



**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
MAKİNE EĞİTİMİ BÖLÜMÜ**

**TASARIM ve KONSTRÜKSİYON EĞİTİMİ
ANA BİLİM DALI**

AŞINDIRICILI SU JETİ

(BİTİRME TEZİ)

HAZIRLAYAN : 2402928 İbrahim AY
TEZ DANIŞMANI : Prof. Dr. Osman YAZICIOĞLU

İstanbul 2007

KONTROL İMZASI :

JÜRİ ÜYELERİ :

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	I
ABSTRACT	II
SEMBOL LİSTESİ	III
KISALTMALAR	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
1.GİRİŞ	1
1.1. GİRİŞ	1
2.AŞINDIRICILI SU JETİ	2
2.1.SU JETİ VE AŞINDIRICILI SU JETİ İLE KESİLEBİLECEKLER	3
2.2.SU JETİ KESME PRENSİBİ	4
2.3.SU JETİ NOZULU	5
2.4 SU MEMESİ / ABRASİV BORUSU	6
2.5 BASINÇ ARTTIRICILAR VE POMPALAR	8
2.5.1 PİSTONLU POMPALAR	8
2.5.2 BASINÇ ARTTIRICILAR	8
2.6.AŞINDIRICILAR	10
2.7 SU İÇİN KATKILAR	11
2.8 ASJ'NİN KONTROLÜ	11
2.9 ASJ UYGULAMALARI	12
2.9.1 FREZELEME	12
2.9.1.1 FREZELEME İLE ELDE EDİLEN YÜZEY	12
2.9.2 TORNALAMA	13
2.9.3 DELME	14
2.10 SU JETİNİN DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI	15
2.11 SJ VE ASJ'NİN KULLANILDIĞI SEKTÖRLER	16
2.12 ASJ'NİN AVANTAJLARI	17
SONUÇ	19
KAYNAKLAR	20
EKLER	21
ÖZGEÇMİŞ	22

ÖZET

Aşındırıcı Su Jeti (ASJ) ile kesme, endüstriyel amaçlı malzemelerdeki gelişmelere paralellik gösterecek şekilde, bilinen tüm malzemelerin özellikle de işlenmesi güç malzemelerin işlenmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Yapısal farklılıklar içeren su jeti teknolojisi sağladığı operasyonel ve ekonomik faydalardan dolayı gelişmiş ülke endüstrilerinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Sistem; bir basınç arttırıcıda basıncı arttırılan suyun, bir lüleden geçirilerek çok yüksek hızlara ulaştırılması ve yüksek hızlara çıkarılan bu su jeti hüzmelerinin malzeme yüzeyinde erozyon yoluyla talaş kaldırarak malzemenin işlenmesini sağlaması esasına dayanır. Su jeti kesme sistemlerinin en önemli kısmı, su basıncının arttırıldığı ve intensifier olarak adlandırılan basınç arttırma ünitesidir. Basınç arttırma ünitesi, yağ ve su silindirlerinden oluşmaktadır.

ABSTRACT

Abrasive water jet (AWJ) cutting process is being developed related to developments in industrial materials and is used effectively in cutting application of hard to cut materials. Water jet cutting systems which have many structural differences have been widely used in industrialised countries due to its superior operational and economic advantages.

The system is based on the principle of using water-jet beam of high velocity that is obtained by pressure increasing unit and passing the pressurized water inside a nozzle, providing machining operation by erosion. The main part of the water-jet cutting systems is pressure increasing unit which increase water pressure and called as intensifier. Pressure increasing unit consists of oil and water cylinders.

SEMBOL LİSTESİ

- V** : Su demetinin hızı (m/s)
A : Su demetinin kesit alanı (m²),
d : Suyun yoğunluğu (kg/m³),
F : Yüzeyde oluşan kuvvet (N),
P : Basınç (Mpa)
m : Kütle (kg)
KE : Kinetik enerji (J)

KISALTMALAR

- SJ** : Su jeti
ASJ : Aşındırıcı su jeti
PP : Pistonlu pompalı
B4C : Bor karbür
SiC : Silisyum karbür
CFC : kloroflorokarbon

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 1. Su jeti Sisteminin şematik görünümü.....	2
Şekil 2. Su jeti ve aşındırıcılı su jeti nozulu	5
Şekil 3. Aşındırıcıların geometrik şekilleri	10
Şekil 4. Aşındırıcı taneciğin iki farklı biçimde malzeme taşıma şekilleri.....	10
Şekil 5. ASJ Freze ilerleme miktarı ve talaş kaldırma miktarı bağıntısı	12
Şekil 6. ASJ ile tornalama işlemi	13
Şekil 7. Aşındırıcı su jetiyle iş parçasını delme aşamaları	14
Şekil 8. Aşındırıcı su jetiyle iş parçasını delme aşamaları	18

ÇİZELGE LİSTESİ

SAYFA NO

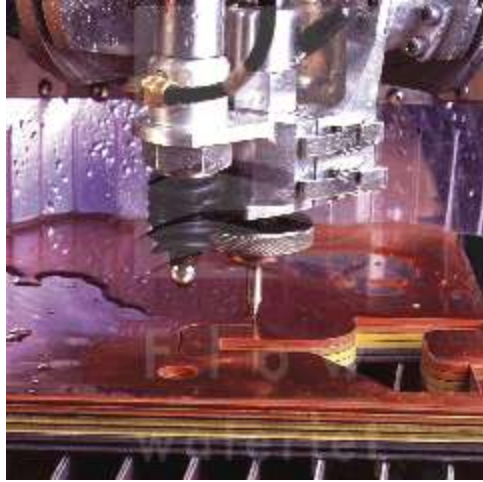
Çizelge 1. SJ ve ASJ ile kesilebilen bazı malzemeler	3
Çizelge 2. Pompa / su memesi / abrasiv memesi ilişkisi	6
Çizelge 3. SJ ve ASJ kesim hızları	7
Çizelge 4. PP, ÇE ve Fazlı-ÇE Basınç Arttırma Tekniklerinin Karşılaştırılması	9
Çizelge 5. Su Jetinin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	15
Çizelge 6. SJ ve ASJ'nin kullanıldığı sektörler	16

1.GİRİŞ

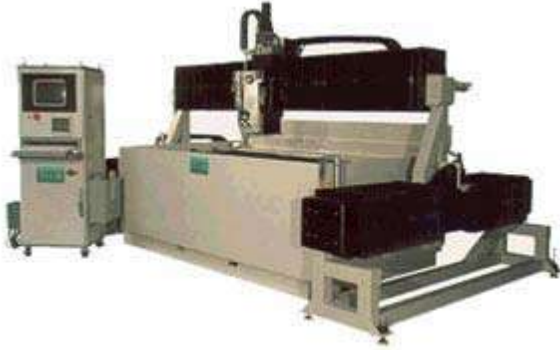
Suyun aşındırma özelliği doğaldır ve çok eskiden beri bilinir. En basitinden akarsu yataklarının oluşumu buna iyi bir örnek teşkil eder. Su hızının normalden daha fazla olduğu taşkın (sel) zamanlarında aşındırmanın hızlandığı da bilinen bir olgudur. “Taşı delen suyun gücü değil, damlaların sürekliliğidir” diyen Latin atasözü de mecazi olarak başka bir olguyu ifade etmek istemişse de fiziksel bir gerçeği de dile getirmiştir.

Suyun bu aşındırma etkisi yüksek basınç ve yüksek hızlarda çok daha iyi görölmüş; zamanla geliştirilip iyileştirilerek endüstrinin hemen her alanında kullanılmaya başlanmıştır.

Su jeti olarak adlandırılan bu sistemde, yüksek basınçta ve yüksek hızda akan su, malzeme yüzeyine uzun bir süre tutulduğunda aşınma artmakta ve malzeme giderek parçalanmaktadır. Su jetleri çok eski senelerden bu yana nispeten yumuşak zeminlerin ve kayaların kesilip kazılmasında kullanılmakta idi. Bunların kullanılmasıyla gelişen kesme teknolojisi "Jet Kesme Teknolojisi" olarak bilinmektedir. Bu teknoloji son yirmi yılda hızlı bir gelişme göstermiş ve metal endüstrisi de dahil hemen her alanda yerini almıştır.

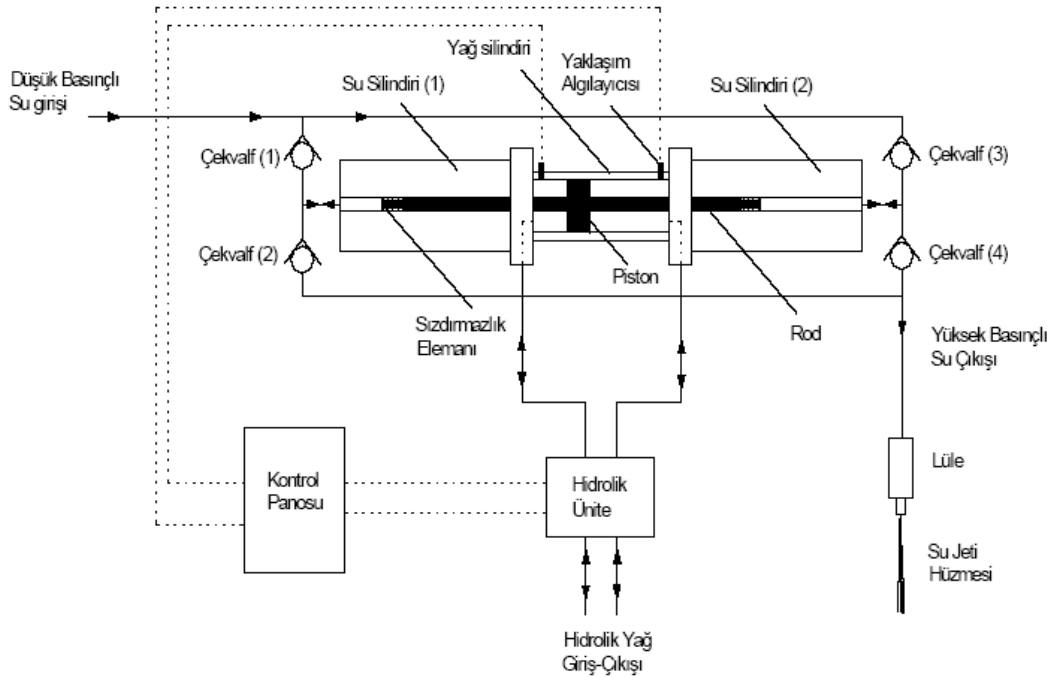


2. AŞINDIRICILI SU JETİ



Basınçlı su jeti ile kesme; geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden olup en yeni modern tekniklerden birisidir. Bu kesme teknolojisi 1960'ların sonlarında Michigan Üniversitesi'nde "Dr. Norman C. Franz" tarafından geliştirilmiştir. İlk ticari sistem "Ingersol-Rand" firmasının bir bölümü olan "McCartney" şirketi tarafından kurulmuştur. Su jeti ile kesmenin metal endüstride kullanımı ise 1982'den sonra popüler olmuştur. Su jeti nozulunun daha iyi idare edilebilmesi için endüstriyel robotların sisteme adapte edilmesi ve

basınçlı suya aşındırıcıların ilave edilmesi sistemin uygulama alanlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Bu kesme tekniği su jeti ve aşındırıcılı su jeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. [12]



Şekil 1. Su jeti Sisteminin şematik görünümü

2.1. SU JETİ VE AŞINDIRICILI SU JETİ İLE KESİLEBİLECEKLER

Aşındırıcı sistem kesme kabiliyetinin yüksek oluşu nedeniyle katmanlarına ayrılmayan malzemeler hariç hemen tüm malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir. Aşındırıcısız sistemler ise daha düşük mukavemetli (tekstil ürünleri, sentetik elyaf, gıda ürünleri, plastik, tahta, kağıt, termoplast vb.) malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar.

Su jeti nozulu ile kesilebilecekler	Aşındırıcı su jeti nozulu ile kesilebilecekler	
Yumuşak lastik / kauçuk	Sertleştirilmiş takım çeliği	Plastik
Sünger	Titanyum	Nylon
Folyo gibi çok ince malzemeler	Alüminyum	Grafit
Plastik tabanlı halı	Sert lastik	Seramiklerin hemen hepsi
Kağıt, mukavva kutu ve benzerleri	Pirinç	Karbon fiberi
Yumuşak sızdırmazlık contaları	İnconel	Kompozitler
Mum	Hastalloy	Granit
Çocuk alt bezleri	Bakır	mermer
Yumuşak veya ince ahşap	Egzotik malzemeler	Taş
Tüm yumuşak malzemeler ve benzeri malzemeler	Yumuşak çelikler	Sert ve kalın ahşap
	Paslanmaz çelikler	Cam ve kurşun geçirmez cam

Çizelge 1. SJ ve ASJ ile kesilebilen bazı malzemeler

2.2. SU JETİ KESME PRENSİBİ

Su jeti kesme sistemi, 3000-7000 bar basınçları arasında ki suyun 0.1 ile 1.0 mm çapları arasında değişen bir lüleden geçirilmesiyle elde edilen yüksek hızlardaki su jeti hüzmelerinin veya aşındırıcı-su jeti karışımının, çarpma etkisiyle malzemeden parçacıklar aşındırması ve bunun sonucu olarak parçanın işlenmesi esasına dayanır. Su jeti teknolojisi aşındırıcılı ve aşındırıcısız sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her iki teknoloji de yukarıda da bahsedildiği üzere temel prensip olarak çok yüksek basınçlardaki suyun çok küçük çaplı bir delikten geçirilmek suretiyle hızlarının artırılması sonucu kazandıkları enerji ile kesme işlemini gerçekleştirirler.

Sabit basınç altında ki suyun kazandığı hız $V = (2P/d)^{1/2}$ Ve yüzeye etki eden kuvvet $F = d \cdot V^2 \cdot A$ olur.

Suyun erozyon ile kesme kapasitesi, sahip olduğu hızın yarattığı kinetik enerji (KE) ile tanımlanır. Kinetik enerjisi ise;

$KE = mV^2/2$ (J) eşitliği ile hesaplanır.

Örneğin 4000 bar basınçla 0.4mm çaplı lüleden çıkan suyun hızı $V = 894$ m/s olur. (ses hızının yaklaşık 2.5 katı).

(KE) eşitliğinden kesim performansının, su debisi ile ve jet hızının karesi ile orantılı olduğu görülmektedir.

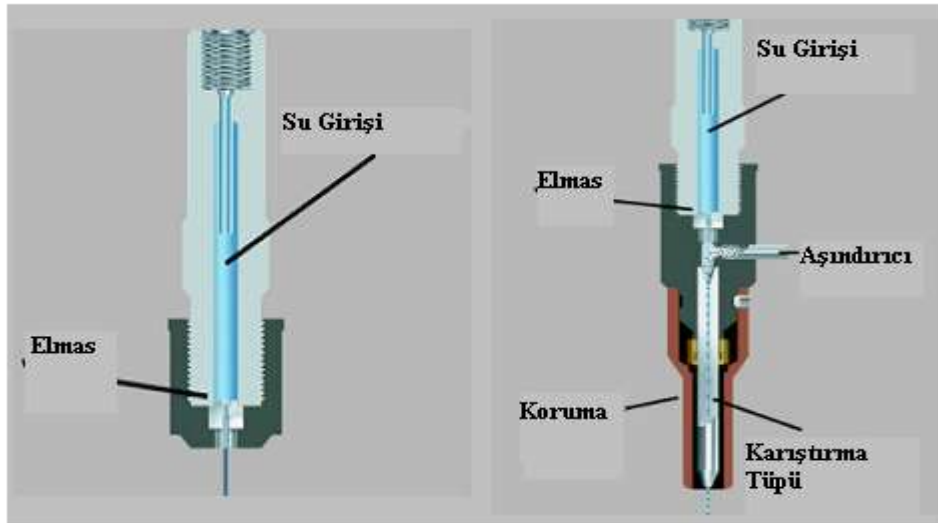
Malzemelerin SJ yada ASJ kesme yöntemiyle işlenebilmesi için, jetin çarpmasıyla malzeme yüzeyinde oluşan gerilme değerinin, malzemelerin sahip olduğu ortalama sıkıştırma dayanımı (compressive strength) değerinden yüksek olması gerekir. [2]



2.3 SU JETİ NOZULU



Yumuşak malzemelerin kesilmesi , memeden fişkırın yalın suyun direk etkisiyle gerçekleşir. Sert malzemelerde ise , hem malzemeye çarpan taneciklerin dinamik etkisini arttırmak hem de keskin köşeli taneciklerin çarpmasıyla oluşan aşındırmayı arttırmak amacıyla fişkırın suyun içerisine, hassas olarak dozajlanan abrasiv karışımı sağlanır. Suyun ilk memeden (su memesi) çıkış aşamasında , çok yüksek hızlı suyun bir karışım odasından (venturi borusu) geçerken oluşturduğu vakum etkisiyle içerisine çektiği abrasiv , su ile karışarak malzeme üzerine fişkırılır. eger tahta, plastik vb. gibi yumusak malzemeler kesilecekse, su-jet nozulu, daha sert malzemelerde ise asındırıcı-su jet nozulu kullanılması uygun olur.



Şekil 2. Solda bir su jeti, sağda ise aşındırıcılı su jeti nozulu görülmektedir .

2.4 SU MEMESİ / ABRASİV BORUSU

İlk kademedeki su memesinin çapının yaklaşık 3 katı olan çaptaki ikinci kademe abrasiv borusu olarak adlandırılır . Su ile abrasivin karışım halinde fışkırdığı bu borunun çapı , 0,55mm , 0,76mm , 1,1 mm gibi üç ayrı alternatifte sahiptir. Bu durumda , kesilen parçadaki kesim izi kalınlığı ve girilebilen min.radüs çapı da bu ölçülerde olacaktır. Abrasiv borusu çapı arttıkça , malzeme üzerine aktarılan enerji miktarı da artacağından , kesim hızına etkisi hızı arttırma yönünde olacaktır.Kullanılabilecek abrasiv borusunun çap sınırı da kullanılan yüksek basınç pompası debisiyle ilintilidir. Abrasivli kesimde kullanılabilecek Pompa / su memesi / abrasiv memesi ilişkisi aşağıda verilmiştir.[8, 4]



Pompa Gücü	Su Debisi lt/dak	Su Memesi / Abrasif Borusu mm
1	15 HP	0,17 / 0,55
2	30 HP	0,17 / 0,55
1	30 HP	0,25 / 0,76
3	50 HP	0,17 / 0,55
2	50 HP	0,25 / 0,76
4	50 HP	0,35 / 1,1
1	100 HP	0,25 / 0,76
2	100 HP	0,35 / 1,1

Çizelge 2. Pompa / su memesi / abrasiv memesi ilişkisi [8, 4]



Malzeme	Kalınlık (mm)	Kesme Hızları (mm/dk)
Yalın su ile kesim		
Kauçuk	2	25.000
	10	10.000
	20	2.000
Plastik PU	2	20.000
	5	8.000
	10	3.000
Plastik PTFE , PVC	2	6.000
	5	2.000
	10	800
Kontraplak	2	25.000
	5	4.000
	10	500
Kontraplak	10	25.000
	100	5.000
Abrasivli Kesim		
Paslanmaz Çelik	10	230
	40	50
	100 (max.)	5
Titanyum	10	270
	40	55
	100 (max.)	20
Alüminyum	10	700
	40	140
	120 (max.)	35
Mermer	10	800
	40	150
	120 (max.)	40
Cam	10	600
	40	120
	102 (max.)	33

Çizelge 3. SJ ve ASJ kesim hızları [8]
(0,35 / 1,1 mm meme kombinasyonu ile)

2.5 BASINÇ ARTTIRICILAR VE POMPALAR

Su jeti sistemleri temelde aynı işi yapmalarına karşın içerdikleri yüksek basınç elde etme yöntemine göre farklılıklar içerirler. Bu farklılık, sistemin kesme kabiliyeti ile birlikte ilk yatırım ve çalıştırma maliyetini de etkilemektedir. Bu nedenle yapılan işe en uygun seçimin yapılabilmesi gerekir. Su jeti kesme sistemlerinde kullanılan basınç elde etme yöntemleri önce pistonlu pompalar ve basınç arttırıcılar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilirler.



BÖHLER Hockdrucktechnik

2.5.1 PİSTONLU POMPALAR

Pistonlu pompalar küçük hacimli üç veya daha fazla silindirden oluşur ve aşınmayı minimize edebilmek amacıyla yaklaşık 600 dev/dak çalıştırılırlar. Bunların çalışma prensibi pistonlu motorlarda veya pistonlu hidrolik pompalarda olduğu gibidir fakat silindirler içine düşük basınçlı su alınarak, bu su maksimum 3000 bar'a kadar çıkarılabilmektedir. Bu tip pompalar kullanarak 3000 bar'dan daha yüksek basınçlara çıkmak mümkün olmamakla birlikte bu pompaların en önemli avantajları, basınç dalgalanmalarının kesme işlemlerini etkilemeyecek derecede düşük olması ve düşük çalışma basınçları nedeniyle bakım gereksinimlerinin diğer tipe oranla az olmasıdır.[9, 10]

2.5.2 BASINÇ ARTTIRICILAR

Basınç arttırıcılar da çalışma prensiplerine göre çift etkili ve fazlı-çift etkili tip olmak üzere iki alt sınıfa ayrılırlar. Çift etkili basınç yükseltici hidrolik güç ile sürülen emme basma tulumba esasına göre tasarlanmıştır. Hangi tipin uygun olduğu genellikle işlenecek malzeme tipi ve malzeme kalınlığına bağlıdır. Lastik ve kağıt gibi yumuşak malzemeler için en uygun seçim pompalı su-jeti sistemidir. Çok kalın ve sert malzemeler çok kısa zamanda, iyi yüzey kesim kalitesi ile işlenmek istenirse en çok güç veren pompanın seçilmesi uygun olmaktadır. Kesme hızını artıran basınç, aşındırıcı debisi, lüle çapı ve azalan karıştırma tüpü çapı arttırmaktadır. Bu da 3000 bar'ın üzerine çıkılması gerektiğinde çift etkili basınç yükseltme tekniğini öne çıkarmaktadır. Eğer kesilen malzemenin yüzey kalitesi ve kalitenin sürekliliği önemli ise bu durumda fazlı-çift etkili basınç yükseltme tekniğini içeren sistemler tercih edilmelidir. Bunun ana nedeni artan kesme basıncı ve basıncın sürekliliğinin yüzey kalitesini arttırmasıdır. [11]

Çizelge 4. Pistonlu Pompalı (PP), Çift Etkili (ÇE) ve Fazlı-Çift Etkili Basınç Arttırma Tekniklerinin Karşılaştırılması [11]

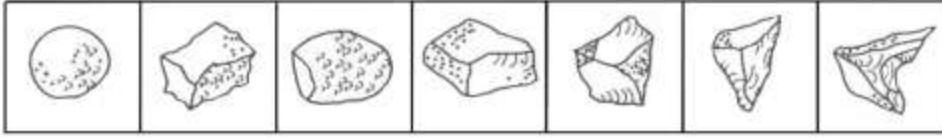
Etkili faktörler	Pistonlu pompalı	Çift etkili (50 hp)	Fazlı-çift etkili (50 hp)
Ulaşılabilir basınç	3000 bar	3000-7000 bar	3000-7000 bar
Basınç ayar imkanı	Zor	kolay	kolay
Basınç dalgalanması	yok	150-350 bar	yok
Akümülator	yok	var	yok
3000 bar da çelik kesme	120 mm/dak.	108 mm/dak	108 mm/dak
Maksimum kesme hızı*	120 mm/dak.	Artan basınçla artıyor	Artan basınçla artıyor
Verim	Yüksek (%95)	Düşük (%70)	Düşük (%70)
Güç sarfiyatı	Düşük	Yüksek	Yüksek
Yüzey kesme kalitesi	Normal	Artan basınçla artıyor	Çift etkiliden iyi
Su debisi	Yüksek	Düşük	Düşük
Aşınan parçaların ömrü	yüksek	Basınç arttıkça azalıyor	Basınç arttıkça azalıyor
Sızdırmazlık elemanı	Normal	Basınç arttıkça azalıyor	Basınç arttıkça azalıyor
Bakım gereksinmesi	Düşük	Basınç arttıkça artıyor	Basınç arttıkça artıyor
Gürültü	Düşük	yüksek	yüksek
Yatırım maliyeti	Normal	PP. den yüksek	PP. den daha yüksek

*450 gr/litre aşındırıcı, 0.35 mm lik lüle kullanımı ve 3000 barlık çalışma basıncı altında.

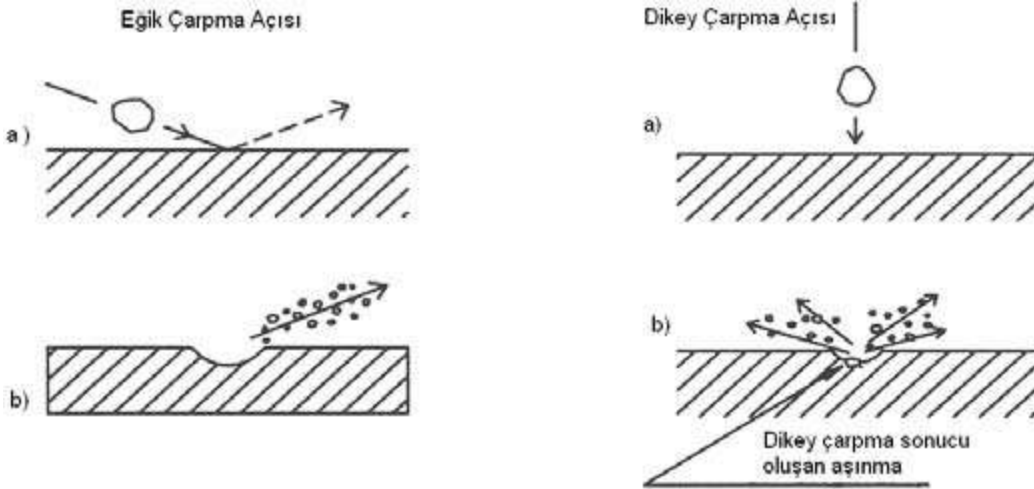
2.6.AŞINDIRICILAR

Aşındırıcı sistemlerde özel olarak şekillendirilmiş ve sınıflandırılmış, silis (kuvars) kumu, silisyum karbid (karbür), cam, çelik, titanyum ve grena (garnet) taşı tanecikleri kullanılır. Silisin akciğer kanserine neden olduğu bilindiğinden silis içerikli aşındırıcıların özellikle tercih edilmemesi tavsiye edilmektedir [4] Ayrıca, aşındırıcı sistemlerde yeniden kazanım üniteleri kullanılarak aşındırıcı maliyetleri düşürülebilmektedir [8] Bunların yanında B4C iyi bir aşındırıcıdır ancak pahalıdır. SiC ve Korund (Al_2O_3) diğer aşındırıcılardandır. Akışkan olarak ise sudan başka benzen, gliserin ve mineral yağlarda kullanılabilir.

Piyasada Garnet diye isimlendirilen ve su jeti uygulamalarında en çok kullanılan aşındırıcı tipi genelde Avustralya'daki alüvyal yataklarından elde edilmektedir. Madenden elde edilen mineral, modern tesislerde yüksek saflıkta ve hassas ölçülerde organik kalıntılardan ve metalik demirlerden arındırılmış son ürüne dönüştürülür.



Şekil 3. Aşındırıcıların geometrik şekilleri [3]



Şekil 4. ASJ ile işlemede aşındırıcı taneciğin iki farklı biçimde malzeme taşıma şekilleri [6]

2.7 SU İÇİN KATKILAR

Aşındırıcı kullanımı dışında, sistemin kesim karakteristiğini geliştirmekte tercih edilen diğer bir işlem ise, suyun hidrojen molekülleri arasında kuvvetli hidrojen bağları oluşturarak jetin lüle çıkışında hemen dağılmasını önlemek için suya polietilen türü polimerler (yapıştırıcılar) ekleme işlemidir. Çünkü, bu tür yapıştırıcılar kullanılmadığı takdirde, 1000 - 1200 bar basınç altında çalışan bir sistemde, lüleden dış ortama çıkan bir su jeti hüzmesi yaklaşık 50-60 cm mesafede buharlaşarak dağılmaktadır [9]. Bu çabuk dağılma, kesim sırasında jetin, kesilecek malzemeyle odaklanma mesafesinin kısa tutulması gerektiğini gösterir. Kesilecek malzemenin lüleye çok yaklaştırılması geri basınca neden olacağı için makul bir çözüm olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenlerden dolayı, 1000 barın üzerinde çalışan gıda sektörü dışında kullanılan aşındırıcısız veya az aşındırıcı katkılı sistemlerde, süper-su (super-water) adı verilen özel katkılı su kullanılması veya suya polietilen türü polimer ilave edilmesi önerilmektedir [14]

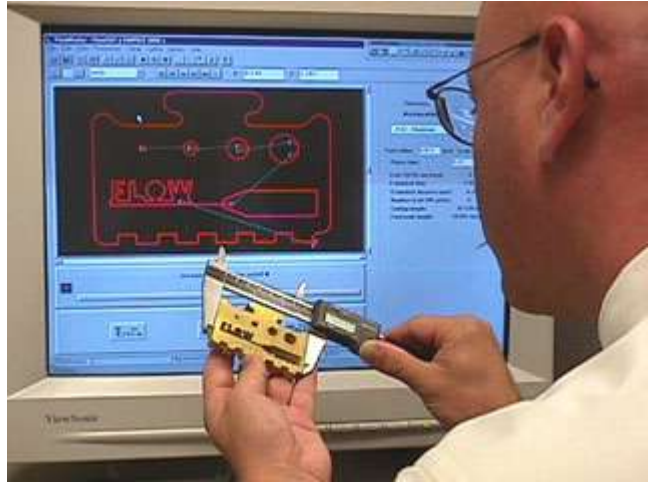


2.8 ASJ'NİN KONTROLÜ

Endüstride makina parçaları için Bilgisayar Destekli Tasarım(CAD) yazılımları ile üretilen çizimler kullanılabilir gibi üretici firmaların hazırladıkları ve/veya kullandıkları diğer yazılımlar kullanılabilir. Örneğin bir su jeti firmasının yazılım programı tanıtımı şu şekildedir:

MMI Yazılım ve CNC Kontrol Paneli: CNC Kontrol Bilgisi gerekmeden kolay kullanımı sağlayan yazılım programı

(MMI) ile kolayca yönetilir MMI ile Windows XP tabanlı, PC'ye ve Ethernet ağ bağlantısına uyumluluk gösterir. Kesim için tek yapılması gereken bilgilerin programa girilmesidir. Kesim ile ilgili her türlü ayarlama, raporlama, kesim aşamasının izlenmesi bu kontrol paneli aracılığı ile yapılır. Kontrol paneli ayarlanıp, veriler girildikten sonra, makine 24 saat- gözetime gerek kalmadan kesimi sürdürür. Oluşabilecek herhangi hata, SMS ile cep telefonunuza gönderilir ve makine bu süreçte kendini otomatik olarak durdurur. [13]



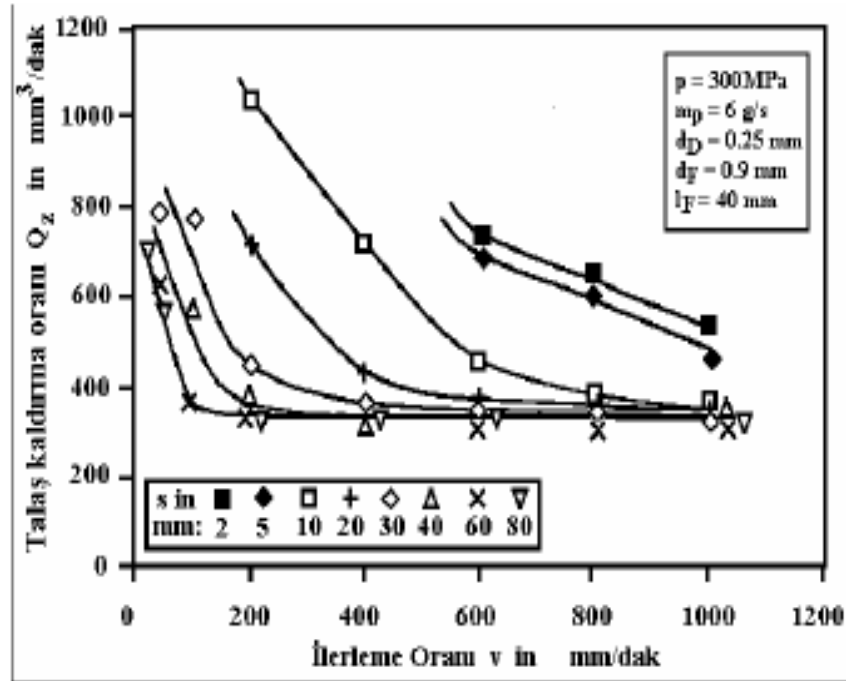
2.9 ASJ UYGULAMALARI

2.9.1 FREZELEME

Frezeleme işleminde amaç, istenilen ölçüde bir oyuk oluşturmaktır. ASJ ile frezeleme, jetin malzemeyi tamamen delmesini engelleyip istenen derinliğe kadar girmesini sağlayarak gerçekleştirilir. Bu, jetin nispeten büyük bir hızla hareket ettirilmesiyle sağlanır [6]

2.9.1.1 FREZELEME İLE ELDE EDİLEN YÜZEY

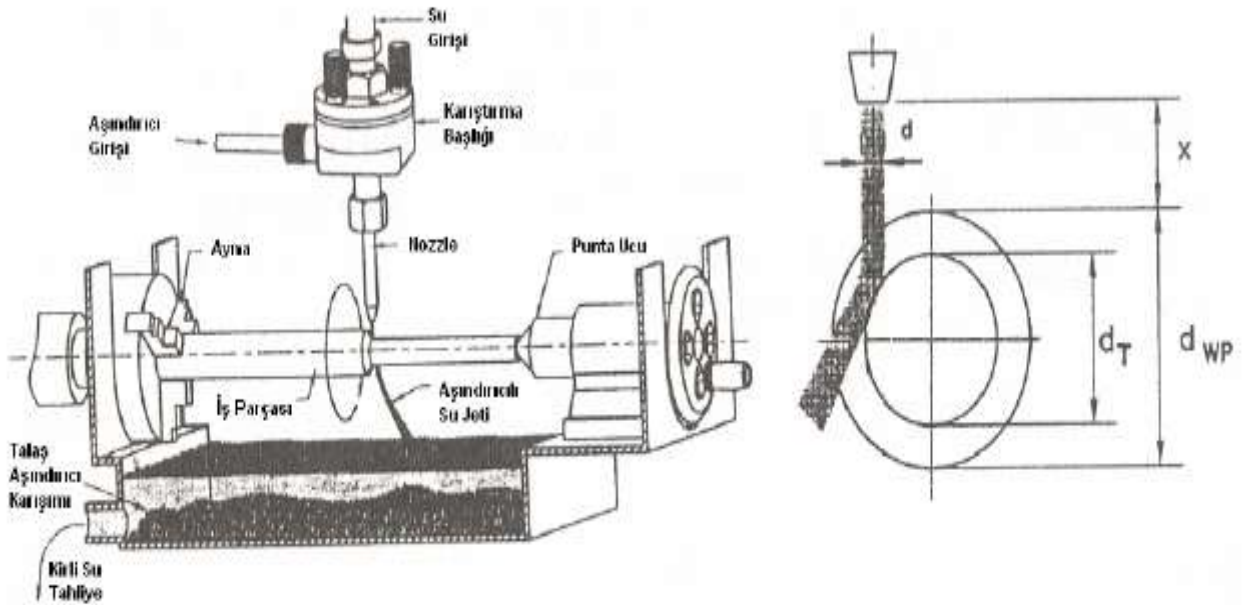
ASJ ile frezelemede yüzeylerden bahsederken en önemlisi, dip yüzeydir. Oluşan dip yüzey, değişken kesme performansının bir sonucu olan, derinlik düzensizlikleriyle karakterize edilir. Derinlikteki sapmalar yüksek yanıl ilerleme hızlarında ve jetin enerji yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Yüzey morfolojisi; kesme işlemleriyle dönen yüzeylerde erozyon mekanizmasından dolayı farklıdır. İşlem zorluğu, yüzey kırılmaları ve parçacık gömülmeleri gibi problemler, ASJ yöntemiyle yapılan frezelemede daha azdır. [1]



Şekil 5. ASJ Freze ilerleme miktarı ve talaş kaldırma miktarı bağıntısı [6].

2.9.2 TORNALAMA

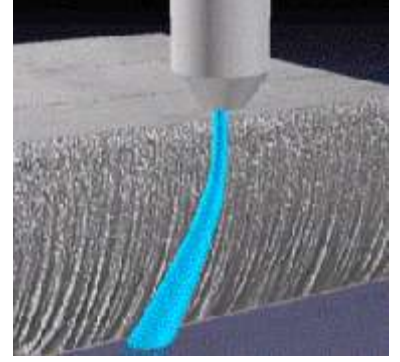
Düz yüzeylerde yapılan kesme ve frezeleme işlemleri gibi, dönmekte olan iş parçalarına aşındırıcı su jeti uygulanabilir. Bu durumda jet, torna kalemı şeklinde davranır. Bununla birlikte aşındırıcı su jeti ile geleneksel torna kalemı arasında temel bir fark vardır. jet, iş parçasının yüzeyi aracılığıyla yansıtılmakta malzemenin talaş alma miktarını etkiler [6]. Çok sert alaşımlar, seramikler ve karmaşık metal kompozitleri gibi kesilmesi zor metallere döner simetriklerin üretimini kolaylaştırabilir. İşleme; jetin, bir x-y-z modelinde sürekli kaydırılması sırasında çalışılan parçanın döndürülmesiyle gerçekleştirilir. Sistem Şekil 6'da gösterilmiştir. ASJ tornalamasının önemli bir avantajı, işlenmesi zor malzemelerden yapılan hassas millerin (çubukların) çok küçük çaplara kadar işlenmesine olanak tanıyan zayıf kesme kuvvetleridir. Gerilme deneyleri, ASJ ile işlenmiş millerde, malzemenin gerilme karakteristiğinde değişiklik olmadığını göstermiştir. ASJ tornalamasının (sistem hatalarının tutarlılığından ve tornalama işleminin tekrarlanabilirliğinden dolayı) tekrarlanabilir olması; toleransı 0.025 mm'de tutar. Parametrik optimizasyon: Frezelemede olduğu gibi tornalamamada da işlem sonuçları; su basıncı, aşındırıcı akış miktarı, yanıl hız oranı gibi işleme parametrelerinin kararlılığına bağlıdır. Genellikle yanıl ilerleme hızını arttırmanın, yüzey dalgalılığını arttırdığı gözlenmiştir [6]



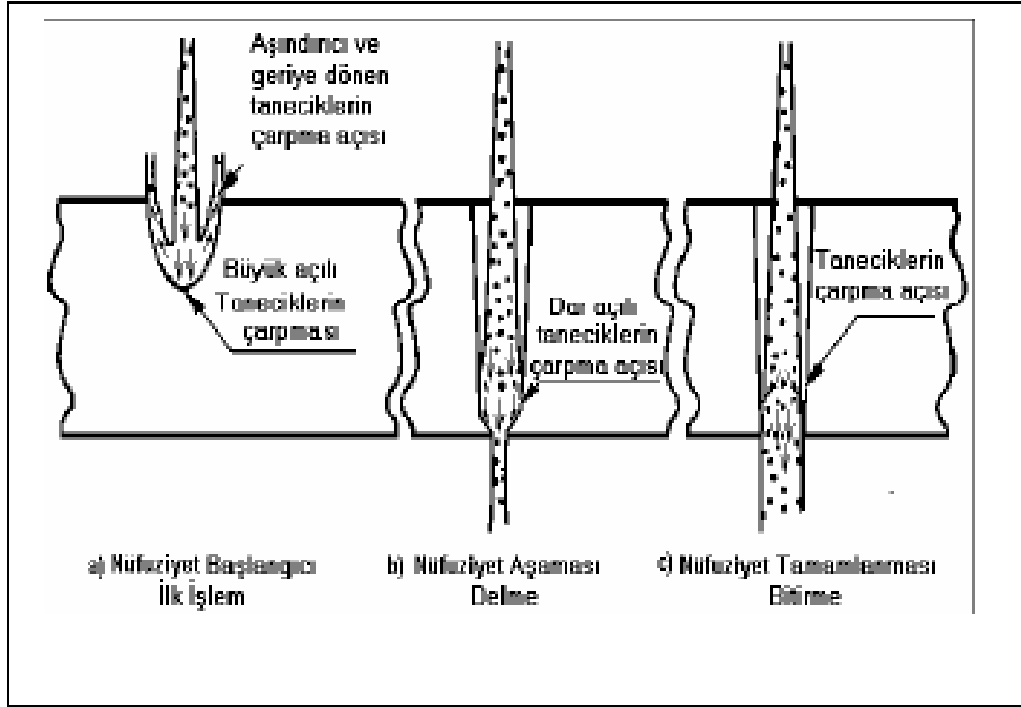
Şekil 6. ASJ ile tornalama işlemi [14]

2.9.3 DELME

Delik açmada iki değişik yöntem uygulanmaktadır. Eğer açılacak delik çapı, aşındırıcı su jetinin çap ölçüleri içindeyse, iş parçası üzerinde herhangi bir hareket olmaksızın açma kapama (jetin) yapılarak delik açılır. Bu işlem, 0,6mm' den daha küçük çaplardaki deliklerin açılmasını sağlar. Eğer açılacak deliğin çapı, jet çapını aşıyorsa, matkap deliğinin daha önce anlatılan şekilde delinmesinden sonra bir daire kesilerek deliğin üretilmesi gerçekleştirilebilir. Malzemenin gevrekliğine bağlı olarak delme basıncının değiştirilmesi zorunludur. Özellikle delme işleminin başlangıcında doğru basıncın seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Yüksek delme basıncı yardımıyla aşırı gerilim (stres) üretilmesi, malzemenin kırılmasına yol açacaktır. Eğer ilk açıklık delinirse, su jeti akıp gidebilir ve basınç seviyesi yükselebilir. Eğer basınç seviyesi doğru saha içersinde korunursa, geleneksel yöntemlerle delinemeyen CFC malzemeler bile delinebilir



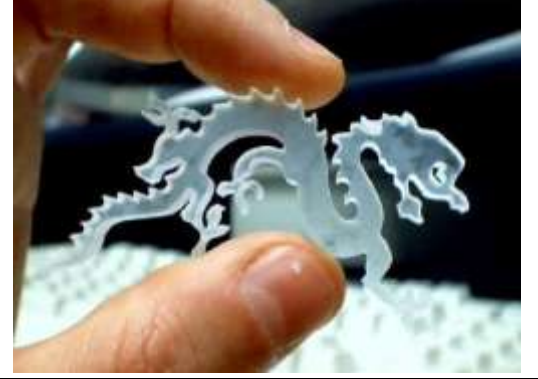
Yapılan bir araştırma sonucunda; aşındırıcı su jetleri, çapı 0,6 mm' ye kadar inen yüzeye 25° açı yapan delikleri açmak için kullanılabilir. Böyle bir iş, 0.1 mm çaplı nozul ve 0.35 mm karıştırma tüpüyle yapılmıştır. Ticari olarak bulunan nozullarla 0.76 mm'ye kadar deliklerin açılacağı G. E. Aircraft Mühendislik için yapılan deneylerle desteklenmiştir. Aynı deney ASJ ile delmenin, seramik kaplı jet motoru parçalarındaki soğutma kanallarının açılmasında kullanılabileceğini de göstermiştir. Ayrıca bu teknik, lazere tercih edilmiştir



Şekil 7. Aşındırıcı su jetiyle iş parçasını delme aşamaları [6]

2.10 SU JETİNİN DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Su jetinin laser ve tel erozyon gibi yöntemlerle parça maliyeti, hassasiyet, işe başlama durumu, malzeme kısıtı, çarpılma ve kesme yüzeyi yönlerinden karşılaştırılması Çizelge 5’de verilmektedir [4]



Yöntem	Parça Maliyeti	Hassasiyeti	İşe başlama	Malzeme Kısıtı	Çarpılma	Kesme Yüzeyi
Su Jeti	Birim	± 0.13 mm daha yüksek	-	Yok	Yok	Düzgün
Alevle kesme	Daha az	Daha az	Daha hızlı	Var	Var	Kaba
Delme presi	Kısa çalışmada daha yüksek	Benzer	Daha yavaş	Var	Var	Buruşuk kenar
Laser	Daha yüksek	13 mm den az kalınlıkta daha yüksek	İnce malzemedede daha hızlı	Var	Var	Kaba
Plazma kesme	Daha az	Daha az	Daha hızlı	Var	Var	Kaba
Tel erozyon	Daha yüksek	Daha yüksek	%75 daha yavaş	Var	Var	Düzgün

Çizelge 5. Su Jetinin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması [4]

2.11 SJ VE ASJ'NİN KULLANILDIĞI SEKTÖRLER

Su jetleri bir çok avantajı ile hemen her sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörlerden bazıları tabloda ki gibidir.

Yoğun Kullanıcı Sektörler	Diğer Kullanım Alanları
Gıda sektörü, Kağıt ve mukavva sanayi, Tekstil ve giyim sektörü, Kauçuk ve plastik sanayi, Temizlik sektörü, Ayakkabı ve deri sektörü, İzolasyon uygulamaları, Cam, mermer, granit, ve seramik sektörü, Metal işleme sektörü, Elektrik-elektronik sanayii, Otomotiv sektörü, Uzay ve havacılık sanayi	Riskli alanlarda ve patlayıcı ortamlarda kesme işlemleri, Nükleer ve elektrik santralleri, İnşaat sektörü ve dekoratif mimari uygulamalar Maden sektörü, Basın-yayın, Kimya ve tıp alanları, Yol bakımı, taş ve beton kesme işleri. Gözlük camı, güvenlik camları, katlı (kompozit) camlar.

Çizelge 6. SJ ve ASJ'nin kullanıldığı sektörler

2.12 ASJ'NİN AVANTAJLARI

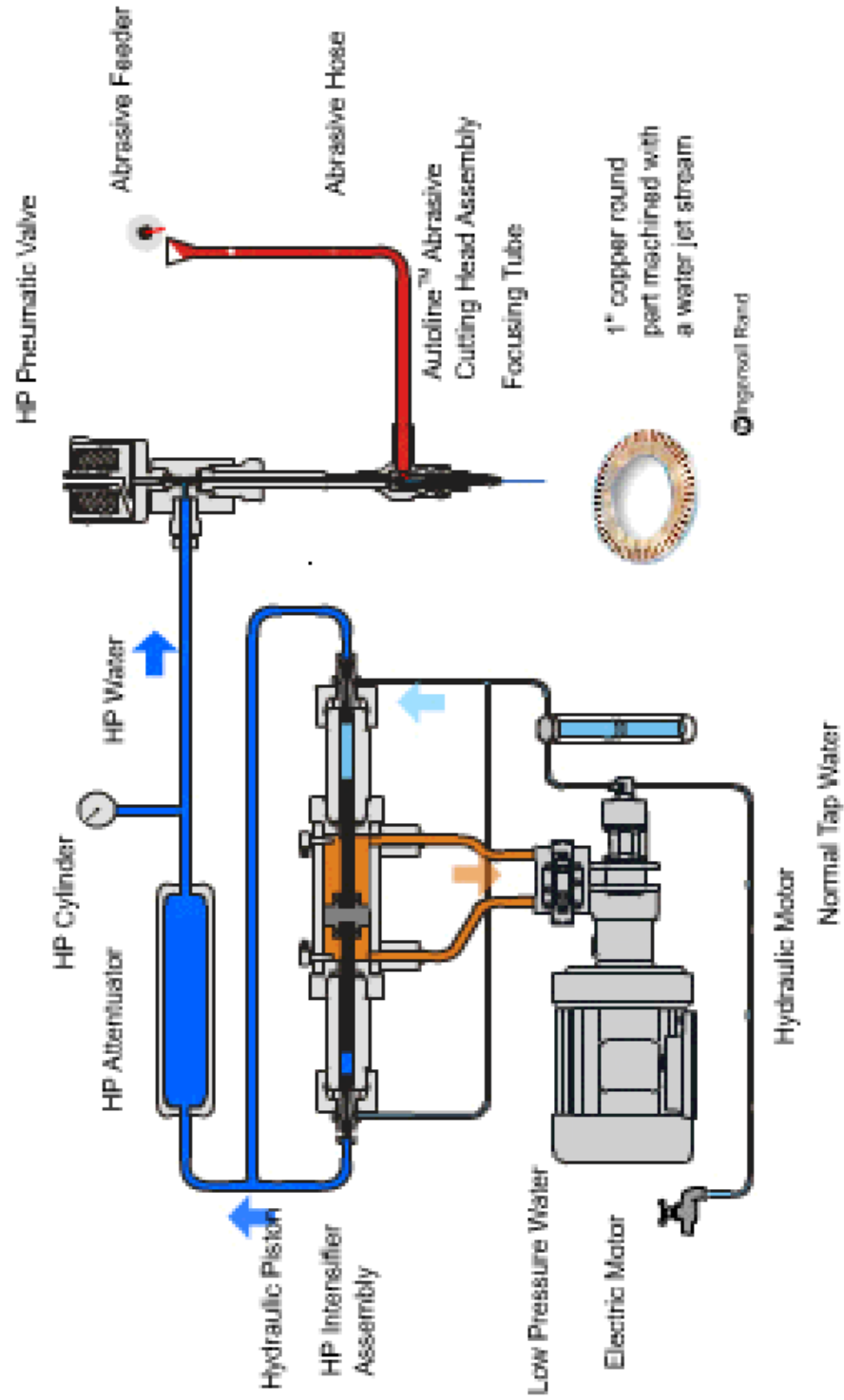
- * Farklı üretim bantlarına entegre olabilir.
- * Waterjet (sujeti) soğuk bir proses olması sayesinde , termik nedenlerden kaynaklanabilecek , yanma , damlacık oluşması (erime) , sertleşme şekil değiştirme gibi sorunlar olmayacaktır.
- * Laser ile kesilemeyecek farklı yanma veya erime sıcaklıklarına sahip malzeme çiftleri , sandviç malzemeler sujeti ile kesilebilir.



- * Malzeme yanması veya erimesi olmadığından , işlem sırasında hiçbir kimyasal kirlilik oluşmaz. Bu avantajı sayesinde , gaz emme , arıtma , filtrasyon gibi ek yatırıma gerek göstermez.
- * Kesim izi aralığının çok dar (max1,1mm) olması sayesinde malzeme kayıpları en aza indirilir.
- * Kesici unsur olan water-jet (sujeti) hüzmeye çapına bağlı olarak , çok dar ve keskin köşelerin işlenmesi (kesilmesi) mümkündür.
- * Diğer yöntemlerle kesilemeyecek petek dokulu tüm malzemeler , waterjet (sujeti) ile kesilebilir.
- * Waterjet ile kesilme kesitinde , alt veya üst tarafında çapak oluşmaz , böylelikle ek bir taşlama , düzeltme işlemi gerekmez.
- * Aynı kesme donanımı ile hiçbir değişiklik yapmaksızın , yalnızca kesme hızlarını değiştirmek suretiyle bir malzemedan diğer malzemeye geçilebilir , böylelikle , özellikle fason amaçlı kesimde makine ve donanım ayar zamanları tamamen ortadan kaldırılmış olur.



- * Malzeme ile kesme ucu arasındaki toleransın nispeten büyük olması sayesinde özellikle üç boyutlu (hacimsel) kesimlerde , mesafe kontrol hatalarından oluşabilecek kesim düzgünlükleri meydana gelmez.
- * Kesme, malzeme yüzeyinin herhangi bir noktasından başlanabilir. Termik yöntemlerdeki gibi kesime malzeme kenarından başlamak zorunda değildir.[8]
- * Kesim aletlerini keskinleştirmeye gerek yok
- * Gıda endüstrisinde, yiyecek kesimleri için hijyenik kesim standartları
- * Endüstride makina parçaları için Bilgisayar Destekli Tasarım(CAD) yazılımları ile üretilen çizimler kullanılabilen ve kalıp, takım tertibatı veya CNC programlama gerekmemekte sonuç olarak sujeti yöntemi düşük maliyet sağlamaktadır.
- * Diğer yöntemlerde kalıp veya takım tertibat için belirli süre beklemek gerektiği halde sujeti ile üretimde çizimlerden hemen işe başlanılabilmektedir.
- * Yüksek kaliteli kesim yüzeyi elde edilebilmektedir.
- * Nükleer santral gibi yerlerde yangın tehlikesini ortadan kaldırdığından güvenlik sağlamaktadır. Zararlı gazlar, sıvılar veya yağlar gerekmediğinden çevreyi koruyucu özelliği bulunmaktadır.



Şekil 8. Aşındırıcı Su Jeti Sistemi

SONUÇ

Bir mamülün üretimi gerçekleştirilirken istenmeyen bir çok olumsuz etki, işleme esnasında karşımıza çıkmakta, malzemeyi olumsuz yönde etkilemekte ve üretimi zorlaştırmaktadır.

Su jeti kesme sistemleri; sağladıkları avantajlardan dolayı malzeme işleme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Lazerle kesme sistemlerinden sonra geliştirilen sistem, malzeme üzerinde hiçbir kalıcı deformasyona, aşınmaya, bozulmaya ve yanmaya neden olmadığı için gelecekte en çok tercih edilen teknoloji olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] A. Akkurt, “Çeşitli malzemelerin Aşındırıcı Su Jeti İle Kesilmesinde Yüzey Özellikleri, Sertlik ve Mikro yapı Değişimlerinin Farklı Kesme Yöntemleriyle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
- [2] Tunç, Tarkan.,” Aşındırıcı Katkılı Su Jeti (ASJ) Kesme Sistemleri”, Otomasyon dergisi, Sayı 112 (Eylül 2001)
- [3] -Louis, H., Meier, G. 1991 Methods of Process Control for Abrasive Water Jets. In: Labus, T. J. (ed) 1991 roceedings 6th American Water Jet Conference, Water Jet Technical Association, St. Louis, pp. 427-437.
- [4] Yazıcıoğlu, Osman.;Yaçınkaya Senai,;“Ernbdüstride Aşındırıcılı Su Jeti Sistemleri”, Mühendis Makine Dergisi, (2003)
- [5] http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2003/temmuz/makale_endustri.htm (Erişim tarihi: Mayıs 2007)
- [6] A. Akkurt, “Aşındırıcılı Su Jeti Uygulamaları Ve Üretimde Yoğun Kullanıma Sahip Malzemelerin Delinmesi”, Araştırma Makalesi, H.Ü. Hacettepe Meslek Yüksekokulu, 06800, Ankara, (2006)
- [7] Akçın, Ali,;“ Yüksek Basıncılı Su Jetleri ile Yapılan Kesme ve Parçalama Çalışmaları (The Information on Cutting and Fracturing Studies using High- Pressure Water Jets)”, MADENCİLİK, Sayı 2 cilt XXVI (Haziran 1987)
- [8] http://www.c-t.com.tr/teknoloji_01.htm (Erişim tarihi: Mayıs 2007)
- [9] <http://www.waterjets.org>. (Erişim tarihi: Mart 2007)
- [10] <http://www.omax.com> (Erişim tarihi: Mayıs 2007)
- [11] <http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2001/eylul/yapisa1.htm> (Erişim tarihi: Mayıs 2007)
- [12]<http://www.mmf.cu.edu.tr/mmb/manufacturing/waterjettr.htm> (Erişim tarihi: Mayıs 2007)
- [13] www.normendustri.com
- [14] Hashish M. Steele D.E. and Bothell D. H., Machining with super- pressure (690 MPa) waterjets. Int. J. of Mach. Tools and Manufacturing. Vol. 37, No.4, pp 465-479, 1997.

EKLER

* Su jeti videoları ve resimleri CD'si



ÖZGEÇMİŞ

1981’de İstanbul’da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi İstanbul’da tamamladım. 2001’de AİBÜ Düzce MYO’nda Kontrol Sistemleri Teknolojisi bölümünün ilk iki dönemine devam edip kendi arzumuyla ayrıldım. 2003’te AİBÜ Düzce TEF Tasarım ve Konstruksiyon Öğretmenliği’nin ilk iki dönemine devam edip 2004’te yatay geçişle geldiğim Marmara Üniversitesi’nin aynı bölümünde son sınıf öğrencisi olarak eğitimime devam etmekteyim.

İstanbul 2007