

Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Latif ÖZLER, Nihat TOSUN, Ali İNAN
*Fırat Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü,
Elazığ-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 13.05.1999

Özet

Bu çalışmada, östenitik manganlı çeliğin torna tezgahında sıcak talaşlı işlenmesi için likit petrol gazı alevi ile ısıtma yöntemi kullanarak iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğü araştırıldı. İlk olarak; kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve ısıtma sıcaklığı gibi belirlenen farklı kesme şartları altında iş parçasının yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek, yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki ilişki tespit edildi. Daha sonra faktöriyel regresyon analiz yönteminden yararlanılarak deneysel planlama yapıldı ve yüzey pürüzlülük denklemi elde edildi.

Anahtar Sözcükler: Sıcak Talaşlı İşleme, Yüzey Pürüzlülüğü, Östenitik Manganlı Çelik.

Investigation of Surface Roughness of Austenitic Manganese Steel in Hot Machining

Abstract

In this study, surface roughness of austenitic manganese steel was investigated in hot machining by heating with a liquid petroleum gas flame in a lathe machine. First, the value of surface roughness was measured under cutting conditions that varied in terms of cutting speed, feed, cutting depth and heating temperature. The relationship between surface roughness and cutting conditions was determined. Later, an experimental design was made and a surface roughness equation was obtained by factorial regression analysis.

Key Words: Hot machining, surface roughness, austenitic manganese steel.

Giriş

Talaşlı üretim yapılan fabrika ve atölyelerde üretimin ana hedeflerden biri malzemenin en ekonomik yolla üretimidir. Uygun olmayan bir seçim, maliyetin artmasına ve imalat kalitesinin düşmesine neden olur. Metallerin işlenebilme ka-

biliyeti talaşlı imalata uygulanabilme kabiliyetinin bir belirtisidir. Nükleer ve uzay endüstrilerinde yaygın kullanılan yüksek çekme mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeler, genellikle zor

işlenebilmektedirler. Zor işlenen malzemelerden biri de östenitik manganlı çeliklerdir. Bilindiği gibi bu tip malzemelerin talaşlı işlenebilmesi için, kesici malzemesinin iş parçası malzemesinden daha sert olmasını gerekir. Kesici takımı değiştirme ve bileme maliyetinin yüksek olması da, farklı yöntemlerin kullanılmasına sebep olmaktadır. Kitagawaya göre (1988), kesici malzemesinin kalitesinin artırılması yerine, ilave yöntemlerle iş parçasını yumuşatarak işleme etkili bir yöntemdir. Sıcak talaşlı imalat da bu yöntemlerden biridir.

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini kolaylaştırmak için iş parçasını ısıtma yöntemi yeni bir yöntem değildir. 1941 yılında sıcak çelik kütükler Almanya'daki Krupp çelik fabrikalarında testere ile kesilmiş, daha sonraları iş parçasını indüksiyonla ısıtma yöntemi için bir patent çıkartılmıştır (U.S.Patent No: 2412797). 1949-1955 yılları arasında S816 alaşımı, inconel X, Timken 16-25-6 ve krom-nikel çeliği gibi malzemeler üzerine yapılan bir kaç sıcak talaşlı imalat araştırması mevcuttur (Tour ve Fletcher,1949).

İşlenecek metallerin ideal bir durumda ısıtılmasını sağlamak için kullanılacak olan ısıtma yönteminin en iyi şekilde seçilmesi gerekir. Hatalı ısıtma yönteminin seçimi, malzemede istenmeyen yapı değişikliklerine neden olabileceği gibi, maliyetin artmasına da sebep olabilir. Araştırmalarda iş parçasını ısıtmak için kullanılan bir çok yöntem vardır. Bu yöntemlerden literatürde en yaygın olanları elektrik akımı ve plazma arkı yardımıyla iş parçasını ısıtma yöntemleridir. Bununla beraber son yıllarda farklı ısıtma yöntemleri de kullanılarak sıcak talaşlı imalat çalışmaları yapılmıştır (Mucherjee, 1974; Akasawa, 1977; Gratcos, 1993). Larin ve Martynow (1966), ısıtma yöntemlerini ayrıntılı bir şekilde ele almış, kullanılacak olan yöntemin üstünlük ve zayıflıklarını açıklamışlardır. Kitagawa ve Meakawa (1990), yaptığı çalışmalarında, plazma arkı ile ısıtma yöntemi kullanarak K10 tipi karbür kesicilerle alüminyum oksit, pirex, mulite, zirkon ve silikon nitrat gibi mühendislik seramikleri ve ateşe dayanıklı cam malzemeleri işlemişler ve kesme kuvvetleri ile yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Mucherjee ve Basu (1974), Cr-Ni çeliğini oksit-asetilen aleviyle ısıtarak işlemişler ve değişik kesme şartlarında takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü araştırılmış, ayrıca regresyon analiz yöntemi yardımı ile takım ömrü denklemi ve yüzey pürüzlülük denklemi elde edilmiştir. Oksit-asetilen alevi kullanılarak sıcak talaşlı işleme ile ilgili yapılan

başka bir çalışmada, karbon çeliklerinin işlenmesidir (Akasawa, 1977). Kitagawa vd (1988) , % 2,25 Cr'lu kokil döküm ve %18 Mn'lı aşınmaya dirençli malzemeleri deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmada; ısıtma yöntemi olarak plazma arkı tercih edilmiş ve çalışmada argon gazı kullanılarak takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir.

Altan (1990), çalışmasında yüksek manganlı çeliği (DIN 1.3401) K10 tipi karbür kesici kullanarak değişik kesme şartlarında elektrik direnci ile ısıtarak işlemiş ve negatif ve pozitif talaş açılı kesicilerin iş parçasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir.

Malzemelerin sıcak talaşlı işlenmesinde yeni bir parametre olan sıcaklık; kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği gibi kesme şartları üzerinde çok fazla etkilidir. Bu nedenle, geleneksel talaşlı işleme parametrelerine sıcaklığın tesiri ilave edilmelidir. Mucherjee ve Basu (1974), yapmış oldukları sıcak talaşlı imalat çalışmalarında, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki ilişkiyi belirlemek için faktöriyel regresyon analiz tekniğini kullanmışlardır. Bu tekniğin takım ömrünün ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılmasında rahatça kullanılabilceğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada, östenitik manganlı çeliğin torna tezgahında sıcak talaşlı işlenmesi için literatürde rastlanılmayan likit petrol gazı alevi ile ısıtma yöntemi kullanarak yüzey pürüzlülüğü araştırıldı. İlk olarak; kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve ısıtma sıcaklığı gibi belirlenen kesme şartları altında aşınma-zaman deneyleri yapıldı ve her deney sonrası iş parçasının yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek, yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki ilişki tespit edildi. Daha sonra faktöriyel regresyon analiz yönteminden yararlanarak, deneysel planlama yapıldı ve yüzey pürüzlülük denklemi elde edildi. Deneylerden elde edilen sonuçlar, yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi ile ilgili olarak yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldı.

Deney Düzenegi ve Çalışma Prensipleri

Bu çalışmada sanayide kullanımı kolay ve fazla yatırım masrafı gerektirmeyen alevli ısıtma yöntemi kullanılarak, talaşlı işleme verimliliğini belirlemek için östenitik manganlı çelik torna tezgahında işlendi ve kesme hızının, ilerlemenin, paso derinliğinin ve sıcaklığın yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırıldı.

Birçok endüstriyel alanlarda kullanılan östenitik manganlı çelikler; yüksek mukavemete, yüksek sünekliliğe ve yüksek aşınma ve darbe direncine

sahiptirler. Bu çeliklerin magnetik özellikleri yoktur. Üretim zorluğu nedeniyle çelik haddelerde üretimi pek istenmez. Bu malzemeler, iş sertleşmesi (pekleşme) özelliğine sahip olduğundan dolayı, çalışma esnasında aşınmaya karşı dirençlidirler. Talaşlı işlemede takım malzemeye temas ettiği anda işlenen yüzey sertleşir. Bu tip malzemeler sinterlenmiş karbür kesiciler ve kobaltlı hız çelikleri ile işlenebilirler. Bu çeliklerin frezeleme ile işlenmeleri pratik olarak pek tavsiye edilmezler. Talaşlı işleme 500-650°C civarında tekrar ısıtma işlemi ile kolaylaştırılabilir (Turhan,1994).

Numuneler:

Deneylerde kullanılan östenitik manganlı çelikler endüksiyon ocaklarında 70 mm çapında ve 700 mm boyunda döküldü ve 1100 °C de homojenleştirme ısıl işlemi yapıldı. Deney malzemesinin hazırlanmasında , ISO 3685-E de belirtilen çap ile boy oranının 1/10 olmasına dikkat edildi. Malzemenin kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir. Isıl işlem sonrası ise sertliği 243 HB’dir. Deneysel çalışmada kullanılacak östenitik manganlı çeliklere punta delikleri açılarak ayna ile punta arasında bağlandı.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan manganlı çeliğin kimyasal bileşimi.

Element	Mn	C	Si	Cr	P	Ni	Mo	V	S	Fe
%	16,49	1,283	0,719	0,073	0,058	0,05	0,025	0,02	0,010	81,29

Kesici Takım:

Yüksek manganlı çeliklerin işlenmesi için yapılan çalışmalarda M20 kalitesindeki kesiciler tavsiye edilmiştir (Ünüvar,1985; Altan ve Çakır, 1990). Bu nedenle bu çalışmada, ISO 1832’de verilen standart kesicilerden SCMT 120408 nolu kesici ve SSBCR 2020K12 nolu kater kullanıldı. Bu takımların kesme açıları aşağıda verilmiştir.

Serbest yüzey açısı (α) = 7° Eğim açısı (λ) = 0°
 Yanaşma açısı (χ) = 75° Uç açısı (ε) = 90°

Isıtma Yöntemi: İş parçasını ısıtmak için kullanılan birçok yöntem mevcut olup, bu çalışmada yakıcı gaz olarak evlerde kullanılan likit petrol gazı (%70 propan ve %30 bütan) ve oksijen gazı karışımı alevle ısıtma yöntemi kullanıldı. Isıtma yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Isıtma yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları.

Isıtma yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Fırın	Basit ve nispeten ucuzdur.	Soğuma işlemi sırasında çarpılır. Uzun işlemler için uygun değildir.
Alev	Çoklu alev teçhizatı ile daha büyük ısı girişleri sağlanabilir	Bölgesel ısıtma zordur, çalışan için tehlikelidir.
Ark	Yüksek ısı girişi elde edilebilir.	Isıtma çok düzenli değildir, çalışan için tehlikelidir.
Direnç	Kontrolü kolaydır, soğuma işlemi sırasında çarpılma olmaz.	Sıcaklık, iş parçasına herhangi bir hasara sebep vermeyecek kadar sınırlıdır.
Endüksiyon	Çok temiz ve güvenlidir, yüksek ısı girişi ile sıcaklık hızlı bir şekilde artar.	Donanım maliyeti yüksektir, karmaşık şekilli iş parçasına uygulamak zordur, iş parçası manyetik olmalıdır, ısı tesiri derinliği sınırlıdır.
Radyo-frekans	Isıtma küçük bir alan üzerinde yoğunlaşır, yüksek ısı girişi ile sıcaklık hızlı bir şekilde artar.	İş parçası manyetik özelliğe sahip olmalıdır, donanım maliyeti yüksektir.

Karışım debi ölçerle (Cole-Parmer marka H-03217-32 modeli) 110 ml/dak likit petrol gazı ile 30 ml/dak oksijen gazı miktarında tutuldu. Tüp çıkışındaki gaz basıncı ise basınç regülatörleri kul-

lanılarak ayarlandı. Oksijen gazının belirtilen orandan fazla olması aşırı üfleme nedeniyle gazın tam yanma olmadan hamlaçtan dışarı atılmasına ve az olması ise alevin ıslı olmasına ve dolayısıyla iş

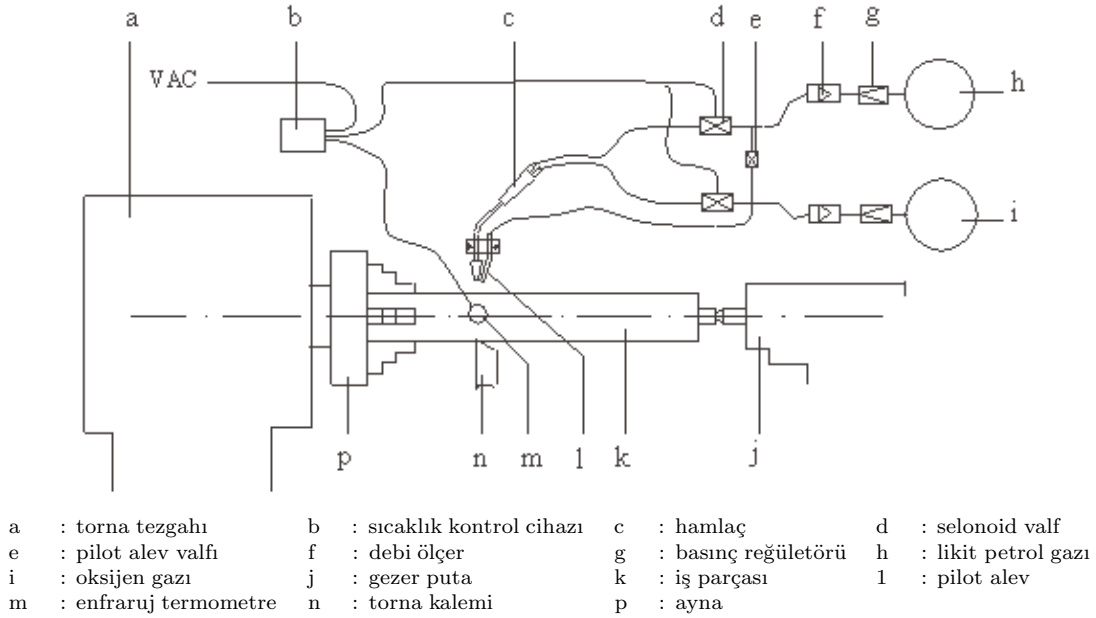
parçası sıcaklığının düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca belirtilen gaz miktarlarının artması tekrar ateşleme sırasında hamlaç ucunda patlamalar meydana getirmektedir. Kesme işlemi boyunca iş parçası üzerinde hamlacın hareketini sağlamak için özel olarak hazırlanan aparat torna tezgahının arabası üzerine monte edildi ve hamlaç aparata bağlandı (Şekil 1). İş parçasının ısıtılmasında Gloor Markanın en yüksek ısıtma kapasitesine sahip olan 5 nolu oksii-asetilen kaynak hamlaç ucu kullanıldı.

Deneyisel çalışma öncesi yapılan ön araştırmalarda, ateşlenme sırasında gazın ani üflemesi nedeniyle pilot alevin sönmemesi için iş parçası ile hamlaç arasındaki mesafenin en uygun 20 mm olduğu tespit edilerek bu uzaklık bütün deneylerde sabit tutuldu.

Gazın hamlaca girişini sağlamak için sıcaklık kontrol cihazı ile çalışabilen iki adet Lucifer marka selenoid valf tüp çıkışlarına takıldı. İş parçası

sıcaklığını kontrol altına alabilmek için ise, özel olarak imal ettirilen sıcaklık kontrol cihazı (NEL NR 911 E modeli) ve iş parçası sıcaklığını ölçmek için dönen cisimlerin sıcaklığını temassız ölçebilen Cole-Parmer marka ve H-08406-46 modelinde enfra-ruj termometre kullanıldı. Valflerin açılıp kapanması esnasında sönen alevi tekrar yakabilmek için oksii-asetilen hamlacının bitişine sürekli yanar vaziyette bulunan bir pilot alev kullanıldı (Şekil 1).

Sıcaklığın belirlenen değere ulaşması ile iş parçası ile temas halinde bulunan ısı çift sıcaklık kontrol cihazına akım göndermektedir. Sıcaklık kontrol cihazı tarafında okunan sıcaklık değeri, cihaza önceden bildirilen değere ulaştığı an selenoid valflere elektrik akımını göndermesi ile valfleri kapatmakta ve hamlaca gaz girişini kesmektedir. Sıcaklığın düşmesi durumunda ise yine aynı şekilde cihaz valfleri açmakta ve gaz akışını serbest bırakmaktadır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Genellikle birbiriyle ilgili olarak çalışan yüzeylerin düzgünlüğü parçaların uzun ömürlü olmalarını ve sıhhatli çalışmalarını sağlar. Geleneksel imalat ve sıcak talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar, malzemenin cinsi, kalemin cinsi, kesme hızı, ilerleme, paso derinliği, sıcaklık, soğutma sıvısı ve tezgahın konst-

rüksiyonu gibi faktörlerdir. Bu faktörlerden birinin değişmesi ile takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü de değişebilmektedir. Ancak değişmeye neden olan faktörlerin etkileri birbirinden farklı ve bağımsız olabilecekleri gibi birbirleri ile ilişkili de olabilirler.

Yüzey pürüzlülüğü, parçanın şekillendirilmesinden sonra genellikle parça yüzeyinde meydana gelen girinti ve çıkıntılar yani bozuklukların ortalama değeri

olarak tanımlanır. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri, TS 971'de belirtilen norm değerler göz önüne alınarak yapıldı.

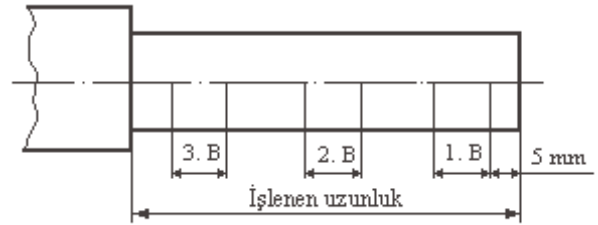
Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan iş parçalarının işleme uzunlukları, $V_B = 0,3\text{mm}$ takım aşınmasına karşılık gelen uzunluk olup, kesme şartlarına göre değişmektedir. Bütün deneylerde işleme boyunun sabit tutulması yerine $V_B = 0,3\text{mm}$ 'lik (yan yüzey aşınması) takım aşınma değeri sabit tutulmuştur. Bunun sebebi, aşırı takım aşınmalarından dolayı parça üzerinde meydana gelecek olan olumsuz ölçme hatalarının ortadan kaldırılmasıdır.

Oda sıcaklığında ve sıcak talaşlı işleme sonrası malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin araştırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ölçüldü. Ölçme işlemi, Mitutoyo SurfTest211 modelinde dijital göstergeli ölçü aleti ile her deney sonrası malzemelerin üç farklı noktadan ve eksenleri boyunca yapıldı (Şekil 2). Ölçme işlemine başlamadan önce, yüzey pürüzlülük ölçü aleti standart kalibrasyon numunesi ile kalibre edildi. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde; kesme uzunluğu (λ_c) değeri, cihazın ISO standart modu ve cihaz kataloğundaki R_a pürüzlülük ölçüm sınırlandırma değerleri dikkate alınarak 2,5 mm olarak seçilmiştir. Bu seçime göre değerlendirme uzunluğu $(l_n) 5x\lambda_c = 12,5\text{ mm}$ şeklinde olmaktadır. Ölçme işlemi sonrası malzemenin üç ayrı noktasından okunan pürüzlülük değerlerinin ortalaması alındı. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi Şekil 3'te görülmektedir. Ayrıca ilerlemenin ve paso derinliğinin etkisi Şekil 4 ve Şekil 5'de görülmektedir.

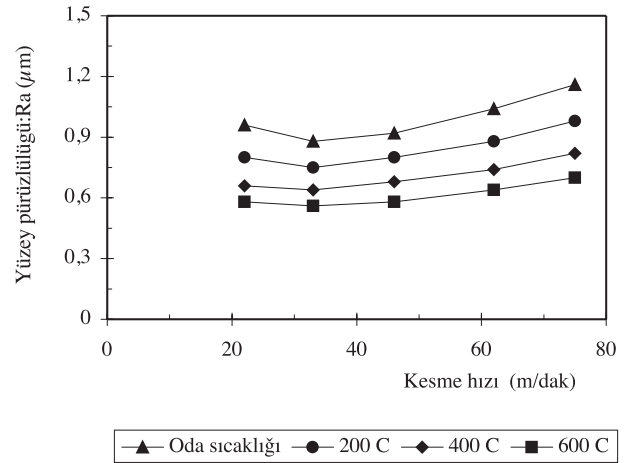
Yüksek manganlı çeliklerin sinterlenmiş karbür kesicilerle işlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda ve kesici takım üretici firma katalog değerlerinde kesme hızları 20 ile 70 m/dak arasında verilmiştir (Ünür 1988, Altan 1990, Böhler 1994). İşlenen manganlı çeliğin alaşım miktarı, kullanılan iş parçası ve kesici takım dikkate alındığında katalogdaki kesme hız değerlerinin 20 ile 45 m/dak arasında olduğu görülmüştür (Böhler 1994). Bu nedenle iş parçasının işleneceği torna tezgahının konstrüksiyonu, araştırmacıların çalışmaları ve üretici firma katalog değerleri dikkate alınarak deneylerde kullanılan kesme hızları 22 ile 75 m/dak arasında seçilmiştir.

Kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir tesiri vardır. Şekil 3'teki grafik incelendiğinde, kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün önce biraz azaldığı ve daha sonra

arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin ve takım titreşiminin artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3'teki bu değişim Altan'ın (1990) yaptığı çalışmaya uygun olduğu görülmüştür. Kesme hızlarının artmasıyla takım ve talaş ara yüzey sürtünmesi artar. Ara yüzey sıcaklığı ve sürtünme yüksek olursa, takım ve talaş arasında mukavemetli kaynaklar oluşur. Bu kaynaklar yığma ağzı oluşturur. Yığma ağzı zaman zaman kırılarak talaşa ve işlenen parça yüzeyine geçer. Bu suretle hem takım ağzının hem de iş parçası yüzeyinin bozulmasına neden olur (Ünür, 1988). Bu araştırmada, sıcak ve geleneksel talaşlı işleme için elde edilen optimum kesme hızı 30~40 m/dak arasındadır. Elde edilen bu sonuç Altan'ın (1990) yaptığı çalışmadaki optimum kesme hızı değerine (45 m/dak) çok yakın çıktığı görülmektedir.



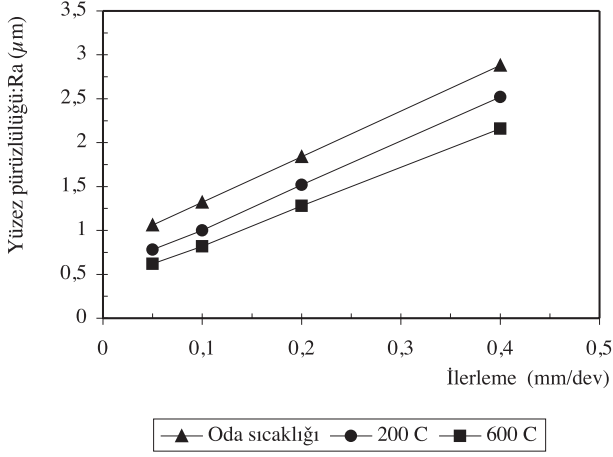
Şekil 2. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü



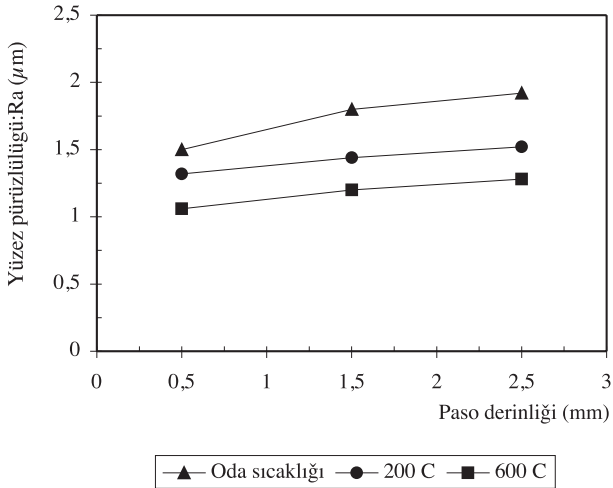
Şekil 3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi. ($S=0,1\text{ mm/dev}$ ve $t=1,5\text{ mm}$)

Sıcaklık, yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede azaltmaktadır. Sıcaklık arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 600°C'deki sıcak talaşlı işlemede, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise oda sıcaklığındaki

işlemede elde edildi. Çünkü ısıtma sıcaklığının artması ile birlikte iş parçasının kesme mukavemeti azalarak kesme kolaylaşmıştır. Kesme kuvvetleri ve takım titreşiminin azalmasından dolayı, artan sıcaklıkla yüzey pürüzlülüğü azalmıştır (Ünüvar, 1988; Kitagawa,1988; Altan, 1990).



Şekil 4. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile değişimi. ($V=75$ m/dak ve $t=2,5$ mm)



Şekil 5. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi ($V=75$ m/dak ve $S=0,2$ mm/dev)

Şekil 4'de görüldüğü gibi ilerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Çünkü ilerlemenin artması ile birlikte kesme kuvvetleri ve takım titreşimi artmış ve buna bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü de yükselmiştir. Ünüvar (1988) ve Altan (1990) yaptıkları çalışmalarında da yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkiyi en fazla iler-

leme ve takım burun yarıçapının gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Şekil 5'deki grafikten de görüldüğü gibi paso derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü çok az değişmektedir. Elde edilen bu değerlerden anlaşılacağı gibi paso derinliğinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ısıtma sıcaklığından, kesme hızından ve ilerlemeden daha az olmaktadır. Ayrıca paso derinliği, tezgah sisteminde kendiliğinden doğan titreşimlere neden olacağından, belirli bir değerden fazla artırılamaz (Ünüvar, 1988).

Matematiksel Modelin Elde Edilmesi

Talaşlı imalatta üretim hızının ve üretim ekonomikliğinin artırılabilmesi için kesme şartlarının en iyi şekilde belirlenmesi gerekir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen çalışmalarla optimum kesme şartlarının tümünün birden belirlenmesi oldukça zordur. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünde etkili olan paso derinliği, ilerleme, kesme hızı gibi kesme şartlarının en iyi şekilde belirlenmesi için yüzey pürüzlülüğü denkleminin bilinmesi gerekir.

Yüzey pürüzlülük denklemlerinde en fazla kullanılan yöntem faktöriyel regresyon analiz yöntemidir. Bu yöntem bir çok araştırmacı tarafından başarıyla kullanılmıştır. Geleneksel talaşlı imalat için takım ömür denkleminde ilk defa bu yöntem kullanılmıştır (Wu,1964). Lo ve Chen (1974), yaptıkları çalışmalarında regresyon yöntemini kullanarak yüzey pürüzlülüğü denklemlerini tayin etmişlerdir.

Regresyon analiz iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını, varsa bu ilişkinin derecesinin belirlenmesinde kullanılan yöntemdir. Belirlenen modelin katsayıları deneysel veriler yardımıyla tahmin edilir (Yurtsever, 1984).

Talaşlı imalatta optimum kesme koşullarının elde edilmesi için deneylerin ya çok geniş aralıkta seçilmesi ya da deneysel tasarımın iyi yapılması gerekir. Yüzey pürüzlülük denkleminde en uygun tasarımın faktöriyel denemeler olduğu ifade edilmiş ve kullanılmıştır (Ünüvar, 1985). Faktöriyel denemelerde bir faktörün durumu diğer faktör ve faktörlerin değişik seviyelerinde ele alınmakta ve faktörler arasında karşılıklı etkileşim olup olmadığı ortaya çıkarılmaktadır.

Yüzey Pürüzlülük Denkleminin Belirlenmesi

Takım-iş parçası çifti, ilerleme (S), paso derinliği (t), kesme hızı (V) ve iş parçası sıcaklığına (θ)

bağlı olarak ifade edilen ve genellikle araştırmacılar tarafından kullanılan yüzey pürüzlülük denklemi;

$$R_a = K \cdot V^\alpha \cdot S^\beta \cdot \theta^\gamma \cdot t^\lambda \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemdeki α, β, γ ve λ katsayıları ile K sabiti çoklu lineer yada ikinci dereceden polinom regresyonun uygulanması ile elde edilir. Bu durumda eğer lineer regresyon kullanılır ve (1) nolu denklemin logaritması alınır, $c = \log K$ olmak üzere;

$$\log R_a = c + \alpha \cdot \log V + \beta \cdot \log S + \gamma \cdot \log \theta + \lambda \cdot \log t \quad (2)$$

şeklinde elde edilir. Matematiksel modelin elde edilmesinde de kullanılan yöntem faktöriyel regresyon yöntemidir. Bu yöntemde katsayılar (3) nolu denklemin kullanılması ile elde edilebilir.

$$\{a\} = [[Z]^T [Z]]^{-1} [Z]^T \cdot \{Y\} \quad (3)$$

Burada a katsayılar vektörü, Z bağımsız değişkenler matrisi ve Y ise sonuç vektörüdür.

Matematiksel modelin bulunması için $2^4 = 16$ deneme kombinasyonu kullanıldı. Regresyon katsayıları (3) nolu denklem kullanılarak Matlab'da hazırlanan program yardımıyla elde edildi. Bu katsayılar denklem (2) de yerlerine konularak yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\log R_a = 1,8600 + 0,2009 \cdot \log V - 0,2141 \cdot \log \theta + 0,7332 \cdot \log S + 0,1062 \cdot \log t \quad (4)$$

Logaritmik yüzey pürüzlülüğü tekrar düzenlenirse gerçek yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R_a = \frac{6,4237 \cdot V^{0,2009} \cdot S^{0,7332} \cdot t^{0,1062}}{\theta^{0,2141}} \quad (5)$$

Yüzey pürüzlülük denklemi ile elde edilen değerlerin 22 m/dak ve 33 m/dak kesme hızlarında az da olsa gerçek değerlere göre bir miktar sapmalarının olduğu görüldü. Bu nedenle ek deneysel veriler kullanılarak polinom regresyonu ile yüzey pürüzlülüğü denklemi elde edilerek lineer denklemle karşılaştırıldı.

Polinom regresyonu için (6) nolu denklem ile verilen genel form dikkate alındı ve yüzey pürüzlülüğü denklemi, (7) nolu denklem şeklinde düzenlendi.

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \cdot \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad (6)$$

$$R = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^3 \cdot \sum_{j=i+1}^4 a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i}^4 a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad (7)$$

Denklem (7)'deki a_0, a_i ve a_{ij} sabitler olup bağımsız değişken katsayılarıdır. Bu katsayılar çoklu lineer regresyon için verilen (3) nolu denklem kullanılmak suretiyle elde edilir. Polinom regresyonun çözülebilmesi için bağımsız değişkenler aşağıdaki şekilde ifade edilerek hazırlanan bilgisayar programında çözüm yapıldı. Deneylerde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenler,

$$\begin{aligned} Y &= \log R_a, \\ x_1 &= \log V, \\ x_2 &= \log \theta, \\ x_3 &= \log S, \\ x_4 &= \log t \end{aligned} \quad (8)$$

ve regresyonun bağımsız değişkenleri için;

$$\begin{aligned} Z_0 &= 1, Z_1 = x_1, Z_2 = x_2, Z_3 = x_3, \\ Z_4 &= x_4, Z_5 = (x_1)^2, \\ Z_6 &= (x_2)^2, Z_7 = (x_3)^2, Z_8 = (x_4)^2, \\ Z_9 &= x_1 \cdot x_2, Z_{10} = x_1 \cdot x_3, \\ Z_{11} &= x_1 \cdot x_4, Z_{12} = x_2 \cdot x_3, \\ Z_{13} &= x_2 \cdot x_4, Z_{14} = x_3 \cdot x_4 \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde dönüşüm yapılmıştır. İkinci dereceden polinom regresyonun üç yada daha fazla seviyeli deneysel tasarım gerektirmesinden dolayı faktöriyel tasarıma ilave edilen yeni deney verilerinin, denklem (3)'deki $Z^T \cdot Z$ ifadesinin determinantını sıfır yaptığı görüldü.

Adım adım regresyon uygulandığında Z_6 değişkenin tekil bir çözümünün olmaması nedeniyle ihmal edilerek bağımsız değişkenlerin katsayıları hazırlanan Matlab programı yardımıyla elde edildi. Bu katsayılar denklem (7)'de yerlerine konularak logaritmik skalada ortalama yüzey pürüzlülüğü;

$$\begin{aligned} \log Ra &= 4,8236 - 2,4871 \cdot \log V + 0,4210 \cdot \\ &\log \theta + 0,5873 \cdot \log S \\ &+ 0,3751 \cdot \log t + 0,3503 \cdot \log V^2 - 0,0554 \\ &\log \theta^2 - 0,0062 \cdot \log t^2 \\ &+ 0,0120 \cdot \log V \cdot \log \theta - 0,0168 \cdot \log V \cdot \log S \\ &- 0,0739 \cdot \log V \cdot \log t \\ &+ 0,0360 \cdot \log \theta \cdot \log S - 0,0039 \cdot \\ &\log \theta \cdot \log t - 0,0229 \cdot \log S \cdot \log t \end{aligned} \quad (10)$$

$$Ra = \frac{124,41 \cdot V^{-2,4871+0,3502 \cdot \log V+0,0120 \cdot \log \theta-0,0168 \cdot \log S} \cdot \theta^{0,4210-0,0554 \cdot \log \theta-0,0039 \cdot \log t}}{S^{-0,5873-0,0360 \cdot \log \theta+0,0229 \cdot \log t} \cdot t^{-0,3751+0,0062 \cdot \log t+0,00739 \cdot \log V}} \quad (12)$$

olarak elde edilir.

Yüzey Pürüzlülük Denklemine Önemlilik Testi (Fα testi)

Polinom regresyonu sonucu hesaplanan yüzey pürüzlülüğü ile gerçek yüzey pürüzlülüğü arasındaki fark hata olup, karelerinin toplamı (13) denklemi kullanılarak ve regresyon kareler toplamı ise (14) denklemi kullanılarak;

$$Se = \sum_{i=1}^n (Y_i - \sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji})^2 \quad (13)$$

$$Sr = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji} - \bar{Y})^2 \quad (14)$$

$$Se = 0,0481; \quad Sr = 10,9340 \quad (15)$$

şeklinde elde edilmiştir. Polinom regresyonuna ait korelasyon katsayısı, denklem (16) kullanılarak;

$$r = \left(\frac{Sr}{Sr + Se} \right)^{1/2} \quad (16)$$

$$r = 0,995 \quad (17)$$

olarak elde edilir. Elde edilen sonuçlar yardımı ile F istatistik değeri, n Bağımsız değişkenler sayısı, m deney sayısı olmak üzere (18) nolu denklem kullanılarak;

$$F = \frac{Sr/m}{Se/(n - m - 1)} \quad (18)$$

$$F = 384,32 \quad (19)$$

şeklinde elde edilir. Burada;

$$\begin{aligned} \alpha &= -2,4871 + 0,3502 \cdot \log V + 0,0120 \log \theta \\ &- 0,0168 \cdot \log S, \\ \beta &= 0,4210 - 0,0554 \cdot \log \theta - 0,0039 \log t, \\ \gamma &= 0,5873 + 0,0360 \cdot \log \theta - 0,0229 \cdot \log t, \\ \lambda &= 0,3751 - 0,0062 \cdot \log t - 0,0739 \cdot \log V, \end{aligned} \quad (11)$$

şekilde olup düzenlenerek ve denklem (1)'den yerine yazılarak tekrar düzenlenirse;

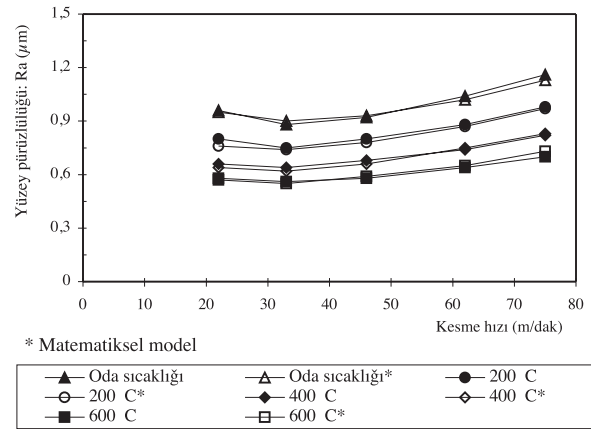
değeri elde edilir. $\alpha = 0,01$ dağılımı için $F\alpha$ değeri istatistik tablosundan istatistik α değerine bakıldığında;

$$F\alpha = 3,07 \quad (20)$$

olduğu görülür.

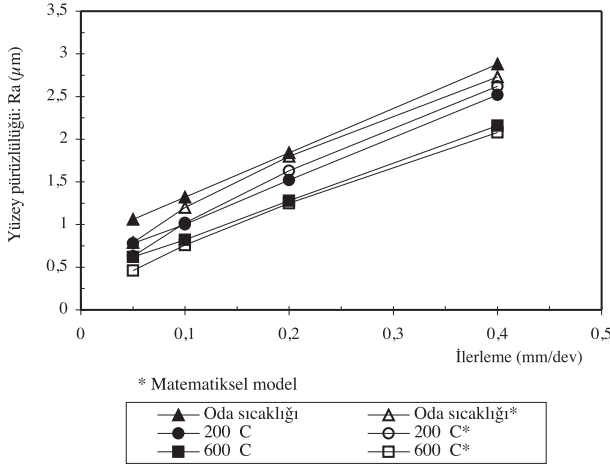
$$F \geq F\alpha \quad (21)$$

olduğundan H_0 hipotezi reddedilerek karşı hipotez kabul edilir. Yani elde edilen testin sonucunun uygun olduğu ve yanlış bir kararın verilmiş olma olasılığının azaldığı ifade edilebilir. R değerinin 1'e yaklaşması elde edilen denklemde hata yüzdesini azaltır. Sonuçta elde edilen denklem ve katsayıların yeterli olduğu kabul edilir.

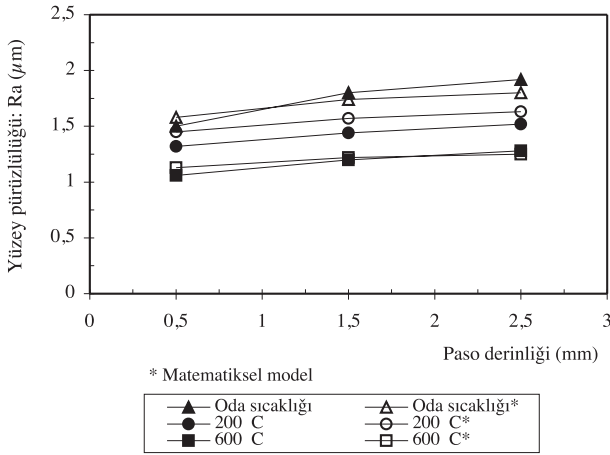


Şekil 6. Deneylerden ve matematiksel modelden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ile kesme hızının değişimi. (t=1,5 mm ve S=0,1 mm/dev)

Polinom regresyonu sonucu hesaplanan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile deneysel ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği ile değişimi Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Deneylardan ve matematiksel modelden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ile ilerlemenin değişimi. ($V=75$ m/dak ve $t=2,5$ mm)



Şekil 8. Deneylardan ve matematiksel modelden elde edilen yüzey pürüzlülüğü ile paso derinliğinin değişimi. ($V=75$ m/dak ve $S=0,2$ mm/dev)

Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, östenitik manganlı çeliğin sıcak talaşlı işlenmesinde iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğü araştırılarak, geleneksel ve sıcak talaşlı

işlemede sıcaklık, kesme hızı, ilerleme ve paso derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Östenitik manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri geleneksel talaşlı imalata göre azalmaktadır.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü önce kesme hızı arttıkça belli bir hıza kadar azalır daha sonra kesme hızı arttıkça artar.
- Isıtma sıcaklığı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.
- İlerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde en fazla etkiyi ilerleme göstermektedir.
- Paso derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde en az paso derinliği etkili olmuştur. Bu etkinin ilerleme, kesme hızı ve ısıtma sıcaklığı yanında ihmal edilecek seviyede olduğu söylenebilir.
- Yüzey pürüzlülüğü için matematiksel model faktöriyel regresyon analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiş olup, istatistiksel olarak yeterliliği kontrol edilmiştir. Regresyon analiz yöntemi ile elde edilen değerlerin, deneysel değerlere yakın olduğu görülmüştür.
- Elde edilen yüzey pürüzlülük denklemi kesme sınırlamaları içerisindeki değerlerde kullanılmaları halinde hatasız sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat elde edilen denklemlerin kesme sınırlamalarının dışında kullanılması halinde ise, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde daha fazla hata meydana gelebilir. Yüzey pürüzlülüğü denkleminin bu yöntemle elde edilmesinin sakıncalı tarafı, sınırlı bir bölge içerisinde elde edilmeleridir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi araştırma Fonu (FÜNAP) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı FÜNAP'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Akasawa, T., Takeshita, H., and Uehare, H., "Hot Machining with Cooling Cutting Tools", *Annals Of The C.I.R.P.*, 35 (1), 37-40, 1977.
- Altan, E., "Yüksek Manganlı Çeliklerin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", 6. Mühendislik Haftası, 28 Mayıs-2 Haziran, Isparta, 181-187, 1990.
- Altan, E., ve Çakır, O., "Yüksek Manganlı Çeliklerin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Takım Geometrisinin Takım Ömrüne Etkisi", 4. Ulusal Makina Tasarım Ve İmalat Kongresi, 19-21 Eylül, ODTÜ, Ankara, 333-339, 1990.
- Barrow, G., "Machining of High Strength Metals at Elevated Temperature Using Electric Current Heating", *Annals of The C.I.R.P.*, 14, 145-151, 1966.
- Barrow, G., "A Review of Experimental and Theoretical Techniques for Assessing Cutting Temperatures", *Annals of The C.I.R.P.*, 22, 203-211, 1973.
- Bhattacharya, A., Faria-Gonzalez, R., and Ham, I., "Regression Analysis for Predicting Surface Finish and its Application in The Determination of Machining Condition", *Journal Of Engineering Industry*, 92, 711-714, 1970.
- Böhler, Tornalama ve Frezeleme için Mekanik Sıkmalı Uçlar ve Takımlar, Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi Ticaret A.Ş., Yeni Karar Matbaası, İstanbul, 1994.
- Ermer, D. S., and Kromodihardjo, S., "Optimisation Of Multipass Turning with Constraints", *Journal Of Engineering Industry*, 262-268, November 1981.
- Gration, J.F., Fan, L.J., Cohen, P., Morat, G., and Moison, A., "Proposition of a Method to Optimize the Machining of Xc42 Steel with Laser Assistance", *Annals of The C.I.R.P.*, 42 (1), 115-118, 1993.
- Hassan, G. A. and Suliman, M. A., "Experimental Modelling and Optimisation of Turning Medium Carbon Steel", *International Journal Of Production Research*, 28 (6), 1057-1065, 1990.
- Kaint G.S., and Chaturvedi, M. N., "Theoretical Investigation of Temperature in Hot Machining", *Int. J. Tool. Des. Res.*, 156, 241-256, 1975.
- Kitagawa, T., and Meakawa, K., "Plasma Hot Machining for New Engineering Materials", *Wear*, 139, 251-267, 1990.
- Kitagawa, T., Meakawa, K., and Kubo, A., "Plasma Hot Machining for High Hardness Metals", *Bull. J. Soc. Of Prec. Eng.*, 22 (2), 145-151, 1988.
- Kuba, A., and Kitagawa, T., "Simulation Analysis of Cutting Mechanism in Plasma Hot Machining Of High Manganese Steel", *Bull. J. Soc. Prec. Eng.*, 27 (3), 193-199, 1988.
- Larin, N., and Martynow, G. A., "Methods of Heating Components During Machining", *Russian Engineering Journal*, 16 (8), 74 77, 1966.
- Lo, K.C., and Chen, N.S., "Prediction of Tool Life in Hot Machining of Alloy Steels", *International Journal Of Production Research*, 15 (1), 47-63, 1977.
- Madhavulu, G. and Bashear A., "Hot Machining Process for Improved Metal Removal in Turning Operations", *Journal Of Material Processing Technology*, 44 (3-4), 199-206, August 1994.
- Molotstow, N. S., "Machining High- Manganese Steels, Machines and Tooling", 39 (7), 55-57, 1968.
- Mucherjee, P. N., and Basu, S. K., "Statistical Evaluation of Metal-Cutting Parameters in Hot Machining", *International Journal Of Production Research*, 11 (1), 21-36, 1974.
- Nakayama, K., Arai, M., and Kanda, T., "Machining Characteristics of Hard Metals", *Annals of The C.I.R.P.*, 37 (1), 89-92, 1988.
- Philipson, R.H., and Ravinoran, A., "Application of Mathematical Programming to Metal Cutting", *Mathematical Programming*, 11, 116-134, 1970.
- TS 10329, Torna Kalemleri Ömür Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, 1992.
- TS 971, Yüzey Pürüzlülüğü - Parametreler ve Pürüzlülük Tespit Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 1988.
- Turhan, H., Östenitik Manganlı Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1994.
- Ünüvar, A., Yüksek Manganlı Çeliklerin Sıcak Talaşlı İşlenmesi ve Kesme Koşullarının Optimizasyonu, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1985.
- Ünüvar, A., "Sıcak Talaşlı İşlemede Yüzey Pürüzlülüğü Denklemine Matematiksel Modelle Tayini", 3. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 389-396, 1988.
- Wu, S. M., "Tool Life Testing by Response Metallurgy Part 1-2", *Journal Of Engineering Industry*, 105-116, May 1964.
- Yurtsever, N., Deneysel İstatistik Metotları, T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1984.