

AISI 1030 ÇELİĞİNİN AŞINDIRICILI SU JETİ İLE KESİLMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN VE KESME ÖNÜ GEOMETRİSİNİN İNCELENMESİ

Adnan AKKURT

Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, 06830, Ankara

Geliş Tarihi : 02.08.2008

Kabul Tarihi : 02.03.2009

ÖZET

Alternatif bir üretim yöntemi olarak gündeme gelen aşındırıcı su jeti (ASJ) ile kesme, endüstriyel amaçlı malzemelerdeki gelişmelere paralellik gösterecek şekilde, işlenmesi güç malzemelerin biçimlendirilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, endüstride yaygın kullanılan AISI 1030 malzemeden hazırlanan farklı kalınlıklardaki numuneler işleme parametrelerinden yanal hız değişken, diğer parametreler sabit tutularak, ASJ ile kesilmiş ve elde edilen yüzeylerin kesme önü geometrisi karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar dik kenar, keskin köşe ve benzeri yüzeylerin işlenmesinde aşındırıcılı su jeti ile kesme metodunun kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : *Aşındırıcı su jeti, Yanal hız, Yüzey kalitesi, Kesme önü geometrisi.*

INVESTIGATION SURFACE ROUGHNESS AND CHARACTERIZATION OF CUTTING FRONT SIDE GEOMETRY IN THE CUTTING OF AISI 1030 MATERIAL WITH ABRASIVE WATER JET

ABSTRACT

Abrasive water jet (AWJ) is used as a new and alternative cutting technique in industry to form the materials that are hard to cut. In this study, AISI 1030 steel samples in different thickness were cut with AWJ process. The samples were cut with different cutting speeds. The effect of cutting speed on the surface characteristics was investigated. The results of the study show that AWJ can be used as an effective cutting process to form sharp corners and edges.

Keywords : *Abrasive water jet, Traverse speed, Surface quality, Cutting front side geometry.*

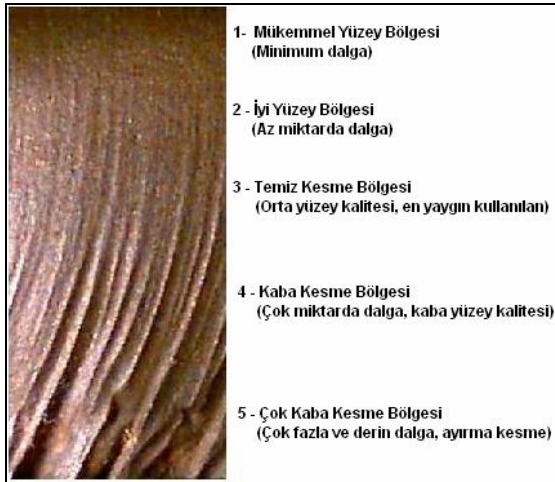
1. GİRİŞ

Kesme yöntemlerindeki işleme kalitesi genel olarak; malzeme özelliklerindeki değişim, elde edilen yüzey özellikleri ve kesilen kanalın geometrisi ile karakterize edilmektedir. Hızlı bir gelişim süreci yaşayan imalat teknolojisi hedeflemiş olduğu; üretim kalite ve ekonomisi için endüstriyel uygulamalarda mümkün olan her türlü seçeneği kullanarak amaca

ulaşma çabasındadır. Malzemelerin metalürjik ve mekanik özellikleri dikkate alındığında, kullanılan malzemelerin çeşitliliği beraberinde farklı işleme yöntemlerinin kullanılmasına sebep olmaktadır. Fakat her malzemeye uygun işleme yöntemi yada mevcut işleme yöntemlerine göre malzemenin belirlenmesi üretimde ekonomi ve kaliteyi olumsuz etkilemektedir. İşleme yöntemine bağlı olarak, işlenen yüzeyde meydana gelecek her türlü yapısal

bozulmalar da olumsuzlukları arttıracaktır. Bu yüzden bütünü oluşturan malzeme ve işlenmesinde kullanılan üretim yöntemi, sürekli araştırmalara konu olmuştur ve olmaya devam edecektir.

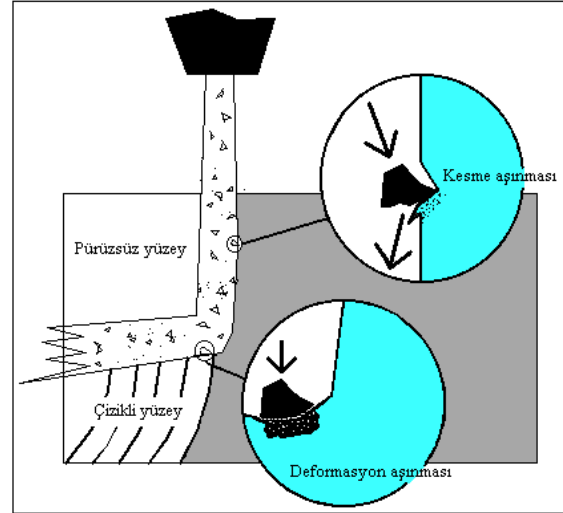
Her türlü malzemeyi metalürjik ve mekanik özelliklerinde değişiklik olmadan işleyen, hiç aşınmayan, döndüğü hiç belli olmayan, köşelerde hiç çapak bırakmayan, kesme sırasında malzemeyi deformasyona uğratacak kuvvetler oluşturmayan, sıcaklık etkisi olmayan böylelikle; yapısal bozulma, kararma, çarpılma, ergime, damlama oluşması ve yanma sorunları söz konusu olmayan bir kesici takım olan su, en karmaşık biçimleri dahi yüksek hassasiyet ve istenen yüzey kalitelerinde kesebilmektedir. Aşındırıcılı su jetiyle işlemede elde edilen yüzey kalitesi, iş parçasındaki kesme derinliğinin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. ASJ ile işlenen bir yüzeyin en belirgin özelliği, nispeten daha düzgün yüzey özellikleri sergileyen bir bölgenin altında çizgisel izlerin oluşmasıyla yüzey kalitesinin bozulmasıdır (Şekil 1) (Akkurt, v.d., 2002).



Şekil 1. Aşındırıcılı su jeti ile kesilmiş yüzey kalitesi (Akkurt, 2002).

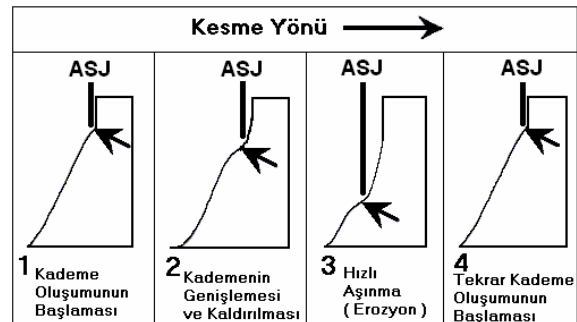
Aşındırıcılı su jetiyle elde edilen yüzeyler incelendiğinde kesme derinliğine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki artış kaçınılmazdır. Yüksek enerjili ışın, kullanılan herhangi bir kesme işleme sürecinde olduğu gibi, aşındırıcılı su jeti ile kesme sırasında da yüzey pürüzlülüğüne etkisi nedeniyle, talaş kaldırma mekanizmalarının araştırılmasını gerektirmiştir (Öjmertz, 1997). Aşındırıcılı su jeti ile işleme sürecindeki bu mekanizmalar, genellikle işleme parametrelerine ve malzeme kalınlığına bağlıdır. İlk aşamada dar bir açı altında iş parçasına çarpan aşındırıcı tanecikler nispeten düzgün bir yüzey elde edilmesini sağlamaktadır. Bu aşamadaki

mekanizma “kesme–aşınma mekanizması” olarak adlandırılmaktadır. Çizgisel izlerin oluşmasına sebep olan ve kararsız işleme özellikleri sergileyen ikinci bölgede etkili olan mekanizma ise “deformasyon – aşınma mekanizması” olarak isimlendirilmektedir. Bu ikinci nüfuziyet süreci, kesme yüzeyinin alt kısmındaki çizgisel izlerin temel sebebidir. Bu bölgede talaş kaldırma işlemi daha geniş bir açı altında etkili olan aşındırıcı taneciklere bağlı aşınmayla kontrol edilebilir (Şekil 2) (Hutchings, 1979; Hashish, 1987; Ohlsson, 1995).



Şekil 2. Aşındırıcılı su jeti ile kesik yüzey oluşum süreçleri (Ohlsson, 1995).

Aşındırıcılı su jeti ile kesmede süreç içerisinde aşındırıcı tanecikteki keskinliğin, jetteki basınç ve hızın kayıplara uğraması çizikli yüzeyi kaçınılmaz bir sonuç olarak ortaya çıkarmaktadır. Bu çizgisel yüzeyler sebebiyle ideal bir kesme işlemi elde edilememekte ve kesme önü geometrisi olarak tanımlanan kademenin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Şekil 3) (Ohlsson, 1995).



Şekil 3. Kesme önündeki geometride kademe oluşumu ve aşınması (Ohlsson, 1995).

Aşındırıcılı su jeti ile kesme sırasında malzemeye etki eden kuvvet, kesme yönünde olduğu kadar,

düşey yönde de etki eder. Her iki yönde etki eden kuvvetin büyüklüğü, iş parçasının malzeme özellikleri tarafından değil, asıl kesme önündeki geometri tarafından belirlenir. Kesme önündeki geometri;

- Aşındırıcılı su jetine göre küçük açıyla eğik olan genel bir eğim
- Bu eğim üzerinde yüksek düzeyde aşınma (erozyon) alanları olarak etki eden küçük ölçekli bir dizi kademe olmak üzere iki bileşene sahiptir (Ohlsson, 1995; Juo v.d., 1993).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2. 1. Malzeme

Yapılan çalışmada; 5, 10, 15 ve 20 mm kalınlığında AISI 1030 düşük karbonlu imalat çeliği levhaları kullanılmıştır. Levha kalınlıklarının bu şekilde seçilmesinin nedeni elde edilen verilerin matematiksel model ve denklemlerle ara kalınlıklardaki değerlerin bulunmasına yardımcı olabileceği düşüncesindedir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu; Fe % 98.19, C % 0.2852, Si % 0.190, Mn % 0.722, P % 0.0162, Cr % 0.0851, Ni % 0.124, Cu % 0.447 şeklindedir.

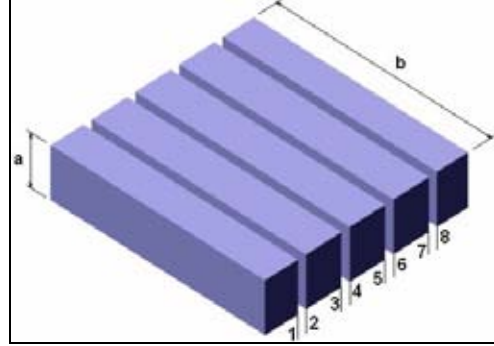
2. 2. Metot

Her bir kalınlıktaki levhalar basınç ünitesi üreticisi firma (Ingersoll Rand) tarafından önerilen yanal ilerleme hızlarında, levha kalınlıklarının yüzey pürüzlülüğü ile kesme kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmak için 20mm/dak ortak yanal ilerleme hızı ile dört kez kesilmiştir.

10 ve 20 mm kalınlığındaki numunelere ait eşitlikler dikkate alındığında, kalınlıktaki artışa bağlı olarak eğri benzetme katsayılarının değiştiği ve dolayısıyla jet çıkış açısının değişeceği söylenebilir (Tablo 4).

Kesik yüzeyleri farklı olan sekiz yüzey elde edilmiştir. Levha kalınlıkları için önerilen yanal ilerleme hızları Tablo 1’de sistem ve kesme parametreler Tablo 2’de verilmiştir. Kesilen yüzey, levha kalınlığına bağlı olarak belli aralıklarla ölçülmüştür. Her bir yüzeyden örnekleme seçilen bölgelerden on ölçüm yapılmış ve bulunan pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülükleri Mitutoyo SurfTest Analyzer 402 cihazı ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri ise Instron Wolpert Testor marka sertlik ölçme cihazında “HV 30” değeri ile ölçülmüştür.

İdeal kesme kenarından sapma miktarını (Şekil 3) bulabilmek için parçanın tam boyunu kesmek yerine belli bir genişliğe kadar parça kesilmiş ve freze tezgahında üst yüzeyden başlanarak boşaltma işlemi yapılmış. Kesik genişliğinin başlangıcına kadar boşaltma işlemi yapılmıştır. Burada ortaya çıkan kesik yüzey fotoğrafı çekilmiş (Şekil 6) ve sapma miktarı ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4. Kesme işlemi sonrasında numunelerin elde edilmesi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3. 1. Elde Edilen Yüzey Özellikleri

Makine imalat sektöründe yaygın kullanıma sahip AISI 1030 çelik malzemenin aşındırıcılı su jeti ile kesilebilirliğini değerlendirmek, mekanik ve mikro yapı özelliklerini araştırmak için 5, 10, 15, 20 mm kalınlığında hazırlanan numunelerin kesilen yüzeylerinin farklı kalite bölgelerinde (Şekil 1) elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri grafiklere aktarılmıştır (Şekil 5). Yapılan değerlendirmeler sonucunda 5 mm kalınlığındaki AISI 1030 çelik grubu malzemenin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri, tavsiye edilen hızda 6,35 µm ve 20 mm/dak ortak yanal ilerleme hızında ise 2,55 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 5’teki grafiklerden, jetinin hızının artmasıyla yüzey özelliklerinde bir bozulma olduğu ve kesilen yüzeylerin alt bölgesindeki pürüzlülük değerlerinin, üst bölgeye oranla çok daha yüksek olduğudur. Aynı şekilde, 5 mm kalınlıktaki numuneler hariç bir değerlendirme yapılacak olursa, malzeme kalınlığındaki artışa bağlı olarak, tavsiye edilen yanal hızlar düşürülmesine rağmen kesme derinliği ile birlikte yüzey kalitesinde bir bozulma gözlenmektedir. Bu durum, tüm malzemelerde olduğu gibi AISI 1030 için aşındırıcılı su jeti ile kesme sırasında yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesilen malzeme kalınlığının önemli bir parametre olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Malzemelerin kesilmesinde uygulanan yanıl ilerleme hızları.

Malzeme	5 mm		10 mm		15 mm		20 mm	
	Tavsiye edilen ve ortak yanıl ilerleme hızları (mm/dak)							
AISI 1030	T	O	T	O	T	O	T	O
	135	20	70	20	50	20	40	20

T = tezgah üreticisi firmanın önerdiği yanıl ilerleme O = kendi seçtiğimiz ortak yanıl ilerleme miktarı

Tablo 2. Aşındırıcılı su jeti ile kesme sistemi ve kesme parametreleri.

Sistem ve Kesme Parametreleri			
Elektrik Motoru kapasitesi	22 kw	Enerji Tüketimi	58 kwh
Pompa Kapasitesi	3 l/dak	Yükseltici çalışma basıncı	Min 35 – Max 200
Su tüketimi	≈ 3.5 l/dak	Pompa piston çapı	20 mm
Suyun system sıcaklığı	48 °C	Suyun yükselticiye giriş basıncı	6 bar
Yükseltici çalışma basıncı	200 bar	Suyun nozula giriş çapı	0.25 mm
Suyun yükselticiden çıkış basıncı	20 bar	Aşındırıcı nozul giriş çapı	0.75 mm
Suyun debisi	3 l/dak	Nozulun parçaya uzaklığı	4 mm
Suyun nozuldan çıkış hızı	800 m/s	Suyun çıkış anındaki basıncı	400 MPa
Kesme anında oluşan ısı	≈ 55 °C	Nozulun duruş açısı	90°
Çalışma anında çektiği akım	380 V	Tüketilen enerji,	58 kwh
Tüketilen aşındırıcı miktarı	250 g/dak	Nozul uç malzemesi	Sapphire
Kullanılan aşındırıcı	GMA Garnet	Kimyasal kompozisyon	Fe ₂ O ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃
Aşındırıcı sertliği	7.5 - 8 Mohs	Aşındırıcı parça büyüklüğü	300 µm
Suyun nozuldan çıkış çapı	0.75 mm	Nozul boyu	76.2 mm
Slurry concent	% 18	Karıştırma tüpü boyu	88,9 mm
Karıştırma tüpü çapı	1,27 mm	Nozul uç ömrü	40-50 saat

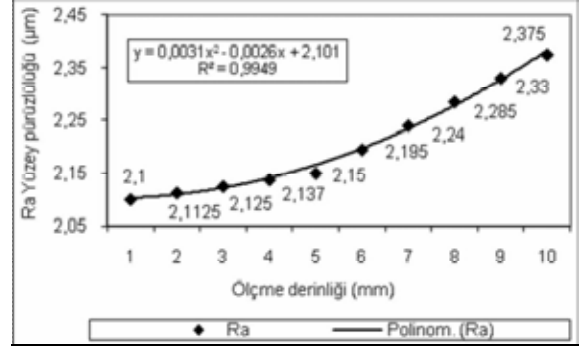
Grafiklerde görülen en çarpıcı sonuçlardan biride, 5 mm kalınlığındaki numunelerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin, diğer kalınlıktaki numunelere göre daha yüksek değerlerde olmasıdır. Bu durum farklı iki aşınma mekanizmasının oluştuğunu ve kalınlıktaki artışla birlikte yüzey özelliklerinin bozulduğunu vurgulayan literatürdeki çalışmalarla uyum göstermektedir (Singh v.d., 1991; Ohlsson v.d., 1994; Fukunishi v.d., 1995; Niu v.d., 1996). 5 mm kalınlığındaki numunelerde 10, 15 ve 20 mm kalınlığındaki numunelere göre oldukça yüksek seviyedeki yüzey pürüzlülük değerleri, belli kalınlıkların altında aşındırıcılı su jeti ile kesmeyi önermeyen çalışmaların geçerliliğini ön plana çıkarmaktadır (Hashish, 1984; Hashish, 1988; Zaring, 1989). Alüminyum grubu malzemelerde etkili olmayan bu durum, dayanımı oldukça düşük olan bu malzemelerin nispeten daha kolay işlenmesine atfedilebilir (Akkurt, 2005). Malzeme dayanımındaki artışa bağlı olarak AISI 1030 çelik malzemenin 5 mm kalınlık için, yüzey özellikleri açısından elde edilen sonuçlar oldukça olumsuzdur. Bu durum, düşük kalınlıktaki malzemeler üzerindeki

yüksek basıncın oluşturduğu deformasyonun şiddetine ve aşındırıcılı su jeti ile kesmede yüksek basınca bağlı yüksek deformasyon oranının, işlenen kesit alanının minimum olduğu bu malzemede oluşturduğu olumsuz etkilere bağlanabilir. Çelik malzemelerde çekme dayanımının yüksek olduğu bilinmektedir. Yüksek dayanımlı malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri daha yüksek olacağından kesitin küçülmesi ile birlikte yüzeydeki deformasyon etkisi de fazla olacaktır. Bunun sonucu olarak da yüzey pürüzlülüğünde bir artış oluşmaktadır.

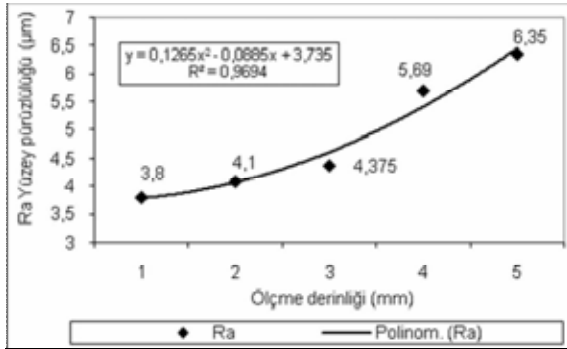
5 mm. kalınlığındaki, numunelerde gözlenen bu olumsuz etkinin giderilmesi, deformasyon şiddetinin azaltılmasına bağlıdır. Bu amaçla, müdahale edilebilecek parametreler arasında ilk akla gelen basınç ve yanıl ilerleme hızının azaltılmasıdır. Bu çalışmada basınç sürekli sabit bir parametre olarak seçildiğinden, değişken parametre olarak seçilen yanıl ilerleme hızının etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 5’de ki grafiklerden görüldüğü gibi, hızın önemli ölçüde (20 mm/dak)

düşürülmesiyle, elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri de diğer kalınlıklar için elde edilen değerlere yaklaşmaktadır. 20 mm/dak'lık ortak yanıl ilerleme hız dikkate alındığında, diğer hızlara oranla yüzey pürüzlülüğünde bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu durum yanıl ilerleme hızının, yüzey özellikleri üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermektedir (Şekil 5).

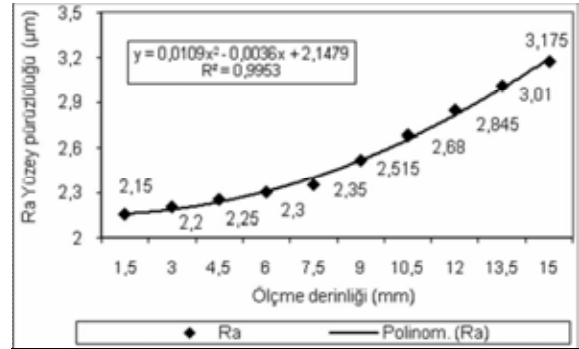
Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra), kalınlığa bağlı olarak doğru orantılı olarak değişmektedir.



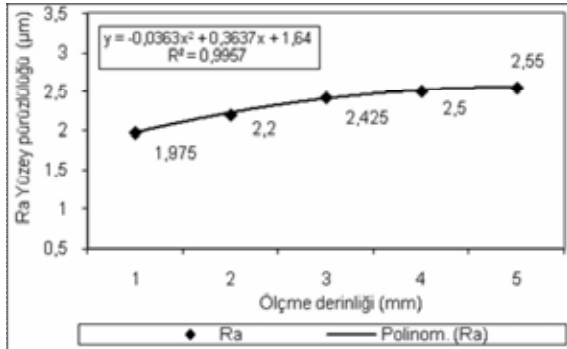
d) Kalınlık = 10 mm. V = 20 mm/dak.



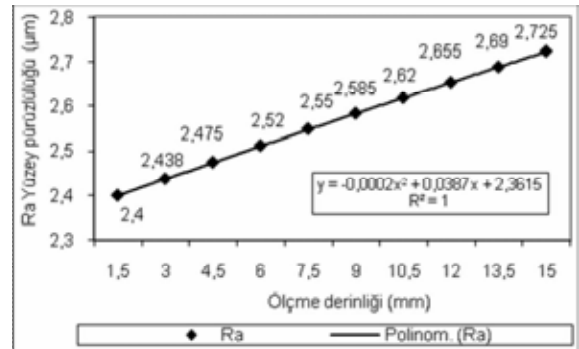
a) Kalınlık = 5 mm. V = 135 mm/dak.



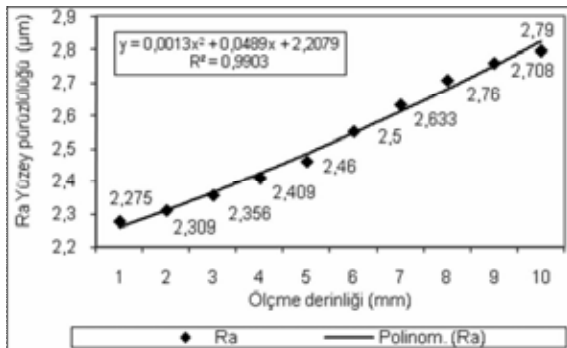
e) Kalınlık = 15 mm. V = 50 mm/dak.



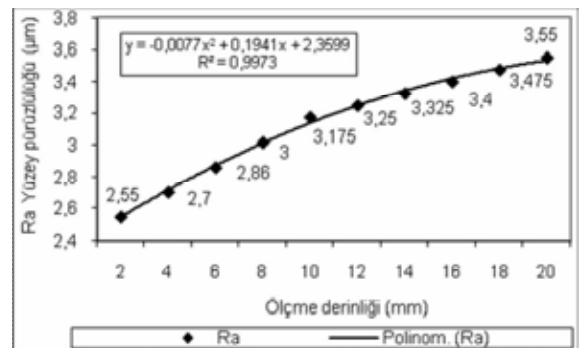
b) Kalınlık = 5 mm. V = 20 mm/dak.



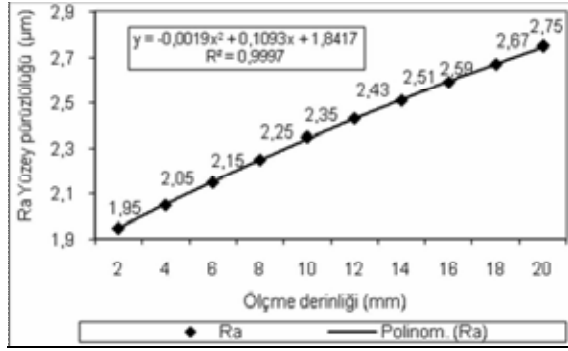
f) Kalınlık = 15 mm. V = 20 mm/dak.



c) Kalınlık = 10 mm. V = 70 mm/dak.



g) Kalınlık = 20 mm. V = 40 mm/dak.



h) Kalınlık = 20 mm. V = 20 mm/dak.

Şekil 5. Farklı kalınlıklardaki farklı yanal ilerleme hızlarında kesilen numunelerde elde edilen yüzey pürüzlülüğünün ölçme mesafesi ile değişimi.

Aşındırıcılı su jeti ile kesilen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin modellenmesi; AISI 1030 düşük karbonlu imalat çeliği için malzemeye ait yüzey özelliklerinin, jetin ilk temas ettiği yüzeyden itibaren, ölçme mesafesine ve endüstriyel anlamda yaygın olarak kullanılan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki değişime bağlı olarak modellenmesi amacıyla, bu değişimleri gösteren grafiklere eğri benzeştirme işlemi uygulanmış ve bu değişimin, en yüksek belirtme katsayısının (R^2) gözlemlendiği ikinci dereceden bir polinomla (parabol) ifade edilebileceği tespit edilmiştir. Farklı kalınlıklardaki (5, 10, 15 ve 20 mm) AISI 1030 düşük karbonlu imalat çeliği için ortalama yüzey pürüzlülük grafikleri Şekil 5’de gösterilmiştir.

Bu grafiklerle elde edilen bulgular ışığında, farklı kalınlıklar için, yaklaşık $R^2=0,99$ doğrulukla, yüzey pürüzlülüğünün ikinci dereceden bir polinomla modellenebileceği görülmektedir. “y” ortalama yüzey pürüzlülük değerini, “x” ise jet huzmesinin temas ettiği yüzeyden kesme derinliğini (grafiklerde ölçme derinliği olarak ifade edilen) temsil etmek kaydı ile farklı kalınlıklardaki yüzey özelliklerini belirten polinom denklemleri ve bu eşitliklere ait belirtme katsayıları Tablo 3’de özetlenmiştir.

Deneysel olarak belirlenen ortalama pürüzlülük değerlerinin, kesme derinliğine bağlı olarak değişimini, yaklaşık $R^2 = 0.99$ doğrulukta temsil eden bu eşitlikler, aşındırıcılı su jeti ile işlenen parçaların yüzey özelliklerini nümerik olarak modellemeyi esas alan literatürdeki çalışmalara benzer şekilde incelenen malzemeler ve kalınlıklar için yapılabilecek nümerik modelleme ve simülasyon çalışmalarında kullanılabilir tarzda bir alt yapı oluşturmuştur (Mozurkiwicz v.d., 1988; Hashish, 1991; Kovacevic, 1991; Engel ve Labus, 1993; Hashish, 1993a; Hashish, 1993b; Kovacevic v.d., 1995).

Elde edilen kesik yüzey profili malzemenin yüksek dayanım özellikleri ve aşındırıcılı su jeti ile işlemede etkili olan yüksek basıncın deformasyon etkisi dikkate alındığında, belli bir kalınlığın altındaki numunelerdeki pürüzlülük, yüksek deformasyon şiddeti ile artan yüksek kesme kuvvetlerinin olumsuz etkilerine bağlanmıştır. Bu yüzden literatürde aşındırıcılı su jeti ile kesmede, 10 mm olarak tavsiye edilen alt sınırın, özellikle; AISI 1030 karbonlu çelik malzemeler için de geçerli olduğu doğrulanmıştır. 5 mm kalınlığındaki numuneler ayrı değerlendirildiğinde, malzeme kalınlığındaki artışa bağlı olarak, yüzeyde eğrisel izler halinde oluşan dalgalanmaların derinliği ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

AISI 1030 çelik malzeme ve alüminyum grubu malzemelerin 20 mm/dak’lık ortalama hızda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi; Ortak hız temel alındığında yapılacak bir değerlendirmede göze çarpan en çarpıcı sonuç, AISI 1030 düşük karbonlu imalat çeliği ile karşılaştırıldıklarında alüminyum grubu iki malzeme için pürüzlülük değerleri çok daha yüksektir. Bu durum bu malzemelerin mekanik özelliklerine bağlı olarak açıklanabilir. Alüminyum malzemenin çekme dayanımı, akma dayanımı, elastikiyet modülü ve sertlik değerleri çelik malzemeler göre daha düşüktür. Aşındırıcılı su jeti ile işlemede, yüksek basınç sebebi ile oluşan yüksek deformasyon etkisi, düşük dayanım ve sertlik özelliklerine sahip bu malzemelerin, deformasyon sebebiyle yüzey özelliklerini de bozulmaktadır (Akkurt, 2005).

Bu bulgular, özellikle sünek malzemelerin aşındırıcılı su jeti ile işlenmesi sırasında kaliteli yüzey özellikleri hedeflendiğinde, kesme parametrelerinin ayarlarının çok daha dikkatli yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Sünek malzemelerde, kesme olayının taleşin ana malzemeden ayrılması yerine, uygulanan kuvvet etkisi ile ana malzemeye ve kesici takıma sıvanarak yapışması, klasik kesme yöntemlerinde de karşılaşılan önemli bir problemdir ve bunu engellemek için kesici takımın çok daha keskin bir kesici ağıza sahip olması istenir. Bu tür malzemelerin sıvanma eğilimi, işlenebilirlik kriterlerinden yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkileyen bir olgudur. Aynı durum, sünek malzemelerin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesi sırasında da söz konusudur ve keskin köşeli aşındırıcı tanecik biçiminin sünek malzemelerin işlenmesinde daha etkili olduğu literatürde ki çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Momber ve Kovacevic, 1988). İncelenen malzemelerin aşındırıcılı su jeti ile kesilmesinde aşındırıcı parametreleri sabit tutulduğunda, diğer malzemelerde etkili olan parçacık biçiminin saf

ticari Alüminyum ve Al-6061 Alüminyum Alaşımı için olumsuz sonuçlar sergilemesi beklenen bir

sonuçtur (Akkurt v.d., 2002; Akkurt, 2005).

Tablo 3. AISI 1030 düşük karbonlu imalat çeliği için farklı kalınlıklarda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerini karakterize eden eşitlikler ve belirtme katsayıları.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Yanal İlerleme Hızı (mm/dak)	Eşitlik*	Belirtme Katsayısı (R ²)
AISI 1030 Düşük Karbonlu İmalat Çeliği	5	135	$y = 0,1265x^2 - 0,0885x + 3,735$	0,9694
		20	$y = -0,0363x^2 + 0,3637x + 1,64$	0,9957
	10	70	$y = 0,0013x^2 + 0,489x + 2,2079$	0,9903
		20	$y = 0,0031x^2 - 0,0026x + 2,101$	0,9949
	15	50	$y = 0,0109x^2 - 0,0036x + 2,1479$	0,9953
		20	$y = -0,0002x^2 + 0,0387x + 2,3615$	1
	20	40	$y = -0,0077x^2 + 0,1941x + 2,3599$	0,9973
		20	$y = -0,0019x^2 + 0,1093x + 1,8417$	0,9997

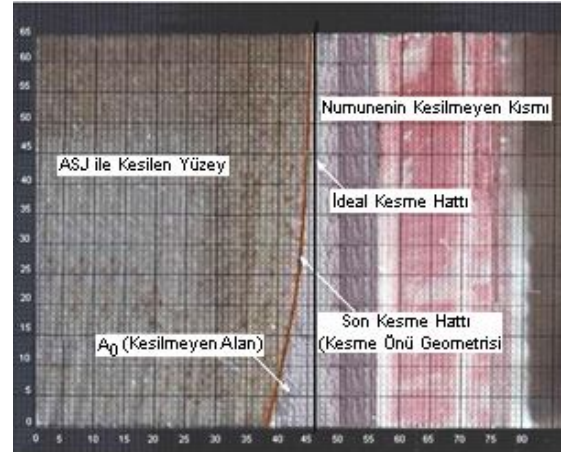
*"y" ortalama yüzey pürüzlülük değeri (µm); "x" kesme derinliği (mm)

3. 2. Kesme Önü Geometrisinin İncelenmesi

Aşındırıcılı su jeti ile işlemede, kesme veriminin azalmasına bağlı olarak yanal ilerleme yönüne zıt yönde çizgisel izler gözlenmektedir. Değişik malzemelerin işlenmesindeki, farklı işleme parametrelerinden bağımsız olarak ortaya çıkan bu izlerin birbirine benzerliği dikkate değerdir. Çeşitli araştırmacılar bu gözlemi doğrulamak için sünek ve gevrek malzemeler üzerinde yaptıkları çalışmalarda, benzer izlerin varlığını ortaya koymuşlardır (Zeng v.d., 1991; Momber, 1994; Momber v.d., 1995).

Yapılan araştırmalar, oluşan bu çizgisel izlerin formunu, kesme derinliğine bağlı olarak karakterize etmeyi ve bu izlerin geometrisine bağlı olarak aşındırıcılı su jeti ile işlemede kesme veriminin düşmesine sebep olan enerji kayıplarını açıklamayı hedeflemektedir (Raju ve Ramulu, 1994). Aşındırıcılı su jeti ile kesme sırasında çeşitli sebeplerle ortaya çıkan bu enerji kayıpları, verimin düşmesine ve jet hüzmesinin ideal kesme doğrultusundan saparak kesme önü geometrisi adı verilen bir geometriyi izlemesine sebep olmaktadır. Literatürdeki araştırmalar, aşındırıcılı su jeti ile kesilen yüzey özelliklerini belirleyen eğrisel-çizgisel izlerin, kesme önü geometrisine paralel izler şeklinde ortaya çıktığını vurgulamaktadır (Hashish, 1982; Tan, 1986; Hashish, 1989; Blickwedel, 1990; Blickwedel v.d., 1990; Guo, v.d., 1992). Literatür ışığındaki bilgilerden yola çıkılarak, bu çalışmada incelenen malzemelerden hazırlanan 10 ve 20 mm kalınlığındaki numuneler üzerinde, benzer şekilde, kesme önü geometrisinin karakterize edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, boydan boya tam olarak

kesilmemiş numuneler, kesilen kesikten iki parçaya ayrılmak suretiyle kesme önü geometrisi açığa çıkarılmış ve bu yüzeyin fotoğrafı (Şekil 6) büyütülmek suretiyle, kesme önü geometrisinin, kesme derinliğine bağlı olarak ideal geometriden sapma miktarları tespit edilmiştir (Şekil 7 ve 8).

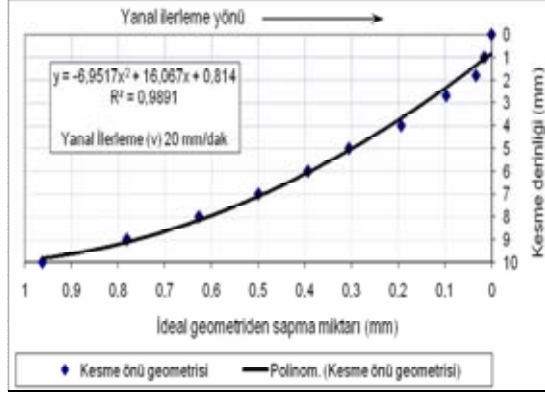


Şekil 6. Kesme önü geometrisinin ideal geometriden sapmasının belirlenmesi.

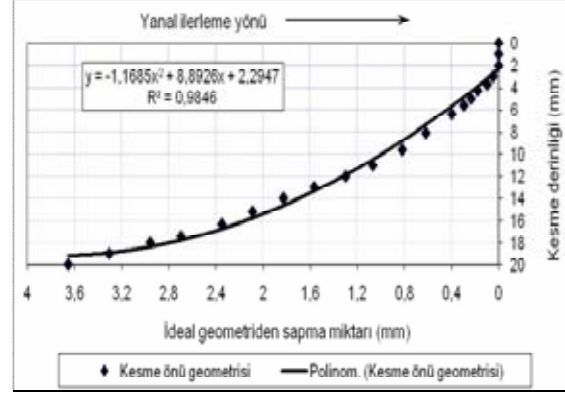
Grafikler ve kesme önü geometrisini karakterize eden eşitlikler, aşındırıcılı su jeti ile kesme sırasında ideal geometriden sapmayla oluşan kesme önü geometrisinin 2. dereceden bir polinomla parabolik bir fonksiyon olarak karakterize edebileceğini göstermektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'de AISI 1030 malzemenin kesilmesi ile oluşan kesme önü geometrileri grafikleri verilmiştir.

İncelenen numunelerin tamamında belirtme katsayısı $R^2 = 0,99$ olmuştur. Bu durum, literatürdeki kesme önu geometrisini karakterize eden çalışmalarla (Hashish, 1991), büyük bir uyum sergilemekte olup, belirtme katsayıları ile kesme önu geometrisinin bir parabolik eğrileriyle çakıştığı gözlenmiştir. Bu

sayede eğri benzetme katsayıları ve belirtme katsayıları belirlenen bu izlerin basit bir fonksiyon cinsinden karakterize edilebileceği görölmektedir. Elde edilen bu veriler yardımıyla kesme önu geometrisi, matematiksel olarak, parabolik bir fonksiyonla modellenenmektedir



Şekil 7. 10 mm. kalınlığındaki numunelerde kesme önu geometrisinin değişimi.



Şekil 8. 20 mm. kalınlığındaki numunelerde kesme önu geometrisinin değişimi.

Bu çalışmada, yaygın kullanılan end üstriyel malzemeler için tespit edilen bu fonksiyonlara ait eğri benzetme katsayıları, talaş kaldırma oranı "m" ve yanall hız "v" ye bağlı olarak modellenen bölgesel kesme veriminin belirlenmesinde kullanılabilir özelliktedir. Aşındırıcılı su jeti ile işlemede kesme verimini, su jeti iş parçasını terk ederken oluşturduğu çizgisel

izlerin eğim açısına ($\cos \alpha = m/v$) bağlayan bu modelin (Zeng v.d., 1991) geçerliliği baz alındığında, bu çıkış açısının izlenmesi ve sisteme bir geri besleme sinyali olarak kullanılması halinde kesme derinliğine bağlı olarak istenen yüzey kalitesini sağlayacak parametrelerin hassas bir şekilde ayarlanabilmesi mümkün olacaktır.

Tablo 4. Kesme önünü karakterize eden 2. derece polinom denklemleri ve belirtme katsayıları.

Malzeme	Kalınlık (mm)	Yanal İlerleme Hız (mm/dak)	Eşitlik*	Belirtme Katsayısı (R^2)
AIŞI 1030 elik	10	70	$y = -6,9517x^2 - 16,067x + 0,814$	0,9891
	20	40	$y = -1,1685x^2 + 8,8926x + 2,2947$	0,9846
x= kesme derinliği (mm) y= ideal geometriden sapmayı belirleyen mesafe (mm)				

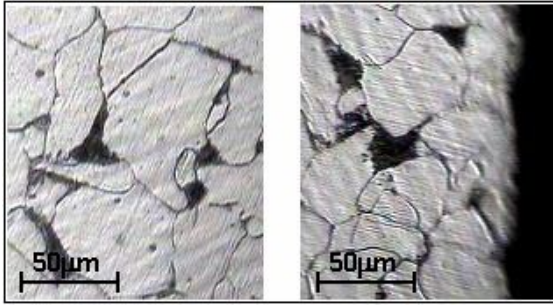
10 ve 20 mm kalınlığındaki numunelere ait eşitlikler dikkate alındığında, kalınlıktaki artışa bağlı olarak eğri benzetme katsayılarının değiştiği ve dolayısıyla jet çıkış açısının değişeceği söylenebilir. Bu modellerden faydalanarak belirlenebilecek jet çıkış açısı, özellikle kaba kesme uygulamalarında yanall hızı maksimize etmek için kullanılabilir özelliktedir. Aynı şekilde, basit bir fonksiyon cinsinden karakterize edilen eğriler, enerji

kayıbı olmadan oluştuğu kabul edilen ideal kesme geometrisinden saptmaya bağlı olarak ortaya çıkan kesilmeyen alan "A₀" ın belirlenebilmesine ve böylece enerji kayıplarının da, kesme derinliğine bağlı olarak açıklanabilmesine imkân sağlayacaktır (Momber, 1995). Ortalama yüzey pürüzlülüğünü parabolik olarak karakterize eden bu eşitliklerin, kesme önu geometrisini karakterize eden eğri

denklemleri ile benzerliği, yüzey pürüzlülük özelliklerinin kesme önü geometrisinin belirlenmesinde rol oynayan enerji kayıplarının bir fonksiyonu olarak karakterize edebileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Pirinç malzemenin aşındırıcılı su jeti ile kesme öncesi ile sonrası sertlik değişimleri.

Sertlik	AISI 1030 Çelik
Çekirdek	173 HV ₃₀
Kesilen Yüzey Sertliği	171 HV ₃₀



a) İşlem görmemiş. b) ASJ ile kesilmiş.

Şekil 11. AISI 1030 malzemenin ve kesilen kenarın mikro yapısı (Akkurt, 2002).

Malzemenin işlemsiz mikro yapısı ve kesik kenar mikroyapıları karşılaştırıldıklarında kesme sonrası belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir. Malzemenin sertliği, kesme işlemi sonrasında çok küçük bir oranda azalmış olup, literatürdeki diğer kesme yöntemleri ile karşılaştırıldıklarında bu kaybın yok denecek kadar sınırlı olduğu görülmektedir (Akkurt, 2002).

4. SONUÇLAR

Aşındırıcılı su jeti ile kesme yönteminin bir değerlendirmesini amaçlayan bu çalışmada, endüstriyel mühendislik malzemelerinden AISI 1030 malzemesi farklı kalınlıkları üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Kesilen yüzeylerde, jet huzmesinin ilk temas ettiği üst bölgede daha iyi yüzey özellikleri elde edilirken, kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak, alt bölgede paralel çizgiler biçiminde oluşan eğrisel izler meydana gelerek yüzey özellikleri bozulmaktadır. Bu özellikleri sergileyen aşındırıcılı su jeti ile kesilmiş bir yüzeyin kalitesi, alt kısımda oluşan bu çizgili ve dalgalı yüzey özelliklerine göre belirlenmelidir. Aşındırıcılı su jeti ile işlemede kabul

edilebilir yüzey kalitesinin elde edilebilmesi aşındırıcılı su jeti işleminin kontrol edilebilirliğine bağlıdır. Kesilen yüzeydeki eğrisel ve çizgisel izler doğrudan doğruya jet huzmesi enerjisindeki kayıplarıyla ilişkilidir.

5 mm kalınlığındaki numunelerde elde edilen yüzey özellikleri, diğer kalınlıklardaki numunelere göre önemli ölçüde kötüdür. Bu durum, belli bir kalınlığın altındaki malzemelerde yüksek deformasyon şiddeti ile artan büyük kesme kuvvetlerinin olumsuz etkilerine atfedilebilir. Bu şekilde literatürde aşındırıcılı su jeti ile kesmede, 10 mm olarak tavsiye edilen alt sınırın, özellikle; AISI 1030 malzemeler için de geçerli olduğu doğrulanmıştır.

Tavsiye edilen hızlarda ve 20 mm/dak'lık ortak hızda kesilen numunelerin yüzey özellikleri değerlendirildiğinde işleme parametrelerinden yanal hızın, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Kesme kalınlığına bağlı olarak, tezgah yazılımı tarafından önerilen yanal ilerleme hızları dikkate alınarak yapılan kesme işlemlerinin sonuçlarını gösteren grafikler değerlendirildiğinde, artan kalınlık değerleri için elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerindeki tutarlılık, zaman ve maliyet göz önüne alındığında seçilen hızların geçerliliğini göstermektedir. Bu durum yeni teknoloji ürünü sayılabilecek aşındırıcılı su jeti ile kesmede, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmaların, bu tür kesim tezgahı üretimi yapan imalatçılar tarafından dikkate alındığını göstermektedir.

Aşındırıcılı su jeti ile kesilen yüzeylerin karakteristik özelliği olarak karşımıza çıkan eğrisel-çizgisel izleri, kesme derinliğine bağlı olarak karakterize etmek ve bu izlerin geometrisine bağlı olarak, kesme veriminin düşmesine sebep olan enerji kayıpları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada da, deneysel bulgular, ideal kesme geometrisinden sapmayla oluşan kesme önü geometrisinin, kesilen malzeme kalınlığına bağlı olarak meydana gelen enerji kayıpları ile açıklanabileceğini göstermektedir. Aşındırıcılı su jeti ile kesmede, yüksek ısı oluşmaması ve ani soğumaların meydana gelmemesi kesilen bölgede mikro yapının bozulmamasındaki temel sebeptir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma ASSAB-Korkmaz Çelik Ticaret ve Sanayi A.S. tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

Akkurt, A. 2005. "Ticari saf alüminyum ve Al-6061 alüminyum alaşımı malzemelerin aşındırıcı su jeti ile kesilmesi uygulamalarında kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi". **G.Ü., Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi**. Cilt: 8, Sayı: 1, s. 69-79, Ankara.

Akkurt, A. 2002. "Çeşitli malzemelerin aşındırıcı su jeti ile kesilmesinde yüzey özellikleri, sertlik ve mikro yapı değişimlerinin farklı kesme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmesi", Doktora Tezi. **G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara.

Akkurt, A. Şeker, U. Ercan, F. 2002. "Aşındırıcılı su jeti (ASJ) ile işlemede enerji kaybı olayının deneysel tahmini, karakterizasyonu ve modellemesi-yapılan çalışmaların değerlendirilmesi". **G.Ü., Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi**. Cilt: 5 Sayı: 2, pp. 137-147, Ankara.

Blickwedel, H. 1990. "Erzeugung und wirkung von hochdruck-abrasivstrahlen", **Dissertation, in: Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2; Fertigungstechnik, Nr. 206, VDI University Hannover, Verlag**.

Blickwedel, H., Guo, N. S., Haferkamp, H., Louis, H. 1990. "Prediction of abrasive jet cutting performance and quality", **Proceedings of 9th International Symposium on Jet Cutting Technology**. pp. 163-179, BHRA, Fluid Engineering Centre, Cranfield, UK.

Engel, S.L., Labus, T.J. 1993. "Industrial applications and comparison of lazer and abrasive waterjet technologies", **Fluid Jet Technology- Fundamentals and Applications**. 2nd Ed., ISBN 1-880342-01-4, Publ. by the WJTA, St. Louis, MO, USA.

Fukunishi, Y., Kobayashi, R., Uchida, K. 1995. "Numerical simulation of striation on water jet cutting surface", **Proc. of 8th American Water Jet Conference**, pp. 157-169, Houston, USA.

Guo, N. S., Louis, H., Meier, G. 1992. "Recycling capability of abrasive water jet cutting" In: **Lichterowicz A(1992) jet Cutting Technol.**, Kluwer Acad, Publ., Dordrecht. pp. 503-523.

Hashish, M. 1982. "Steel cutting with abrasive water jets", **Proceedings of 6th International Symposium on Jet Cutting Technology**, Paper K3, University of Surrey, UK.

Hashish, M. 1984. "A Modeling study of metal cutting with abrasive waterjets", **ASME Journal of Engineering Materials and Technology**. Vol, 106, No. 1, pp. 88-100.

Hashish, M. 1987. "Prediction of depth of cut in abrasive waterjet (ASJ) machining", **Modeling of Materials Processing**, Ed. A.A. Tseng; ASME, MD. Vol. 3.

Hashish, M. 1988. "Applications of metal cutting with abrasive-waterjets", **Proceedings: Conference of Nontraditional Machining**. pp. 1-11.

Hashish, M. 1989. "Characteristics of surfaces machined with abrasive waterjets machining characteristics of advanced materials", **Winter Annual Meeting of ASME**, pp. 23-32, San Francisco, USA.

Hashish, M. 1991. "Characteristics of surfaces machined with abrasive waterjet", **J.of Eng. Mat. And Tech.**, Vol. 113, pp.354-362.

Hashish, M. 1993a. "Prediction models for ASJ machining operations", **7th American Water Jet Conference**, pp. 205-216, Seattle, USA.

Hashish, M. 1993b. "The effect of beam angle in abrasive waterjet machining", **Journal of Engineering for Industry**. Vol. 115, pp. 51-56.

Hutchings, I. M. 1979. "Mechanical and metallurgical aspects of the erosion of metals",. In: Levy A V (ed) 1979 **Proc. Corrsion/Erosion of Coal Convers. Syst. Mat. Conf.**, pp. 393-428, Houston.

Juo, N. S., Louis, H., Meier, G. 1993. "Surface structure and kerf geometry in abrasive water jet cutting: formation and optimization", **Proceedings of the 7th American Waterjet Conference**, Seattle WA, USA. pp. 1-26.

Kovacevic, R. 1991. "Surface texture in abrasive waterjet cutting", **Journal of Manufacturing Systems**, Vol. 10, No : 1, pp. 32-40.

Kovacevic, R., Mohan, D.I., Zhang, Y.M. 1995. "Cutting force dynamics as a tool for surface profile monitoring in ASJ", **Journal of Engineering for Industry**, Vol. 117, pp. 340-350.

Momber, A. 1995. "A simplified mathematical energy dissipation model for water jet and abrasive water jet cutting processes", **8th Amer. Water Jet Conference**, pp. 829- 843, August 26-29, Houston.

Momber, A.W., Kovacevic, R., 1988, "Principles of ASJ machining", **Springer-Verlag** London Limited, pp. 284 -324 UK.

Momber, A.W., Kovacevic, R. 1988. "Principles of ASJ machining", **Springer-Verlag** London Limited, pp. 284 -324 UK.

Momber. A. W., Kovacevic, R., Kwak, R., Mohan. R. 1995. "Experimental estimation of energy dissipative processes in workpieces during abrasive water jet cutting", **8th American Water Jet Conference**, August 26-29. Houston, Texas.

Momber, A. 1994. "Schneidversuche an stahlbeton mit dem abrasiv-druckwasserstrahlen", **On und Stahlbetonbau**, Vol. 89. pp.132-134.

Mozurkiwicz, M., Fincuan, L., Ferguson, R. 1988. Investigation of abrasive cutting head internal parameters , In.: Woods P A (Ed) 1988 Proc. 9 th. Int. Symp. **Jet Cutting Techn**, **BHRA Fluid Engng** Cranfield.

Niu, M., Fukunishi, Y., Sawamura T. 1996. "Control of striated roughness on the surface cut by abrasive water jet", **BHR Group Jetting Technology**. pp. 769-777. Ishinomaki Senshu University. Japan.

Ohlsson, L. 1995. "The theory and practice of abrasive water jet cutting", PhD Thesis, **Lulea University of Technology**. pp, 81-93, Sweden.

Ohlsson, L., Powell, J., Magnusson, C. 1994. "Mechanisms of striation formation in abrasive

waterjet cutting", **Proceedings of the 12th. Int. Conf. Or Jet Cutting Technology**. pp. 151-164, France.

Öjmertz, C. 1997. "A Study on abrasive waterjet milling", **Department of Production Engineering**, Thesis for Degree of Doctor of Philosophy, March-Sweden.

Raju, S. P., Ramulu, M. 1994. "Predicting hydro-abrasive erosive wear during abrasive water jet cutting", **ASME, Manufacturing Science and Engineering**. pp. 339-351, New York.

Singh, P. L., Chen, W.L., Munoz, I. 1991. "Comprehensive evaluation of abrasive waterjet cut surface quality", **6th American Water Jet Conference**. pp. 139-161, Houston, USA.

Tan, D. K. M. 1986. "A model for the surface finish in abrasive waterjet cutting", **Proceedings of 8th International Symposium on Jet Cutting Technology**. pp. 31-38, England.

Zaring, K. 1989. "Advanced abrasive-waterjet hardware and cutting performance", **Proceedings of the 5th American Water Jet Conference**, August 29-31. pp. 473-481. Toronto, Canada.

Zeng, J., Hines. R., Kim. T. J. 1991. "Characterization of energy dissipation Pphenomena in abrasive water jet cutting", Proceeding of the 6th American Water Jet Conference. pp. 163-177, Water Jet Technology Association, St. Louis.