu
G97 Kesme hızı dev/dak (rpm); sabit hız iptali
G50 m/dak olan kesme hızının sınırlandırılması

İlerleme hızı kodları :

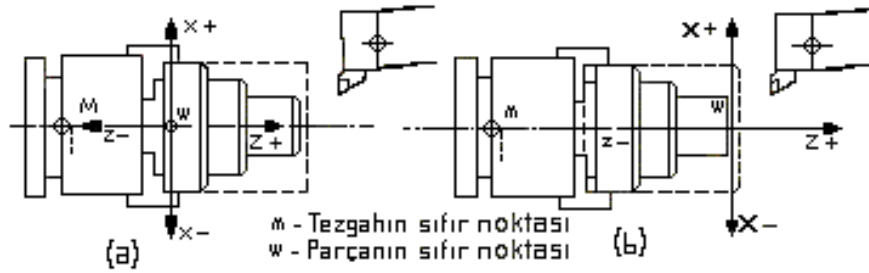
- G98 (veya G94)** İlerleme hızı mm/dak (G94: Boxford 'da)
G99 (veya G95) İlerleme hızı mm/dev (G95: Boxford 'da)

Tekrarlanan işlem kodları :

- G70...G79** Tornalama için tekrarlanan işlem kodları
G80...G89 Delme için tekrarlanan işlem kodları
G92/G33 Vida açma çevrimi

Durma kodu :**G04** geçici durma kodu

Tornalama işlemlerinde G kodlarının analizine geçmeden önce şu hususu hatırlamakta fayda vardır. Daha öncede belirtildiği gibi tornada koordinat sistemi X ve Z eksenlerine dayanır; parçanın sıfır noktası, parçanın eksenleri üzerinde sol veya sağ ucunda alınır. (Şekil 6.14 a-b) Ayrıca X ekseninin pozitif yönü, takımın parçaya göre bulunduğu yere bağlıdır.(Şekil 6.14 a-b)



Şekil 6.14 a-b Tornalamada parça eksenleri

Hızlı Hareket (konumlama) (G00)

G00, çabuk hareket yani takımı belirli bir noktaya konumlandırmak için kullanılır; hareket genelde takımı parçaya yakınlaştırmak veya uzaklaştırmak için uygulanır. Hareket sırasında F kodu ile ilerleme hızı belirlenmez. Tezgahın bir parametresi olan maksimum ilerleme hızı kullanılır. Hareket eksenlere paralel veya 45° eğik olarak yapılabilir. Hareket sırasında işlem yapılmaz. Bloкта hedef noktasının yani takımın gideceği noktanın koordinatları yazılır. Bloğun formatı şu şekildedir :

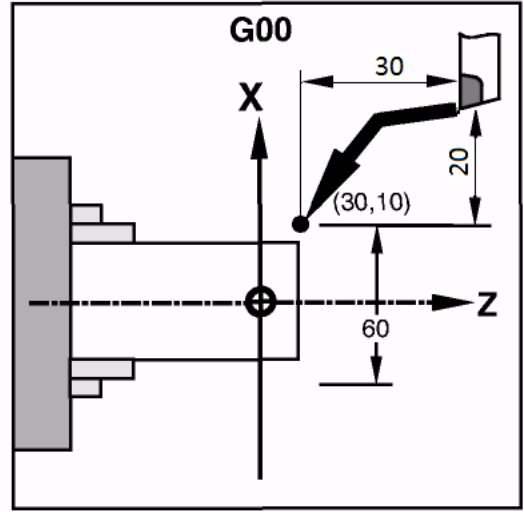
G00 X.... Z..

Şekil 6.15'te görülen uygulamada G00 kodunun işletilmesi halinde takım istenilen koordinata tezgah eksenlerinin maksimum hızında ilerleyecektir. Bu ilerleme sırasında X ve Z eksenlerinde eşit olarak (45° açıyla) ilerleyecek, sonra diğer eksen boyunca düz ilerleyecektir. Aynı bloкта F,S,T ve M yazılabilir ancak bunlar daha sonraki bloklarda geçerli olurlar. Koordinatlar mutlak veya eklemeli yazılabilir.

Blok format

N10 G00 G90X60. Z10. (Mutlak sistem)
N10 G00 G91X-20. Z-30. (Eklemeli sistem)

N10 Satır numarası
 G00 Hızlı hareket
 G90 Mutlak sistemde veri girişi
 G91 Eklemeli sistemde veri girişi
 X Hedef noktanın X koordinatı
 Z Hedef noktanın Z koordinatı



Şekil 6.15 Hızlı hareket komutunun uygulanması

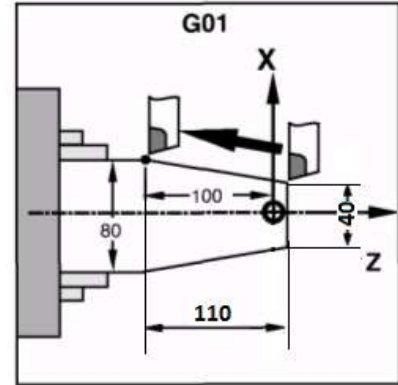
Doğrusal Hareket (G01)

G01, F kodu ile belirtilen bir ilerleme hızı ile doğrusal bir kesme hareketi gerçekleştirir. Bloğun formatı aşağıda görüldüğü biçimdedir. F, S, T ve M değerleri daha önceki blokların birinde verilebilir. Burada da X ve Z hedef noktasının koordinatlarıdır. Koordinatlar mutlak veya eklemeli olarak verilir.

G01 X... Z... F... S... T...M...

N100 G90 G01 X80. Z-100. F0.2;(mutlak)
N100 G90 G01 X20. Z-110. F0.2;(eklemeli)

N100 Satır numarası
 G90 Mutlak koordinat sistemi
 G91 Eklemeli koordinat sistemi
 G01 Lineer enterpolasyon
 X Takımın bulunduğu noktanın X koordinatı
 Z Takımın bulunduğu noktanın Z koordinatı
 F İlerleme mm/dev



Şekil 6.16 Doğrusal Hareket

Bazı kontrol sistemlerinde; ard arda yapılan doğrusal kesme hareketlerinde A ile simgelenen, X eksenine göre açı verilerek programlama yapılabilir. Bir koordinatın değeri tam olarak bilinmiyorsa ve o koordinat açı değeri ile tanımlanıyorsa açı değeri ve bilinen koordinat yardımıyla istenilen geometri elde edilebilir. Açı verilmesiyle ilgili kavram Şekil 6.17-a'da verilmiştir. Kesici takımın bulunduğu X1 ve Z1 koordinatı bilinmektedir. A=120° dir. İkinci noktanın Z koordinatı bilinmekte (Z=-18) ve X koordinatı bilinmemektedir.

Fanuc kontrol ünitesinde yazılacak program satırları şu şekilde olacaktır.

```
G01 X1. Z1. F0.2;
Z-18. A120
```

...

Tezgah, bu bloğu okuduğunda; X2 noktasının değerinin 34,98 olduğunu hesaplar ve

```
X34.98 Z-18. F0.2;
```

bloğunu okumuş gibi işlem yapar.

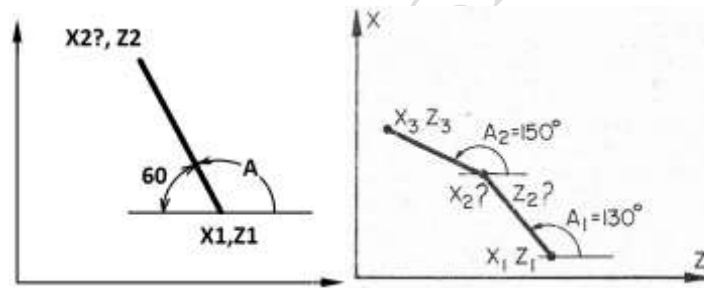
Bu yöntemle ardışık iki doğru için programlama yapılabilir. Şekil 6.17-b 'de gösterildiği gibi 1. ve 3. noktanın koordinatlarıyla aradaki açılar vermek yeterlidir. X2 ve Z2 tezgah tarafından hesaplanarak geçiş noktası otomatik olarak işlenir.

1. noktanın koordinatları: X10 Z-20 ve

3. noktanın koordinatları: X120 Z-114

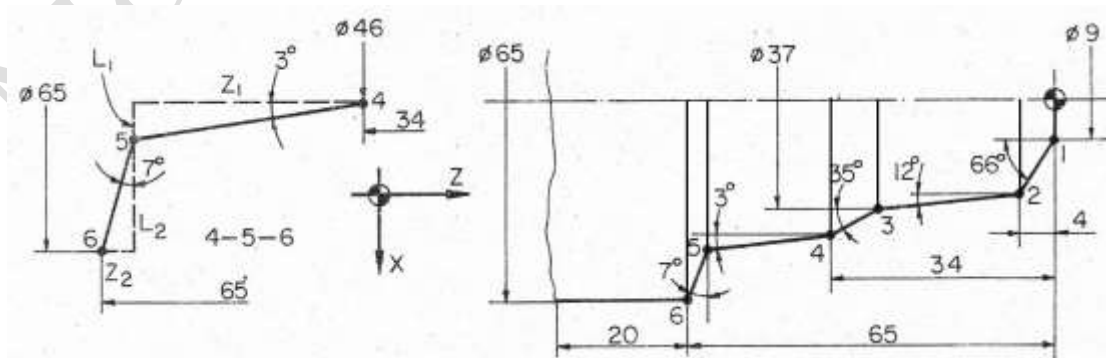
N30 G01 X10 Z-20 F0.2 (ilk nokta)

N40 A130 A150 X120 Z-114 (son nokta)



Şekil 6.17 a-b Açısal programlama

Örnek: Şekil 6.18'deki parça Fanuc OT denetimli tezgahta işlenecektir. Tezgahın açı verebilme özelliğinden yararlanarak parça programını yazalım.



Şekil 6.18 Örnek parça

O0001;
 N100 T0202;
 N110 G96 S250 M3;
 N120 G00 X9. Z1.;
 N140 G01 Z0. F0.2;
 N150 Z-4. A114;
 N160 X37. A168;
 N170 Z-34. A145;
 N180 A177;
 N190 X65. Z-65. A97;
 N200 Z-85.;
 N220 X67.;
 N220 G00 X300. Z300.

O0001: Program adı

N100:Magazindeki 2 numaralı takım aktif takım yapar.

N110:İş parçası sabit kesme hızıyla saat eksen yönünde döndürülmektedir.

N120:Kesici takım talaş kaldırma pozisyonuna hızlı ilerlemeyle gitmektedir.

N140:Kecisi takım 1 numaralı noktaya $F=0.2$ mm/dev ilerlemesiyle temas eder.

N150:Tezgah X koordinatını hesaplayarak takım 2. noktaya getirmektedir.

$$X=2 * \tan(66)^*4+9=26,97$$

2. noktanın koordinatları : X26.97 Z-4

N160:Z koordinatı bilinmemektedir. 2. nokta koordinatları bilindiğinden 3. noktanın Z koordinatı tezgah tarafından hesaplanarak 3. noktaya ulaşılmıştır.

$$[(37-27)/2] * \cot(12) + 4=27,5 \text{ mm}$$

3. noktanın koordinatları: X37 Z27,5

N170: Tezgah 3. nokta koordinatlarını kullanarak 4. noktanın X koordinatını hesaplayarak bu takım 4. noktaya taşımaktadır.

$$2 * [(37-27,5)*\tan(35)] + 37=46$$

N180: Bu blokta sadece açı değeri verilmiş olup programın burada kesilmesi halinde istenilen koordinatın hesaplanması mümkün değildir. Bu nedenle programda bir sonraki blokta tüm bilgiler (X,Z,A) verilmelidir ki tezgah kesişme noktasını hesaplayabilsin.

N190: 6. nokta için X,Z ve A değerleri verilmektedir. Bu bilgilerle tezgah kesişme noktalarını hesaplayabilmektedir.

5. noktanın koordinatlarının nasıl bulunabileceği Şekil 6.18 'de 5. ve 6. noktanın detay görünüşünden çıkarılabilir.

$$L1+L2=(65-46)/2=9,5$$

$$Z1-Z2=65-34=31$$

$$L1=Z1.\tan(3)=0,052 Z1$$

$$L2=Z2.\cot(7)=8,144 Z2$$

Denklemler sırasıyla çözüldüğünde ;

$$L1=1,6 \text{ mm}, \quad L2=7,9 \text{ mm}$$

$$Z1=30 \text{ mm}, \quad Z2=0,97 \text{ mm}$$

elde edilir. 5. noktanın koordinatları: X49,2 Z -64 olarak elde edilir.

N200: Kesici takım Z -85 mm noktasına gitmektedir.

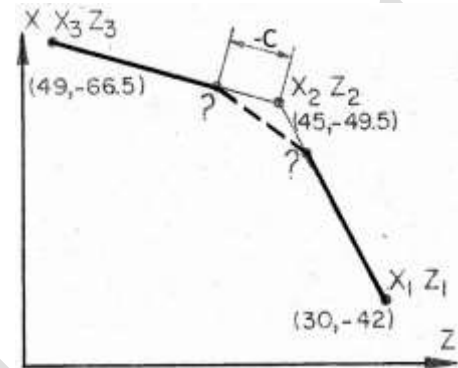
N210: Takım, çapta parçayla arasında 1 mm mesafe kalacak şekilde kaydırılmaktadır.

N220: Takım hızlı hareketle X300 Z300 noktasına alınmaktadır.

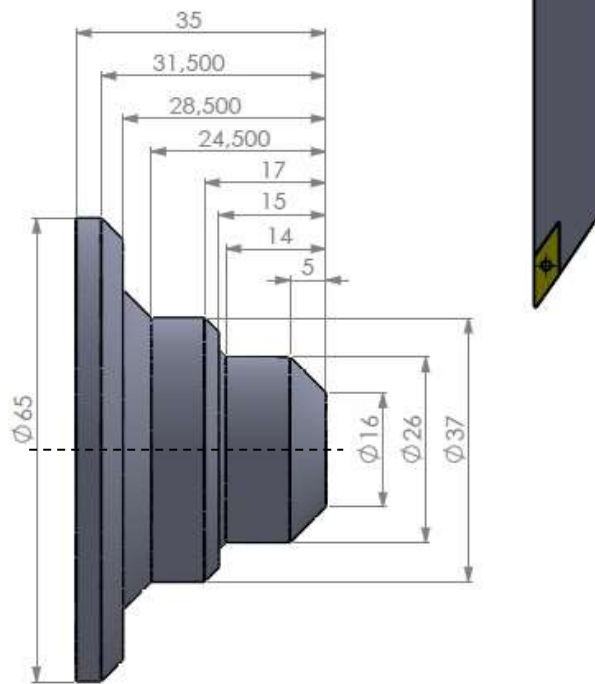
Otomatik Pah Kırma (C) ve Radyüs Oluşturma (R)

Pah kırma, en genel anlamıyla iki doğru arasındaki geçişin kısa bir doğruyla sağlanmasıdır. Kısa bir doğru denilmesinin nedeni; bu doğru hiçbir zaman birleştirilen doğrulardan daha büyük olamaz. Bunlardan uzun veya gereğinden uzun olması durumunda işlem açı vermeye dönüşür. Pah kırmak, C uzunluğunda kenarları olan bir ikizkenar üçgeni, X2,Z2 noktasını tepe noktası olarak, tezgahın iki doğru arasına yerleştirmesidir. Şekil 6.19'daki pahın elde edilmesi için gereken program parçası aşağıda verilmiştir.

N110 G01 X30. Z-42. F0.4; (1.nokta)
 N120 X45. Z-49.5 C-4. (2.nokta)
 N130X49. Z66.5 (3. nokta)



Şekil 6.19 Pah kırılmış bir parça



Şekil 6.20 Örnek iş parçası

Şekil 6.20'de verilen parça FANUC denetim birimine sahip tezgahta işlenecektir. Tezgahın otomatik 45°'lik pah kırma özelliğinden yararlanarak parça programını yazınız.

```

O0002;
N30 G96 S250 M3;
N40 T0202;
N50 G0 X0. Z1.;
N60 G01 Z0. F0.2;
N70 X26. C-5.;
N80 Z-15. C1. F0.1;
N90 X37. C-2.;
N100 Z-28.5 C4. F0,15;
N110 X65. C3.;
N120 Z-35.;
N130 X67.
N140 G00 X300. X300.
M30

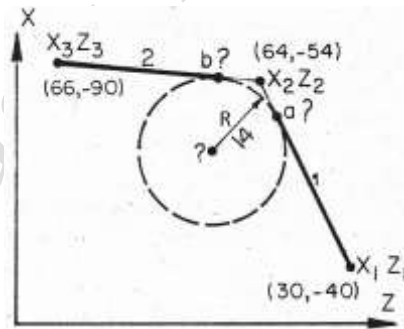
```

Yuvarlatma işleminde, iki doğrunun birleştirilmesi işleminde doğru kullanımı yerine bir yay parçası kullanılmaktadır. Şekil 6.21'deki yuvarlatmanın elde edilmesi için gereken program parçası aşağıda verilmiştir.

```

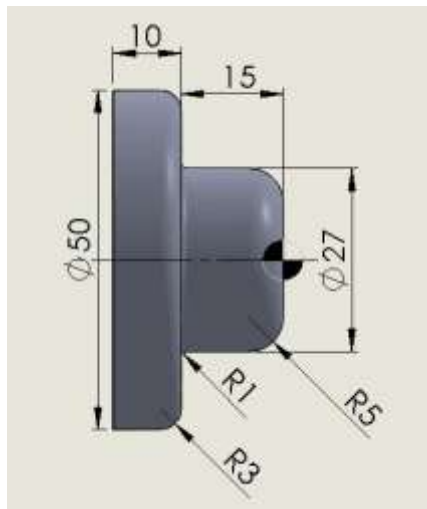
N10 G01 X30. Z-40
N20 X64. Z-54. R14.
N30 X66. Z-90.

```



Şekil 6.21 Yuvarlatma işlemi için örnek geometri

Şekil 6.22'de verilen parça FANUC denetim birimine sahip tezgahta işlenecektir. Tezgahın otomatik otomatik yuvarlatma yapma özelliğinden yararlanarak parça programını yazalım.



Şekil 6.22 Örnek iş parçası

```

O0003;
N100 T0101;
N110 G96 S200 M3;
N120 G00 X0. Z1.;
N130 G01 Z0. F0.2;
N140 X27. R5.;
N150 Z-15. R1. F0.15;
N160 X50. R3.;
N170 Z-25. F0.2;
N180 M30

```

Dairesel Hareket (G02, G03)

G02 ve G03 kodları, F ile belirtilen kesme hızı ile takım dairesel bir yay üzerinde hareket ettirirler. Bu bakımdan;

G02 Saat ibresi yönünde (CW)

G03 Saat ibresinin ters yönünde (CCW)

Dairesel enterpolasyonu programlamak için G02 veya G03 kodlarından sonra:

⇒ Takımın gideceği hedef noktasının koordinatları belirtilir; bu koordinatlar mutlak veya eklemeli olarak verilir.

⇒ Yayın merkezi belirlenir. CNC sistemlerinde kullanılan genel uygulama yayın merkezi; başlama noktasına göre yay çapının X, Y, Z eksenleri yönündeki bileşenleri ile gösterilir. Bu bileşenler X yönünde I, Y yönünde J ve Z yönünde K ile ifade edilir. Tornalama parça eksenleri X, Z olduğu için burada I ve K kullanılır. I, K her zaman başlama noktasından merkeze doğru eklemeli olarak alınır. Yön parçasının sıfır noktasına doğru ise I ve/veya K negatif; bu noktadan uzaklaşırsa pozitif alınır. (Şekil 6.18) Bazı sistemlerde yay yarıçapı direkt olarak adresi R olan, örneğin R25 şeklinde yarıçapın değeri ile gösterilir. (Şekil 6.18 c)

⇒ Yarıçapı R sadece açılar $\alpha \leq 180^\circ$ 'den daha az olan yaylara verilir. $\alpha \geq 180^\circ$ 'den daha büyük yaylar için R verilmeyebilir, istenirse yaylar iki yaya bölünür veya I, K parametreleri kullanılır. Bir daire işlemek için X, Y değerleri yazılmaz, sadece I ve K Parametreleri verilir; örneğin: G02 I... K... ; G02 R... komutunda takım hareket etmez.

Bu açıklamalara göre dairesel enterpolasyonun blok formatı şu şekildedir.

G02 X... Z... I... K...	veya	G02 X... Z... R...
G03 X... Z... I... K...		G03 X... Z... R...

G02 Saat Yönünde Dairesel Hareket

Takım, bir yayın yarıçapı-son konumu veya yayın merkezi-son konum bilgilerinden hareketle saat yönünde dairesel hareket yapar. Belirli bir ilerleme değerinde dairesel hareket ile talaş kaldırmak için kullanılır.

Blok format (yarıçap ve son konum için)

N70 G90 G02 X140. Z-100. R50. F0.1

N70 Sıra numarası

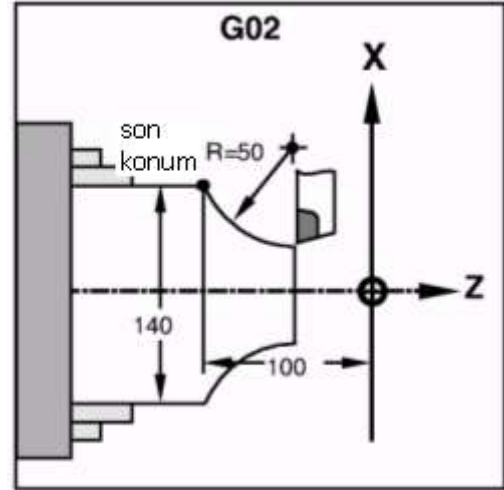
G90 Mutlak koordinat sistemi

G02 Dairesel enterpolasyon CW

X Son konumdaki çap

Z Son noktanın Z koordinatı

F İlerleme



Blok format (yay merkezi ve son konum)

N80 G90 G02 X140. Z-100. I75. K30. F0.1

N80 Sıra numarası

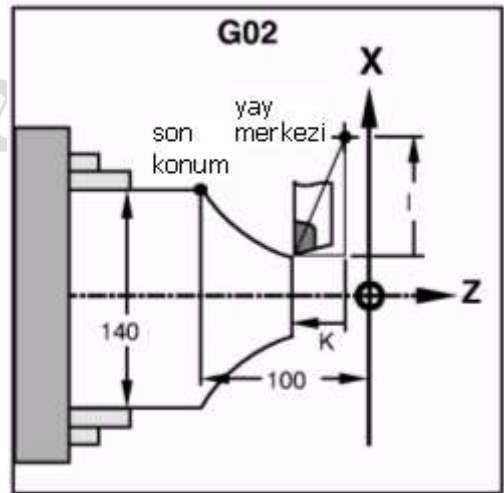
G90 Mutlak koordinat sistemi

G02 Dairesel interpolasyon CW

I X ekseninde yayın başlangıç noktası ile yay merkezi arasındaki mesafe (çap değerine eşit değildir)

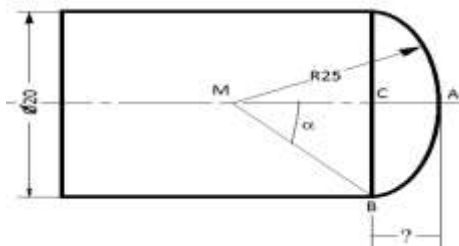
K Z ekseninde yayın başlangıç noktası ile yaymerkezi arasındaki mesafe

F İlerleme



Şekil 6.23. Dairesel hareket

Örnek;Aşağıda verilen şekilde I ve K değerlerini belirleyiniz ve kesici takımı AB yayı üzerinde hareket edecek şekilde programlayınız.



Şekil 6.24 Örnek parça

Bu parça üzerinde F ve K değerleri aşağıda verilmiştir.

I=0, K=25

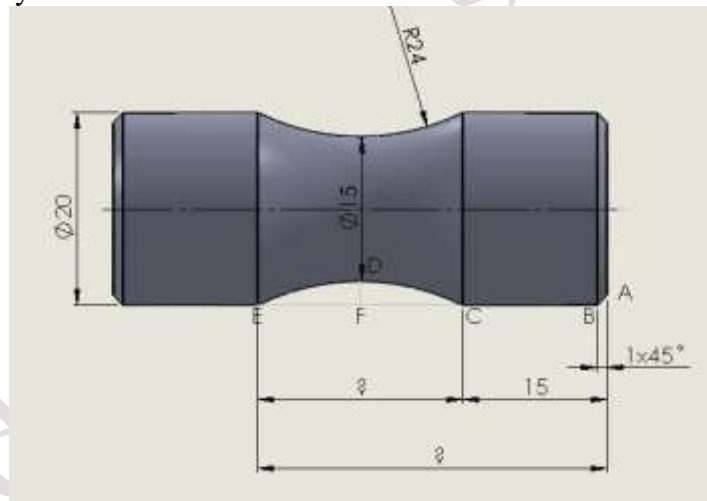
Kesici takımın AC yayı üzerinde hareket edecek şekilde programlanabilmesi için AC uzunluğunu bilmemiz gerekiyor.

$$\begin{aligned} \text{MA} &= \text{MB} = 25 \text{ mm} \\ \text{CB} &= 10 \text{ mm} \\ \text{CM} &= \sqrt{\text{BM}^2 - \text{BC}^2} = \sqrt{25^2 - 10^2} \text{ (Pisagor teoreminden)} \\ \text{CM} &= 22.91 \text{ mm} \\ \text{AC} &= \text{MA} - \text{CM} = 25 - 22.91 \\ \text{AC} &= 2.09 \text{ mm} \end{aligned}$$

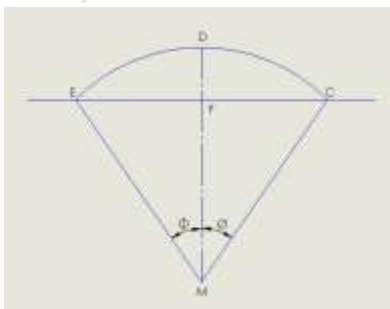
Kesici takımın AB yayı üzerindeki hareketi için aşağıda verilen blok yazılabilir.

G03 X20 Z-2.09 I0 K25 F40

Örnek: Kesici takımının, Şekil 6.25'de verilen iş parçası üzerindeki CDE yayı üzerindeki hareketini programlayınız.



Şekil 6.25 Örnek parça



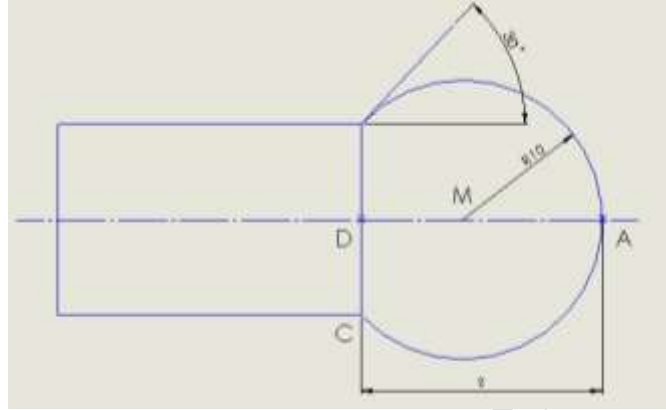
CM=24 mm
DF=2mm
 $EM^2=EF^2 +MF^2$
 $EF = \sqrt{24^2 - 22^2}$
EF=9.59 mm

CDE yayı iki aşamada elde edilecektir. Birinci aşama CD yayının elde edilmesi olacaktır. İkinci aşama DE yayının elde edilmesidir.

CD yayı: G02 X16 Z-24.59 I22 K9.59 F40

DE yayı: G02 X20 Z-34.18 I24 K0 F40

Örnek: Aşağıda verilen iş parçası için kesici takımı ABC yayı üzerinde hareket edecek şekilde programlayınız.



Şekil 6.226 örnek iş parçası

$$MC=R=10$$

$$\alpha=30^\circ$$

$$\sin\alpha = \frac{DM}{CM}$$

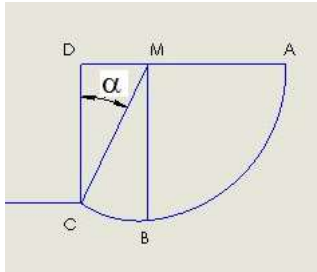
$$DM = \sin 30 \times 10 = 5 \text{ mm}$$

$$\cos\alpha = \frac{DC}{MC}$$

$$DC = \cos 30 \times 10 = 8.66 \text{ mm}$$

$$X1=2 \cdot DC=17.32 \text{ mm}$$

$$K_1 = 10+8.66 = 18.66 \text{ mm}$$

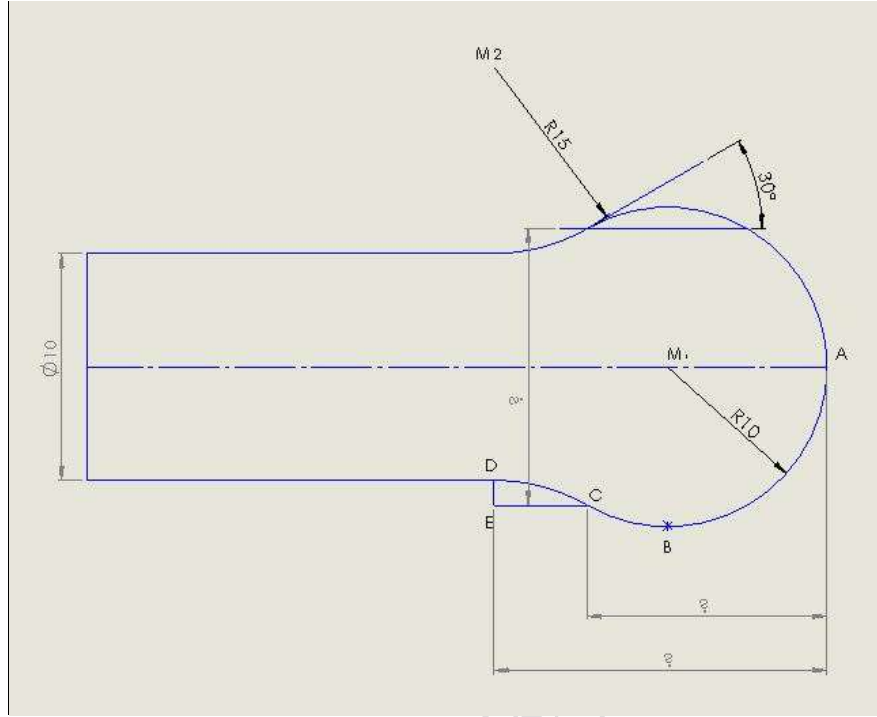


A noktasını sıfır noktası olarak takım hareketini programlayalım. Yine AC yayı iki aşamada elde edilecektir.

AB yayı: G03 X30Z-10 I0 K10 F40

BC yayı: G03 X17.32 Z-18.66 I10 K0 F40

Örnek: Şekil 6.27'de verilen iş parçası için ABCD yayını elde edecek kesici takım hareketlerini programlayınız.



Şekil 6.27 Örnek iş parçası

$$M_1A=M_1B=M_1C=10 \text{ mm}, \quad M_2C=M_2D=15 \text{ mm}$$

$$\sin\alpha = \frac{FM_1}{CM_1}, \quad FM_1 = \sin\alpha, \quad CM_1 = \sin\alpha \times 10 = 5 \text{ mm}$$

$$\cos\alpha = \frac{FC}{CM_1}$$

$$FC = \cos\alpha / CM_1 = \cos 30 \times 10 = 8.86 \text{ mm}$$

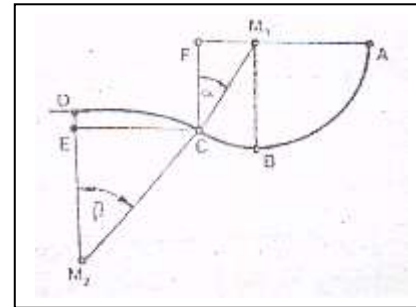
$$DE = FC - 10/2 = 8.86 - 5$$

$$DE = 3.66 \text{ mm}$$

$$M_2E = 15 - 3.66 = 11.43 \text{ mm}$$

$$\cos\beta = \frac{M_2E}{M_2C} = \frac{11.34}{15} = 0.75$$

$$\beta = 41.40^\circ$$



$$\sin\beta = \frac{EC}{M_2C}$$

$$EC = \sin\beta \cdot M_2C = \sin 41.40 \times 15 = 9.82$$

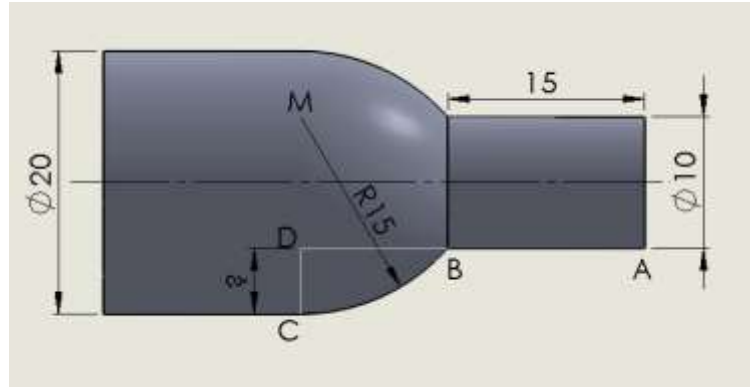
ABCD yayı üç aşamada programlanacaktır.

AB yayı: G03 X20 Z-10 I0 K10 F40

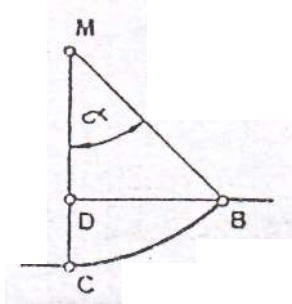
BC yayı: G03 X17.32 Z-15 I0 K10 F40

CD yayı: G02 X10 Z-24.82 I11.34 K9.82 F40

Örnek: Şekil 6.28'de verilen iş parçası için kesici takım BC yayı üzerinde hareket edecek şekilde programlayınız.



Şekil 6.28 Örnek iş parçası



$$BM=CM=15\text{mm}$$

$$CD=5\text{mm}$$

$$MD=10\text{ mm}$$

$$BD = \sqrt{MB^2 - MD^2} = \sqrt{15^2 - 10^2}$$

$$BD = 11.18\text{ mm}$$

$$AC=15+ 11.18=21.18\text{ mm}$$

BC yayı: G03 X20 Z-21.18 I10 K11.18 F40

Birim ve Boyut Komutları

Daha önce açıklandığı gibi boyut birimleri:

G20 (G70)	boyut birimlerinin inç
G21 (G71)	boyut birimlerinin mm olarak ifade edildiğini gösterir;

Boyutların mutlak ve eklemeli şekli:

G90	boyutları mutlak
G91	boyutları eklemeli sistemde ifade eder.

Programda kullanılan koordinat değerleri G90 veya G91 kodlarına göre mutlak veya eklemeli olarak belirtilebilir. Program içinde koordinatlar mutlak olarak belirtilecek ise G90 kodu, eklemeli olarak belirtilecek ise G91 kodu kullanılır.

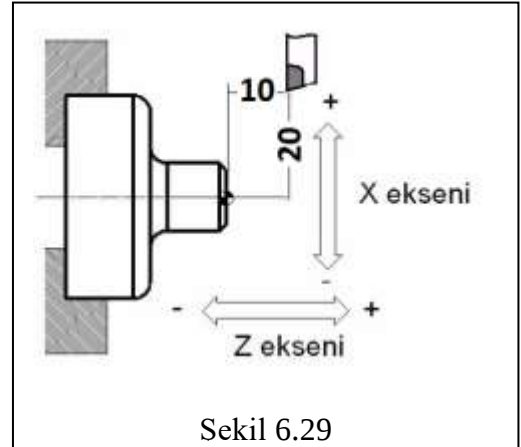
Program içinde G90 kodunun herhangi bir blokta belirtildiğini kabul edelim. Bu takdirde bu blokta ve bu bloktan sonraki bloklarda verilen koordinat değerleri mutlak olarak işlenecektir. Aynı şekilde G91 kodunun kullanıldığı blok ve sonrasında koordinat değerleri eklemeli olarak işlenecektir. G91 ve G90 kodları programın herhangi bir yerinde yer değiştirebilir. Yani program G90 ile başladığı halde programın bir noktasından itibaren G91 ile devam edebilir. Yani, G90 ile başlayan program G91 kodunun verildiği bloğa kadar, mutlak olarak algılanır ve CNC tezgah koordinat değerlerinin mutlak koordinatlar olarak verilmesine göre işlem yapar. G90 ve G91 aynı grupta bulunan dönüşümlü olarak kullanılabilen modal kodlardır. Yani bir defa belirtildiğinde aynı gruptan bir başka kod (G90 veya G91) belirtilene kadar aktif olarak kalırlar.

Takımı mutlak sistem ile parça sıfırına hızlı göndermek için kod;

G90 G0 X0.Z0. 'dır

Takımı eklemeli sistemle parça sıfırına göndermek için (şekilden);

G91 G0 X-20. Z-10 yazılır



Kesme ve İlerleme Hızı Kodları

Daha önce belirtildiği gibi CNC tezgahlarda istenildiği durumda kesme hızı sabit tutulabilir; sabit tutulan m/dak cinsinden v kesme hızıdır. Bu amaçla G96 kodu kullanılır; G97 kodu kesme hızını dev/dak cinsinden ifade ettiği için, aynı anda sabit kesme hızı iptali anlamına gelir. Buna göre :

G94 (veya G98)	ilerleme hızı mm/dak olarak ifade edilir;
G95 (veya G99)	ilerleme hızı mm/dev olarak ifade edilir;
G96	sabit kesme hızı; m/dak olarak ifade edilir;
G97	sabit kesme hızı; dev/dak olarak ifade edilir;

Geçici Durma Kodu (G04)

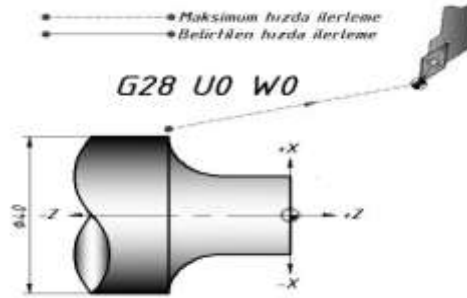
Bazı durumlarda programın durması istenebilir. Durma süresi saniye cinsinden X adresi ile milisaniye cinsinden P adresi ile verilir. Bloğun formatı:

G04 X... örneğin G04 X20 dir.
G04 P...örneğin G04 P20000 (20x1000)

G28-Kodu (Tareti Tezgah Sıfır Noktasına gönderme)

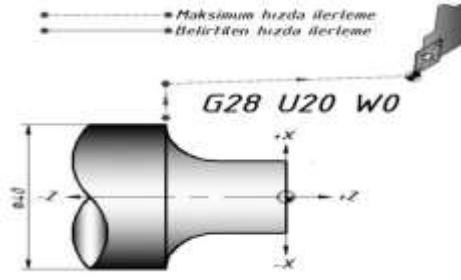
Program başında ve sonunda emniyet için taret iş parçasından en uzak noktaya gönderilmesi gerekir. Bu işlem için önce G28 kodu ve arkasına kesicinin bulunduğu noktadan öncelikli olarak gitmesini istediğimiz koordinat eklemeli olarak yazılır. Kesici önce yazılan koordinata oradan da en kısa yoldan tezgah sıfır noktasına gider. Zaman kaybını engellemek için genelde kabul görmüş kullanım şekline göre G28 U0 W0 yazılarak kesicinin direk tezgah referansına gitmesi sağlanır.

G28 U0 W0



Şekil 6.30 G28 uygulaması

Eğer kesici bir kanal içi veya delik içi gibi yerde kaldı ise kesicinin bu kanal veya delikten çarpma yapmadan çıkması, daha sonra tezgah sıfır noktasına gitmesi sağlanır. Bunun içinde kesicinin gitmesini istediğimiz koordinat , G28 kodu arkasına eklemeli olarak yazılır.



Şekil 6.30 G28 uygulaması

G28 U20 W0

Önce çapta daha sonra boyda uzaklaşmak istendiğinde ise önce G28 U0; ile çapta(X ekseninde) daha sonra G28 W0; kodu ile boyda (Z ekseninde) kesici uzaklaştırılır.

G28 U0;
G28 W0;

G50- Kodu (İş Mili Devrini Sınırlama)

Sabit kesme hızı değişken devir kullanıldığı durumlarda iş mili devrinin olması gerekenden yukarı çıkmasını engellemek ve emniyet sağlamak için kullanılır. G50 kodundan sonra girilen S değeri tezgahın çıkabileceği en yüksek devri belirtir.

G50 S2000 (iş mili en fazla 2000 devire çıkar)

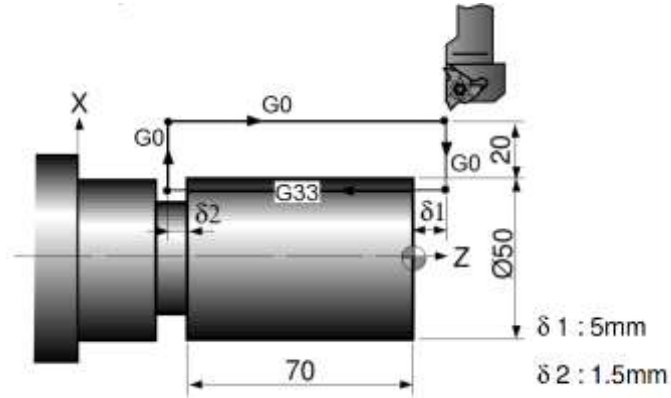
Vida Açma (G33 veya G32)

Genelde vida açmak için G33; bazı sistemlerde G32 kullanılır. Vidanın hatvesi F adresi ile belirlenir; yönü ise M03 veya M04 kodları ile belirlenen iş milinin dönme yönü ile tayin edilir. Komutlar hem silindirik hem konik vida için geçerlidir. Bazı kontrol sistemlerinde birinci durumda hatve K; ikinci durumda I adresleri ile belirtilir. Bloğun formatı şöyledir;

G32 Z(w) F : (G32 sadece tek bir satırda uygulanır)
X(u) F :

F: vida dış hatvesidir.

Aşağıdaki örnek programda G32 ile işlenen her bir satırda 1 mm derinlikte diş açılmaktadır. 2 mm derinlikte diş açmak için G32 komutu iki kez tekrarlanmıştır. Parça programında hatve 3 mm olarak alınmıştır.

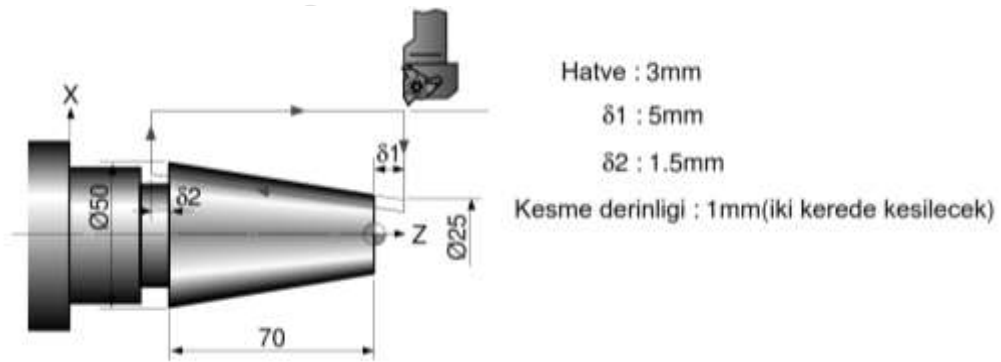


Şekil 6.31 Diş açma işlemi için örnek parça

```

O0004;
G90 G97 S800 M03;
G00 X60.0 Z5.0;
T0101 M8;
X48.0 :
G32 Z-71.5 F3.0;
G00 X60.0;
Z5.0;
X46.0;
G32 Z-71.5;
G00 X90.0;
Z5.0
X150.0 Z150.0;

```



Şekil 6.32 Konik yüzeye diş açılması için örnek parça

```

O0005
G90 G97 S800 M03;
G00 X90.0 Z5.0 T0101;
X22.026;
G32 X49.562 Z-71.5 F3.0;
G00 X90.0;
Z5.0;

```

```

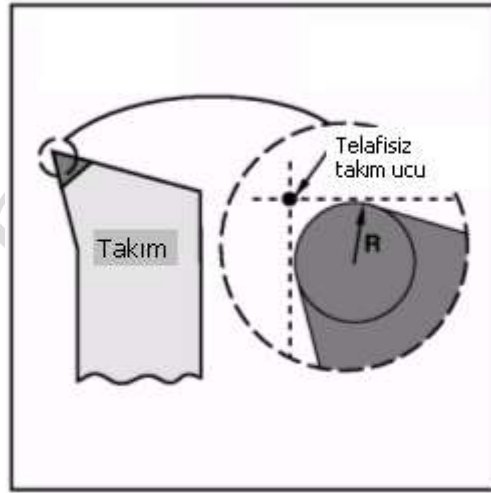
X21.052;
G32 X48.588 Z-71.5;
G00 X90.0;
Z5.0;
X150.0 Z150.0;

```

Takım Telafisi

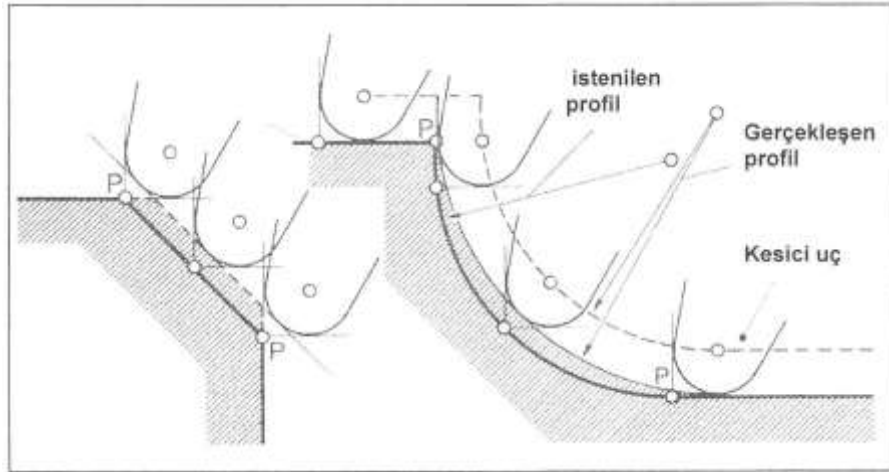
Takım ucu telafisi (G40, G41, G42):

Programlamada kesici takımın ucu teorik olarak sivri olarak kabul edilir. Programlanan takım yolu teorik olarak bu sivri ucun yolu olarak kabul edilir (Şekil 6.33). Yatay ve düşey doğru üzerinde yapılan kesme hareketinde bir problem çıkmaz. Ancak eğik veya yay şekli yuvarlatılmış yüzeylerde, takımın gerçek ucu programlanan yoldan farklı bir yörüngede hareket eder. Bu olay parça üzerinde bir miktar fazla malzeme kalmasına neden olur (Şekil 6.34). Bu durumda takım telafisi ile uç merkezi programlanan yoldan bir miktar kaydırılır. Telafi kodlarının girilmesiyle, gerçek programlanan yol ile sürekli temas sağlanır ve parça tam istenen şekline göre işlenir. Takım uç yarıçapına ve yayın yarıçapına bağlı olan kaydırma miktarı G41 ve G42 kodlarının bulunduğu blokta kontrol ünitesi tarafından hesaplanır. Buna göre uç merkezinin yörüngesi, programlanan yola kaydırma miktarı ile paraleldir.



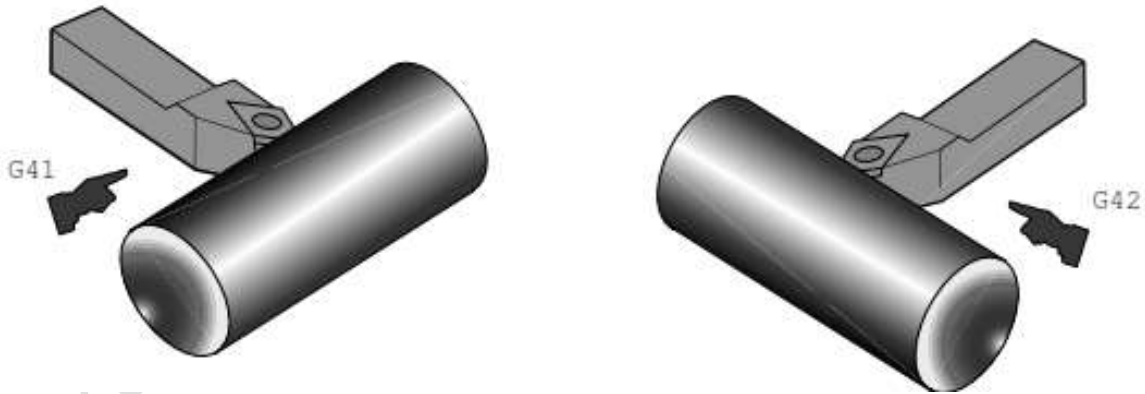
Şekil 6.33 Takım uç profili

Kesici takım sola doğru hareket ediyorsa telafi için G41, sağa doğru hareket ediyorsa G42 kullanılır. Sağ ve sol telafiyi belirlemek için şu kural geçerlidir. Sol telafide (G41) parça sağda, sağ telafide (G42) parça solda kalır (Şekil 6.35). Telafi kodlarının hepsi modalıdır, yani bir kez yazıldığında başka bir telafi kodu veya G40 telafi iptal kodu gelmedikçe geçerlidir.

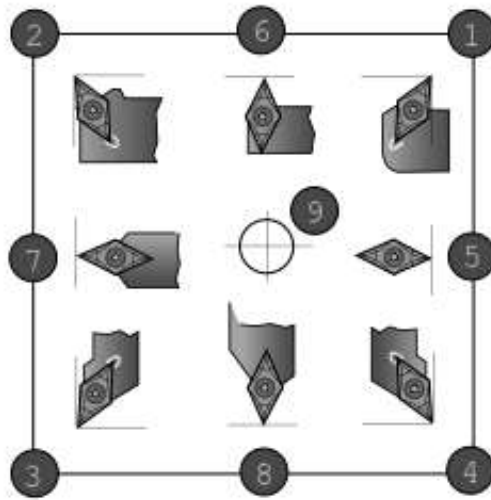


Şekil 6.34 Talaşsız işlenen yüzeyler ve yarıçap talaşısıyla elde edilen yüzeyler

Takım talaşının tezgah tarafından işlenebilmesi için kesici takım uç yarıçapının ve Şekil 6.36 'de görülen kesici takım işleme yönünün tezgahta takım dosyasına yazılması gerekir (Şekil 6.37). Takım işleme yönü ve uçyarıçapı değeri takım dosyasına yazılmaz ise talaflı kodlarının bir anlamı olmayacaktır. G42,G41 ve G40 kodlarının uygulanışı Şekil6.38'de görülmektedir. Talaflı verilen blok sonrasında G40 ile talaflının iptal edilmemesi durumunda parçada diğer boyutlarda talaflı olarak işlenir ve istenilen parça geometrisinden sapma meydana gelir.



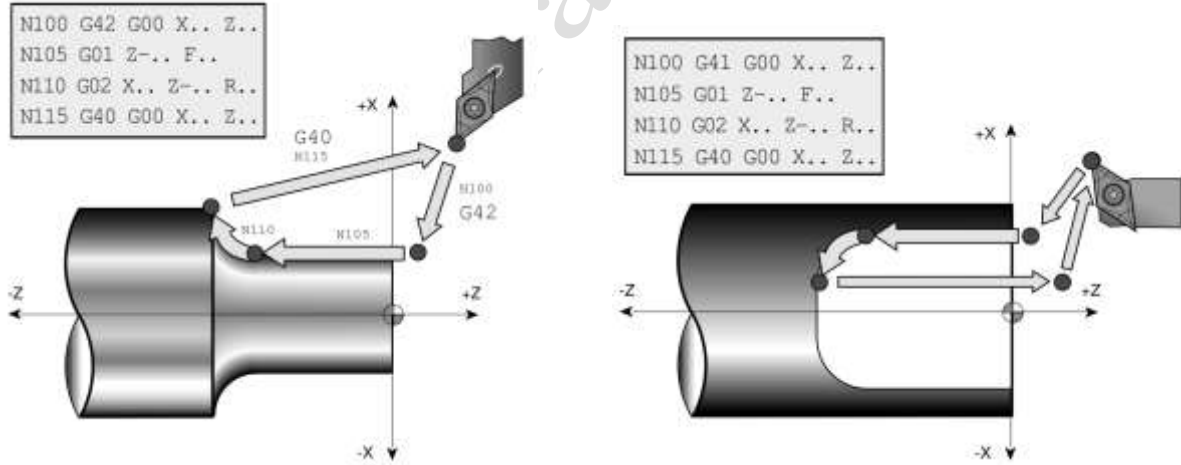
Şekil 6.35 Takım işleme yönlerine göre G41 ve G42



Şekil 6.36 Kesici takım işleme yönleri

OFFSETNO.	X	Z	R	TAKIM YONU
01	0.75	-0.93	0.4	3
0.2	-1.234	10.987	0.8	2
-	-	-	-	-

Şekil 6.37 Tezgah takım dosyası örneği

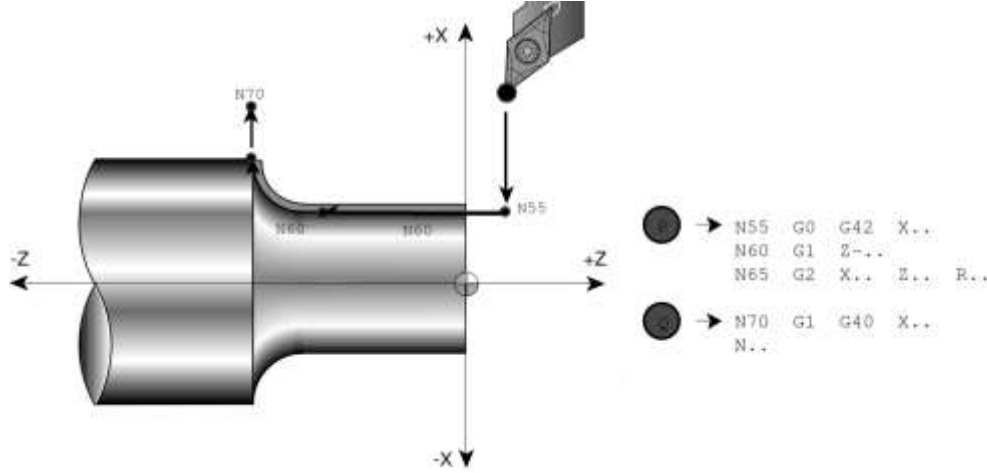


Şekil 6.38 G42, G41 ve G40 telafi kodlarının uygulanışı

G70 İnce Paso Döngüsü

Bu döngü; kaba tornalama işlemi biten parçanın ince pasoyla yüzey kalitesini arttırmak için uygulanır. Kullanım şekli;

G70 P__ Q__ ; şeklindedir. G70 ince paso döngüsünün kullanımına ait örnek Şekil 6.39 'da verilmiştir. G70 ince paso döngüsü ile kesici takımın ince paso alacağı parçanın konturu tanımlanır. G70 ince paso çevriminden önce genellikle G71 kaba paso çevrimi kullanılır.

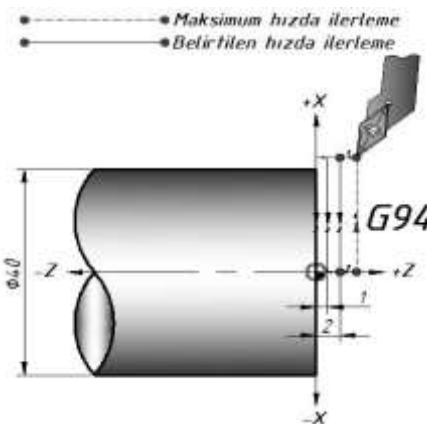


Şekil 6.39 G70 ince paso döngüsü.

Tekrarlanan İşlemler

Tornalamada tekrarlanan işlemler genellikle kaba talaş kaldırma ile ilgilidir. Kaba talaş kaldırma işlemi şu hareketlerden oluşmaktadır: Başlangıç noktasına yaklaşma, paso kalınlığı kadar ilerleme, **kesme hareketi, geri çekilme ve tekrar başlangıç noktasına dönme**. Bu işlemlerin ardışık yapılması için çevrimler geliştirilmiş ve tüm tezgah üreticileri tarafından kullanılmıştır. Bu kodların tezgah kontrol ünitesine göre farklılıklar gösterdiği unutulmamalıdır. Burada Fanuc kontrol ünitesinde kullanılan çevrimler ele alınmaktadır.

G94- Kodu (Alın Tornalama - Tek Paso)



Şekil 6.40 G94 Alın tornalama çevrimi

G94 X... Z... F...

X:Çevrim en küçük Çap ölçüsü

Z: Z yönünde birinci paso son noktası

F: Kesici ilerlemesi

(kalıcı bir G kodudur pasolar bittikten sonra başka bir hareket G kodu ile iptal edilebilir)

ÖRNEK

G00 X42 Z3;

G94 X0 Z2 F0.1;

Z1;

Z0;

G90- Kodu (Silindirik Tornalama - Tek Paso)

Bu çevrim, aynı pasoda işlenemeyecek kalınlıktaki silindirik tornalamayı bir kaç pasoya bölerek işleme kolaylığı sağlamaktadır. Her pasoda elde edilecek çap değerleri ard arda yazılır.

G90 X... Z... F...

X:Çap yönünde birinci paso son noktası

Z:Döngü boy Z ölçüsü

F:Kesici ilerlemesi

ÖRNEK

G00 X42 Z3;

G90 X36.5 Z-20 F0.1;

X32.5;

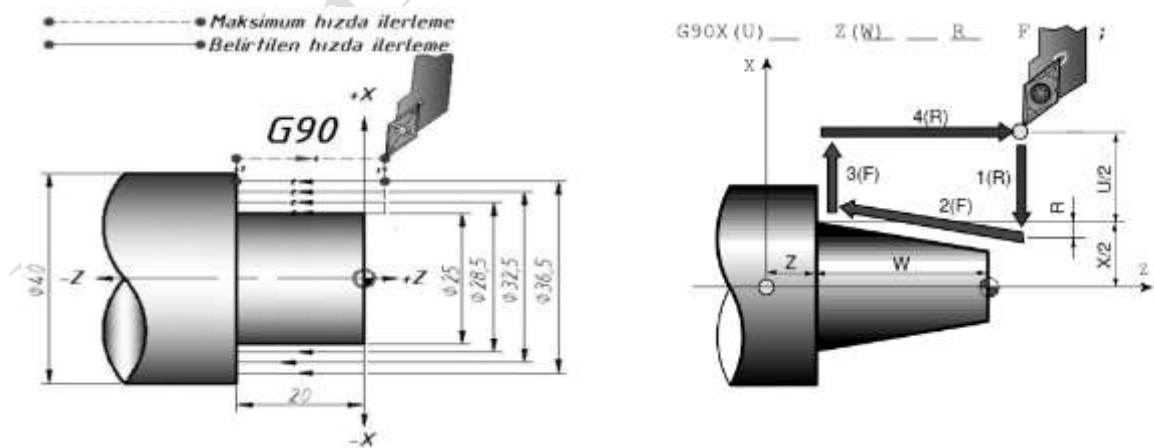
(2. pasoda çap değeri)

X28.5;

(3. pasoda çap değeri)

X25;

(4. pasoda çap değeri)



Şekil 6.41 G90 tornalama çevrimi

Parça üzerinde koniklik varsa bu taktirde G90 komutunun yazım formatı aşağıdaki şekilde olacaktır.

G90 X(U) Z(W) R_ F_

X(U): X koordinatı

Z(W): Bitiş noktası

R-:+X yönündeysen başlangıç noktası

R+:-X yönündeysen başlangıç noktası

I/R:koniklik

G92- Kodu (Vida Çekme - Tek Paso)

Vida dişlerini tek pasoda elde etmek genellikle pek mümkün olmaz. Bu çevrim de bir önceki çevrimde olduğu gibi uygulanmaktadır. (kalıcı bir G kodudur pasolar bittikten sonra başka bir hareket G kodu ile iptal edilebilir)

G92 X... Z... F...;

X: Vida diş dibi çapı,

Z: Vida boyu,

F: Vida adımı

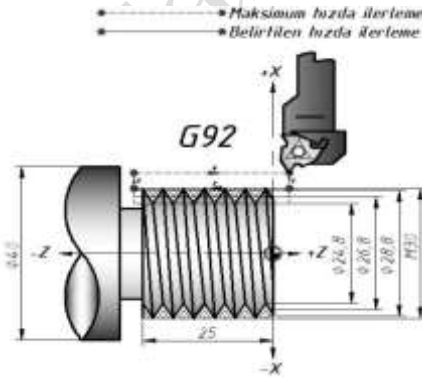
ÖRNEK

G00 X38 Z5;

G92 X28,8 Z-27 F4;

X26,8;

X24,8;



Şekil 6.42 G92 vida çekme çevrimi

G71 Kaba Paso Çevrimi

Tüm çevrimlerde olduğu gibi G71 çevrim kodu da iki ayrı blokta ardarda yazılırlar. İlk satırda kaba paso işlemlerinde kullanılacak paso miktarı (U) ve pasodan çıkan takımın parçadan kaçırma miktarı (R) yazılır. İkinci satırda ise çevrimin uygulanacağı- parça konturunun tanımlandığı blokların numaraları, son pasoya çapta (U) ve alın yüzeyde (W) bırakılan son paso miktarı ve çevrimde kullanılacak ilerleme değerleri (F) yazılır. Çevrimde, işlemlere parçanın en küçük çapından başlanır ve en büyük çapa doğru sıralanır. İşlenecek kontur; G01,G02 ve G03 gibi hareket kodlarıyla tanımlanır. Şekil 6.43 kaba tornalama çevriminin kullanılışını ve parametrelerini göstermektedir.

G71 U(1) R- ;

G71 P- Q- U(2) W- F- ;

G71: Çevrimi çağırın komuttur.

U(1): paso miktarıdır. (mm)

R: Her pasodan sonra kesici ucun geri çekilme miktarı (mm)

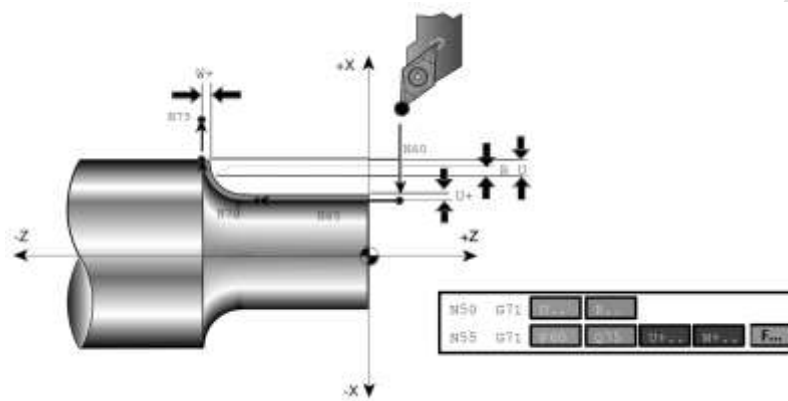
P: Finiş profilinin tanımlanmaya başlandığı ilk satırın numarası

Q: Finiş profilinin tanımlanmasının bittiği satır numarası

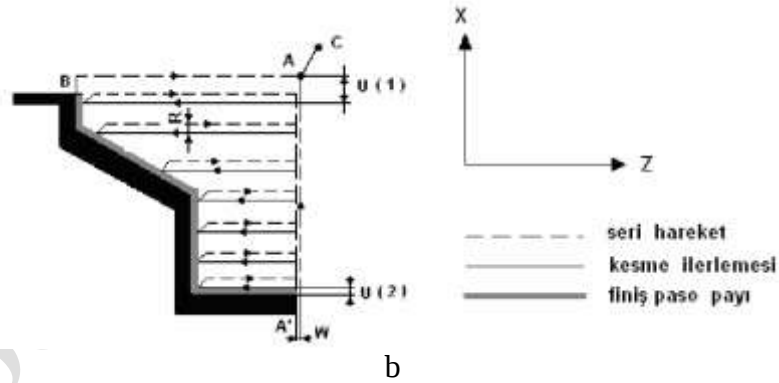
U(2): Bırakılacak finiş tornalama payı (çapta/çap cinsinden)

W: Bırakılacak finiş tornalama payı (boyda)

F: G71 çevrimi sırasında uygulanacak kesme ilerlemesi değeri



Şekil 6.43-a



b

Şekil 6.43 G71 kaba tornalama çevrimi

G72 X Yönünde Boşaltma Çevrimi

Kaba işleme işlemlerini çap yönünde gerçekleştiren bir çevrimdir. Programda (Şekil 1.2.) A-A'-B finiş profili tanımlandıktan sonra kaba tornalama paso hareketleri otomatik olarak oluşturulur. X-ekseninde U2, Z-ekseninde ise W kadar finiş paso payı kalır.

G72 çevriminden sonra G70 çevrimi ile bu bırakılan finiş payı da alınarak işlem tamamlanır.

G72 çevrimi 2 komut satırından oluşur ve bu komut satırları aşağıdaki gibidir.

G72 W(1) R-

G72 P- Q- U- W(2) F -

G72: Çevrimi çağıran komuttur.

W(1): Her seferde alınacak paso miktarıdır. (mm)

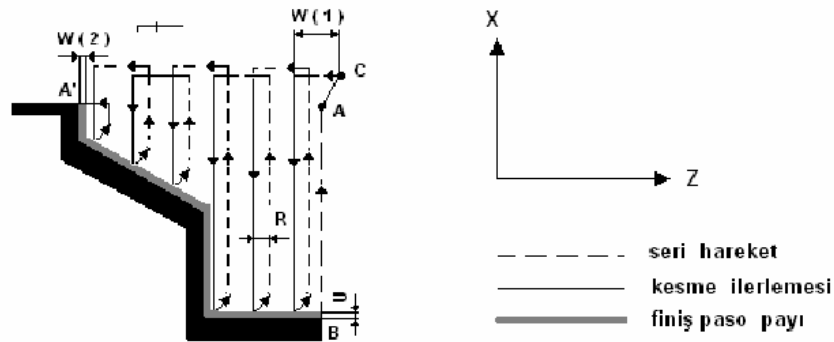
R: Her pasodan sonra kesici ucun geri çekilme miktarı (mm)

P: Finitş profilinin tanımlanmaya başlandığı ilk satırın numarası

Q: Finitş profilinin tanımlanmasının bittiği satır numarası

U: Bırakılacak finitş tornalama payı (çapta/çap cinsinden)

W(2): Bırakılacak finitş tornalama payı (boyda)



Şekil 6.44 G72 çevrimi

G73 Profil Tornalama Çevrimi

Parçanın işlenmesi için teknik resimde verilen son ölçüyü elde etmek bitmiş profili tekrar eden bir çevrimdir. Bu tornalama çevriminde kesici takım parça profiline paralel hareket ederek talaş kaldırır.

Kullanım şekli;

G73 U(i) R(d) W(i)

G73 P__ Q__ U(ii) W(ii) F__

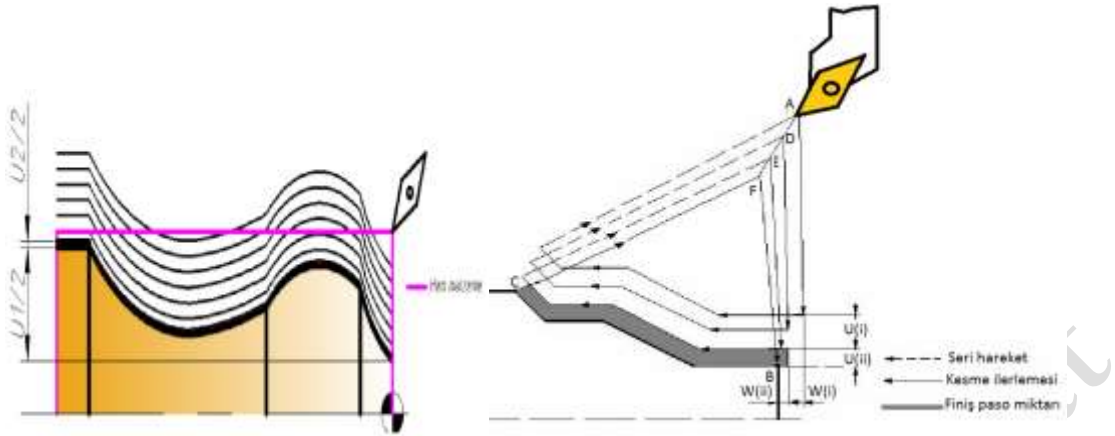
U(i):X ekseni için yarıçapta boşaltma miktarı

R(d) :tekrarlama sayısı

W(i):Z ekseni için boşaltma miktarı

U(ii):Yarıçapta finitş için bırakılacak paso miktarı

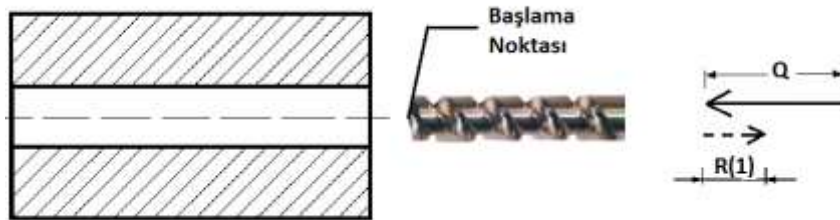
W(ii):Z ekseni için finitşe bırakılacak paso miktarı



Şekil 6.45 G73 çevrimi

G74 ile Delik Delme Çevrimi

Bu çevrim; kısa aralıklarla (kademelerle) ilerlemeli, her kademe sonunda geri çekilmeli derin delmede “gagalama” tabir edilen tarzda takım hareketleri ile derin delik delme işlemlerinde kullanılır (Şekil 6.46). Kesici takım ana komutla verilen miktarda fasılalar ile kesme ilerlemesi yapar, seri hızda bir miktar geri çekilir, sonra yine kesme hızında aynı kademe miktarı kadar ilerleme ile operasyona devam eder. Bu çevrim tanımlanan derinliğe ulaşana kadar devam eder.



Şekil 6.46 G74 ile delik delme çevrimi

Bu çevrim ile kademeli kesme yapıldığı için, derin deliklerde ve işlenmesi zor olan malzemelere delik açılmasında verimli bir şekilde kullanılır. Komut iki satırdan oluşur ve formatı aşağıdaki gibidir.

G74 R(1)

G74 Z(W) Q... F...

R(1): Her gagalamadan sonraki geri çekilme miktarıdır.

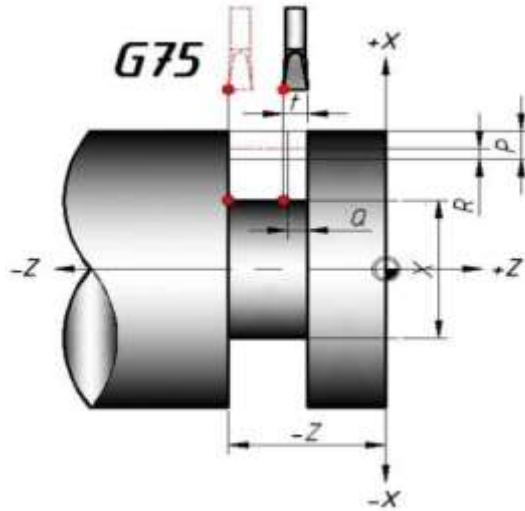
Z(W): Z-ekseni yönünde, işleme nihai noktası Z koordinatıdır (Z), İşleme başlangıç noktasından bitiş noktasına olan, z- eksen doğrultusundaki mesafe ve yöndür(U)

Q : Z-eksen doğrultusunda, her kademedeki ilerleme miktarı (mikron cinsinden)

F : Kesme ilerlemesi

G75 ile Kanal Açma Çevrimi

Bu çevrim, kısa aralıklarla (kademelerle) ilerlemeli, her kademe sonunda geri çekilmeli (gagalama) tarzda takım hareketleri ile dış çapta veya iç çapta kanal işlemeye veya parçayı kesmek için kullanılır. Kesici takım, ana komutta verilen miktarda kesme ilerlemesi yapar, sonra seri hızda bir miktar geri çekilir, sonra yine kesme hızında aynı kademe miktarı kadar ilerleme ile operasyona devam eder. Bu çevrim verilen koordinatlara ulaşana kadar devam eder. G75 komutu iki satırdan oluşur ve aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.47 Kanal açma işlemi

G75 Rr1...

G75 X... Z... P...Q....Rr2....F...

r1 :Her kademeden sonra geri çekilme miktarı

X :Kanal dibindeki çap

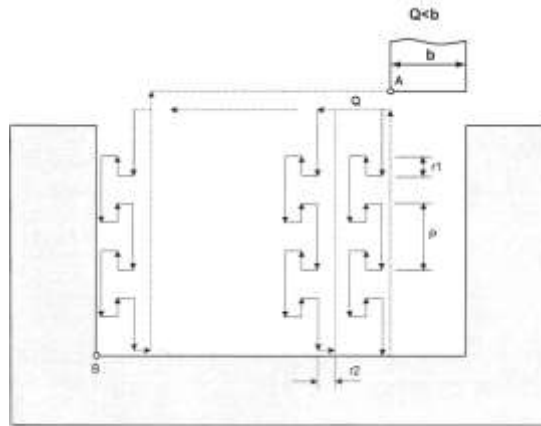
Z :-Z yönünde işlemin son bulacağı nokta

P :Her kademedeki dalma miktarı (yarıçap cinsinden , işaretli olarak)

r2 :;Kanalın dip noktasındayken +Z yönünde yana çekilme miktarı

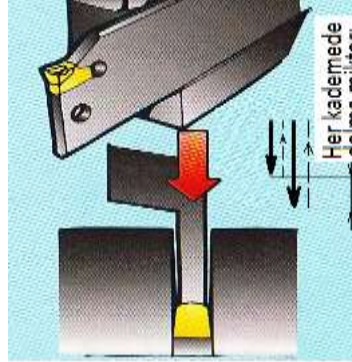
Q :-Z yönünde yana kayma miktarı (işaretli olarak)

F :Çevrim süresince geçerli olacak kesme ilerlemesi



Şekil 6.48 Kanal açma çevriminde takım hareketleri

G75 komutunda “Z” eksenine dair veriler girilmez ise, komut parça kesme için kullanılır.



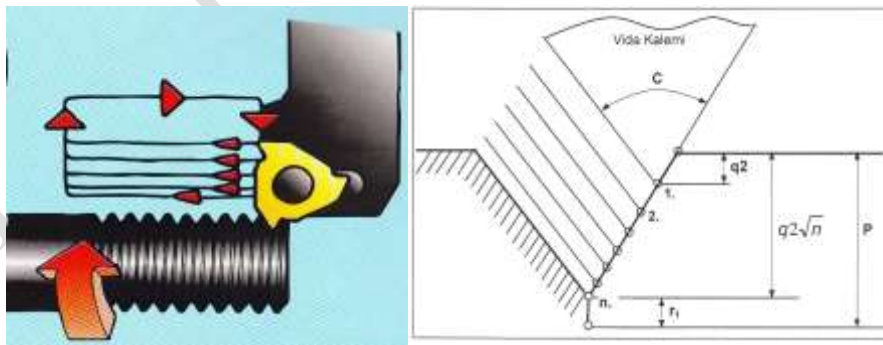
Şekil 6.49 Kesme işlemi

Örneğin; kesici takımın bulunduğu çaptan itibaren kesme işlemi yapan bir program parçası aşağıda verilmiştir. Buna göre kesici takım her 3 mm 'de bir 0,5 mm geri çekilerek talaşı kırmakta ve kesme işlemine devam etmektedir.

N160 G75 R0.5;
N170 G75 X0 P3000 F40.;

G76 ile Otomatik Vida Açma Çevrimi

Fanuc denetim biriminde silindirik ve konik yüzeylere vida açmak için G76 çevrimi kullanılır.



Şekil 6.50 Vida açma çevrimi

Vida çekme çevrimi iki satırdan oluşmaktadır.

G76 P...(a-b-c)... Q... R...
G76 X... Z... R...P... Q... F...

P:(a-b-c)

a:Finiş pasosunun tekrar sayısı

b:Vida sonundaki pahın boyu, adımın katı olarak

c:Vida profil açısı(60,55)

Q:Minimum talaş derinliği mikron cinsinden (q1)

R:İnce talaş payı (r1)

X:Vida diş dibi çapı [diş üstü çapı - (0.65xadımx2)]

Z:Vidanın son bulacağı z koordinatı

R:konik yüksekliği (r2=0 ise silindirik diş açılır)

P:Diş yüksekliği mikron olarak (0.6495xadım)

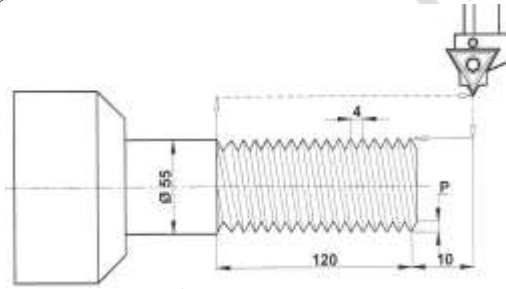
Q:İlk paso miktarı mikron olarak (q2)

F:Vidanın adımı

Vida diş yüksekliği: $P = q2\sqrt{n} + r1$

Kaba işlemden paso sayısı: $nk = \left(\frac{P - r1}{q2} \right)^2$

Örnek: Aşağıda resmi verilen vidayı oluşturan NC programını yazınız. Diş derinliği 2.598 mm ve ilk talaş derinliği 0,5 mm' dir.



Şekil 6.51 örnek iş parçası

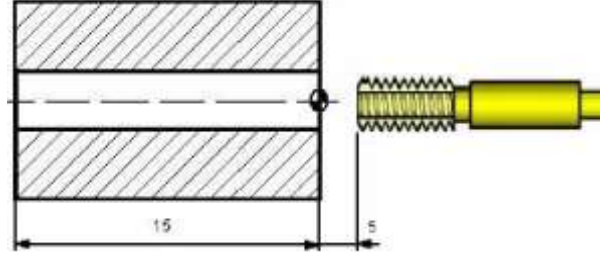
```

O0005;
T0606
G50 S2000;
G97 S400 M4;
G00 X45. Z10. M8;
G76 P010160 Q0.1 R0.2;
G76 X48. Z-58. P1.95 Q0.5 F2. ;
G28 U0. W0. M9;
M30;

```

Kılavuz Çekme Çevrimleri

İki eksenli CNC torna tezgahlarında kılavuz çekmek için G32 ve G63 komutları kullanılır. C eksenli CNC torna tezgahlarında ise G84 kılavuz çekme döngüsü kullanılır (Şekil 6.51)



Şekil 6.51 Tornada klavuz çekmek

G32 kullanarak kılavuz çekme:

```
O0006;
N100 T0404;
N110 M3 S300;
N120 G0 X0 Z10.;
N130 G1 Z5. F150.; (Kılavuz çekme başlangıç noktası)
N140 G32 Z-15.5 F150; (S/F oranı kılavuz adımına eşit olmalı 300/150 = 2mm)
N150 M05;
N160 G32 M04 S300 F150. Z5.; (S/F oranı kılavuz adımına eşit olmalı
300/150 = 2 mm)
N170 G28 U0 W0;
N180 M30;
```

G63 kullanarak kılavuz çekme:

```
O0007;
N100 T0404;
N110 M3 S300;
N120 G0 X0 Z10.;
N130 G1 Z5. F150.; (Kılavuz çekme başlangıç noktası)
N140 G63 Z-15.5 F150; (S/F oranı kılavuz adımına eşit olmalı 300/150 = 2 mm)
N150 M05;
N160 G32 M04 S300 F150. Z5; (S/F oranı kılavuz adımına eşit olmalı 300/150 = 2 mm)
N170 G28 U0 W0;
N180 M30;
```

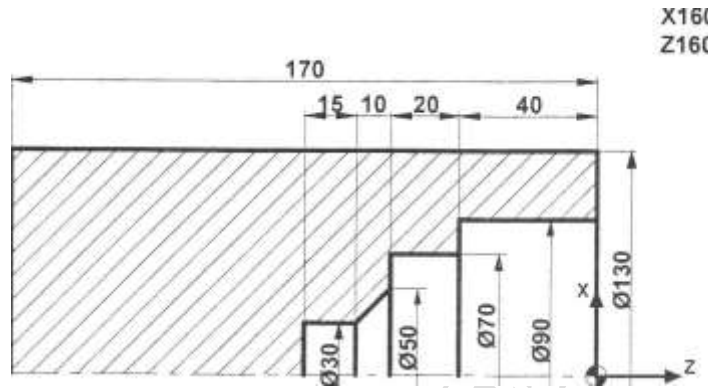
Aynı parça için bir başka program örneği de şöyle olabilir.

```
O0008;
KILAVUZ=M12X1.75
G50 S2000;
F=S/HATVE
G97 S175 M3;
S=DEVİR SAYISI
T0404;
G0 X0 Z5. ;
G32 Z-15.5 F100. ;
M05;
G32 M04 Z5. F100. ;
G28 U0. W0. M9;
M30;
```

Delik Tornalama İşlemleri

Delik tornalama işlemleri dış tornalama işlemlerine benzer şekilde yapılır. İç tornalamada talaşın dışarı alınmasındaki güçlük ve soğutma sıvısının deliğe gönderilmesini sağlayan özel takım tutucular kullanılmadığında sıcaklık sorunu nedeniyle daha düşük kesme hızlarının kullanılması gerekir. Dış tornalamadan önemli farkı, dış tornalamada talaş aldıkça parça çapı küçülür, iç delik tornalama sırasında talaş aldıkça delik çapı büyür.

Örnek: Şekil 6.52 'deki parçanın iç kaba tornalama işlemleri tamamlanmış ve iç ince tornalama işlemleri yapılacaktır. Gerekli parça programını yazalım.



Şekil 6.52 Örnek iş parçası

O008;

N05 T0202;

N10 G00 X160.Z160.;

N15 S1500 M03;

N20 M08;

N25 G00 X90.Z5;

N30 G01 Z-40. F0.15;

N35 X70.;

N40 Z-60.;

N45 X50;

N50 X30.Z-70.;

N55 Z-85.;

N60 X0.

N65 G00 Z5.

N70 X160. Z160.;

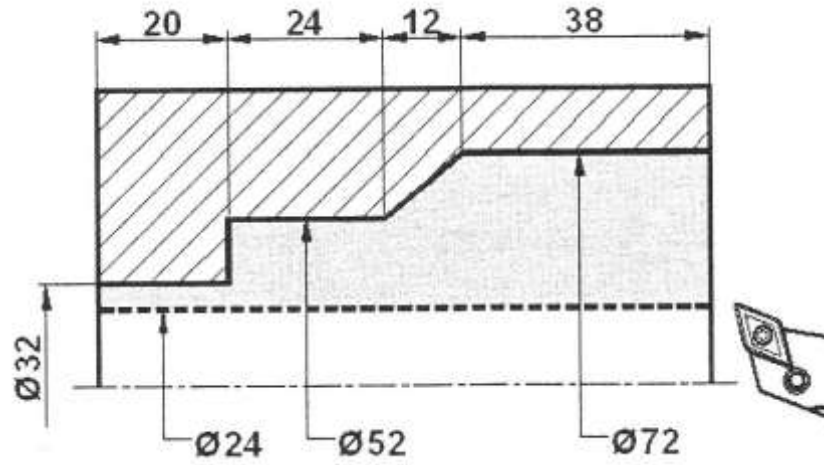
N75 M30

Delik İçi Çevrimleri

Delik içinde çok fazla talaş varsa G71 çevrimiyle boşaltılabilir. Dış tornalamada kullanılan G71 ile aynıdır. Burada tek fark; çevrim başlangıç noktasından önce başlangıç noktası olarak

takım delikteki en küçük çapa yakın olarak konumlandırılır. X eksenindeki her pasodaki alınacak talaş U harfinin önüne (-) işareti ile yazılır.

Delik işlemede G71'in kullanımını Şekil 6.53'deki örnekle açıklayalım.



Şekil 6.53 Örnek iş parçası

```

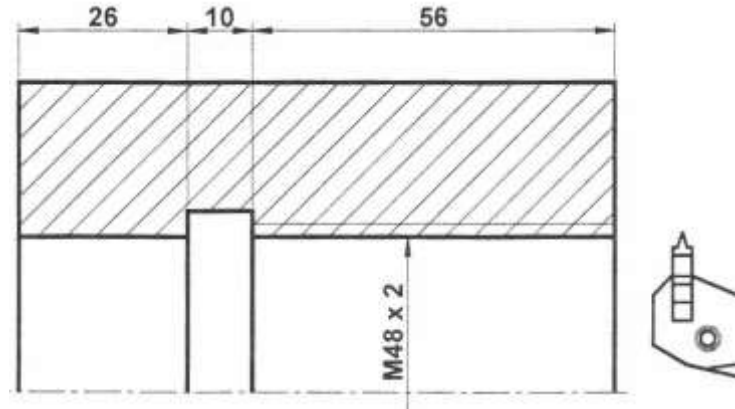
O0009;
G50 S2000;
G96 S200 M3;
T0202;
G0 X24. Z2. ;
G71 U1. R1. ;
N35 G71 P1 Q2 U-0.2 W0. F0.15;
N1 G0 X72. ;
G1 Z-38. ;
X52. Z-50. ;
Z-74. ;
X32. ;
N2 X94. ;
G70 P1 Q2;
G28 U0. W0. M9;
M30;

```

G73 ile profil tornalama işlemini delik içinde uygulanması son derece dikkat ister. Çünkü delik içinde hareket edilecek alan kısıtlıdır. Takımın iş parçasına çarpma riski vardır. G71 çevriminde olduğu gibi paso değerinin önüne (-) işareti konulur.

G76 ile Delik İçine Vida Çekme

Dış çap üzerine açılacak vidadan farklı değildir. Şekil 6.54 'te verilen örnek üzerinde açıklayalım. $P=2$ mm, $h=1,95$ (dış yüksekliği)



Şekil 6.54 Örnek işparçası

O0010;

N10 T0505;

N15 S500 M3;

N20 G00 X100. Z80.;

N25 G00 X48. Z10.;

N30 G76 P010160 Q-0.1 R0.2;

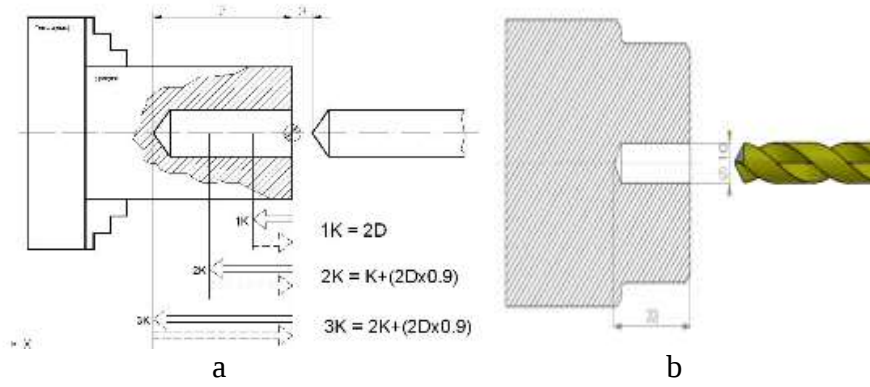
N35 G76 X51.9 Z-58 P1.95 Q-0.5 F3.;

N40 G00 X100. Z80.;

N45 M30;

Gagalı Delik Delme Çevrimi (G83)

Bu iş parçaları üzerinde bulunan deliklerin delinmesi için kullanılır. Delik çapının iki katından daha derin deliklerin delinmesinde de aynı döngü komutu kullanılır. Bu durumda K parametre değeri küçük değerlerde girilerek gagalama sayısına müdahale edilir. Gagalı delik delme döngü komutu G83 olup parametreleri aşağıdaki açıklandığı gibidir.



Şekil 6.55 Derin delik delme çevrimi

G83 Z.... I.... K.... F....

G83 - Gagalamalı delik delme döngüsü

Z - Z değeri ise kesicinin döngüye başladığı nokta ile toplam talaş uzunluğunun toplamıdır.

I - Matkap çapı

K - Delik derinliği çarpım kat sayısı (0.1 ile 0.99)

F - Matkabın ilerleme hızı

G83 komutu girilmeden önce matkap hızlı olarak başlangıç koordinatlarına getirilir. Döngü başlangıcı şekilde görüldüğü gibi X ekseninde $X = 0$, Z ekseninde ise iş parçası alın yüzeyinden 3mm uzaklıktadır. Kesici takım bu noktaya getirildikten sonra programa G83 komutu girilir. Matkap önce delik çapının iki katı derinlikte birinci kademeyi deler.

Delme işlemi sırasında matkabın sıkışmaması, çıkan talaşın dışarı atılması ve kesme sıvısının delik içine kolay ulaşabilmesi için hızla matkap geri çıkar. Matkap tekrar delik içerisinde ilerleyerek ikinci kademeyi deler.

İkinci kademenin uzunluğu birinci kademe ile bu kademenin K parametresiyle çarpılması sonucu elde edilen değerlerin toplamı kadardır.

$2K = K + (2D \times 0.9)$ formülü ile hesaplanır. Matkap hızla tekrar geri çıkar ve tekrar delik içerisinde ilerleyerek üçüncü kademeyi deler.

Üçüncü kademenin uzunluğu ikinci kademe mesafesi ile K kat sayısı çarpımını toplamı kadardır.

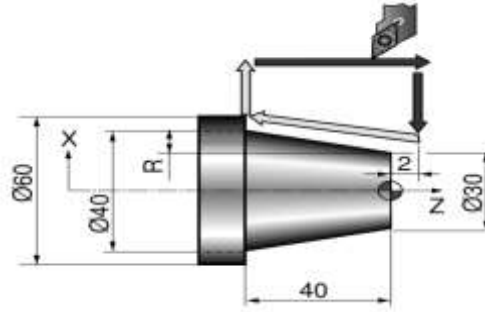
$3K = 2K + (2D \times 0.9)$ formülü ile hesaplanır. Matkap hızla geri çıkar. Bu işlemler matkap delik sonuna ulaşıncaya kadar devam eder.

Sağlıklı bir delik delebilmek için iş parçasının alın yüzeyinin tornalaması ve punta matkabı ile 3 - 5 mm derinliğinde bir merkez deliğinin delinmesi gerekir. Aksi takdirde matkapla tam eksende bir delik delinemez ve hatta matkap kolaylıkla kırılabilir. * Döngüler X ekseninde 2mm, Z ekseninde ise 1mm uzaklıkta başlar. Bu değerlerden sadece Z değeri tornalama mesafesine eklenir.

Şekil 6.55-b'de ölçüleri verilen delik aşağıdaki gibi bir programla oluşturulabilir.

G50 S2000 ;
G97 S600 M3 ;
T1010 ;
G0 X0 . Z2 . M8 ;
G83 Z-33 . Q4000 F0.08 ;
G28 U0 . W0 . M9 ;
M30 ;

Modern Talaşlı İmalat

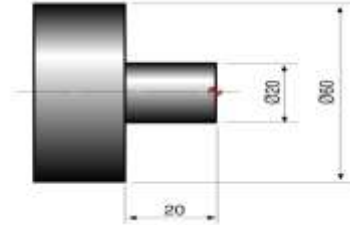
ÖRNEK PARÇA PROGRAMLARI**G90 ile konik tornalama**

Şekil 6.56 Örnek iş parçası

```

O0011;
G30 U0 W0;
G50 S2000 T0100;
G96 S200 M03;
G00 X61.0 Z2.0 T0101 M8;
G90 X55.0 W-42.0 F0.25;
X50.0;
X45.0;
X40.0;
Z-12.0 R-1.75;
Z-26.0 R-3.5;
Z-40 R-5.25;
G30 U0 W0;
M30;

```

**G90 ile Silindirik tornalama**

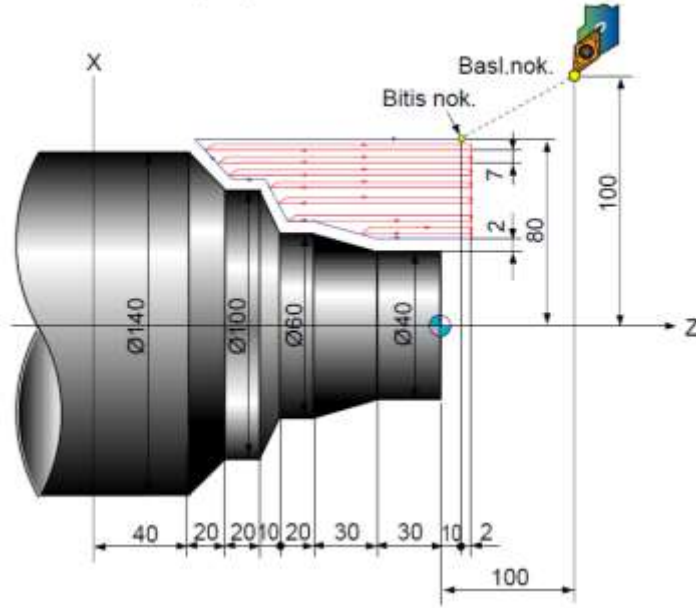
Şekil 6.57 Örnek iş parçası

```

O0012;
N10 G50 S2000;
G96 S180 M03;
T0100;
G00 X65.0 Z3.0 T0101;
G90 X55.0 Z-20.0 F0.25;
X50.0;
X45.0;
X40.0;
X35.0;
X30.0;
X25.0;
X20.5;
X20.0;
G00 X200.0 Z200.0
M30;

```

Birlesik tekrar cevrimi(G71)



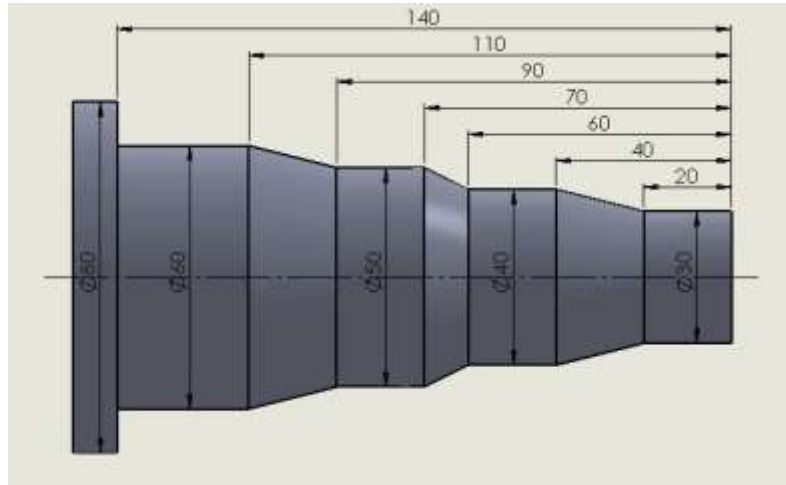
Şekil 6.58 Örnek iş parçası

G71 Kaba Tornalama Çevrimi

```

O0013;
G50 S3000;
G96 S300 M3;
T0101;
G0 X165. Z0. M8;
G1 X-2. F0.1;
G0 Z2. ;
G0 X160. ;
G71 U7. R1. ;
G71 P1 Q2 U2. W0. F0.2;
N1 G42 G0 X40. ;
G1 Z-30. F0.1;
G1 X60. Z-60. ;
G1 Z-80. ;
G1 X100. Z-90. ;
G1 Z-110. ;
G1 X140. Z-130. ;
G1 Z-170. ;
N2 G40 G1 X160. ;
G0 X200. Z150. ;
T0202;
G96 S350 M3;
G0 X160. Z2. ;
G70 P1 Q2;
G0 X200. Z150. M9
M30;

```



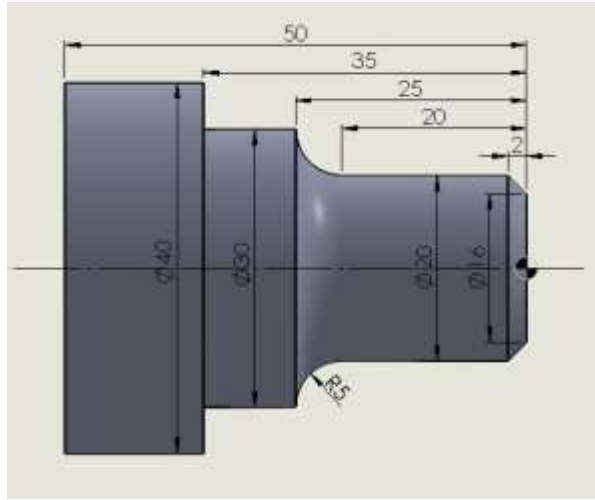
Şekil 6.59 Örnek iş parçası

G71 çevrim örneği

```

O0014;
N10 G50 S1500 T0101 ;
G96 S180 M03 ;
G00 X85.0 Z5.0 M08 ;
Z0 ;
G01 X-1.6 F0.25 ;
G00 X83.0 Z2.0 ;
G71 U3.0 R1.0 ;
G71 P20 Q30 U0.5 W0.1 F0.27 ;
N20 G42 G00 X30.0;
G01 Z-20.0;
X40.0 Z-40.0;
Z-60.0 ;
X50.0 Z-70.0;
Z-90.0 ;
X60.0 Z-110.0;
Z-140.0;
X80.0;
N30 G40;
G70 P20 Q30;
G00 X200.0 Z200.0 F0.17;
M30 ;

```



Şekil 6.60 Örnek iş parçası

G71 örneği

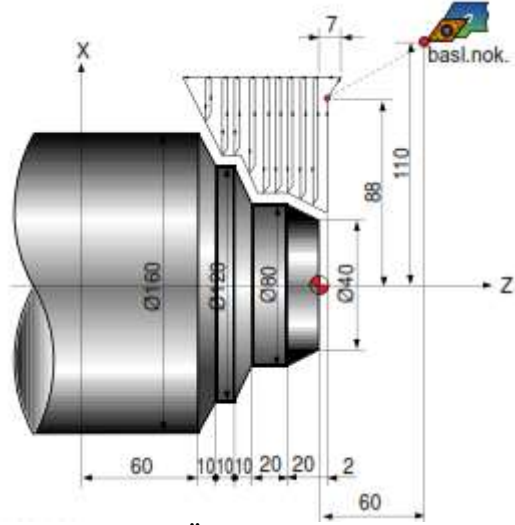
Stok Özellikleri

Mil Çap: 40.000 Boy: 80.000

```

O0015;
G50 S2000;
G96 S200 M03 ;
T0101;
G00 X42 Z5;
G71 U3 R0.5;
G71 P1 Q2 U0.3 W0.15 F0.4;
N1 G0 X0;
G0 Z0;
X16;
X20 Z-2;
Z-20;
G02 X30 Z-25 R5;
G01 Z-35;
X40;
Z-50;
N2 X42;
G28 U0. W0. ;
T0202;
S90 M03 M08;
G00 X42 Z5;
G70 P1 Q2 F0.15;
G28 U0 W0;
M09;
M30;

```



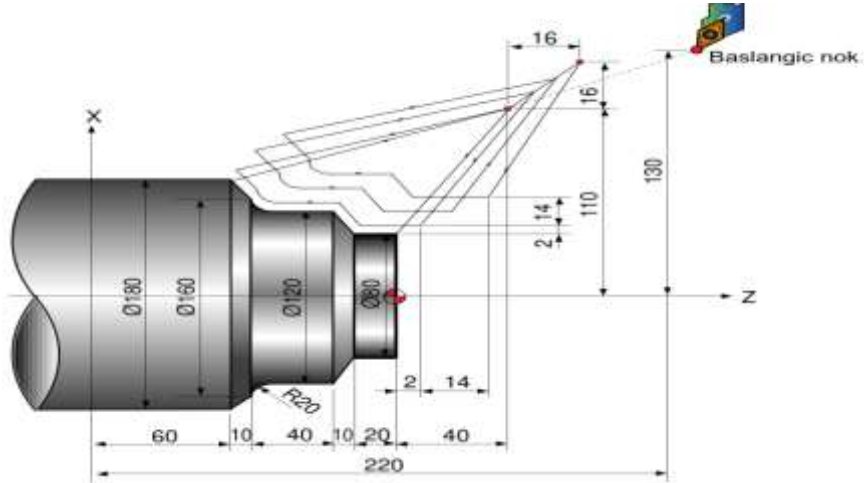
Şekil 6.61 Örnek iş parçası

G72 Örneği

```

O0017;
G50 S2000;
G96 S250 M3;
T0101;
G0 X176. Z2. M8 ;
G72 W2. R1. ;
G71 P1 Q2 U1. W1. F0.2;
N1 G40 G0 Z-70. ;
G1 X160. F0.1;
G1 X120. Z-60. ;
G1 Z-50. ;
G1 X80. Z-40. ;
G1 Z-20. ;
G1 X36. Z2. ;
N2 G40;
G70 P1 Q2;
G0 X200. Z150. M9;
M30;

```



Şekil 6.62 Örnek iş parçası

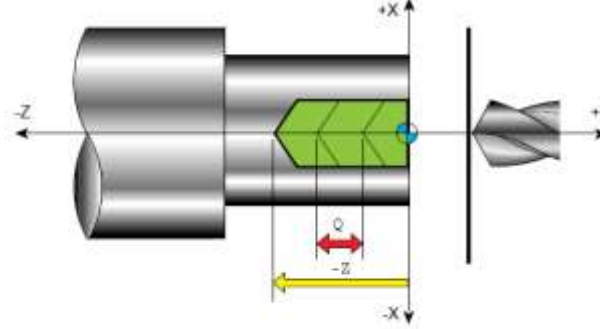
G73 Örneği

```

O0018
G50 S2000;
G96 S300 M3;
T0303;
G0 X220. Z2. M8;
G73 U14. W14. R3;
G73 P1 Q2 U4. W2. F0.2;N1 G40 G0 X80. ;
G1 Z-20. F0.1;
G1 X120. Z-30. ;
G1 Z-50. ;
G2 X160. Z-70. R20. ;
G1 X180. Z-80. ;
G1 X220. ;
N2 G40;
G0 X300. Z150. ;
T0505;
G96 S350 M3;
G0 X220. Z2. ;
G70 P1 Q2;
G0 X300. Z150. M9;
M30;

```

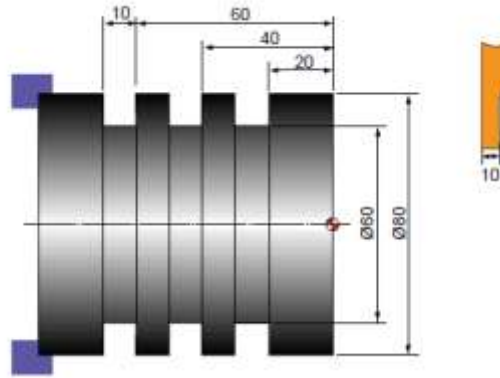
Şekil 80 mm'lik parça boydan boya delinecektir. F : 100 mm/dak, S : 1200 dev/dak



Şekil 6.63 Örnek iş parçası

G74 Örneği

```
O0019;
G50 S2000;
G97 S1000 M3;
G0 X0. Z2. ;
G74 R1. ;
G74 Z-30. Q3000 F0.1;
G0 X300. Z150. ;
M30;
```



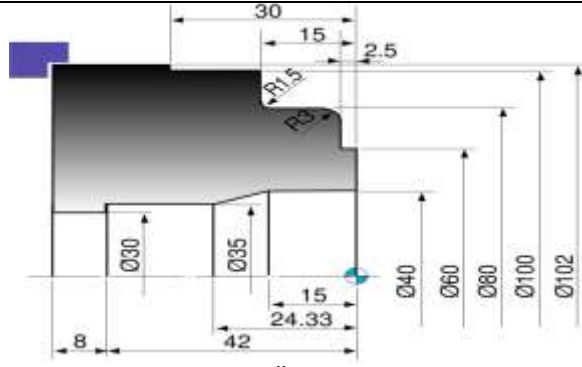
Şekil 6.64 Örnek iş parçası

G75 Kanal Tornalama Çevrimi

```
O0020;
G50 S2000;
G96 S200 M3;
T0303;
G0 X82. Z-60. ;
G75 R1. ;
G75 X60. Z-20. P3000 Q20000 F0.15;
G0 X300. Z150. ;
M30;
```

Not-1: Q değeri verilirken kanal kalemi genişliği dikkate alınarak verilmelidir.

Not-2: P ve Q değerleri mikron formatına ayarlı olabilir. Bu taktirde değerler mikron cinsinden girilmelidir. (Örnek: P2. (mm) yerine P2000 (µm) yazılmalıdır).

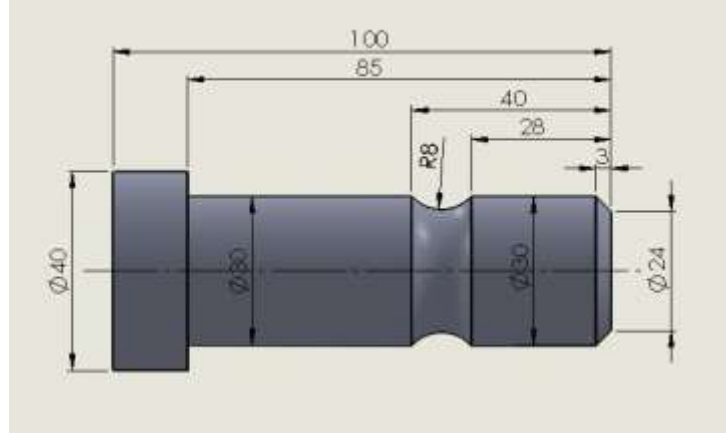


Şekil 6.65 Örnek iş parçası

```

O0021 ;
N10 (ø30 MATKAP)
G50 T0200 ;
G97 S250 M03 ;
G00 X0 Z5.0 T0202 M08 ;
G01 Z-5.0 F0.07 ;
W1.0 ;
Z-40.0 F0.25 ;
G00 Z5.0 ;
Z-39.0 ;
G01 Z-60.0 ;
G00 Z10.0 ;
X200.0 Z200.0 T0200 ;
M01 ;
N20 (Dis cap kaba bosaltma)
G50 S1500 T0100 ;
G96 S180 M03 ;
G00 X94.0 Z5.0 T0101 M08 ;
G01 Z-14.8 F0.27 ;
G00 U2.0 Z0.5 ;
G01 X28.0 F0.23 ;
G00 X87.0 W1.0 ;
G01 Z-14.8 F0.27 ;
G00 U2.0 Z1.0 ;
X80.5 ;
G01 Z-14.1 ;
G02 X81.9 Z-14.8 R0.7 ;
G00 X100.5 W1.0
G01 Z-29.8
G00 U2.0 Z-1.0 ;
G01 X60.5 F0.23 ;
G00 X82.0 W1.0 ;
Z-2.4 ;
G01 X60.5 ;
X72.9 ;
G03 X80.5 Z-6.2 R3.8 ;
G00 U2.0 Z5.0 ;
X200.0 Z200.0;
M30 ;

```



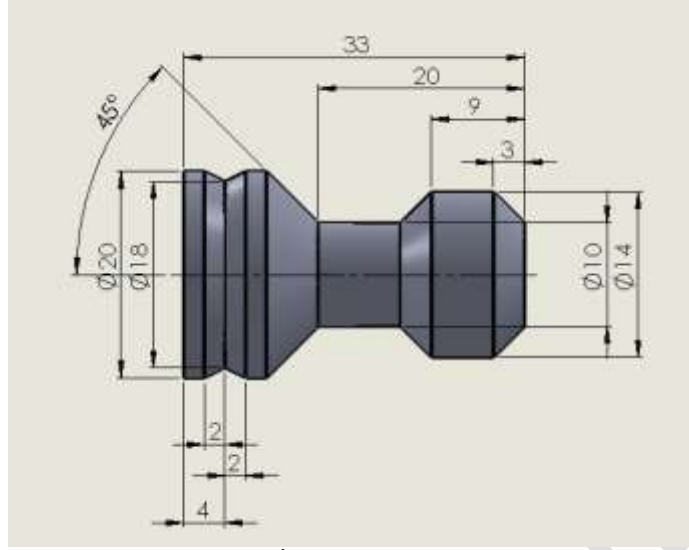
Şekil 6.66 İş parçası teknik resmi

```

O0022;
G50 S3500;
G96 S300 M3;
T0101;
G0 X42 Z0 M8;
G1 X-2 F0.1;
G0 Z1;
G0 X42;
G73 U12 W12 R12;
G73 P1 Q2 U0.1 W0 F0.2;
N1 G42 G0 X24;
G1 Z0;
X30 Z-3;
Z-25;
G2 X30 Z-40 R8;
G1 Z-85;
X40;
N2 Z-100 G40;
G0 X150 Z100;
T0202;
G96 S350 M3;
G0 X42 Z1;
G70 P1 Q2 F0.1;
G0 X150 Z100 M9;
M30;

```

Örnek: Aşağıda verilen iş parçasının imalatı için gerekli CNC programını yazınız.



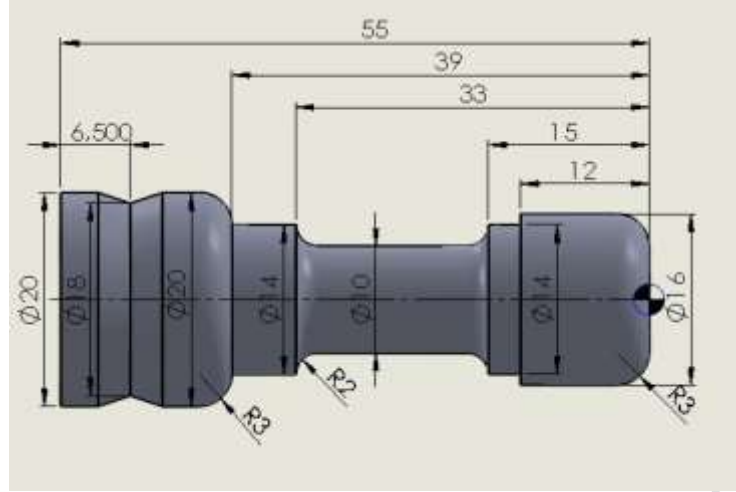
Şekil 6.67 İş parçası teknik resmi

```

O0023;
G50 S3500;
G96 S300 M3;
T0101;
G0 X22 Z0 M8;
G1 X-2 F0.1;
G0 Z1;
G0 X22;
G73 U2 R4;
G73 P1 Q2 U0.1 W0 F0.2;
N1 G42 G0 X10;
G1 Z0;
X14 Z-3;
Z-9;
X10 Z-11;
Z-20;
X20 Z-25;
Z-27;
X18 Z-29;
X20 Z-31;
N2 Z-33 G40;
G0 X150 Z100;
T0202;
G96 S350 M3;
G0 X22 Z1;
G70 P1 Q2 F0.1;
G0 X150 Z100 M9;
M30;

```

Örnek: Aşağıda verilen iş parçasının imalatı için gerekli CNC programını yazınız.



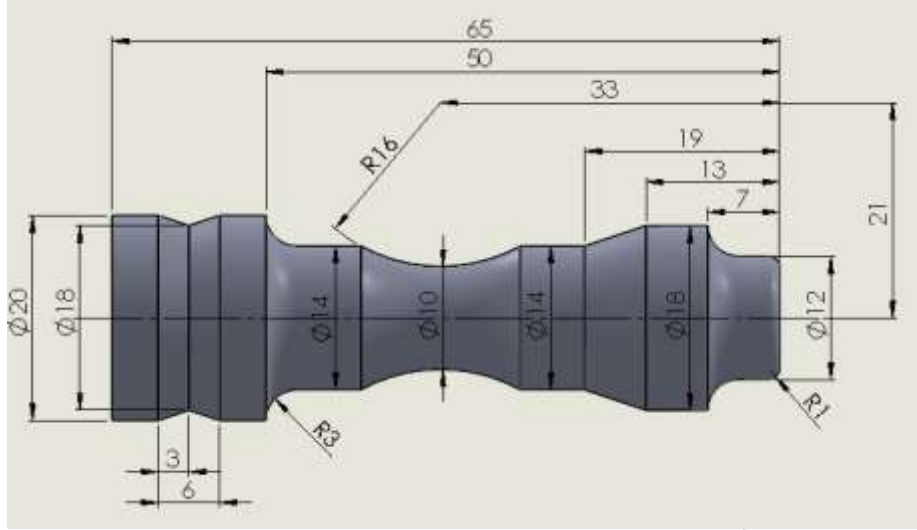
Şekil 6.68 Örnek iş parçası

```

O0024;
G50 S3500;
G96 S300 M3;
T0101;
G0 X22 Z0 M8;
G1 X-2 F0.1;
G0 Z1;
G0 X22;
G73 U5 R10;
G73 P1 Q2 U0.1 W0 F0.2;
N1 G42 G0 X10;
G1 Z0;
G3 X16 Z-3 R3;
G1 Z-11;
G3 X14 Z-12 R1;
G1 Z-15;
G2 X10 Z-17 R2;
G1 Z-31;
G2 X14 Z-33 R2;
G1 Z-39;
G3 X20 Z-42 R3;
G1 Z-45.5;
X18 Z-48.5;
X20 Z-51.5;
N2 Z-55 G40;
G0 X150 Z100;
T0202;
G96 S350 M3;
G0 X22 Z1;
G70 P1 Q2 F0.1;
G0 X150 Z100 M9;
M30;

```

Örnek: Aşağıda verilen iş parçasının imalatı için gerekli CNC programını yazınız.

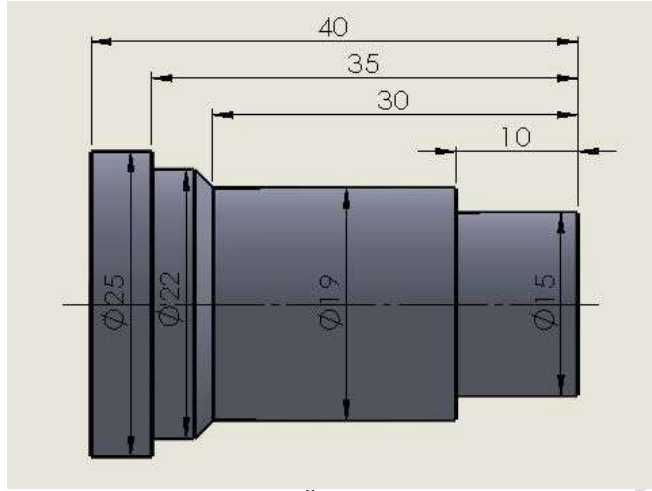


Şekil 6.69 Örnek iş parçası

```
O0025;
G50 S3500;
G96 S300 M3;
T0101;
G0 X22 Z0 M8;
G1 X-2 F0.1;
G0 Z1;
G0 X22;
G73 U5 R10;
G73 P1 Q2 U0.1 W0 F0.2;
N1 G42 G0 X10;
G1 Z0;
G3 X12 Z-1 R1;
G1 Z-4;
G2 X18 Z-7 R3;
G1 Z-13;
X14 Z-19;
Z-25.254;
G2 X14 Z-40.746 R16;
G1 Z-47;
G2 X20 Z-50 R3;
G1 Z-54.5;
X18 Z-57.5;
X20 Z-60.5;
N2 Z-65 G40;
G0 X150 Z100;
```

```
T0202;
G96 S350 M3;
G0 X22 Z1;
G70 P1 Q2 F0.1;
G0 X150 Z100 M9;
M30
```

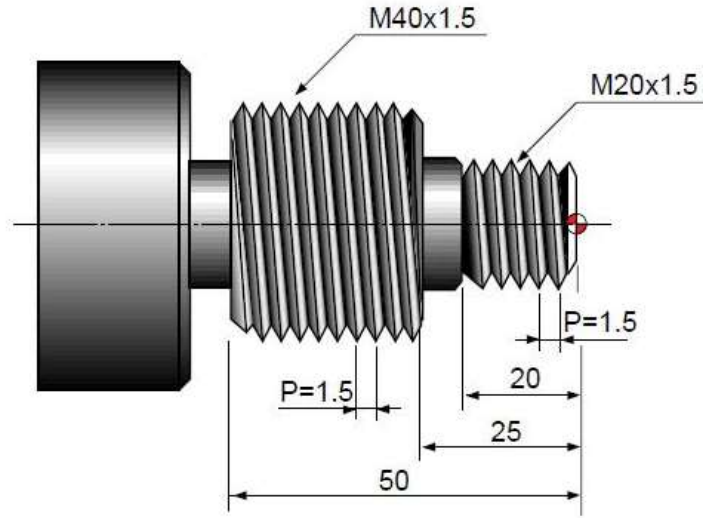
Örnek: Aşağıda verilen iş parçasının imalatı için gerekli CNC programını yazınız.



Şekil 6.70 Örnek iş parçası

```
O0026;
G50 S3000;
G96 S250 M3;
T0101;
G0 X27 Z0 M8;
G1 X-2 F0.1;
G0 Z1;
G0 X27;
G71 U1 R1;
G71 P1 Q2 U0.1 W0 F0.2;
N1 G42 G0 X15;
G1 Z-10;
X19;
Z-30;
X22 Z-31.5;
Z-35
X25;
N2 Z-40 G40;
G0 X150 Z100;
T0202;
G96 S300 M3;
G0 X26 Z1;
G70 P1 Q2 F0.1;
G0 X150 Z100 M9;
M30;
```

Örnek: Aşağıda verilen iş parçasının imalatı için gerekli CNC programını yazınız.



Şekil 6.71 Örnek iş parçası

```

O0027;
G50 S2000;
G97 S900 M4;
T0404;
G0 X25. Z3. M8;
G76 P040060 Q100 R100;
G76 X18.2 Z-20. P900 Q500 F1.;
G0 X45. Z-20.;
G76 P040060 Q100 R100;
G76 X38.2 Z-52. P900 Q500 F1.5;
G0 X200. Z150. M9;
M30;

```

P040060

04=TEKRAR SAYISI

00=DIŞ SONUNDAKİ PAH MİKTARI

60=DIŞ AÇISI

Q100=EN KÜÇÜK KESME DERİNLİĞİ

R100=FINİŞE BIRAKILAN PASO MİKTARI

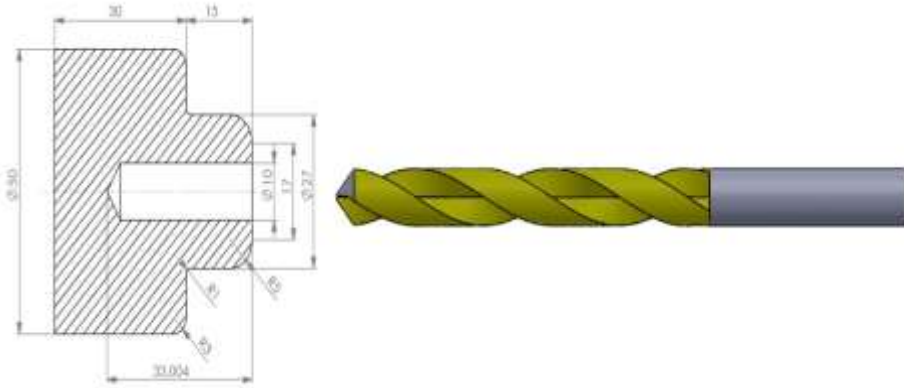
P900=DIŞ DERİNLİĞİ

Q500=İLK KESME DERİNLİĞİ

00002 numaralı programı G71 kaba tornalama çevrimi ile işlemek için aşağıdaki gibi bir program yazılabilir.

```
O0002;  
G50 S2000;  
G96 S200 M3;  
T0101;  
G0 70. Z0. M8;  
G1 X-2. F0.1;  
G0 Z1. ;  
G0 X65. ;  
G71 U1. R1. ;  
G71 P1 Q2 U0.3 W0.1 F0.2;  
N1 G0 X16. ;  
G1 Z0. ;  
X26. C5. ;  
Z-15. C1. ;  
X37. C2. ;  
Z-28.5 C4;  
X65. C3. ;  
N2 Z-35. ;  
G28 U0. W0. ;  
T0202;  
G96 S300 M3;  
G0 X65. Z1. ;  
G70 P1 Q2 F0.1;  
G28 U0. W0. M9;  
M30;
```

Örnek: Aşağıda verilen iş parçasının imalatı için gerekli CNC programını yazınız.



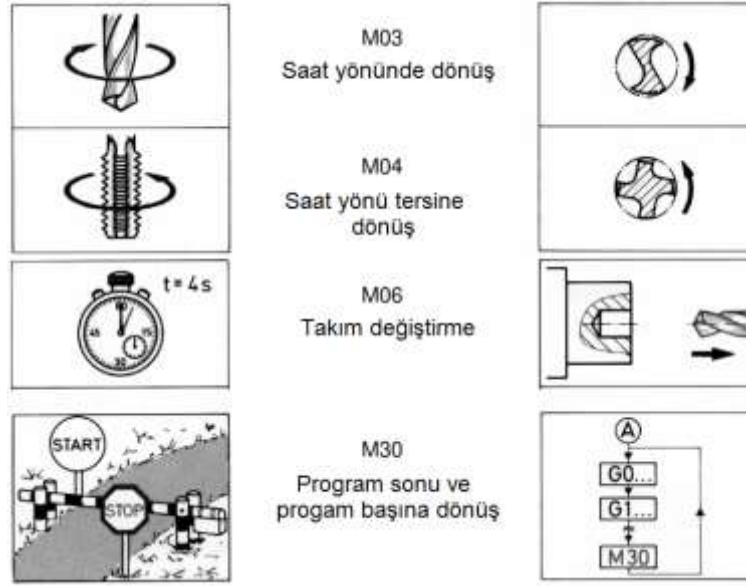
```

O0004;
G50 S2000;
G96 S200 M3;
T0101;
G0 X55. Z0. M8;
G1 X-2. F0.1;
G0 Z1. ;
G0 X50. ;
G71 U1. R1. ;
G71 P1 Q2 U0.3 W0. F0.2;
N1G0 X17. ;
G1 Z0. ;
X27. R5. ;
Z-15. R1. ;
X50. R3. ;
N2 Z-45. ;
G28 U0. W0. ;
T0202;
G96 S300 M3;
G0 X50. Z1. ;
G70 P1Q2 F0.1;
G28 U0. W0. ;
T1010;
G97 S600 M3;
G0 X0. Z2. ;
G83 Z-33. Q4000 F0.08;
G28 U0. W0. M9,
M30;

```

Yardımcı Fonksiyonlar (M kodu)

Kod şeklinde olan başka bir fonksiyon M kodudur M kodu CNC tezgah ve sistemlerin çalışmasını kontrol eder Bu kodun etkisi daha çok aç/kapa (on/off) şeklinde olur; örneğin iş milinin dönmesi veya durması; kesme sıvısının açılması veya kapanması, programın durması vb gibi (Şekil 6.72). M kodunun sayısal kısmı 0'dan 99'a kadar iki basamaktan oluşur Bunların bazılarını ISO tarafından bir anlam verilmiştir Bazı M kodlarının boş bırakılması , çeşitli kontrol sistemi imalatçıları bu M kodlarına farklı anlamlar vermişlerdir. Tablo 6.6 'da pratikte en çok kullanılan ISO M kodları verilmiştir.



Şekil 6.72 a-b İş milinin saat yönünde/tersine dönmesi, Geri çekilerek takım değişirme, programın sona erdirilmesiyle program başına dönülmesi

M kodları ile ilgili olarak şu noktalara dikkat edilmesi gerekir:

- ⇒M kodları genellikle modal olup, bir bloğa bir tek M kodu yazılır, ancak özel olarak imal edilen bazı tezgahlarda üç koda kadar yazılabilir.
- ⇒M kodunun etkisi iki şekilde olabilir:
 - ✓ Hareket komutu ile aynı anda başlayabilir. G01 komutu ile aynı blokta M03 bulunursa ilerleme ile beraber iş mili de dönmeye başlar.
 - ✓ Hareket komutu bittikten sonra başlayabilir. G01 komutu ile aynı blokta M05 bulunursa iş mili durur.

Koordinat Kodları (X, Y, Z)

Takım konumu X, Y, Z adresleri ile gösterilir. Bir blok'a takımın gideceği hedef noktasının koordinatlarını belirten bu koordinat kodları, parçanın koordinat sistemine ve parçanın sıfır noktasına göre belirlenir. Bilindiği gibi, tornalamada parça koordinatları X,Z; frezelemede X,Y,Z

olarak verilir. Tornalamada Z parçanın uzunluğu, X ise yarıçap yönünü temsil eder. Bu kodların önüne, değer negatif olduğunda (-), pozitif olduğunda hiçbir işaret konulmaz.

Tablo 6.6 M kodları

M kodu	Anlamı
M00	Programın geçici olarak durması
M01	Programın istek üzere kontrol panosundan bir düğmeye basarak durması
M02	Programın tekrar baştan başlamak üzere sona ermesi
M03	İş milinin saat ibresi yönünde dönmesi (CW)
M04	İş milinin saat ibresi tersi yönünde (CCW)
M05	İş milinin durması
M06	Takımı değiştirme
M07,M08	Kesme sıvısının açılması
M09	Kesme sıvısının kapanması
M13	İş milinin saat ibresi yönünde dönmesi ve kesme sıvısının açılması
M14	İş milinin saat ibresi tersi yönünde dönmesi ve kesme sıvısının açılması
M15	Tezgah kızaklarının pozitif yöne (+) çabuk hareket ettirilmesi
M30	Programın sona ermesi
M32...M35	Sabit kesme hızı ile kesme (tornalamada)
M98	Alt programların çağırılması (bazı sistemlerde)
M99	Alt programların sona ermesi (bazı sistemlerde)

Tüm koordinatlar modaldır, yani bir blokta yazıldıktan sonra diğer bloklarda da geçerli olacaklarsa diğer bloklarda yazılmaz. Örneğin; aşağıdaki program parçasında birinci blokta yazılan X30 değeri ikinci blokta da geçerli olacağı için N15 bloğunda yazılmaz.

N10 G01 X30 Z2
N15 Z-20

İlerleme Hızı Kodu (F)

Hızlı harekette ilerleme hızı kodu verilmez. Bu hız tezgahın sahip olduğu maksimum hız değeridir. Doğrusal ve dairesel enterpolasyon için ilerleme hızı, F adresinden sonra hızın değerini belirten bir sayı ile verilir. İlerleme hızı mm/dak veya m/dev olarak verilebilir. Kontrol sistemine göre; mm/dak G98 veya G94, mm/dev G99 ile gösterilir. Bazı kontrol sistemlerinde ilerleme hızı sadece mm/dak olarak belirlenir.

Kesme Hızı Kodu (S)

CNC tezgahlarda kesme hızının m/dak olarak verildiği durumda talaş kaldırma sırasında parça çapı değişse dahi kesme hızı programlanan değerinde sabit kalır. Bazı kontrol sistemlerinde kesme hızının m/dak olarak verilmesi G96, dev/dak olarak verilmesi G97 komutları ile belirtilir, m/dak olarak verildiği durumda kesme hızı sabit olduğundan G96 koduna sabit kesme hızı kodu da denir. Buna göre;

G96 S250 (Kesme hızı m/dak)
G97 S3500 (Kesme hızı dev/dak)

Kesme hızını m/dak olarak gösteren G96 'dan dev/dak olarak gösteren G97 'ye geçildiğinde, eğer G97 'de S kodu ile hız değeri dev/dak olarak belirtilmemiş ise G96 'da kullanılan son kesme hızı G97 'de de geçerli olur. Örneğin;

```

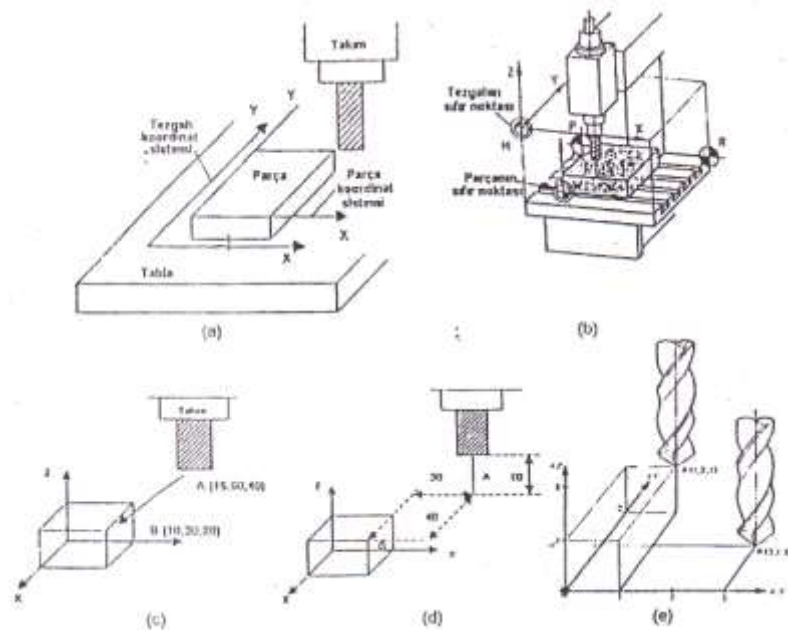
N50 G97 S800    Kesme hızı 800 dev/dak
.....
N75 G96 S100    Kesme hızı 100 m/dak
.....
N90 G97          Kesme hızı S ile belirtilmediği için bu bloktan önceki hızdır

```

Kesme hızı; takım malzemesi, parça malzemesi, takım ömrü ve tezgah konstrüksiyonuna bağlı olarak seçilir. Seçim işlemi, bu amaç için hazırlanmış çizelgelerden veya analitik olarak yapılır. Analitik olarak Taylor bağıntısı ve parça işleme zamanı veya parça maliyetine dayanan optimizasyon yöntemleri kullanılır.

6.7 Frezeleme İşlemleri için G Kodları

Pratikte tornalama ile frezeleme ayrı uğraş alanlarıdır. Programlama bakımından frezelemenin tornalamaya göre önemli bir farkı; nokta koordinatlarının X,Y,Z olarak verilmesidir (Şekil 6.31). X,Y koordinatları; parça yüzeyinin düzlemini, Z koordinatı ise bu yüzeye dik, yani takımın parçaya girme miktarını ifade eder. Burada dikkat edilmesi gereken husus; parça koordinatları ile tezgah koordinatları aynı doğrultuda olmalıdır. Freze için parça programında da nokta koordinatları mutlak ve eklemeli olarak verilebilir. G kodları, hareketin tipini tayin eder ve nümerik sistemi için işlem hazırlar; bu nedenler G kodlarına hazırlık fonksiyonları da denilmektedir. En çok kullanılan G kodları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.73 freze tezgahlarında eksen düzenleri

G00 Pozisyonlama (Hızlı hareket)

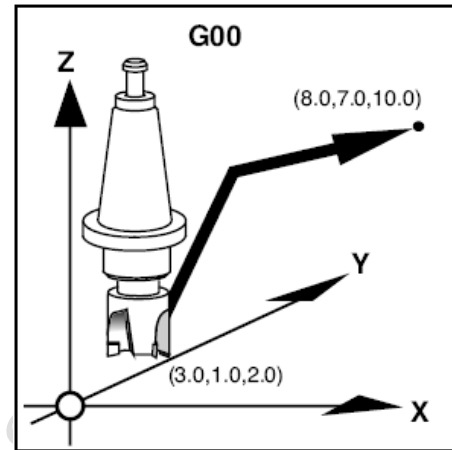
G00 X_ Y_ Z_ ;

Bu komut verildiğinde, kesici takım X,Y,Z adresine hızlı bir şekilde konumlandırılır. Kesici takım bu esnada kesme hareketi yapmaz.. Takım mutlak (G90) veya eklemeli (G91) koordinat sistemine göre harekete edebilir.

Blok format (örnek)

N60 G90 G00 X8.0 Y7.0 Z10.0

N60: Sıra numarası
G90: Mutlak koordinat sistemi
G00: Hızlı harekette lineer interpolasyon
X: Hedef X koordinatı
Y: Hedef Y koordinatı
Z: Hedef Z koordinatı



Şekil 6.74 Hızlı hareket

G01 Linear İnterpolasyon (kesme hareketiyle ilerleme)

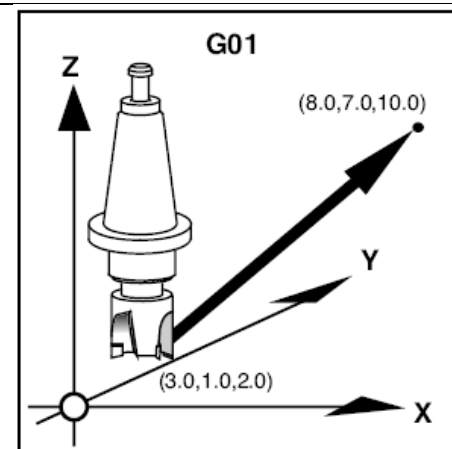
G01 X Y Z F ;

Kesici takım belirlenen bir ilerleme hızıyla düz bir hat boyunca ilerler. Her bir eksendeki hız değerleri takımın düz bir hat boyunca ilerlemesini sağlamak için otomatik olarak control edilir. G01 kodu lineer kesme işlemi için kullanılır. Takım mutlak (G90) veya eklemeli (G91) koordinat sistemine göre harekete edebilir.

Blok format (örnek)

N70 G91 G01 X5.0 Y6.0 Z8.0 F100

N70 Sıra numarası
G91 Eklemeli koordinat sistemi
G01 Lineer interpolasyon
X X ekseninde başlangıç noktasıyla bitiş noktası arasındaki uzaklık
Y Y ekseninde başlangıç noktasıyla bitiş noktası arasındaki uzaklık
Z Y ekseninde başlangıç noktasıyla bitiş noktası arasındaki uzaklık
F İlerleme hızı



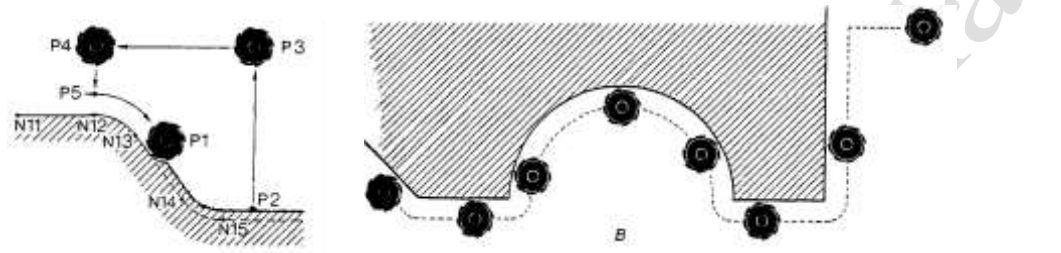
Şekil 6.75 Lineer hareket

Dairesel Enterpolasyon

Bu kodlar tam daire veya herhangi bir radyüsü daire yayı işleme esnasında kullanılır. Aşağıdaki açıklamalar X,Y düzlemindeki işlemlere aittir. Takım hareketi tayini için 2 farklı G kodu kullanılır (G02,G03). G02 ve G03 kodları ile mutlaka F kodu kullanılmalıdır. Bu kodlar aşağıdaki şekilde kullanılır.

G02 X... Y... I... J... F...

G03 X... Y... I... J... F...



Şekil 6.82 G02 ve G03 kodlarının kullanılışı

G02 Dairesel Enterpolasyon (Saat İbresi Yönünde)

Kesici takım, bir yayın yarıçapı ve son konumu verilerek veya yay merkezi ve son konum verilerek saat eksenı yönünde hareket eder. Bu işlem belirlenen ilerleme hızında daireseel kesme işlemi yapmak için kullanılır.

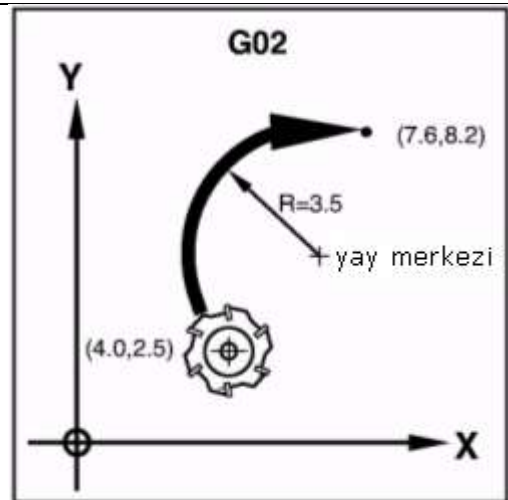
G02 X__ Y__ R__ F__ ; Yarıçap ve son konum

G02 X__ Y__ I__ J__ F__ ;Yay merkezi ve son nokta konum

Blok format (yarıçap ve son konum için)

N80 G90 G02 X7.6 Y8.2 R3.5 F100 ;

N80 Sıra numarası
G90 Mutlak koordinat
G02 Dairesel interpolasyon (saat yönünde)
X Son konumun X koordinatı
Y Son konumun Y koordinatı
R Yayın yarıçapı, yay 180 ° 'den küçük
F İlerleme hızı

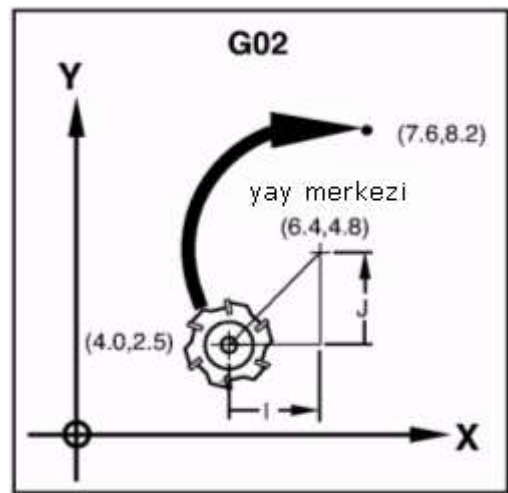


Şekil 6. 76 Dairesel Hareket

Blok format (yay merkezi, son konum için)
N90 G90 G02 X7.6 Y8.2 I2.4 J2.3 F100. ;

N80 Sıra numarası
G90 Mutlak koordinat
G02 Dairesel interpolasyon (saat yönünde)
X Son konumun X koordinatı
Y Son konumun Y koordinatı
I X ekseninde, yayın başlangıç noktasıyla yay merkezi arasındaki mesafe
J Y ekseninde, yayın başlangıç noktasıyla yay merkezi arasındaki mesafe
F İlerleme

Yarıçap ve son konum seçeneği kullanıldığında yarıçapa pozitif veya negatif bir değer atanabilir. Yay 180° 'den küçük veya 180° 'ye eşit olursa yarıçap pozitif (1) değerlik alır, yay 180° 'den büyük olursa yarıçap negatif (2) değerlik alır



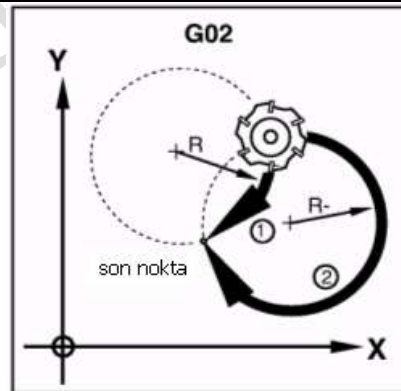
Şekil 6.77 Dairesel hareket (CW)

Blok format (yarıçap ve son konum için);
 180° den küçük bir yayın yarıçap ve son konumu için aşağıdaki blok yazılabilir

N100 G02 X_ Y_ R_ F
 180° den daha büyük bir yayın yarıçap ve son konumu için aşağıdaki blok yazılabilir.

N110 G02 X_ Y _R- _ F

Şeki
l
6.78
Dair
esel
hare
ket



G03 Dairesel İnterpolasyon (Saat İbresi Tersİ Yönünde)

Kesici takım, bir yayın yarıçapı ve son konumu verilerek veya yay merkezi ve son konum verilerek saat ibresi yönünde hareket eder. Bu işlem belirlenen ilerleme hızında daireysel kesme işlemi yapmak için kullanılır

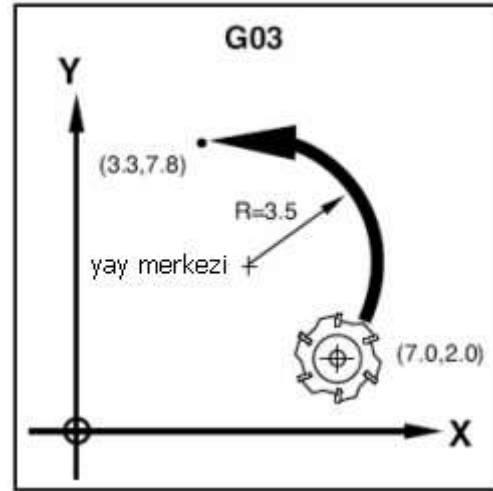
G03 X Y R F; Yarıçap ve son konum

G03 X Y I J F ; Yay merkezi ve son konum

Blok format (yarıçap ve son konum için)

**N120 G90 G03 X3.3 Y7.8 R3.5
F100.;**

N120 Sıra numarası
G90 Mutlak boyutlar
G03 Saat ibresi tersi yönde dairesel interpolasyon
X Son konumun X kooordinatı
Y Son konumun Y kooordinatı
R Yayın yarıçapı, yay 180° 'den daha küçük

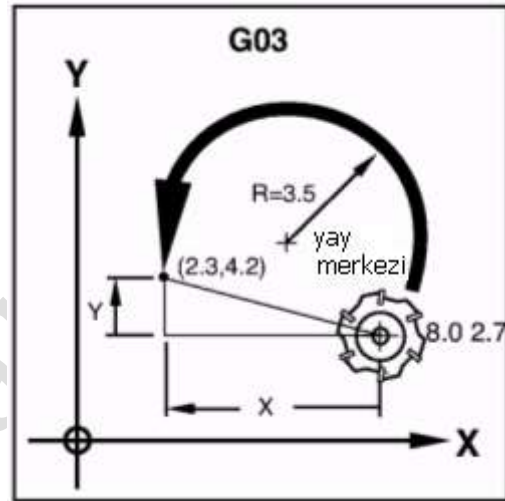


Şekil 6.79 Dairesel hareket (CCW)

Blok format (yarıçap ve son konum için)

**N130 G91 G03 X-5.7 Y1.5 R-3.5
F100. ;**

N130 Sıra numarası
G91 Eklemeli koordinat sistemi
G03 Saat eksen tersi yönde dairesel interpolasyon
X X ekseninde yayın başlangıç noktasıyla yay merkezi arasındaki mesafe
Y Y ekseninde yayın başlangıç noktasıyla yay merkezi arasındaki mesafe
R- Yayın yarıçapı, yay 180° 'den büyük
büyük
F ilerleme

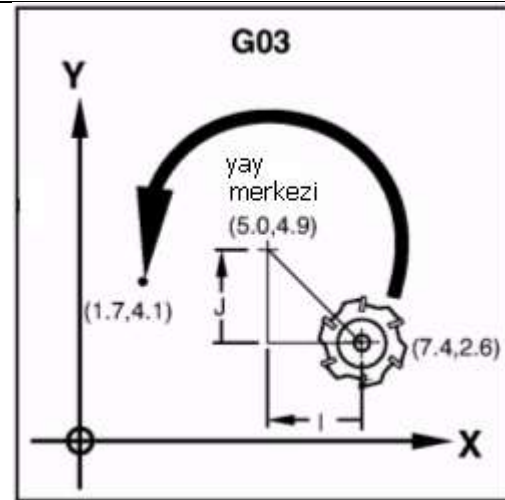


Şekil 6.80 Dairesel hareket (CCW)

Blok format (yay merkezi, son konum için)

**N140 G90 G03 X1.7 Y4.1 I-2.4 J2.3
F100. ;**

N140 Sıra numarası
G90 Mutlak koordinat
G03 Saat yönü tersine dairesel interpolasyon
X Son konumun X koordinatı
Y Son konumun Y koordinatı
I X ekseninde yayın başlangıç noktasıyla yay merkezi arasındaki mesafe
J Y ekseninde yayın başlangıç noktasıyla yay merkezi arasındaki mesafe
F ilerleme



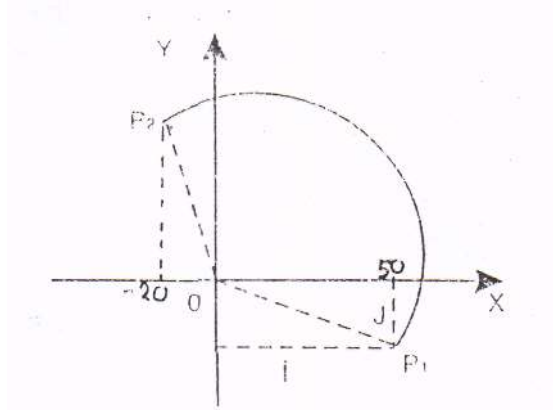
Şekil 6.81 Dairesel hareket (CCW)

Mutlak koordinatlarda X,Y dairesel yayın son noktasının koordinat değerleridir. I,J dairesel yayın son noktasının vektörel olarak daire merkezine uzaklıklardır. Eklemeli koordinatlarda; X,Y dairesel yayın son noktasının koordinatlarıdır. I,J dairesel yayın son noktasının vektörel olarak daire merkezine uzaklıklardır.

P1(50,-20) :Başlangıç noktası
P2(-20,50) :Son nokta

Şekil 6.83 'de görülen yay parçasını işlemek için kodlama şu şekilde olmalıdır;

G90 G03 X-20 Y50 I-50 J20 F 40
G91 G03 X-20 Y50 I-50 J20 F 40



Şekil 6.83 Dairesel enterpolasyonda I,J parametreleri

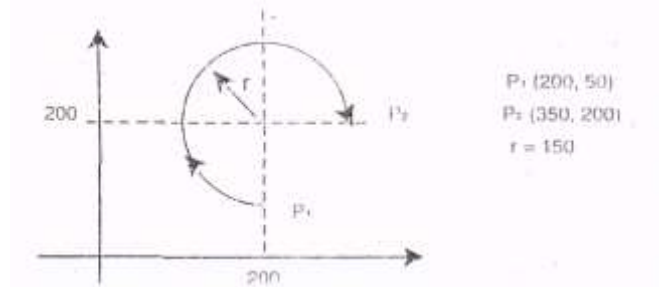
Radyüs R, yay merkezi olarak I,J,K yerine kullanılabilir. Yay 180° den küçük ise R(+), büyükse R(-) değer alır. Bu söylediklerimizi yukarıda verilen örneğe uygularsak;

G90 G03 X-20 Y50 R53.852 F 40
G91 G03 X-20 Y50 R53.852 F 40

Örnek; Şekil 6.84 'de görülen yarıçapı 150 mm olan yay parçasını elde etmek için verilmesi gereken komut:

G90 G02 X350 Y200 R-150 F40 veya
G91 G02 X150 Y150 R-150 F40

şeklinde olmalıdır.



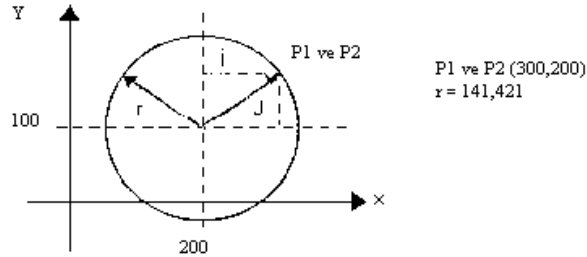
Şekil 6.84 270 ° 'lik yay parçası

Örnek; Şekil 6.85'de verilen tam daire şeklindeki yayın elde edilmesi için gerekli komutları yazınız.

Komut;

G90 G02 X300 Y200 I-100 J-100 F40

G91 G02 X0 Y0 I-100 J-100 F40

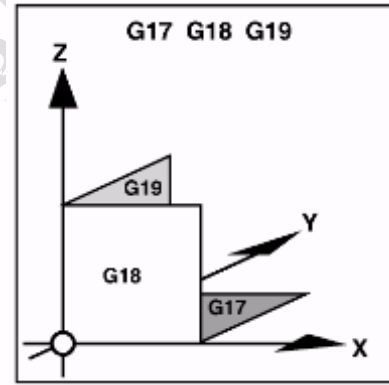


Şekil 6.85 Tam daire kesmede i, j değerleri

G17, G18, G19 Düzlem Seçimi

Düzlem seçimi, dairesel enterpolasyonun yapılacağı düzlemi belirlemek için kullanılır. Başlangıç olarak G17 etkindir.

G17 X-Y düzlemi
G18 X-Z düzlemi
G19 Y-Z düzlemi



Şekil 6.86 Düzlem seçimi

Blok format (G02 için)

N170 G17 G02 X__ Y__ R__ F__ ;

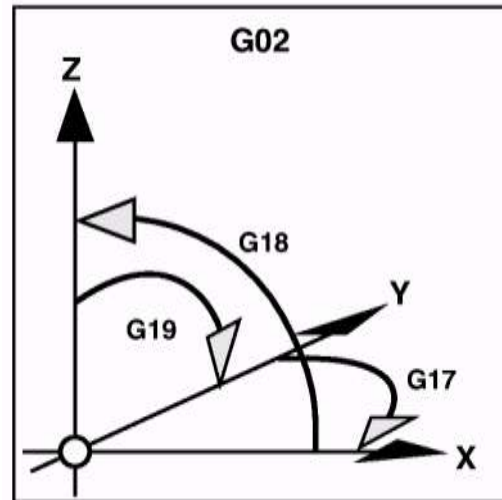
N180 G17 G02 X__ Y__ I__ J__ F__ ;

N190 G18 G02 X__ Z__ R__ F__ ;

N200 G18 G02 X__ Z__ I__ K__ F__ ;

N210 G19 G02 Y__ Z__ R__ F__ ;

N220 G19 G02 Y__ Z__ J__ K__ F__ ;



Şekil 6.87 Düzlem seçimi

Blok format (G03 için)

N230 G17 G03 X__ Y__ R__ F__ ;

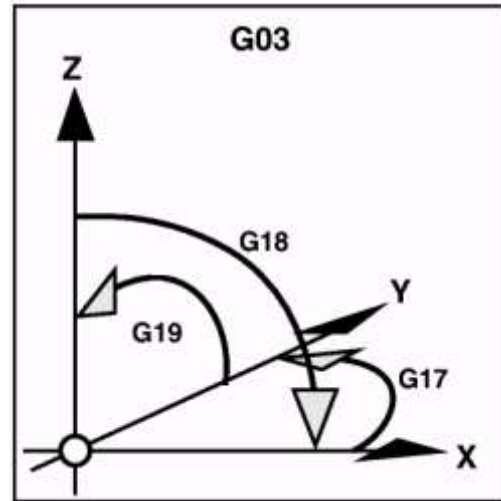
N240 G17 G03 X__ Y__ I__ J__ F__ ;

N250 G18 G03 X__ Z__ R__ F__ ;

N260 G18 G03 X__ Z__ I__ K__ F__ ;

N270 G19 G03 Y__ Z__ R__ F__ ;

N280 G19 G03 Y__ Z__ J__ K__ F__ ;



Şekil 6.88 Düzlem seçimi

G20, G21 İnç/Milimetre Birimleri

G20 ; İnç Birimi

G21 ; Milimetre birimi

Birimler iş koordinat sistemi (G92) ayarlanmadan önce programın başlangıcında belirtilir ve ilgili satıra tek başına yazılır. G20 veya G21 programın başında tanımlandıktan sonra programın herhangi bir yerinde değiştirilemez.

Block format (inç için)

N30 G20 ;

N40 G92 X4.0 Y5.0 Z4.0

N30 Sıra numarası

G20 İnç birimi

N40 Sıra numarası

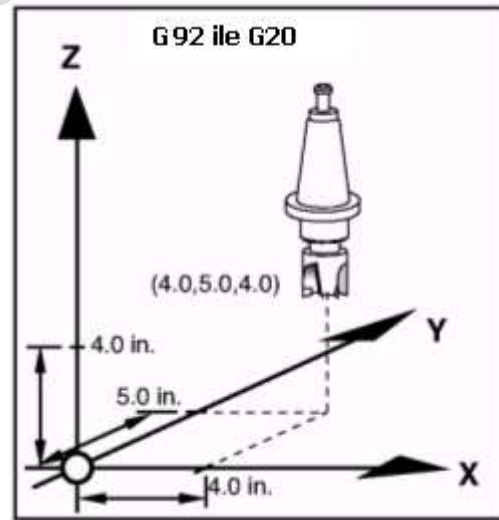
G92 İş koordinat sisteminin ayarlanması

POSITION

X 0.0000 in.

Y 0.0000 in.

Z 0.0000 in.

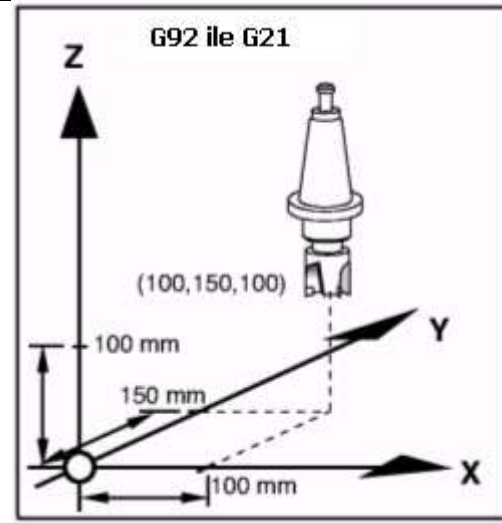


Şekil 6.89 İnç birim sistemi seçimi

Blok format (milimetre için)

N30 G21 ;
N40 G92 X100. Y150. Z100. ;
 N30 sıra numarası
 G21 Milimetre birimi
 N40 sıra numarası
 G92 İş koordinat sisteminin ayarlanması

POSITION
 X 0.000 mm
 Y 0.000 mm
 Z 0.000 mm



Şekil 6.90 mm birim sistemi

G22, G23 Hareketin Sınırlandırılması

G22 X_ Y_ Z_ I_ J_ K_

Sınırlandırılmış hareket açık (ON)

G23 ;

Sınırlandırılmış hareket kapalı (OFF)

Takım hareketleri belirli bir dikdörtgensel hacim içinde veya dışında sınırlandırılır. Hacim, X, Y, Z, I, J ve K adresleriyle belirlenir. Takımı, tezgah tablası üzerindeki herhangi bir engelden korumak için bir emniyet önlemi olarak kullanılır. CNC denetleyicisinin belleğindeki RWL parametresi ya 0 yada 1 olarak seçilir. 0 değerli RWL parametresi takımı belirlenen hacmin içinde tutarken 1 değerlikli RWL parametresi takımı belirlenen hacmin dışında tutar.

Blok format (RWL parametresi 0 için)

G22 X100. Y70. ZO. I250. J210.K100.

G22 sınırlandırılmış hareket açık (ON)

X Sınırın X koordinat noktası

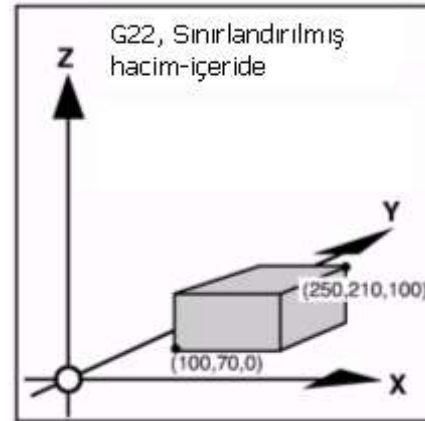
Y Sınırın Y koordinat noktası

Z Sınırın Z koordinat noktası

I Sınırın X koordinat noktası

J Sınırın Y koordinat noktası

K Sınırın Z koordinat noktası



Şekil 6.91 G22 ile takım hareketinin sınırlandırılması

Block format (RWL parametresi 1 için)

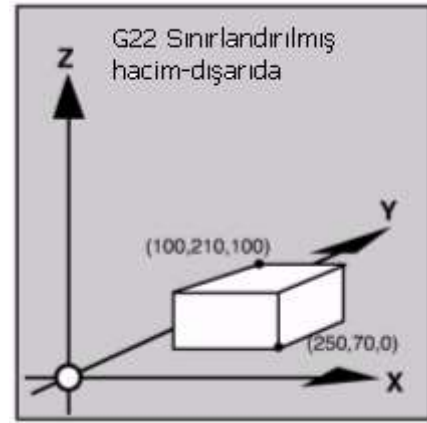
G22 X100. Y210. Z100. I250. J70. K0.

G22 sınırlandırılmış hareket açık
X Sınırın X koordinat noktası
Y Sınırın Y koordinat noktası
Z Sınırın Z koordinat noktası
I Sınırın X koordinat noktası
J Sınırın Y koordinat noktası
K Sınırın Z koordinat noktası

Blok format (sınırlandırılmış hareketin iptali)

G23 G00 X50. ;

G23 Sınırlandırılmış hareket kapalı OFF
G00 Pozisyonlama (Hızlı hareket)
X :Konumlanacak noktanın X koordinatı



Şekil 6.92 G22 ile takım hareketinin sınırlandırılması

G28 Home Pozisyonuna Dönüş

G28 X_ Y_ Z_ ;

Takımın önceden belirlenen bir X,Y,Z ara noktasından geçerek HOME pozisyonuna alınması amacıyla kullanılır. Ara nokta G90 veya G91 işlev kodlarıyla belirlenir. G91 ve G28 kombinasyonunda, program esnasında home pozisyona giderek takım değişikliği yapılabilecek noktayı belirlemek için programın başına yazılır. İş parçasının bağlama elemanlarıyla takım çarpışmasını engellemek için öncelikle Z ekseninde sonra X ve Y eksenlerinde uygulanması daha uygundur. Burada kesici takımın bütün hareketleri hızlıdır.

Blok format (program başlangıcında)

N10 G91 G28 Z0.0 ;

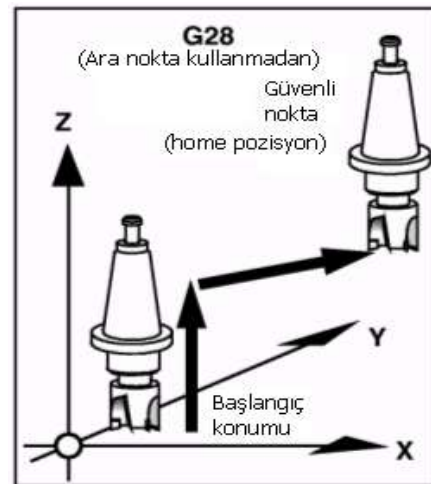
N20 G91 G28 X0.0 Y0.0

G28 referans noktasına dönüş (Z home pozisyon)

Z Z ekseninde eklemeli koordinat sisteminde ara noktaya olan mesafe

X X ekseninde eklemeli koordinat sisteminde ara noktaya olan mesafe

Y Y ekseninde eklemeli koordinat sisteminde ara noktaya olan mesafe



Şekil 6.93 G28 Home pozisyona dönüş

Takım değişikliği yapılırken, genellikle sadece Z ekseninde home pozisyona dönmek yeterlidir.

Blok format (takım değiştirme için)

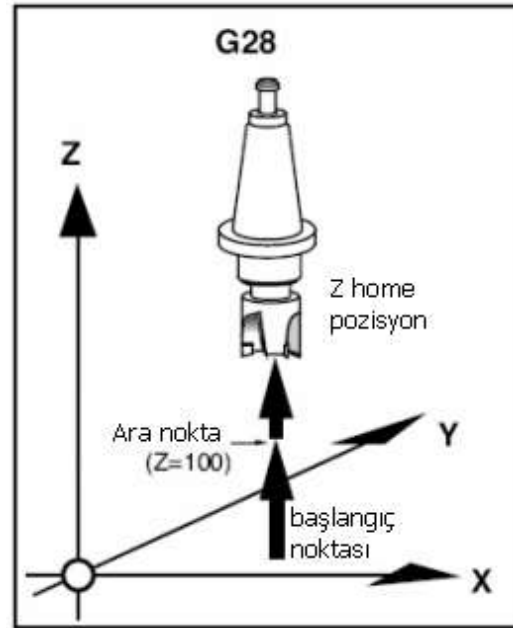
N400 G90 G28 Z100. ;

N400 Sıra numarası

G90 Mutlak Koordinat sistemi

G28 Referans noktasına dönüş (Z home pozisyon)

Z Ara noktanın Z koordinatı



Şekil 6.94 G28 ile home pozisyona dönüş –ara nokta kullanmadan

G29 Home pozisyonundan geri dönüş

G29 X_ Y_ Z_ ;

Takım, home pozisyonundan (bir ara noktadan geçerek) X,Y ve Z adresleriyle belirlenen noktaya hareket eder. Genellikle takım değiştirmeden sonra kullanılır ve ara nokta daha önceden G28 koduyla belirlenmiştir. Eklemeli koordinatlarda program yapılırsa, ara noktadan son noktaya ekleme mesafesi X, Y ve Z adresleriyle verilir.

Blok format (mutlak sistem için)

N410 G90 G28 X60. Y100. ;

N420 G29 X120. Y40. ;

N410 Sıra numarası

G90 Mutlak koordinat sistemi

G28 Referans noktasına dönüş

X Ara noktanın X koordinatı

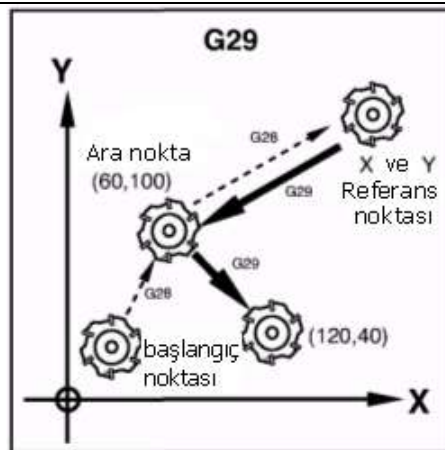
Y Ara noktanın Y koordinatı

N420 Sıra numarası

G29 Referans noktasından dönüş

X Son noktanın X koordinatı

Y Son noktanın Y koordinatı



Şekil 6.95 G29 ile home pozisyonundan dönüş

Blok format (eklemeli sistem için)

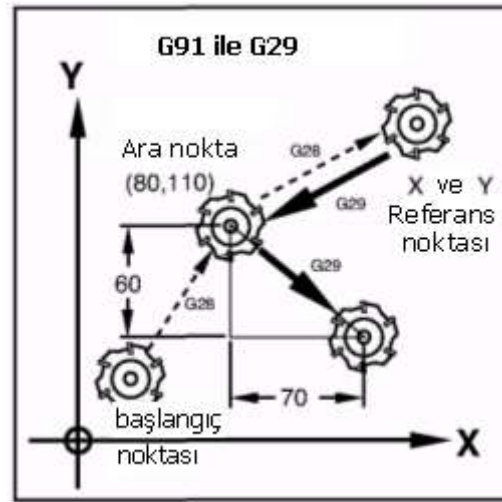
N430 G90 G28 X80. Y110.

N440 G91 G29 X70. Y-60.

N430 Sıra numarası
G90 Mutlak koordinat sistemi
G28 Referans noktasına dönüş
X Ara noktanın X koordinatı
Y Ara noktanın Y koordinatı

N440 Sıra numarası
G91 Eklemeli koordinat sistemi
G29 Referans noktasından dönüş
X X ekseninde ara noktanın son noktaya mesafesi

Y X ekseninde ara noktanın son noktaya olan mesafesi



Şekil 6.96 G29 ile home pozisyonundan dönüş

G40, G41, G42 Takım Uç Yarıçapı Telifi

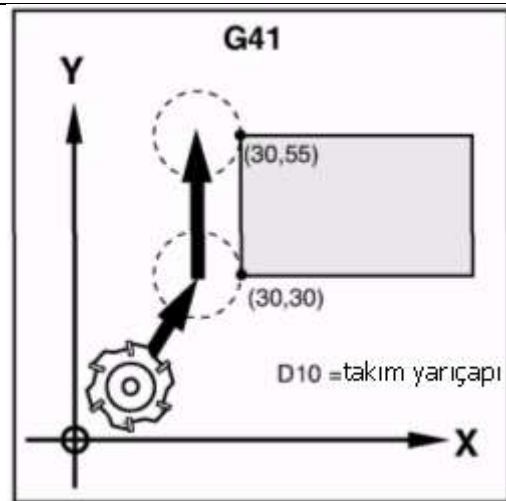
G40 ; Takım radyüsü telifi iptal
G41 D_ ; Takım radyüsü telifi sol
G42 D_ ; Takım radyüsü telifi sağ

Takım, uç radyüsü büyüklüğü ile program tarafından belirlenen yol boyunca sola veya sağa doğru hareket etmektedir. Ofset miktarı D adresi ile kaydedilir.

N270 G90 G17 G01 G41 D10 X30. Y30.F100

N280 G01 Y55. ;

N270 Sıra numarası
G90 Mutlak koordinat sistemi
G17 X-Y düzlemi seçimi
G01 Lineer interpolasyon
G41 Takım uçyarıçapı telifi sol
D Offset miktarı
X Son noktanın X koordinatı
Y Son noktanın Y koordinatı
F İlerleme

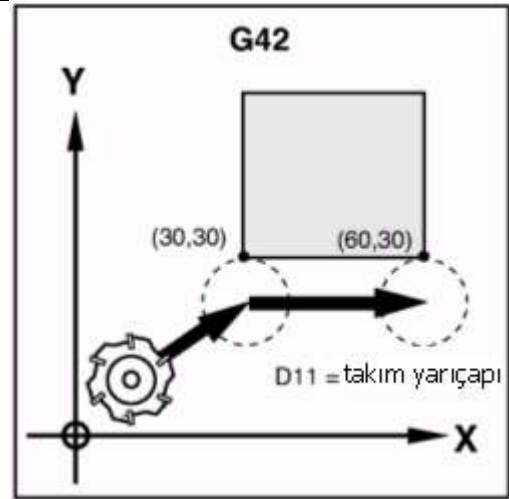


Şekil 6.97 Takım Telifi sol

N270 G90 G17 G01 G42 D11 X30. Y30.F100

N270 Sıra numarası

G90 Mutlak koordinat sistemi
G17 X-Y düzlemi seçimi
G01 Lineer interpolasyon
G42 Takım uçyarıçapı telafisi sol
D Offset miktarı
X Son noktanın X koordinatı
Y Son noktanın Y koordinatı
F İlerleme

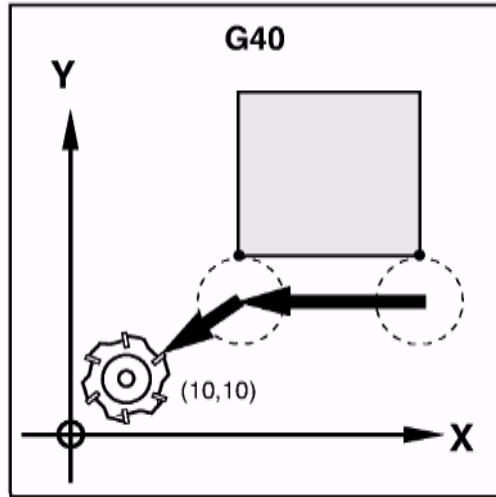


Şekil 6.98 Takım telafisi G42

N310 G00 G40 X10. Y10. ;

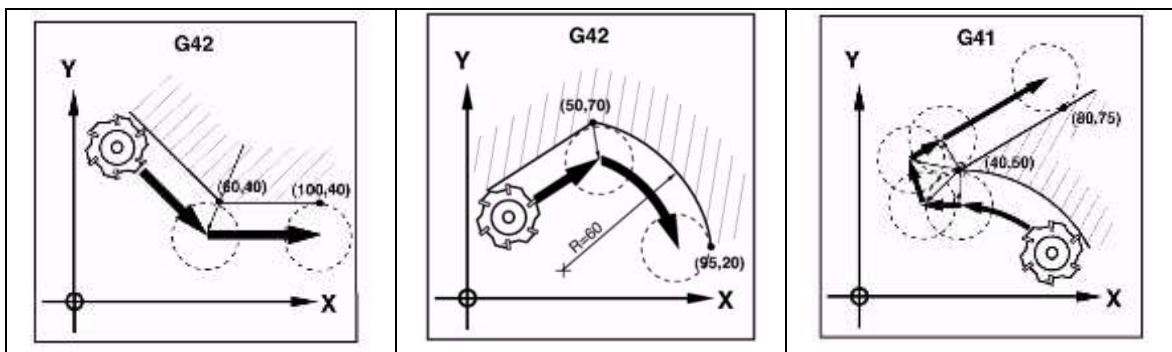
N310 Sıra numarası

G00 Hızlı hareket ile pozisyonlama
G40 Takım telafisi iptali
X Son noktanın X koordinatı
Y Son noktanın Y koordinatı



Şekil 6.99 Takım telafisi iptal G40

Aşağıdaki şekillerde verilen örnekleri inceleyiniz.



Şekil 6.100 Takım telafilerinin değerlendirilmesi

G43, G44, G49 Takım Uzunluğu Telafisi

G43 H_ ; veya G43 Z_ H_ ;

Takım uzunluğu telafisi pozitif yönde

G44 H_ ; veya G44 Z_ H_ ;
Takım uzunluğu telafisi negatif yönde

Takım, standart bir takım uzunluğuna göre uzunluk veya kısalığını telafi edebilmek için takım yukarıya veya aşağıda doğru hareket eder. Offset yönü G43 veya G44 ile ayarlanır ve CNC denetleyicisinin belleğinde H adresiyle kaydedilir. Z adresiyle belirtilen değer offset miktarına ya eklenir ya da çıkarılır. H00 'a kaydedilmiş offset miktarı daima 0 dır. Takım uzunluğu telafisi iki veya daha fazla sayıda takım ile çalışıldığında kullanılır. Takım uzunluğu telafisi, bir programda takım değiştirme sonrasında koordinatlarda herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek bırakmamaktadır.

Blok format (G43 için) H11=8 mm

N900 G43 H11 ;

N900 Sıra numarası
G43 Takım uzunluğu telafisi pozitif yön
H Offset adresi 11

Block format (G44 ve Z için) H10 = 9mm

N910 G44 H10 ;

veya

N910 G44 Z-9.0 H00 ;

N910 Sıra numarası
G44 Takım uzunluğu telafisi pozitif yön
H Offset adresi 10
Z Telafi miktarı
H00 Offset miktarı=0

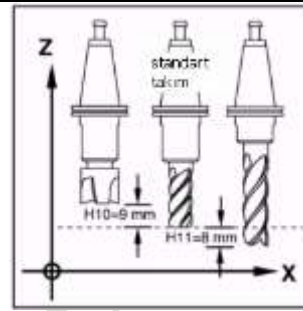
Block format (Takım uzunluğu telafisi iptal)

N920 G49

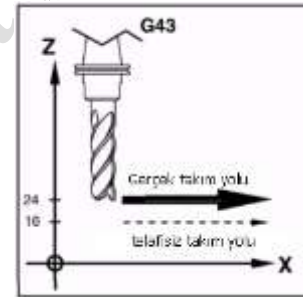
veya

N920 H00

G49 Takım uzunluğu telafisi iptal
H00 Takım uzunluğu telafisini sıfıra



Şekil 6.101



Şekil 6.103



Şekil 6.104 G44 Telafi kodu

CNC freze tezgahında aynı program içinde birden fazla kesici takım kullanılabilir. Ancak her takımın boyu birbirinden farklı olduğu için mutlaka boy telafisi kullanılmalıdır. Bu sayede sanki her takımın boyu eşit bağlanmış gibi program yapılır. Ölçülen boy değerleri cnc tezgah OFFSET sayfasındaki ilgili satırlara yazılır. Kodun kullanımı sırasında H karakterinin yanına

2 haneli bir sayı yazılır. Bu sayı OFFSET sayfasında kullanılacak takımın boy miktarının yazılı olduğu ofset satırını ifade eder.

ÖRNEK

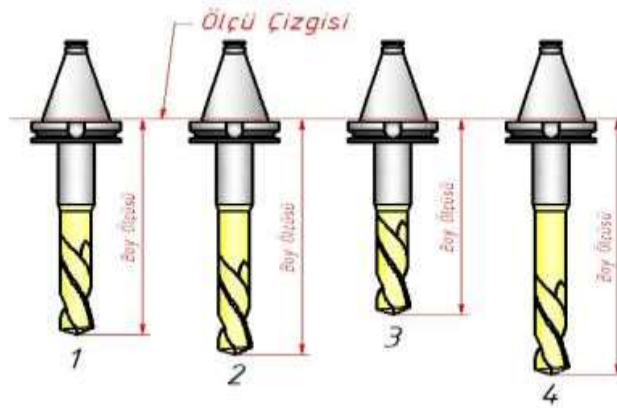
G43 Z... H...

Z:Kesici takım ucunun gitmesini istediğimiz Z koordinat değeri.

H:Kullanılacak kesici takımın OFFSET sayfasındaki satır numarası.

G49 Kesici Takım Boy Telafisi İptali

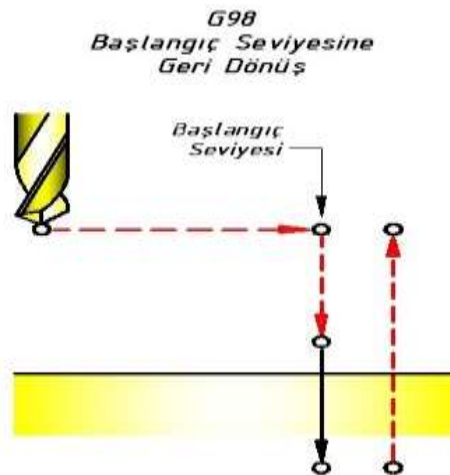
G43 kodu ile tezgah hafızasına kayıt edilen kesici takım boy telafi değerinin hafızadan silinmesini sağlar.



Şekil 6.105 Takım uzunluğu telafisi

G98 Çevrim Sonunda Başlangıç Noktasına Dönüş

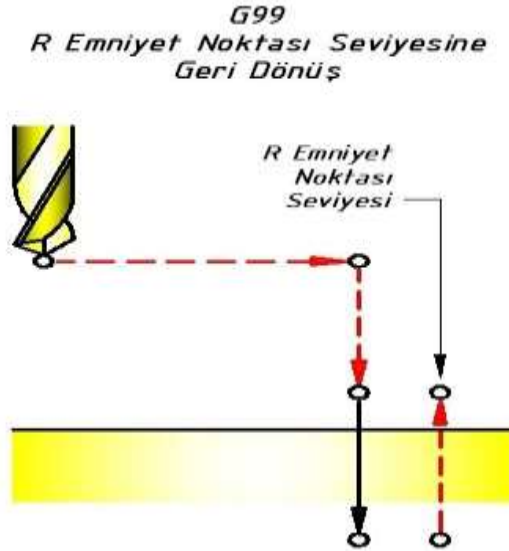
İşlem bittikten sonra kesici çevrime başlamadan önceki Z yüksekliğine geri çıkar.(makine varsayılanıdır)



Şekil 6.106 Başlangıç noktasına dönüş

G99 Çevrim Sonunda R Emniyet Noktasına Dönüş

İşlem bittikten sonra kesici R emniyet noktasına geri çıkar. (G98 ve G99 komutları G81-G82-G83-G86 vb komutlar ile birlikte kullanılır.)



Şekil 6.107 Emniyetli mesafeye çıkış

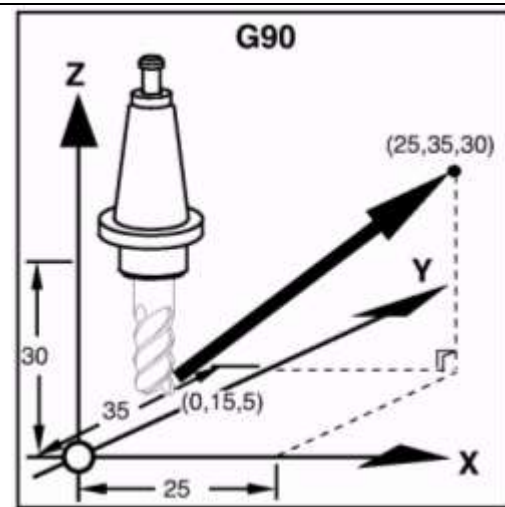
G90 Mutlak Koordinat Sistemi

G90 ;

Bütün noktalar ve takım pozisyonları G92 komutuyla ayarlanan bir orijinden alınır. Takım bir noktadan diğerine hareket ederken koordinat X,Y ve Z adresleriyle girilir.

N50 G90 G01 X25. Y35. Z30. ;

N50 Sıra numarası
G90 mutlak boyutlar
X Son noktanın X koordinatı
Y Son noktanın Y koordinatı
Z Son noktanın Z koordinat

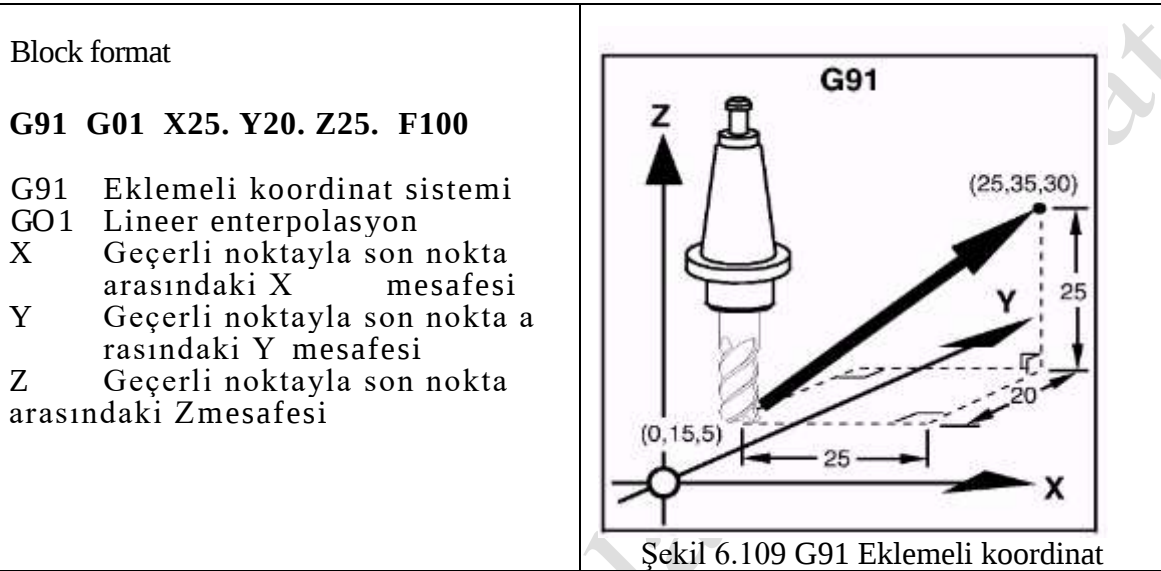


Şekil 6.108 Mutlak sistem

G91 Eklemeli Koordinat Sistemi

G91 ;

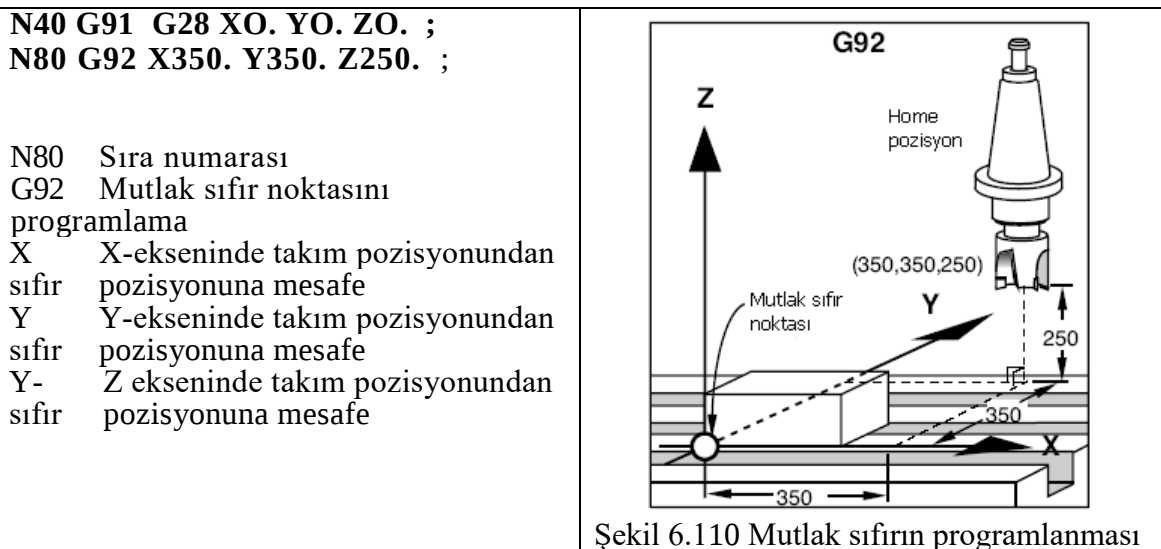
Bütün noktalar ve takım pozisyonları geçerli bir noktadan ölçülür. Takım bir noktadan diğerine hareket ettiğinde noktalar arasındaki mesafeler X,Y ve Z adresleriyle girilir. Bu mesafeler, geçerli noktayla yeni noktanın konumlarına bağlı olarak Pozitif veya negatif değerler şeklinde girilir.



G92 Mutlak Sıfır Noktasının Programlanması

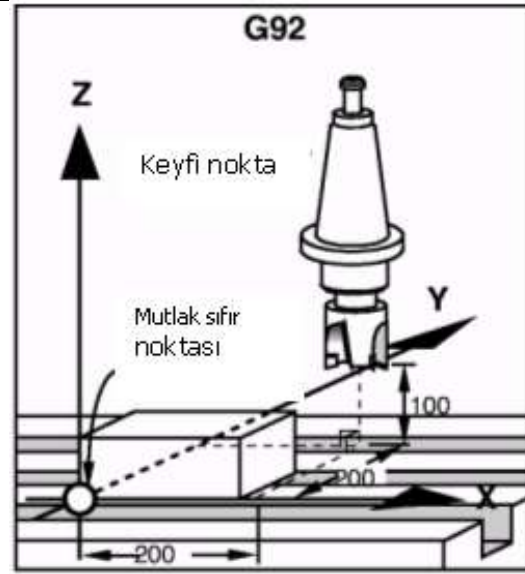
G92 X_ Y_ Z_ ;

Bu komut, koordinat sisteminin orijinini home pozisyondan veya geçerli takım pozisyonundan belirli bir mesafeye ayarlar. Geçerli takım konumuna göre orijinin konumu X,Y ve Z adresleriyle tanımlanır. G92 komutu, koordinat sistemini CNC tezgahın home pozisyonuna göre veya keyfi bir noktaya ayarlamak için programın başında kullanılır.



N100 G92 X200. Y200. Z100

N100 Sıra numarası

G92 Mutlak sıfır noktasını
programlamaX X-ekseninde takım pozisyonundan
sıfır pozisyonuna mesafeY Y-ekseninde takım pozisyonundan
sıfır pozisyonuna mesafeZ Z ekseninde takım pozisyonundan
sıfır pozisyonuna mesafe

Şekil 6.111 G92 ile mutlak sıfır noktasının programlanması

Birim ve İlerleme Komutları

Boyut birimleri daha önce tornalamada açıklandığı gibi aşağıda verildiği şekilde kullanılmaktadır.

G20 :inç

G21 :metrik

Günümüzde imal edilen takım tezgahlarının bir çoğu metrik sisteme göre ayarlıdır. Bir programa başlarken, tezgah metrik sisteme göre ayarlanmış ise G20 kodunu kullanmaya gerek yoktur. Ancak tezgah için böyle bir ayar yapılmamış ise o zaman, hangi birim sistemi kullanılacağı bildirilmelidir.

İlerleme hızının birim kodları daha önce tornalamada anlatıldığı gibidir. Yani;

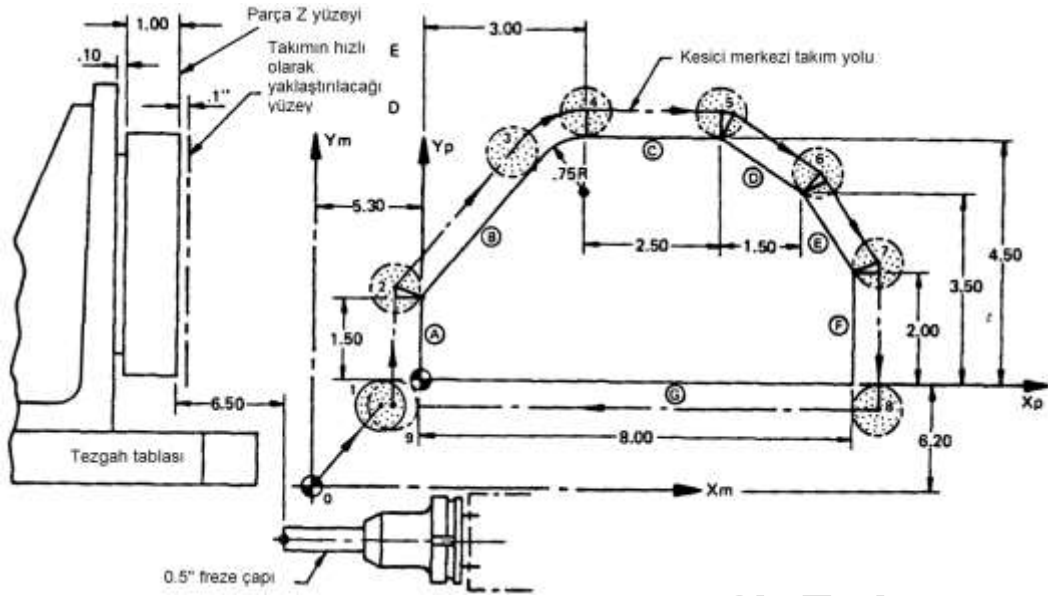
G94 :ilerleme hızı m/dak

G95 :ilerleme hızı mm/dev

Takım Telafisi Kodu

Daha önce de belirtildiği gibi, takım telafisi olayı, NC programlarının yazılmasında takımdan bağımsız hareket edilmesi imkanı sağlar. Bütün telafilerin iptali için G40, Sağ ve sol telafilerin tanımlanması için G41 ve G42 kodları kullanılır.

Örnek: Şekil 6.109 'da yatay işleme merkezine bağlanan iş parçasının çevresinin işlenmesi için NC programını yazalım. Burada kullanılan boyutlar inç olarak verilmiştir.



Şekil 6.112 Örnek iş parçası

O0028;
 N010 G20 G40 G80 G91
 N020 G92 X0 Y0 Z0
 N030 S800 M03
 N040 G00 X4.75 Y 5.95
 N050 Z-1.4
 N060 G01 Z-1.15 F3.0
 N070 X03 M08
 N080 Y1.8449
 N090 X2.4999 Y2.8188
 N100 G02 X0.7501 Y0.3363 I0.7501 J-0.6637
 N110 G01 X2.5754
 N120 X1.6047 Y-1.0696
 N130 X1.0699 Y-1.6047
 N140 Y-3.3257
 N150 X-8.3
 N160 Z1.15 F0.4 M09
 N170 G28 Z0.1
 N180 G28 X-0.1 Y-0.1

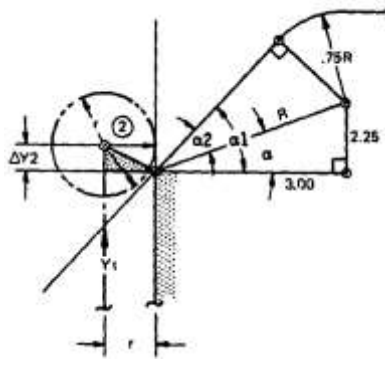
Nokta 1
 Nokta 1-2
 Nokta 2-3
 Nokta 3-4
 Nokta 4-5
 Nokta 5-6
 Nokta 6-7
 Nokta 7-8
 Nokta 8-9

Parçayı temizle, soğutucu stop Z
 Z başlangıç pozisyonuna geri dön
 X,Y başlangıç pozisyonuna geri dön

Kesici merkezine göre program yazılması için kesici merkezinin koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. Yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

1 ve 2 noktası arasındaki yüzeyin işlenmesi için kesici merkezi hesapları:

Kesici, yüzey B üzerinde harekete başlamadan önce alması gereken pozisyonun hesaplanması gerekmektedir. Şekil 6.109.a 'dan yararlanarak aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla bu pozisyon;



Şekil 6.112-a Örnek olarak verilen iş parçası üzerindeki kesici merkezi 2 noktası

$$\Delta Y2 = r \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\alpha1}{2}\right)$$

$$\tan \alpha = \frac{2.25}{3.00} = 0.75$$

$$\alpha = 36.8699^\circ$$

$$R = \sqrt{3.0^2 - 2.25^2} = 3.750$$

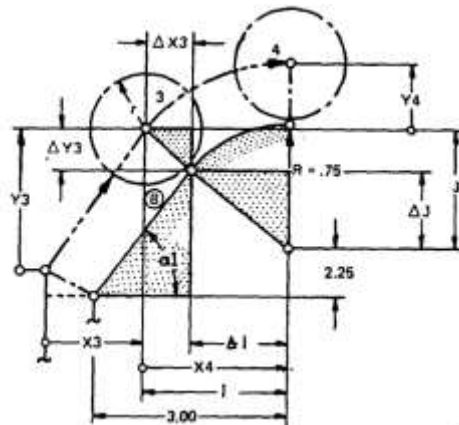
$$\sin \alpha2 = \frac{0.75}{3.75} = 0.2$$

$$\alpha2 = 11.5369^\circ$$

$$\alpha1 = \alpha + \alpha2 = 36.8699 + 11.5369 = 48.4068$$

$$\Delta Y2 = r + 1.5 + \Delta Y2 = 0.25 + 1.5 + 0.0949 = 1.8449 \text{ inç}$$

3 ve 4 noktası arasındaki yüzeyin işlenmesi için kesici merkezi hesapları:



6.112.b Kesici merkezi geometrisi düz bir doğru ile yayın kesişim noktasında

$$\alpha_1 = 48.4068^\circ$$

$$\Delta Y_2 = 0.0949 \text{ inç}$$

$$r = 0.25 \text{ inç}$$

$$R = 0.75 \text{ inç}$$

$$\Delta Y_3 = r \cdot \cos \alpha_1 = 0.25 \cdot \cos 48.4068^\circ = 0.1659 \text{ inç}$$

$$\Delta J = R \cdot \cos \alpha_1 = 0.75 \cdot \cos 48.4068^\circ = 0.4978 \text{ inç}$$

$$Y_3 = 2.25 + \Delta J + \Delta Y_3 - \Delta Y_2$$

$$Y_3 = 2.25 + 0.4978 + 0.1659 - 0.0949 = 2.8188 \text{ inç}$$

Bu Y yönündeki f hareketi olacaktır.

$$\Delta Y = r \cdot \cos \alpha_1$$

$$\Delta X = r \cdot \sin \alpha_1$$

$$\Delta j = R \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{ve} \quad \Delta i = R \cdot \sin \alpha_1$$

$$j = \Delta j + \Delta Y_3 \quad \text{ve} \quad i = \Delta i + \Delta X_3$$

$$\Delta X_3 = r \cdot \sin \alpha_1 = 0.25 \cdot \sin 48.6068^\circ = 0.1875 \text{ inç}$$

$$\Delta j = R \cdot \sin \alpha_1 = 0.75 \cdot \sin 48.6068^\circ = 0.5625 \text{ inç}$$

$$X_3 = 3.0 + r - (0.1875 + 0.5625)$$

$$X_3 = 3.0 + 0.25 - (0.1875 + 0.5625)$$

$$X_3 = 3.25 - 0.7501 = 2.4999 \text{ inç}$$

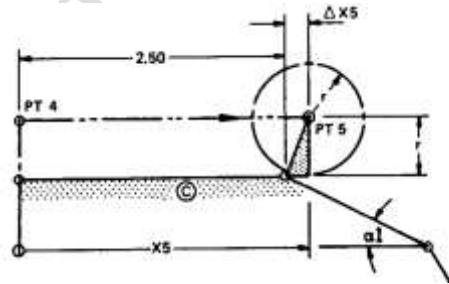
$$X_4 = \Delta i + \Delta X_3 = 0.5625 + 0.1875 = 0.7501 \text{ inç}$$

$$Y_4 = R + r - (\Delta j + \Delta Y_3) = 0.75 + 0.25 - (0.4978 + 0.1659) = 0.3363 \text{ inç}$$

$$i = X_4 = \Delta i + \Delta X_3 = 0.7501 \text{ inç}$$

$$j = \Delta j + \Delta Y_3 = 0.4978 + 0.1659 = 0.6637 \text{ inç}$$

4 ve 5 noktası arasındaki yüzeyin işlenmesi için kesici merkezi hesapları:



Şekil 6.112.c 5 noktasında kesici merkezi geometrisi

$$\Delta Y_5 = r$$

$$\Delta X_5 = r \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2}$$

parça ölçülerinden;

$$\tan \alpha_1 = \frac{1.00}{1.50} = 0.66666, \text{ veya } \alpha_1 = 33.59^\circ$$

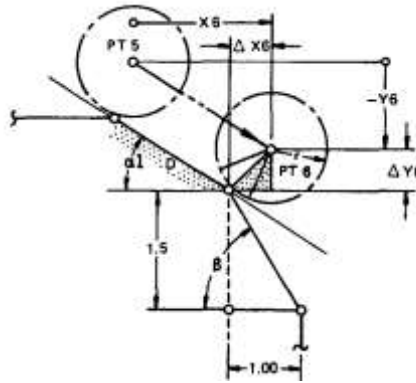
$$\Delta X_5 = r \cdot \tan \frac{\alpha_1}{2} = 0.25 \cdot \tan \frac{33.59}{2} = 0.0754$$

$$X_5 = 2.50 + \Delta X_5 = 2.50 + 0.0754 = 2.5754 \text{ inç}$$

5 ve 6 noktası arasındaki yüzeyin işlenmesi için kesici merkezi hesapları;

$$\Delta Y_6 = \frac{\cos \frac{\alpha_1 + \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha_1 - \beta}{2}} \cdot r$$

$$\Delta X_6 = \frac{\sin \frac{\alpha_1 + \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha_1 - \beta}{2}} \cdot r$$



Şekil 6.112.d 6 noktasındaki kesici merkezi geometrisi

$$\tan \beta = \frac{1.5}{1} = 1.5 \text{ veya } \beta = 56.3099^\circ$$

$$\Delta Y_6 = \frac{\cos \frac{\alpha_1 + \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha_1 - \beta}{2}} \cdot r = \frac{\cos \frac{33.59 + 56.31}{2}}{\cos \frac{33.59 - 56.31}{2}} \cdot 0.25$$

$$\Delta Y_6 = \frac{\cos 44.95}{\cos (-11.36)} \cdot 0.25 = \frac{0.707724}{0.980409} \cdot 0.25 = 0.1804 \text{ inç}$$

$$\Delta X_6 = \frac{\sin \frac{\alpha_1 + \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha_1 - \beta}{2}} \cdot r = \frac{\sin 44.59^\circ}{\cos (-11.36)} \cdot r = \frac{0.706489}{0.980409} \cdot 0.25 = 0.1801 \text{ inç}$$

$$X6 = 1.5 + \Delta X6 - \Delta X5 = 1.5 + 0.1801 - 0.0754 = 1.6047 \text{ inç} \quad \text{ve}$$

$$Y6 = 1.00 + r - Y6 = 1.00 + 0.25 - 0.1804 = 1.0696 \text{ inç}$$

E yüzeyinin işlenmesi (Nokta 7)

$$\Delta Y7 = r \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\alpha_1}{2} \right) \quad \beta \text{ ile } \alpha_1 \text{ yer değiştirince}$$

$$\Delta Y7 = 0.25 \cdot \tan 45^\circ - \frac{56.31}{2} = 0.25 \cdot \tan 16.845^\circ = 0.0757 \text{ inç}$$

$$X7 = 1.00 + r - \Delta X6 = 1.00 + 0.25 - 0.1801 = 1.0699 \text{ inç}$$

$$Y7 = 1.5 + \Delta Y6 - \Delta Y7 = 1.5 + 0.1804 - 0.0757 = 1.6047 \text{ inç}$$

F yüzeyinin işlenmesi (Nokta 7-8)

$$X8 = 0$$

$$Y8 = 2.0 + r + \Delta Y7 = 2.0 + 0.25 + 0.0757 = 2.32257 \text{ inç}$$

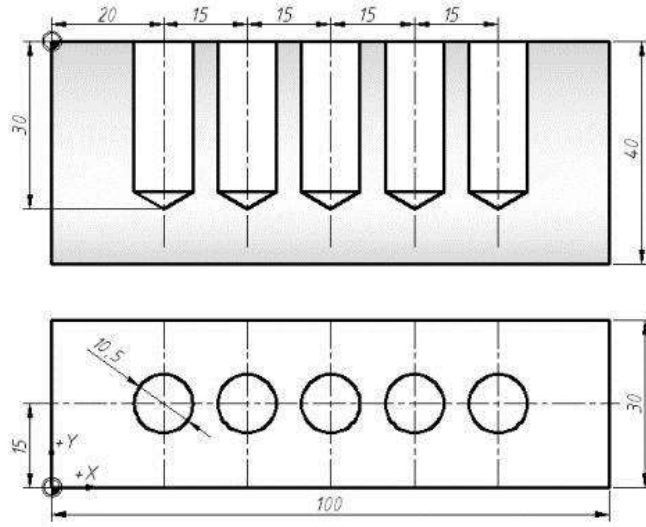
G yüzeyinin işlenmesi (Nokta 8-9)

$$Y9 = 0$$

$$X9 = 8.0 + r + 0.05 = 8.0 + 0.25 + 0.05 = 8.3 \text{ inç}$$

ÖRNEK ÇALIŞMA: Bu örneği, kesici merkezini dikkate almaksızın takım çapı telafisi kullanarak programlayınız.

G83 GAGALAMALI DELİK DELME ÇEVİRİMİ



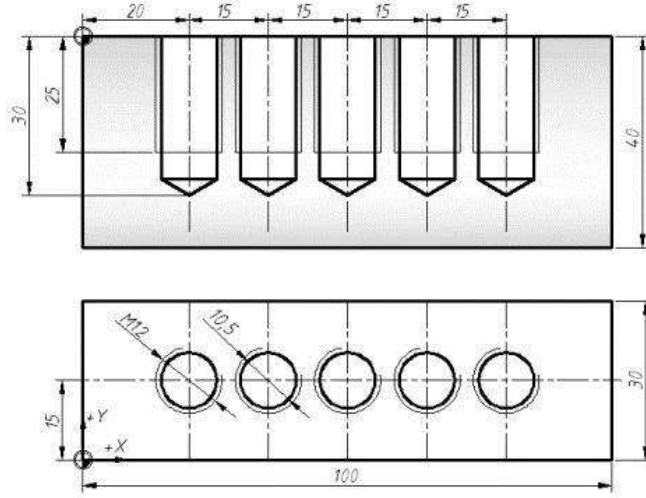
Şekil 6.113 Örnek iş parçası

```

O0029;
G91 G28 Z0. ;
G17 G40 G49 G80 G90;
T03;
M6;
G90 G54 G0 X0. Y0. S2000 M3;
G43 H3 Z50. ;
G83 X20. Y15. Z-30. Q5. R5. F250;
X35. ;
X50. ;
X65. ;
X80. ;
G80;
G91 G28 Z0. ;
M30;

```

G84 KILAVUZ ÇEKME ÇEVİRİMİ



Şekil 6.114 Örnek iş parçası

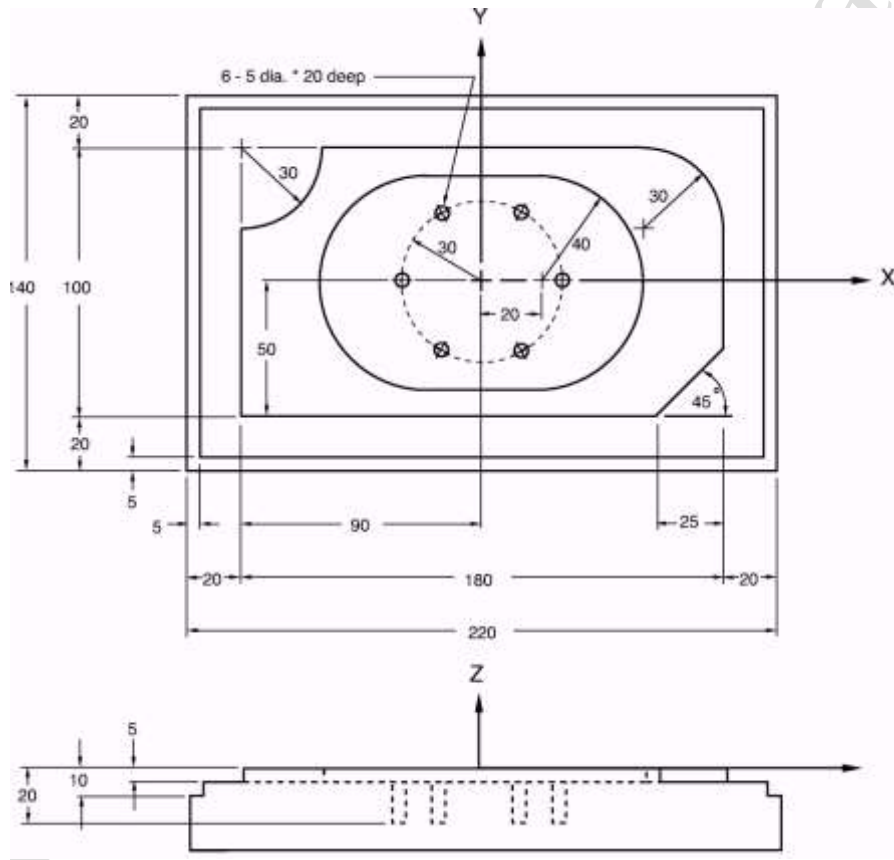
```

O0030;
G91 G28 Z0. ;
G17 G40 G49 G80 G90;
T03;
M6;
G90 G54 G0 X0. Y0. S100 M3;
G43 H3 Z50. ;
G84 X20. Y15. Z-25. R5. F175;
X35. ;
X50. ;
X65. ;
X80. ;
G80;
G91 G28 Z0. ;
M30;

```

Örnek: Şekildeki iş parçasının işlenmesi için gerekli operasyonlar aşağıda görülmektedir.

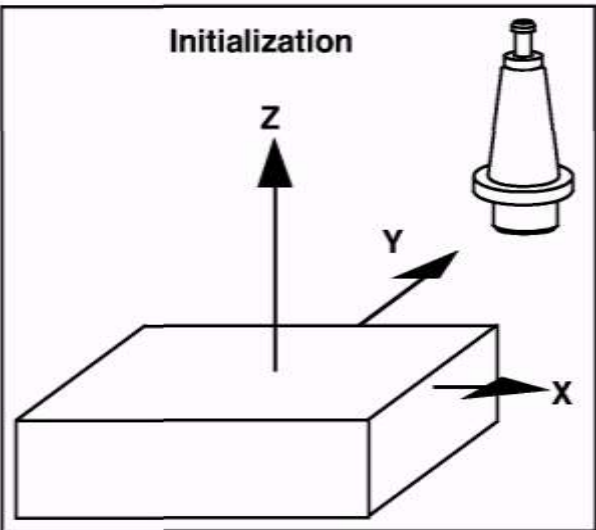
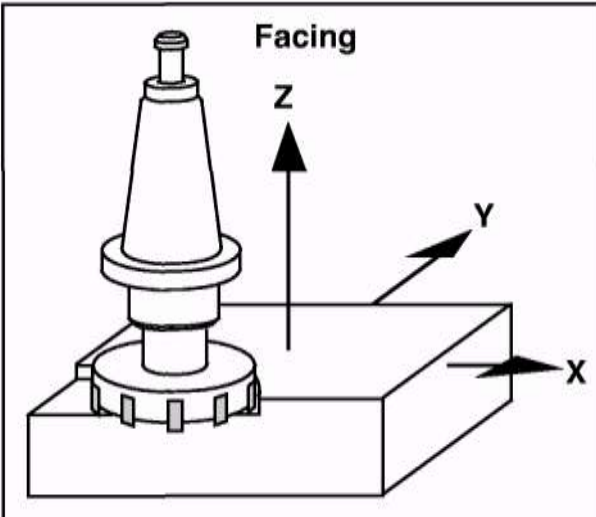
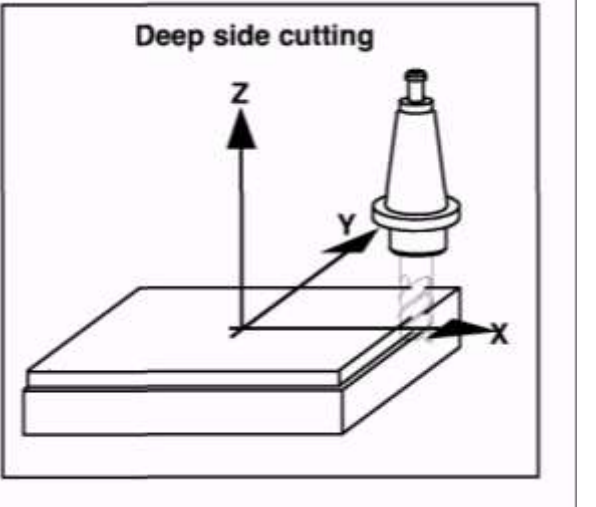
- 1) Tezgahın hazırlanması
- 2) Alın Frezeleme
- 3) Çevresel frezeleme
- 4) Çep açma
- 5) Çevresel frezeleme kesme
- 6) Delik açma
- 7) Program sonu

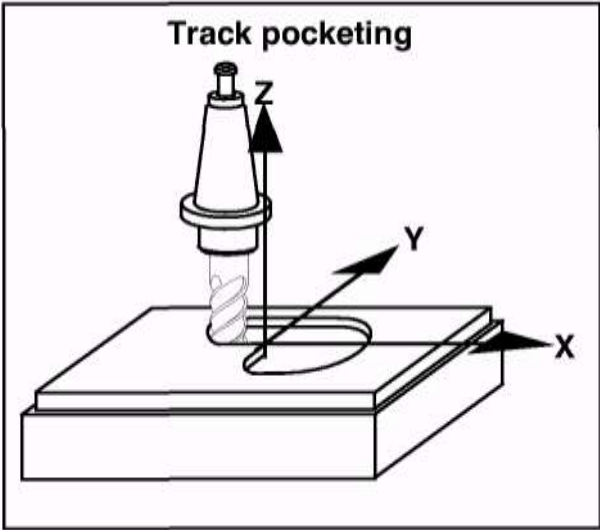
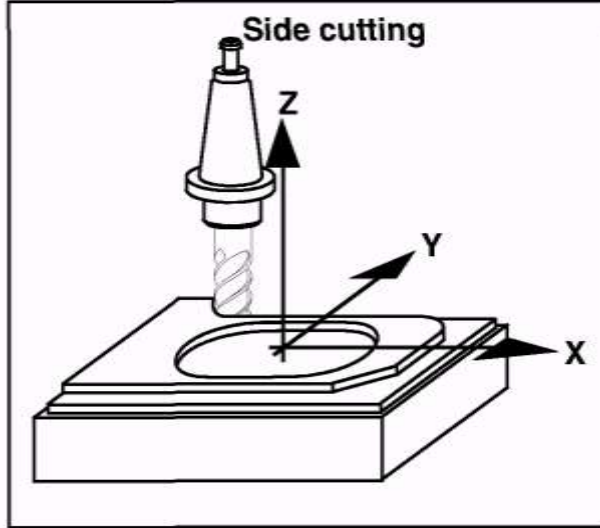


Şekil 6.115 Örnek iş parçası

Kullanılan takımlar:

100 mm . çaplı alın freze
 22 mm çaplı parmak freze
 5 mm çaplı matkap

1) Tezgahın hazırlanması O23; N10 G91 G28 Z0.0; N20 G28 X0.0 Y0.0; N30 G21; N40 G92 X500.0 Y250.0 Z400.0; N50 T14; N60 M06; N70 S1400 M03;	Initialization 
2. Alın Frezeleme N80 G90 G43 G00 Z100.0 H14; N90 G00 X-170.0 Y-70.0; N100 G01 Z0.0 F500.0; N110 G01 X170.0 F1000.0; N120 Y-20.0; N130 X-170.0; N140 Y30.0; N150 X170.0; N160 Y80.0; N170 X-170.0; N180 G91 G28 Z0.0; N190 G28 X0.0 Y0.0; N200 M05;	Facing 
3. Çevresel Frezeleme N210 T15; N220 M06; N230 G49; N240 S1400 M03; N250 G90 G43 G00 Z100.0 H15; N260 G00 X-130.0 Y-70.0; N270 G01 Z-10.0 F500.0; N280 G42 G01 X-110.0 Y-70.0 D2 F1000.0; N290 G01 X110.0 F1000.0; N300 Y70.0; N310 X-110.0; N320 Y-70.0; N330 G01 G40 Y-100.0;	Deep side cutting 

N340 Z10.0; 4. Cep Açma N350 G00 X0.0 Y0.0; N360 G01 Z-5.0 F500.0; N370 G41 G01 Y-40.0 D25 F1000.0; N380 X20.0; N390 G03 X20.0 Y40.0 R40.0; N400 G01 X-20.0; N410 G03 X-20.0 Y-40.0 R40.0; N420 G01 X10.0; N430 G01 G40 X20.0 Y0.0; N440 G01 Z10.0;	Track pocketing  The diagram illustrates the track pocketing process. A vertical end mill is shown above a rectangular workpiece. A helical path is shown on the workpiece, representing the tool's trajectory. The Z-axis is vertical, the Y-axis is horizontal and parallel to the tool's rotation, and the X-axis is horizontal and perpendicular to the Y-axis. The tool is positioned at the start of the path.
5. Çevresel frezeleme N450 G00 X-140.0 Y-70.0; N460 G01 Z-5.0 F1000.0; N470 G42 G01 X-90.0 Y-50.0 D25 F1000.0; N480 X65.0; N490 X90.0 Y-25.0; N500 Y20.0; N510 G03 X60.0 Y50.0 R30.0; N520 G01 X-60.0; N530 G02 X-90.0 Y20.0 R30.0; N540 G01 Y-50.0; N550 G01 G40 X-110.0 Y-90.0; N560 G01 Z10.0; N570 G91 G28 Z0.0; N580 G28 X0.0 Y0.0;	Side cutting  The diagram illustrates the side cutting process. A vertical end mill is shown above a rectangular workpiece. A circular path is shown on the workpiece, representing the tool's trajectory. The Z-axis is vertical, the Y-axis is horizontal and parallel to the tool's rotation, and the X-axis is horizontal and perpendicular to the Y-axis. The tool is positioned at the start of the path.

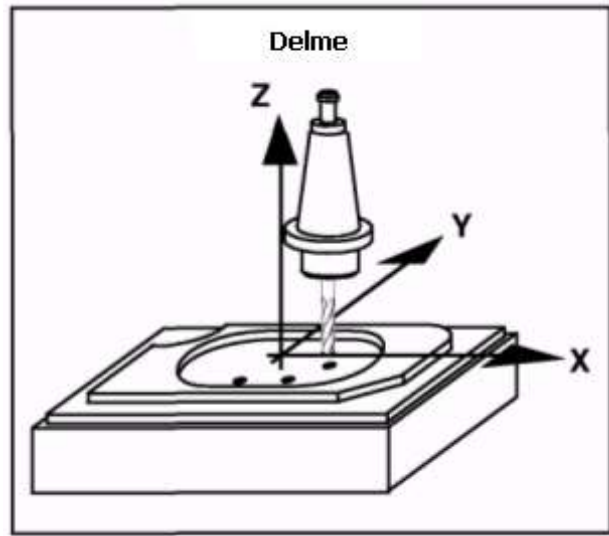
6) Delik delme

Burada bir desen şeklinde düzgün şekilde dağılmış delikler açılacaktır

```

N590 T16;
N600 M06;
N610 S1400 M03;
N620 G49;
N630 G90 G43 G00 Z100.0 H16;
N640 G01 X20.0 Y0.0 F1000.0;
N650 G01 Z-20.0 F500.0;
N660 G04 X1.0;
N670 G01 Z0.0;
N680 G00 Y17.32 X10.0;
N690 G01 Z-20.0 F500.0;
N700 G04 X1.0;
N710 G01 Z0.0;
N720 G01 X-10.0;
N730 G01 Z-20.0 F500.0;
N740 G04 X1.0;
N750 G01 Z0.0;
N760 G01 X-20.0 Y0.0;
N770 G01 Z-20.0 F500.0;
N780 G04 X1.0;
N790 G01 Z0.0;
N800 X-10.0 Y-17.32;
N810 G01 Z-20.0 F500.0;
N820 G04 X1.0;
N830 G01 Z0.0;
N840 G01 X10.0;
N850 G01 Z-20.0 F500.0;
N860 G04 X1.0;
N870 G01 Z0.0;

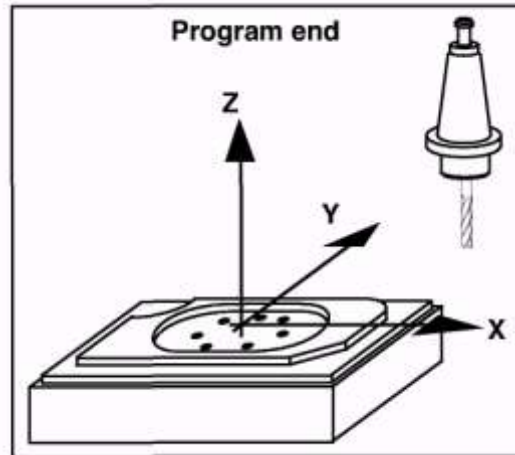
```

**7. Program Sonu**

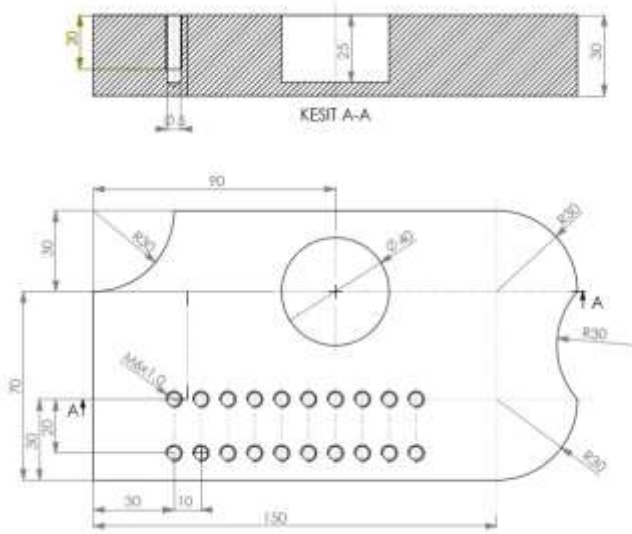
```

N880G91 G28Z0.0;
N890G91 G28X0.0Y0.0;
N900M05;
N910G40;
N920 G49;
N930M30;

```



Örnek: Şekildeki iş parçasının işlenmesi için gerekli NC programını yazalım.



Stok Malzeme

Genişlik: 184.000

Derinlik: 104.000

Yükseklik: 42.000

TAKIMLAR

T1 Tarama KafaØ60

T2 Parmak Freze Ø10

T3 Matkap Ø5

T4 Kılavuz M6x1

```
O4000;  
G91 G28 Z0;  
G17 G40 G49 G80 G90;  
T1;  
M6;  
G90 G54 G0 X-35 Y25 S900 M3;  
G43 Z50 H1;  
Z0;  
G1 X215 F700;  
G0 Y80;  
G1 X-35;  
G91 G28 Z0 M5;  
T2;  
M6;  
G90 G54 G0 X0 Y-5 S3000 M3;  
G43 Z50 H2;  
G41 D2;  
Z5;  
G1 Z0 F500;  
M98 P4001 L10;  
G0 Z10;  
G40;
```

```
X-10 K9;  
G90;  
G91 G28 Z0 M5;  
T4;  
M6;  
G90 G54 G0 X30 Y10 S100 M3;  
G43 Z50 H4;  
G99;  
G84 X30 Y10 Z-20 R2 F100;  
G91;  
X10 K9;  
Y20;  
X-10 K9;  
G90;  
G91 G28 X0 Y0;  
G91 G28 Z0 M5;  
M30;
```

```
X90 Y70;  
Z2;  
M98 P4002 L9;  
G90;  
G91 G28 Z0 M5;  
T3;  
M6;  
G90 G54 G0 X30 Y10 S900 M3;  
G43 Z50 H3;  
G99;  
G81 X30 Y10 R2 F250;  
G91;  
X10 K9;  
Y20;
```

O4001 alt programı

```
O4001;  
G91;  
G1 Z-3 F500;  
G90;  
Y70;  
G3 X30 Y100 R30;  
G1 X150;  
G2 X180 Y70 R30;  
G3 X180 Y30 R30;  
G2 X150 Y0 R30;  
G1 X0;  
G1 Y-5;  
M99;
```

O4002 alt programı

```
O4002;  
G91;  
G1 Z-3 F150;  
G1 X8 F500;  
G2 X-16 Y0 R8;  
G2 X16 Y0 R8;  
G1 X7;  
G2 X-30 Y0 R15;  
G2 X30 Y0 R15;  
G1 X-15;  
M99;
```

Ders notlarının geliştirilmesine devam edilecektir. Hazırlanmış olan notların okuyuculara yararlı olması dileği ile..

KAYNAKÇA

1. ORAL, A., CNC Takım Tezgahları ve CNC Programlamaya Giriş, KKK. Balıkesir Çok Programlı Astsubay Hazırlama Okulu Matbaası, 1999, Balıkesir
2. MALKOÇ C. (Çev); “CNC Parça Programlama”, Etam AŞ. Matbaa Tesisleri Eskişehir, 1994
3. EDİZ G. (Çev); “CNC ile İşlemeye Giriş”, Etam AŞ. Matbaa Tesisleri, Eskişehir, 1994
4. GÜRKAN İ. (Çev); “Bilgisayarlı Nümerik Kontrol Konusuna Giriş”, Etam AŞ.
5. GÜLESİN M. (Çev); “NC Makine Programcılığı” Evren Ofset AŞ. Web. Ofset Tesisleri, Ankara, 1994
6. AKKURT M. ; ”Bilgisayar Destekli Tasarım Tezgahları (CNC)”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996
7. HANS B. K. ; “Flexible Automation”, Germany, 1986
8. Sandvik Coromant, Modern Metal Cutting, a Practical Handbook, Sandvik Coromant, Swedeen, 1994
9. Metalworking Products, Turning Tools, Sandvik Coromant, Swedeen, 1995
10. Metalworking Products, Turning Tools, Sandvik Coromant, Swedeen, 1994
11. ÇAKIR C. ; “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, 2009, Dora Yayıncılık, Bursa
12. ÇAKIR C.,”Modern Talaşlı İmalatın Esasları”,2009, Dora Yayıncılık, Bursa
13. AKKURT M. ; “Takım Tezgahları, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi”, Birsen Yayınevi, İstanbul 1992
14. AKKURT. M., Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi, CNC Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu, TİAD teknik Yayınları, 2009, İstanbul
15. ŞAHİN. Y., Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayıncılık, 2001
16. CORONEY, 4th Edition, Sandvik Coromant, Swedeen, 1998
17. ERGÜN M. ; “Nümerik Kontrollü Takım Tezgahları ve Programlama Prensipleri”, MMO Yayın no: 190, 1997
18. ŞEKERCİOĞLU A. ; “CNC Tezgahlar”, Bilim Teknik Yayınevi, 1990

19. Productive Metal Cutting, Sandvik Coromant, Swedeen, 1997
20. MEB. MEGEP CNC Tezgahlar ve Kesici Takımlar, Ankara, 2006
21. MEB. MEGEP CNC Tornada Programlama Ankara, 2006
22. MEB. MEGEP CNC Torna İşlemleri 2, Ankara, 2006
23. K. Özdemir, A. Oral, M.C. Çakır, Kesme parametrelerinin ilk aşınma bölgesine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, 1. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 2009.
24. ÖZDEMİR,U. ERTEN, M.," Talaslı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi ,*Ocak 2003 Cilt 1 Sayı 1 (3 7-50)*
25. IŞIK, Y., Kesici Takım Teknolojisi, UÜ. teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 2009
26. KAFTANOĞLU, B., http://www.mfge.atilim.edu.tr/Courses/mfge102/CADCAM_nassil_basladi_ve_gelisti.pdf
27. Anonim, Tool-life testing with single-point turning tools, ISO 3685, 1993
28. Sandvik Eğitim Slaytları

İnternet Kaynakları (Erişim tarihleri Şubat 2012)

1. <http://www.bohler.com.tr/2005/tr/haberler5.php>
2. <http://bernhard.nepelius.at/en/tipps-anleitungen-geschichte/geschichte-drechsleri.html>
3. (<http://toolmonger.com/2007/12/19/its-just-cool-antique-treadle-wood-lathe/>)
4. <http://www.practicalmachinist.com/vb/antique-machinery-history/another-shop-photo-173727/>
5. http://www.lathes.co.uk/cataract_miller/index.html
6. <http://www.practicalmachinist.com/vb/antique-machinery-history/old-pratt-whitney-milling-machine-210679/>
7. http://www.machine-tool.asia/Universal-Knee-type-Milling-Machine_XW5032A-XW5032B-XW5032C.html 1
8. <http://www.machineautomatic.com/page/83/>

9. <http://www.practicalmachinist.com/vb/antique-machinery-history/galloways-rolling-mill-engines-146469/index10.html>
10. <http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/elektrik/moduller/stepveservomotorlar.pdf>
11. (www.computerhistory.org)
12. http://www.e3tam.com/destek/Algilayicilar_%28Sensors-Transducers%29.htm
13. <http://www.myyellowcoat.com/tooling-solutions/clamping-units/>
14. http://www.kanabco.com/vms/cnc_control/cnc_control_03.html
15. <http://lufgi9.informatik.rwth-aachen.de/projekte/schulprojekt/Mathematik/6a/Uebung%2012/Uebung/ Uebung%2012.html>
16. <http://metropolsoft.com/edgcam-c-y-b-eksen-tornalama.html>
17. <http://www.mkpmakine.com/tk.htm>
18. http://yusuf.mansuroglu.com/CNC_TORNA_Egitimi_renkli.pdf