

ENDÜSTRİDE AŞINDIRICILI SU JETİ TASARIMLARI

Osman YAZICIOĞLU, Senai YALÇINKAYA *

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü

Bu makalede aşındırıcı su jeti (ASJ) sisteminin çalışma ilkesi, endüstride uygulanması ve diğer üretim yöntemleri ile karşılaştırılması sunulmaktadır. Aşındırıcı Su Jeti imalat endüstrilerinde delme ve kesme gibi işlemler için tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Tipik değerler olarak, 300-700 m/s lüde su jeti hızı, az karbonlu 12 mm kalınlıktaki çelik için 150-200 mm/dak kesme hızı ve 2 µm den büyük yüzey pürüzlüğü verilebilir. ASJ için kesme hızı plazmadan düşük fakat tel elektro erozyondan yüksektir. Kesme sırasında yüksek sıcaklık oluşmadığından ısıl çarpılma ve kısmi yapısal değişiklik gibi riskler söz konusu değildir.

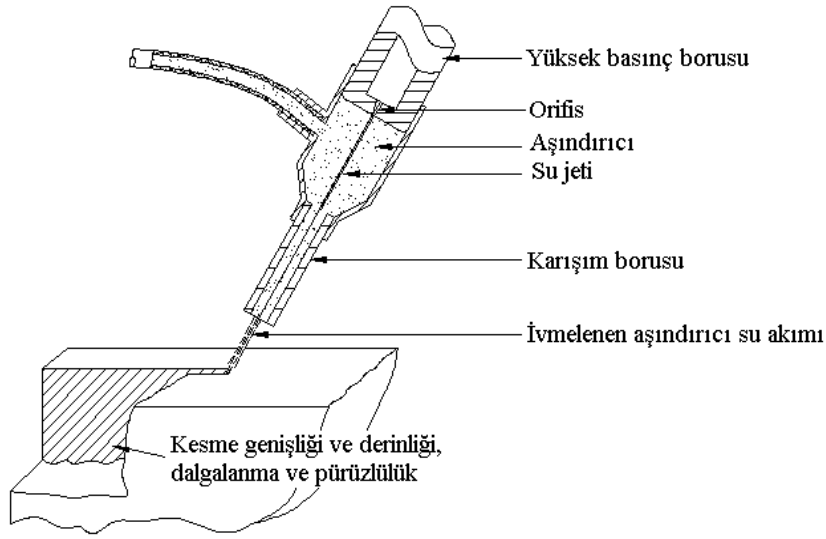
Anahtar sözcükler : Aşındırıcı su jeti, metal kesme

This paper presents working principle, industrial application and comparative studies of the abrasive water jet (AWJ) system with the other manufacturing processes. AWJ system has been designed for and applied to some operations such as drilling and cutting in manufacturing industries method. AWJ is commonly formed by mixing abrasive particles with high velocity water jets in mixing tubes. Typical length to diameter ratio of the mixing tubes is 50 to 100, and water jet velocities are 300 to 700 m/s, and cutting speeds for 12 mm thick mild steel are 150 to 200 mm/min and average roughness is greater than 2 µm. Generally, AWJ is slower than plasma cutting but faster than wire electro discharge machining. Because it cuts without heat generation, there is no risk of thermal distortion and localized structural changes.

Keywords: Abrasive water jet (AWJ), metal cutting

GİRİŞ

Genel olarak su jeti (SJ), kesme ve delme işlemlerinin yapılmasını sağlamaktadır. Su jetine aşındırıcı katıldığında daha sert parçaların da kesilmesi mümkün olmakta ve bu yöntem aşındırıcı su jeti (ASJ) olarak bilinmektedir. Su jeti kesme kuvvetlerini azaltmakta ve ısınmayı yok etmektedir. İşleme esnasında parçaya temas olmadığından takım aşınması söz konusu değildir.



Şekil 1. Aşındırıcı Beslemesi Yandan Olan Tekli Su Jeti Lüle Tasarımı

Sistemde kullanılan temel elemanlardan filtre, suyu temizler ve sistemin ömrünü uzatır. Kompresör, yüksek basınçta su sağlar. Borular ve bağlantı elemanları basınçlı suyun taşınması için kullanılır. Aşındırıcı silosu, aşındırıcı sağlar. Orifis, karışım odası ve lüle aşındırıcı ile suyun karıştırılmasını temin eder. Kesme lülesi, jetin yönlendirilmesini sağlar. Sayısal denetimli eksenler kesme kafasının konumlanması ile görevlidir. Tutucu eleman ise harcanan jetin yakalanması için kullanılır. Uygulamada sistemin optimum koşullarda çalışması için hazırlanan yazılımlar kullanılmaktadır. ASJ yöntemi teknik, güvenlik, ekonomi ve çevre yönleriyle üstünlükler sağlamaktadır.

ÇALIŞMA İLKESİ

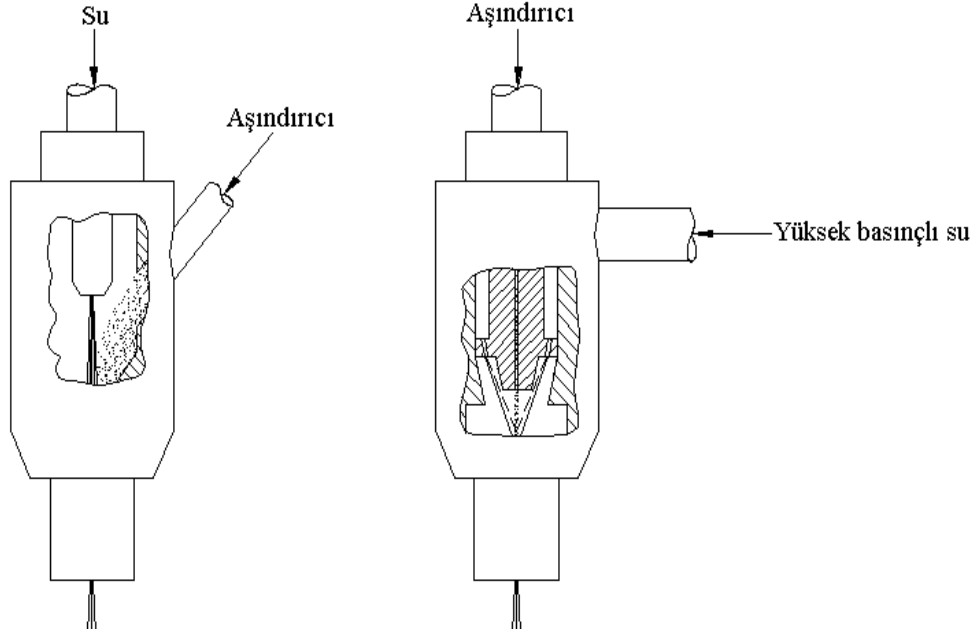
ASJ sisteminin kalbi Şekil 1'de verilen çok küçük aşındırıcı su jeti lülesidir. Basınçlı su safir bir lüleden, yüksek hızlı jet olarak çıkar. Su jeti ve katı aşındırıcı parçacıklar akımı ayrı bir besleme kanalından özel şekillendirilmiş aşındırıcı jet lülesine girer. Burada su jeti momentumunun bir kısmı aşındırıcı parçacıklara geçer ve aşındırıcıların hızı çabucak artar. Aşındırıcı parçacıkların ivmelenmesi için harcanan enerjinin su jetine verilen toplam enerjinin sadece %0.3 kadarı olduğu bilinmektedir [7].

Su jeti ile aşındırıcı parçacıklar arasındaki momentum geçişi karmaşık bir olaydır. Mekanizmalardan biri basınçlı su jetinin sınırlı dinamik kararlılığı ile ilgilidir. Su jeti damlalar halinde kırılarak katı parçacıkları ivmelenendirir. İkinci bir mekanizma su fazının katı parçacıklara gösterdiği sürüklenme kuvvetleri ile ilgilidir.

Su ve aşındırıcı arasında momentum geçişinin sonucunda lülede yüksek hızlı aşındırıcı akışı oluşur ve böylece kesme veya delme işlemi gerçekleştirilir. Hızlı değişen gerilme alanlarının veya kesilen malzemenin özelliklerine bağlı mikro işlem etkilerinin etkisi altında erozyon, kayma ve kırılma sonucu kesme meydana gelir. Kesme hızı besleme hızı, parçadan uzaklık, su jeti basıncı veya

aşındırıcı parametreleri ayarlanarak denetlenir. Lüleler Şekil 2'deki gibi tekli veya çoklu su jetleri için de tasarlanabilir [6-7-10-11].

Bor karbür (B_4C) iyi bir aşındırıcıdır ancak pahalıdır. Silisyum karbür (SiC) ve korund (Al_2O_3) diğer aşındırıcılardandır. Akışkan olarak sudan başka benzen, gliserin ve mineral yağlar da kullanılabilir.



Şekil 2. Aşındırıcı Beslemesi Yandan Olan Tekli ve Merkezden Olan Çoklu Su Jeti Tasarımları

SİSTEMİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

ABD endüstrisinde en büyük su jeti ile işleme kapasitesine sahip LAI şirketi bünyesinde 18 adet su jeti istasyonu bulunmakta ve 1100 çeşit su jeti uygulaması yapılmaktadır [15].

Aşındırıcılı su jeti ile metal kesmede yüksek su basınçları kullanıldığında maliyet düşmektedir. Ancak aşınma nedeniyle lüle ömrü kısalmaktadır. Bu yöntem, alışılmış talaşlı üretimdekine göre daha karmaşık olan erozyon kavramına dayanmaktadır. Kesme derinliği belirli bir basınçtan sonra lineer değişmektedir [8-9-22-24].

Tipik bir ASJ sisteminin fiyatı 100 000 \$ dolar civarındadır. ABD'de Dia Jet Limited tarafından piyasaya sürülen bir ASJ sisteminde su basıncı 69 MPa, su debisi 16 L/min, kesme tablası tam otomatik ve 3x1.5m boyutlarında, PC Burny 10 ve Windows NT esaslı PC denetimli olarak verilmektedir[4]. Sistemin özelliklerine göre fiyat değişmektedir. Özellikle üç boyutlu işleme yapabilen tablanın değişmesini gerektirmeyen sistemler özel amaçlarla çalışmada kolaylık

sağlamaktadır. Amaca uygun çalışma için yeterli sistemlerin seçilmesi gereği açıktır. Kullanım ihtimali düşük ise daha karmaşık bir sistemin seçilmesi gereksiz olarak maliyeti artıracaktır.

Yüksek pompa basınçları uygulamada sorun çıkarmaktadır. Basınç 200 MPa olduğunda yüksek basınçlı contalarda 700-800 saat ömür elde edilebilmektedir. Basıncın 380 MPa değerine yükselmesi conta ömrünü 150-200 saate düşürmektedir [12].

Döküm için yüksek gürültü seviyesi 80-100 dBA ortaya çıkmaktadır. Deere firması mühendislerinden David Malm böyle durumlarda işitme duyusunu koruyucu ekipman giyilmesi gerektiğini belirtmektedir [16].

ASJ sisteminde, üretilen tasarım verileri CADAM veya CATIA bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak değerlendirilmekte ve DNC (doğrudan sayısal denetim) cihazına ve sonra da hücre denetçisine girilmektedir [13].

Bilgisayar yazılımları, kesme hızı ve çalışma maliyetini 20 ye kadar parametrenin fonksiyonu olarak çubuk grafikler ile verebilmektedir. Böylece belirli bir malzeme ve parça kalınlığı için çeşitli parametrelerin sistemin başarısını nasıl etkilediğini kullanıcının görmesi sağlanmaktadır. Toplam maliyeti, elektrik gücü, işçilik, su, aşındırıcı, orifis ve tüp aşınması ve pompa bakımı oluşturmaktadır. Böyle bir yazılımın fiyatı 900 \$ kadardır [1].

Kesme işleminde kullanılan basınçlı su jetinin önemli üstünlüklerinden biri yüksek işleme hızıdır. Beş eksenli uygulanan basınçlı su jeti çok yüksek esneklik sağlamaktadır. Ayrıca takım masraflarını azaltmakta ve çok adımlı işlemlerde yeniden konumlama ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Beş eksenli olmayan düz su jeti makinalarında bazı parçaların işlenmesi mümkün değildir. Tek parça alüminyumdan helikopter rotor parçaları beş eksenli makinalarda işlenebilmektedir. Nükleer pompa ve jeneratörler için pervane vanaları gibi üç boyutlu işleme gerektiren elemanlar da imal edilebilmektedir. Petrol kuyusu sondajı, aydınlatma ve kağıt sanayiinde kullanılan boru, tüp ve bilezik gibi eğri yüzeyler üzerinde özel açılı kanal ve deliklerin açılması da mümkün olmaktadır. ASJ ile plastik kompozitler dahil pek çok parça kesilebilmektedir. Alüminyum, çelik ve titanyum için kesme kalınlığı 450 mm ye kadar çıkmaktadır. Hareket denetimli makinalarda programlanan yörüngelerle konum toleransı 625 mm kadar olabilmektedir. Esasen ısı üretilmediği ve temas olmadığı için çok ince parçalarda bile çarpılma oluşmamaktadır.

Basınçlı su jeti ile belirli kalınlıktaki parçaların kesilmesinde parametrelerin seçimi için bulanık mantık ve genetik yaklaşımların birlikte kullanıldığı yeni bir yaklaşım Chakravarthy ve Babu tarafından teklif edilmektedir. Böylece optimum çalışma parametreleri, su jeti basıncı ve aşındırıcı debisi gibi belirlenebilmektedir [2-3]. Süreç kontrolü ve süreç modelleme tanımlanmakta ve kalite ve güvenirliliğin iyileştirilmesi araştırılmaktadır [21].

Sert kayaların delinmesi Kolle (1998:90-94) [14] ve kesilmesi Xiaohong, Jiansheng , Yiyu, Lin, Huiming ve Jiajun (2000:1143-1148) [23] tarafından incelenmektedir.

SU JETİNİN UYGULANDIĞI MALZEMELER

Su jetinin aşındırıcılığı veya sade olarak uygulandığı malzeme çeşitlerinde artış olduğu gözlenmektedir. Hızı 760 m/s'ye ulaşan su jeti, sunta ve mantar gibi birçok malzemeyi kesebilmektedir. Aşındırıcılığı su jeti ise çelik ve titanyum gibi sert malzemelerin kesilmesinde kullanılmaktadır[5]. Tablo 1'de aşındırıcı kullanılmasına göre su jeti ile işlenebilen malzemelerin bir listesi verilmektedir.

Tablo 1. Aşındırıcı Kullanılma Durumuna Göre Su Jeti İle İşlenebilen Malzemeler

Su jeti ile işlenebilen malzemeler	Aşındırıcılığı su jeti ile işlenebilen malzemeler
Dondurulmuş gıdalar	Alüminyum
Halı	Bakır
İnce levha	Cam
İnce mum	Cam takviyeli poliüretan
Kağıt	Garolit/G10/FR4
Köpük	Granit
Mantar	Karbon elyafı
Plastik film	Kompozitler
Sunta	Mermer
Yumuşak conta malzemesi	Naylon
Yumuşak kauçuk	Paslanmaz çelik (SAE 304-316)
Yumuşak poliüretan	Pirinç
Yumuşak veya ince ahşap	Pleksiglas
	Polikarbonat
	Poliüretan
	Seramik
	Sert kauçuk
	Sert veya kalın ahşap
	Takım çelikleri
	Taş
	Titanyum
	Yumuşak çelik

SU JETİNİN DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Su jeti ile yapılan işlemlerde en temel özellik ısıl gerilmelerin ortaya çıkmamasıdır. Böylece çarpılmalar önlenmekte ve malzeme özellikleri korunabilmektedir. Ayrıca cam ve plastik gibi düşük sıcaklıklarda ergiyen malzemeler sorunsuz kesilebilmektedir. Endüstride makina parçaları için Bilgisayar Destekli Tasarım(CAD) yazılımları ile üretilen çizimler kullanılabilir ve kalıp, takım tertibatı veya CNC programlama gerekmemekte sonuç olarak su jeti yöntemi düşük maliyet sağlamaktadır.

İmal edilecek parça sayısında alt sınır yoktur. İlk maliyetin düşük olması, yüksek kaliteli ürünlerin bir adet bile olsa imalatını mümkün kılmaktadır.

Diğer yöntemlerde kalıp veya takım tertibat için belirli süre beklemek gerektiği halde su jeti ile üretimde çizimlerden hemen işe başlanılabilmektedir.

Kesme işleminde $\pm 0.1\text{mm}$ gibi yüksek hassasiyet elde edilebilmekte ve kesme yüzeyi ince kum püskürtülen yüzeyler gibi düzgün çıkabilmektedir. Hurda miktarını azaltmaktadır. Nükleer santral gibi yerlerde yangın tehlikesini ortadan kaldırdığından güvenlik sağlamaktadır. Zararlı gazlar, sıvılar veya yağlar gerekmediğinden çevreyi koruyucu özelliği bulunmaktadır.

Su jetinin laser ve tel erozyon gibi yöntemlerle parça maliyeti, hassasiyet, işe başlama durumu, malzeme kısıtı, çarpılma ve kesme yüzeyi yönlerinden karşılaştırılması Tablo 2'de verilmektedir [5-19].

Tablo 2. Su Jetinin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

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 malzemede 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

Tablo 2'de su jetinin, malzeme kısıtı ve çarpılma bakımından diğer tüm yöntemlerden daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Malzeme kısıtı bulunmaması değişik malzemeler için yatırım yapılması zorunluluğunu ortadan kaldırmakta ve kapasite kullanım oranını iyileştirmekte ve böylece su jeti yöntemine önemli üstünlük kazandırmaktadır. Çarpılma oluşmaması ise masraflı son işlemler yapılması gereğini ortadan kaldırmakta ve böylece zaman tasarrufu da sağlamaktadır. Kesme yüzeyinin durumu ise tel erozyon gibidir ve yine diğer yöntemlerden üstündür. Parça maliyeti yönünden ise plazma ve alevle kesmeden daha pahalı bulunmaktadır.

SONUÇ

Aşındırıcılı su jeti tasarımları, imalatta kullanılmaya başlandığı 1980'li yıllardan itibaren yapılan araştırmalarla yetenek ve hassasiyet yönünden sürekli bir iyileşme göstermektedir. ASJ ile plastik ve kompozit dahil hemen her malzeme kesilebilmekte ve düz veya açılı olarak delinebilmektedir. Tasarımdan üretime geçiş doğrudan yapılmakta ve bekleme gerekmemektedir. Kesme parametrelerinin optimizasyonu için geliştirilmiş yazılımlar bulunmaktadır. Yüksek basınç kesme kalitesini iyileştirmekte ancak lülelerin ömrünü kısaltmaktadır. ASJ nin endüstride maliyet ve kesme süresi yönünden tasarruf sağladığı belirtilebilir.

KAYNAKÇA

1. **Charlisle B.H.**, "Software Simplifies Abrasive Water-Jet Set-up", *Machine Design*, 64(3), 88-89, 1992.
2. **Chakravarthy P.S. & N.R. Babu.**, "New Approach for Selection of Optimal Process Parameters in Abrasive Water Jet Cutting", *Materials and Manufacturing Processes*, 14(4),581-600, 1999.
3. **Chakravarthy P.S. & N.R. Babu.**, "A Hybrid Approach for Selection of Optimal Process Parameters in Abrasive Water Jet Cutting", *Journal of Engineering Manufacture (Part B)*, 214(9),781-791, 2000.
4. **Dia Jet Ltd.**, "Dia Jet Water Jet System for Profiling and Machining", 2002.
5. **Gallagher Corporation.**, " WaterJet and Abrasive Water Jet", II 60031, 2002.
6. **Hashish M.**, "Cutting with Abrasive Waterjets", *Mechanical Engineering*, (3), 60-69, 1984.
7. **Hashish M.**, "Pressure Effects in Abrasive-Waterjet (AWJ) Machining", *Transactions ASME Journal of Engineering Materials and Technology*, 111(7), 221-228, 1989.
8. **Hashish M.**, "Comparative Evaluation of Abrasive Liquid Jet Machining Systems", *ASME Journal of Engineering for Industry*, 115(2), 44-50, 1993.
9. **Hashish M.**, "The Effect of Beam Angle in Abrasive-Waterjet Machining", *ASME Journal of Engineering for Industry*, 115(2), 51-56, 1993.
10. **Jack H.**, "Abrasive Jet Machining", 1999, Engineer on a Disk <http://www.eod.gvsu.edu>. [Accessed December 21,2000].
11. **Jack H.**, "Abrasive Jet Machining", 2000, <http://www.eod.gvsu.edu/~jackh/eod/manufact/abrasive/abrasive.html>. [Accessed December 21,2000].
12. **Jones S.L.**, "Abrasive Water-Jet Cutters Make Dent", *American Metal Market*, 92(12), 7-9, 1984.
13. **Jones S.L.**, "Abrasive water-jet computerized for precision", *Metalworking News*, 16(12), 10-11, 1989.
14. **Kolle J.J.**, "Water and Abrasive Jetting", and *Mechanical Techniques Expedite Hard Rock Drilling*, *Oil and Gas Journal*, 96(16), 90-94, 1998.
15. **Lai Co.**, "The LAI Difference", 2000, <http://www.abrasivewaterjet.com/about/why.html>. [Accessed December 21, 2000].
16. **Malm D.**, "Abrasive Water-Jet Cuts Metal Without Heat", *Tooling and Production*, 51(5), 64-66, 1985.
17. **Momber A.W., & R. Kovacevic.**, "An Energy Balance of High-Speed abrasive Water Jet Erosion", *Journal of Engineering Tribology(J)*, 213(6), 463-472, 1999.
18. **Momber A.W.**, " Kinetic Energy of Wear Particles Generated By Abrasive Water Jet Erosion", *Journal of Materials Processing Technology*, 83(3), 121-126, 1998.
19. **Momber A.W.**, "Principles of Abrasive Water Jet Machining", NewYork, Springer-Verlag, 1998.
20. **Momber A.W., R.S.Mohan., & R.Kovacevic.**, "Acoustic Emission Study of Cutting Bauxite Refractory Ceramics by Abrasive Water Jets", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 8(4), 450-454, 1999.
21. **Westkaemper E., B. Gottwald & A. Henning.**, "Intelligent Means of Process Control During The High Pressure Water Jet Cutting", *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 4, 2361-2365, 1998.
22. **Wilkins R.J. & E.E.Graham.**, "An Erosion Model for Waterjet Cutting, *ASME Journal of Engineering for Industry*", 115(2), 57-61, 1993.
23. **Xiaohong L., W. Jiansheng., L. Yiyu., Y. Lin., K. Huiming & S. Jiajun.**, "Experimental Investigation of Hard Rock Cutting With Collimated Abrasive Water Jets", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37(7), 1143-1148, 2000.
24. **Yazıcıoğlu O., M. Kurt ve U.Y. Çetinkaya.**, "Sert Parçaların Kesilmesinde Basıncılı Su Jetinin Uygulanması", 6. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, c.1, 249-258, 1993.
25. **Ye J. & R. Kovacevic.**, "Turbulent Solid-Liquid Flow Through the Nozzle of Premixed Abrasive Water Jet Cutting Systems", *Journal of Engineering Manufacture*, 213(1), 59-67, 1999.