



Investigation of material removal rate and surface roughness in finishing of internal surfaces of AISI 304 L austenitic stainless steel pipes by magnetic abrasives

Ulaş Çaydaş¹ , Mahmut Çelik^{1*} , Uğur Köklü²

¹Fırat University, Faculty of Technology, Mechanical Engineering Dept., Elazığ, 23000, Turkey

²Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Dept., Karaman, 70100, Turkey

Highlights:

- Finishing of internal surfaces by magnetic abrasive finishing process
- Improvement of surface quality
- Measurement of material removal rate and surface roughness

Keywords:

- Magnetic abrasive finishing
- Surface finishing
- Abrasive finishing
- Surface roughness
- AISI 304 L

Graphical/Tabular Abstract

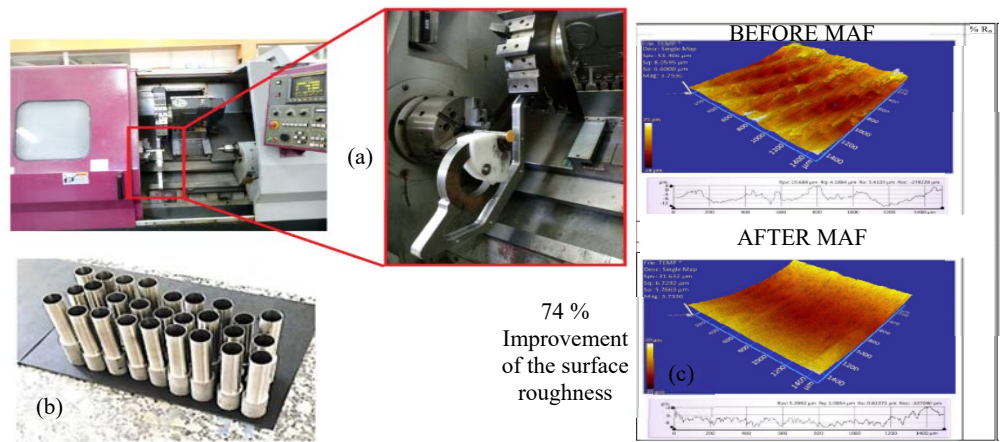


Figure A. Experimental setup (a), specimens (b), surface topologies of the surfaces before/after maf process (c)

Article Info:

Research Article
Received: 07.12.2017
Accepted: 25.04.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460516

Acknowledgement:

This study was supported by Fırat University Scientific Research Projects Unit with the project number TEKF 16.10.

Correspondence:

Author: Mahmut Çelik
e-mail: mahmutcelik@erciyes.edu.tr
phone: +90 352 207 6666

Purpose: Traditional machining techniques do not provide the desired surface quality, especially in industries such as aerospace and medical. Parts have to be kept in an extra finishing method to have the desired surface quality. Magnetic abrasive finishing (MAF) technique is one of the non-traditional finishing techniques used to improve surface quality of parts. The aim of this study is to increase the quality of internal surfaces of AISI 304 L austenitic stainless steel pipes via MAF.

Theory and Methods:

In MAF technique, iron-based powders and abrasives are used together. These abrasives form a flexible magnetic brush assembly with iron powders along the magnetic field lines generated by the magnets. The brush acts as a multi-point cutter. In this study, AISI 304L austenitic stainless steel pipes are turned (Figure A. (b)) and attached the CNC lathe machine by a special yoke (Figure A. (a)). The experiments were carried out under the experimental conditions determined in the accordance of previous studies and improvement ratios of surface quality and material removal rates (MRR) were measured.

Results:

As a result of the experiments, an average improvement of 42% was observed in the surface roughness and this improvement was found to be up to 75% in the appropriate experimental conditions. (Figure A. (c)). Additionally MRR ratio was measured as 3.25 mg / min on average.

Conclusion:

It is seen that MAF method is useful for the machining of the inner surfaces of AISI 304 L austenitic stainless steel pipes. On the other hand, it is thought that the study will be a guide for the new academic studies.



Manyetik aşındırıcılarla AISI 304L östenitik paslanmaz çelik boruların iç yüzeylerinin bitirme işleminde talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması

Ulaş Çaydaş¹, Mahmut Çelik^{1*}, Uğur Köklü²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23000, Türkiye

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karaman, 70100, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Mikro Manyetik aşındırıcılarla işleme yöntemiyle iç yüzeylerin yüzey bitirme işlemi
- Yüzey kalitesini iyileştirme
- Talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 07.12.2017

Kabul: 25.04.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460516

Anahtar Kelimeler:

Manyetik aşındırıcılarla işleme, yüzey bitirme, abrasiv işleme, yüzey pürüzlülüğü, AISI 304L

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte özellikle medikal, gıda, havacılık, uzay ve otomotiv gibi endüstrilerde yüksek hassasiyette üretilmiş parçalara ihtiyaç duyulmaktadır. İmal edilen parçaların istenilen yüksek hassasiyete sahip olabilmesi için ekstra bir yüzey bitirme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle karmaşık geometri, değişken kesitli, uzun ve küçük parçaların yüzey bitirme işlemleri geleneksel yöntemlerle mümkün değildir. Bu gibi parçaların yüzey bitirme işlemleri ancak geleneksel olmayan yüzey bitirme yöntemleriyle mümkün olabilmektedir. Manyetik aşındırıcılarla işleme yöntemi (MAİ) manyetik alan ve aşındırıcı tanecikler yardımıyla yüzeyden talaş kaldıran bir geleneksel olmayan bir yüzey bitirme yöntemidir. Bu çalışmada, özellikle medikal, gıda ve otomotiv gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılan AISI 304L östenitik paslanmaz çelik boruların iç yüzeylerinin MAİ yöntemiyle bitirme işleminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, Fe tozu tanecik boyutu, SiC tozu tanecik boyutu, işlem süresi, iş parçası devir sayısı ve aşındırıcı karışım oranı parametrelerinin talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak, talaş kaldırma oranının Fe tozu tanecik boyutu, aşındırıcı tanecik boyutu, boru devir sayısı ve aşındırıcı oranının artmasıyla arttığı; işlem süresinin artmasıyla azaldığı görülmüştür. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü değerlerinin uygun işlem koşullarında %75 oranında iyileştiği tespit edilmiştir.

Investigation of material removal rate and surface roughness in finishing of internal surfaces of AISI 304 L austenitic stainless steel pipes by magnetic abrasives

H I G H L I G H T S

- Finishing of internal surfaces by magnetic abrasive finishing process
- Improvement of surface quality
- Measurement of material removal rate and surface roughness

Article Info

Research Article

Received: 07.12.2017

Accepted: 25.04.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.460516

Keywords:

Magnetic abrasive finishing, surface finishing, abrasive finishing, surface roughness, AISI 304L

ABSTRACT

With the developing technology, high precision parts are needed especially in industries such as medical, food, aerospace and automotive. An extra surface finishing process is required for the manufactured parts to have the desired high sensitivity. It is not possible to finish especially complex shaped, variable sections, long and small parts by conventional methods. Surface finishing of such parts is only possible with non-traditional finishing methods. Magnetic Abrasive Finishing (MAF) is one of the non-traditional finishing methods in which remove materials from surface via magnetic field and abrasive particles. This experimental study investigates the feasibility of finishing of interior surfaces of austenitic stainless steel, which is widely used in medical, food and automotive industries, by MAF. Experiments have been conducted on AISI 304L stainless steel tubes and the effects of process parameters such as ferrous particle size, abrasive particle size, finishing time, rotational speed and percentage of abrasives on process responses namely improvement ratio in surface roughness (IRSR) and material removal rate (MRR) was recorded. As a result, it is observed from the experiments that MRR values were increased with increasing of ferrous particle size, abrasive size, rotational speed and percentage of abrasive grids; whereas MRR was reduced in enhanced machining time. Furthermore, the surface roughness was improved 75% with selecting suitable machining conditions.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ucaydas@firat.edu.tr, mahmutcelik@erciyes.edu.tr, ugrkoklu@kmu.edu.tr/Tel: +90 352 207 6666
1214

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

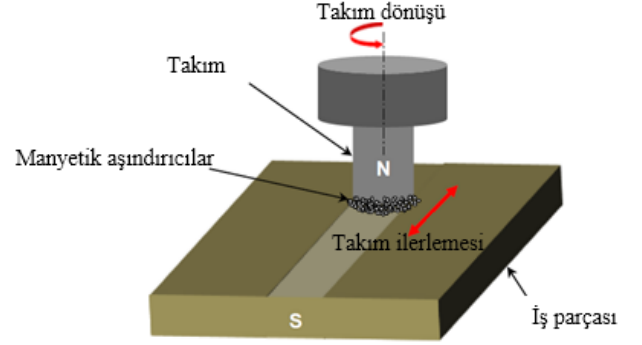
Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinde takım talaş arasındaki fiziksel koşullar, kesme kuvvetlerinin yüksek olması, takım ve tezgâh rijitliği gibi faktörlere bağlı olarak, işlenmiş yüzeylerde çatlak, yırtılma, pürüzlülük, yüzey altında ise ısıdan etkilenen bölgeler ve kalıcı artık gerilmeler şeklinde birçok hasarlar meydana gelmektedir. Özellikle medikal, gıda, havacılık, uzay ve otomotiv gibi endüstrilerde yüksek hassasiyetli parçalara duyulan gereksinim talaşlı imalat yöntemlerini sınırlamaktadır. Talaşlı imalat sonrası oluşan bu hasarların ikinci bir bitirme işlemi yardımıyla yüzeyden kaldırılması ve kullanılabilir bir ürün haline getirilmesi gerekmektedir. Birçok yüzey bitirme işlemine karşın abrasiv yüzey bitirme yöntemleri; kolay, ucuz ve farklı şekillerde uygulanabilmektedir [1, 2]. Abrasiv yüzey bitirme yöntemlerinden bir tanesi de, 1930'lu yılların sonlarında bulunan Manyetik Aşındırıcılarla İşleme (MAİ) yöntemidir. Bu yöntemde, manyetik alan etkisi altında bulunan ferromanyetik toz karışımı (demir tozları ve aşındırıcılar) yardımıyla yüzeye basınç uygulanmakta, tozlar ile yüzey arasındaki bağıl hareket neticesinde yüzeyden mikro talaş kaldırmaktadır. MAİ yöntemi yüksek hızlı takım tezgâhlarının rulmanları ve yatakları [3], paslanmaz çelik boruların iç ve dış yüzeyleri ile havacılık sektöründe kullanılan, gaz veya sıvı akışkan tüplerinin iç ve dış yüzeyleri [4, 5], medikal alanda ise kılcal boruların iç yüzeylerinin [6] bitirme işlemleri için kullanılabilir.

MAİ yönteminde manyetik olarak demir esaslı tozlar, aşındırıcı olarak ise genellikle elmas, silisyum karbür, alüminyum oksit ve kübik bor nitrür kullanılmaktadır. Manyetik olmayan bu aşındırıcılar, düzensiz geometri ve sert kesme kenarlarına sahiptirler. Bu aşındırıcılar, mıknatıslar tarafından oluşturulan manyetik alan çizgileri boyunca demir tozlarıyla birlikte esnek bir manyetik fırça takımı oluştururlar. Bu takımın esnekliği ise mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik alanın şiddeti ile orantılıdır. Takım böylece çok noktadan kesme yapan bir kesici gibi davranır [7, 8]. Manyetik alanın şiddeti, esnek takım ile iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünme kuvvetini yendiğinde yüzeyden talaş kaldırılmaktadır.

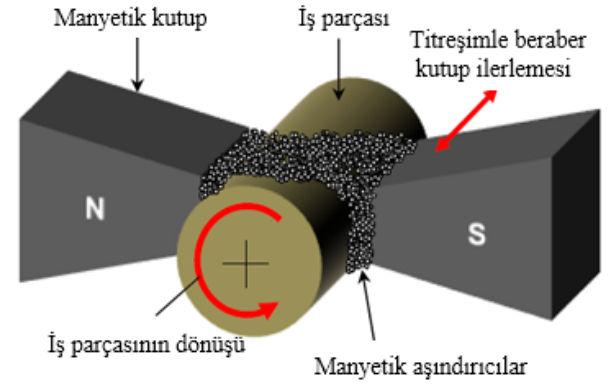
MAİ yönteminde kullanılan takım esnek olduğu için, sabit geometri parçaların yanı sıra geleneksel yöntemlerle etkin olarak yüzey bitirme işlemi yapılması mümkün olmayan karmaşık şekilli parçaların iç ve dış yüzeylerinin bitirme işlemleri bu yöntem ile kolaylıkla yapılabilir.

Şekil 1'de düzlemsel yüzeylerde MAİ yönteminin uygulanışı şematik olarak gösterilmektedir. Dönen manyetik takım ile iş parçası arasındaki boşlukta yönlendirilen manyetik akım sayesinde aşındırıcılar yüzey üzerinde bitirme işlemi yapmaktadır. Şekil 2'de ise dairesel kesitli parçalarda MAİ yönteminin uygulanışı şematik olarak görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, mıknatısların zıt kutupları arasına yerleştirilmiş iş parçası kendi ekseninde dönme hareketi yaparken, mıknatıslar ise mil ekseninde

doğrusal bir ilerleme hareketi yapmaktadır. İş parçası ile kutuplar arasındaki boşluğa yerleştirilen aşındırıcı ve manyetik tozlar, manyetik alanın şiddetine bağlı olarak yüzeyden talaş kaldırmaktadır [9].



Şekil 1. Düzlemsel yüzeylerde MAİ yönteminin şematik gösterimi[6].
(Schematic illustration of magnetic abrasive finishing process on plane surfaces)



Şekil 2. Dairesel kesitli parçalarda MAİ yönteminin şematik gösterimi [6].
(Schematic illustration of MAF process on circular section parts)

MAİ yönteminin, diğer abrasiv yüzey bitirme yöntemlerine nazaran bazı üstün yönleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Geleneksel yöntemlerde rijit bir kesici takım kullanılırken, MAİ yönteminde talaş kaldırma işlemi esnek bir takım yardımıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla karmaşık şekilli parçaların özellikle kıvrımlı yüzeyleri bu yöntemle kolaylıkla bitirme işlemine tabi tutulabilmektedir.
- İşleme basıncı manyetik alana bağlı olarak kontrol edilebilmektedir.
- Elektromıknatıs kullanılan sistemlerde güç kaynağındaki akımı açıp kapatmak suretiyle kutuplarda biriken aşındırıcılar ortamdan uzaklaştırılabilmektedir.
- Manyetik alandan dolayı aşındırıcılar dağılmamaktadır.
- Düşük miktarda aşındırıcı kullanılmaktadır.

MAİ yöntemiyle ilgili son yıllarda yapılan bazı çalışmalarını aşağıda özetlenmiştir.

J. Kang vd. [10] yaptıkları çalışmada $\varnothing 1,27$ mm ölçüsünde AISI 304 paslanmaz çelik kılcal boruların iç yüzeylerini MAİ yöntemiyle iyileştirmişlerdir. Çalışmada 30000 dev/dak gibi yüksek devir sayılarına çıkılmış olup 10 ve 20 dakika süresinde işleme devam edilmiştir. İki kutuplu sistem ve manyetik tutucunun kullanıldığı çalışmada devir sayısının 30000 dev/dak olduğu deneylerde merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yüzeyde derin çizikler oluştuğu görülmüştür.

V. Nteziyaremye vd. [11], özellikle göğüs kanseri biyopsi operasyonlarında kullanılan AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik iğnelerin (dış çapı 1,27mm, iç çapı 1,14mm) iç ve dış yüzeylerinin aynı anda bitirme işlemine tabi tutulması için yeni bir MAİ yöntemi geliştirilmiştir. Çalışmada sabit kutuplu, yüksek hızlı (10.000 dev/dak), dönel iş parçalı yöntem kullanılmıştır. Çalışmada manyetik aşındırıcı malzeme miktarının yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

A.C. Wang ve S.J. Lee [12] yaptıkları çalışmada MAİ yönteminde aşındırıcı taneciklerin verimini artırmak amacıyla tanecik karışımlarını bir arada tutan silikon jel yapıda bir bağlayıcı kullanmışlardır. Manyetik akım kaynağı olarak elektromıknatısların kullanıldığı çalışmada SKD11 çeliğinden yapılmış silindirik bir iş parçası kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak ise SiC tanecikleri farklı boyutlarda kullanılmıştır. Deneyler sonucunda Ra değerleri 30 dakikalık bir bitirme işlemi sonrasında 0,6 μm den 0,038 μm ye düşmüştür. Yöntem, jel kullanılmadan gerçekleşen MAİ işlemine göre Ra değerlerinde 3 kat daha fazla iyileştirme yapmıştır. Ayrıca kullanılan aşındırıcı jel karışımının 15 kez daha farklı iş parçalarında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

N. Sihag vd. [13] çalışmalarında, tungsten malzemedan üretilmiş iş parçasının kimyasal destekli MAİ yöntemiyle iyileştirilmiştir. Yöntemde yüzey bir kimyasal yardımcıyla (H₂O₂) oksidasyona tabi tutulurken aynı zamanda da MAİ yöntemiyle yüzeyden talaş kaldırılmaktadır. Deneylerde devir sayısı, işleme boşluğu ve H₂O₂ konsantrasyonu 3 farklı seviyede değiştirilmiş ve Ra değerlerinde iyileşme oranları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Ra değerlerinde %79,2'lik bir artış olduğu görülmüştür. Taguchi L9 diziliminde tasarlanan çalışma ayrıca ANOVA ile de analiz edilmiştir. T. Mori vd. [14] yaptıkları çalışmada MAİ yöntemini daha detaylı anlatabilmek için yapmış oldukları deneysel çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik malzemedan üretilmiş düzlemsel levhayı elektromıknatıslar yardımıyla bitirme işlemine tabi tutmuşlardır. Bir CCD kamera ile taneciklerin hareketlerini inceleyen araştırmacılar taneciklere uygulanan kuvvetleri de deney düzeneğine eklemiş oldukları yük hücreleri ile ölçerek teorik formüller ile kıyaslamışlardır.

G-W Chang vd. [15] yaptıkları çalışmada SKD11 kalıp çeliğinden üretilmiş silindirik parçaların dış yüzeylerin bitirme işlemi için MAİ yöntemini kullanmışlardır. Elektromıknatısların kullanıldığı çalışmada aşındırıcı tanecik olarak SiC kullanılırken; manyetik tanecik olarak demir ve çelik tozları 3'er farklı seviyelerde kullanılmıştır.

Deneyler sonrasında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ve talaş kaldırma oranlarının ölçüldüğü çalışmada, çelik tozlarının kullanıldığı deneylerde Ra değerleri 0,25 μm değerinden 0,042 μm değerlerine kadar düşmüştür.

H. Yamaguchi ve T. Shinmura [16] çalışmalarında, MAİ yönteminde iç yüzeylerin bitirme işlemine meydana gelen mikroskobik değişimleri incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. İç yüzeylerde mikroskobik incelemelerin yapmanın zor olması sebebiyle iç yüzeye etki eden manyetik kuvvetin aynısını disk şeklindeki bir AISI 304 malzemeye uygulayarak incelemelerde bulunmuşlardır. Deneyler sonrasında yüzeyler taramalı elektron mikroskobu ve atomal kuvvet mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuç olarak işlenmiş yüzeylerin aşındırıcı taneciklerin kesme kenarlarının oluşturduğu kesme izlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu aşındırıcıların hem tepe hem de vadi oluşumlarına sebep olduğu da tespit edilen sonuçlar arasında yer almaktadır. V. Nteziyaremye vd. [17] yapmış oldukları çalışmada biyopsi operasyonlarında kullanılan AISI 316 paslanmaz çelik malzemedan üretilmiş iğnelerin iç ve dış yüzeylerini MAİ yöntemiyle bitirme işlemine tabi tutmuşlardır. İşlem sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deneylerde kutup ucu ile iğne arasına konulan kauçuk bir mıknatıs, taneciklerin yüzey ile kutup ucu arasında sıkışarak daha verimli bir dış yüzey bitirme işlemi yapılmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak başlangıçta 05-06 μm Sa değerine sahip iğnelerin her iki yüzeyi de işlem sonrasında 0,01 μm Sa değerine sahip olmuştur.

S-H. Chou vd. [18] yaptıkları çalışmada SKD11 kalıp çeliğinden yapılmış silindirik parçanın dış yüzeyi MAİ yöntemiyle iyileştirilmiştir. Geleneksel MAİ yöntemine ilaveten aşındırıcılar iş parçası yüzeyine bir silikon jel formunda bağlayıcı ile temas ettirilmiştir. Çalışmada silikon jel bağlayıcıların viskozite değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. SiC aşındırıcıların kullanıldığı deneylerde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük viskozite değerine sahip silikon jel kullanıldığında %90 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca aşındırıcı karışımın jel bağlayıcı sayesinde 8 kez 8 farklı iş parçasının bitirme işlemine kullanılabileceği de deneylerin sonuçları arasında yer almaktadır.

J. Kang ve H. Yamaguchi [19], yaptıkları deneysel çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik boruların iç yüzeylerini Al₂O₃ aşındırıcılar kullanarak MAİ yöntemiyle iyileştirmişlerdir. Çalışmada tek kutuplu ve çok kutuplu sistemler denenmiş ayrıca boru içlerine 3 farklı çelik çubuklar konularak yöntemin verimini artırmak planlanmıştır. İşleme boşluğunun 0,3 mm tutulduğu deneylerde aşındırıcı karışım oranı ise %20 olarak ayarlanmıştır. Deney sonuçları, içerisinde çubuk kullanılan deneylerde, çubuk kullanılmayana deneylere nazaran %50 oranında daha az talaş kaldırarak daha pürüzsüz yüzeylerin elde edildiğini göstermiştir. İlgili literatür değerlendirildiğinde, MAİ yöntemiyle ilgili birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda MAİ parametrelerinin farklı malzemelerin

yüzey bitirme işlemi üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Ancak AISI 304L östenitik paslanmaz çelik boruların yüzeylerini bu yöntemle iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, mevcut literatürden farklı olarak MAİ yönteminde manyetik ve aşındırıcı toz tane boyutları, işlem süresi, devir sayısı ve toz karışım oranı gibi işlem parametrelerinin AISI 304L östenitik paslanmaz boruların yüzey bitirme işleminde yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1. Numunelerin Hazırlanması (Preparation of Specimens)

Deneylerde, ticari olarak temin edilmiş AISI 304L östenitik paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Bu malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 304L çeliğinin kimyasal bileşimi
(The chemical composition of AISI 304L steel)

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)
0,03	2,0	0,045	0,03	0,75	18-20	8-10

MAİ işlemi öncesinde, numunelerin dış yüzeyleri imalat aşamasında meydana gelmiş olabilecek olan boyutsal farklılıkların/hataların, işleme boşluğunun sabit olarak kalmasına imkân vermeyeceği için bu hataların kaldırılması amacıyla; bitirme işlemine tabi tutulacak olan iç yüzeyler ise imalat esnasında oluşabilecek olan yüzey hasarlarını ortadan kaldırmak ve standardizasyonu sağlamak amacıyla CNC tezgâhında 80m/dak kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0.5 mm kesme derinliği ile tornalanmıştır. Numunelerin et kalınlıkları ve yüzey kalitesindeki standardizasyonu sağlamak amacıyla her numune için sıfır bir kesici takım kullanılmıştır. Şekil 3’te MAİ işlemi için hazırlanan numuneler ve bu numunelere ait teknik ölçüler görülmektedir.

2.2. Mıknatıs Tutucunun Hazırlanması (Preparation of yoke)

MAİ yönteminde gerekli manyetik alan güç kaynağı veya sabit akım yoğunluğuna sahip neodyum mıknatıslar

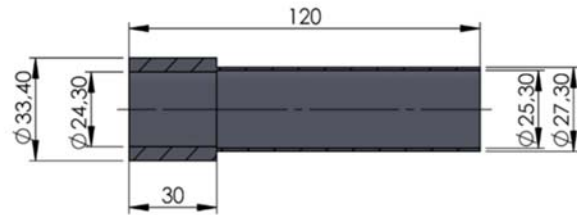
yardımıyla sağlanmaktadır. Güç kaynağı kullanılan uygulamalarda manyetik mıknatısın tasarımı ve imalatı oldukça güçtür. Diğer yandan neodyum mıknatısların temini ve uygulanabilirliği daha ekonomik ve kolaydır. Dolayısıyla bu çalışmada deney düzeneğini karmaşık bir yapıdan ziyade kolaylaştırmak adına Nd-Fe-B mıknatısların kullanımı tercih edilmiştir.

Mıknatıs tutucu, kullanılan tezgâh da dikkate alınarak bitirme işlemi uygulanacak boruyu kavrayacak şekilde taret üzerinde monte edilebilen şekilde tasarlanmıştır. Tutucu için boru yüzeyine çeşitli konumlarda uygulamalar denenmiş ve bazı ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak yerçekimi kuvveti de dikkate alındığında tozların merkez kaç kuvvetinden dolayı dağılmadan boru alt yüzeyinde belirli bir bölgede yoğunlaşarak etkin bir bitirme işleminin yapıldığı tasarım tespit edilmiştir. Şekil 4’te kullanılan mıknatıs tutucu görülmektedir. Deneyler sırasında oluşan titreşimleri minimize edebilmek ve mıknatıs tutucunun manyetik olarak yalıtılması için mıknatıs tutucu alüminyum malzemeden imal edilmiş bir aparat ile tezgâh taretine bağlanmıştır.

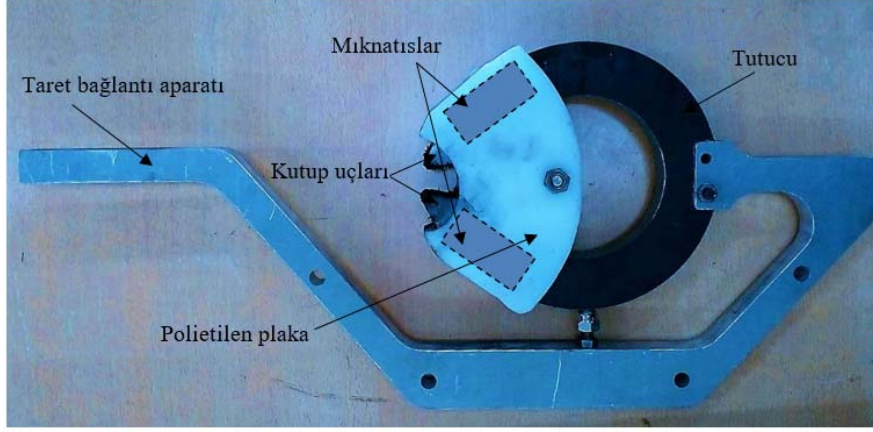
Şekil 5’te tutucunun da bağlı olduğu deney düzeneği görülmektedir. İş parçası ile mıknatıslar arasındaki mesafeyi sabit tutabilmek amacıyla ara yüzeyde kalınlığı 0.5 mm olan teflon bir bant kullanılmıştır. Bu bant aynı zamanda mıknatıs ile boru arasındaki teması engellemektedir.

2.3. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi (Determination of experimental parameters)

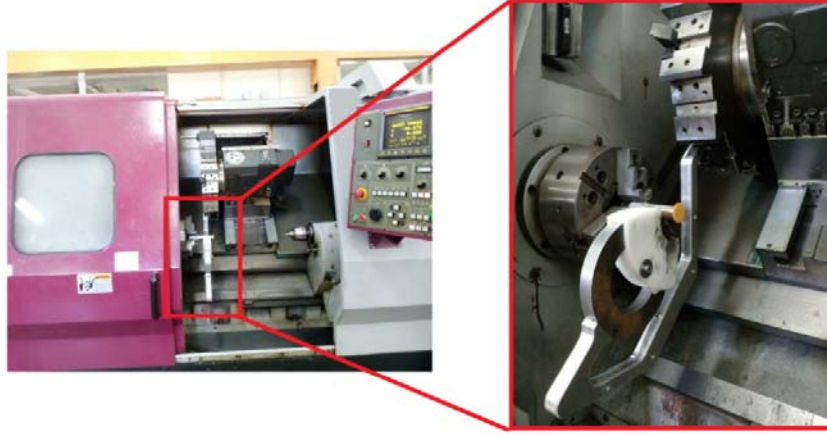
Bilindiği gibi MAİ yönteminde yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin aynı anda birlikte izafi etkilerini belirlemek oldukça güçtür. Literatürde yapılan çalışmalar da değerlendirildiğinde yöntemdeki en önemli parametrelerin devir sayısı, işlem süresi ve toz karışım oranı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada da bu üç temel parametrelerin yanı sıra aşındırıcı ve ferro manyetik demir tozlarının tanecik boyutları da belirli sınırlar içerisinde çeşitli seviyelerde denenecek MAİ üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada zaman ve maliyetten tasarruf etmek adına tam faktöriyel yerine Taguchi kesirli faktöriyel deneysel tasarım yöntemi tercih edilmiştir. Tablo 2’de deneylerde kullanılan faktör ve seviyeleri görülmektedir. Tablo 3’te ise bu faktörlere bağlı



Şekil 3. Deney numuneleri ve numunelere ait teknik detaylar (Specimens and technical details of specimens)



Şekil 4. Mıknatıs tutucu ve taret bağlantı aparatı (Yoke and turret connection apparatus)



Şekil 5. Deneysel düzeneği (Experimental setup)

Tablo 2. Deneysel kullanımlarda kullanılan faktör ve seviyeleri (Factors and levels using on experiments)

Sembol	Parametre	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
A	Fe Tozu Tane boyutu (μm)	200	420	710
B	SiC Tozu Tane Boyutu (μm)	58	75	106
C	İşlem Süresi (dak)	30	45	60
D	Devir Sayısı (dev/dak)	1000	1200	1400
E	Karışım Oranı (%)	20	30	40
-	B4C Tane Boyutu (μm)	85	-	-
-	İlerleme Miktarı (mm/dak)	25	-	-
-	İşleme Boşluğu (mm)	0,5	-	-
-	Fe Tozu Miktarı (gr)	10	-	-

olarak oluşturulan Taguchi L_{27} ortogonal dizin görülmektedir.

2.3. Deneysel Yapılması (Experimentation)

Deneysel, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü CNC atölyelerinde bulunan FANUC O-T – TC35 torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tozların savrulmalarını engellemek amacıyla (topaklanmasını sağlamak) boru içerisinde her bir deney için 0.2 gr oranında 1 mikron ortalama çapa sahip yağ bazlı elmas pasta da kullanılmıştır. Boruların açığağızları toz kaçmalarını

engellemek amacıyla plastik bir tıkaç yardımıyla kapatılmıştır. Tıkaçlar 3D yazıcı yardımıyla boyutlarına uygun şekilde hassas olarak üretilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Talaş Kaldırma Oranı Ölçüm sonuçları (Material Removal Rate Measurement Results)

Talaş kaldırma oranları (TKO), numunelerin MAİ işlemi uygulanmadan ve MAİ işlemi uygulandıktan sonraki ağırlık

Tablo 3. Deneysel Koşulları (Experimental Conditions)

Deneysel No	Fe Boyutu (µm)	SiC Boyutu (µm)	İşleme Zamanı (dak)	Dönüş Hızı (dev/dak)	Karışım Oranı (%)	Deneysel No	Fe Boyutu (µm)	SiC Boyutu (µm)	İşleme Zamanı (dak)	Dönüş Hızı (dev/dak)	Karışım Oranı (%)
1	200	58	30	1200	20	15	420	75	45	1400	40
2	200	58	30	1200	30	16	420	106	60	1000	20
3	200	58	30	1200	40	17	420	106	60	1000	30
4	200	75	45	1400	20	18	420	106	60	1000	40
5	200	75	45	1400	30	19	710	58	30	1200	20
6	200	75	45	1400	40	20	710	58	30	1200	30
7	200	106	60	1000	20	21	710	58	30	1200	40
8	200	106	60	1000	30	22	710	75	45	1400	20
9	200	106	60	1000	40	23	710	75	45	1400	30
10	420	58	30	1200	20	24	710	75	45	1400	40
11	420	58	30	1200	30	25	710	106	60	1000	20
12	420	58	30	1200	40	26	710	106	60	1000	30
13	420	75	45	1400	20	27	710	106	60	1000	40
14	420	75	45	1400	30	-	-	-	-	-	-

farklarının işlem süresine bölünmeleri ve Eş. 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$TKO = \Delta m / t \quad (1)$$

Burada; t işlem süresini, m ağırlığı göstermektedir.

TKO ölçüm sonuçları Tablo 4'te toplu şekilde verilmiştir. TKO değerlerinin işlem koşullarına bağlı olarak 1,130-6,85 mg/dak aralığında değiştiği görülmektedir. Ortalama TKO değeri 3,25 mg/dak olarak ölçülmüştür.

Tablo 4. Deneylere ait TKO değerleri (MRR values of experiments)

Deneysel no	Talaş kaldırma oranı (mg/dak)	Deneysel no	Talaş kaldırma oranı (mg/dak)
1	1,707	15	3,038
2	3,037	16	4,710
3	2,220	17	4,437
4	1,131	18	6,857
5	1,729	19	1,130
6	2,413	20	4,800
7	3,028	21	2,532
8	3,193	22	3,130
9	2,725	23	3,347
10	2,920	24	6,267
11	2,862	25	5,298
12	1,631	26	3,884
13	2,150	27	4,511
14	2,930		

3.1.1. Fe tozu tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi (Effect of particle size of Fe on MRR)

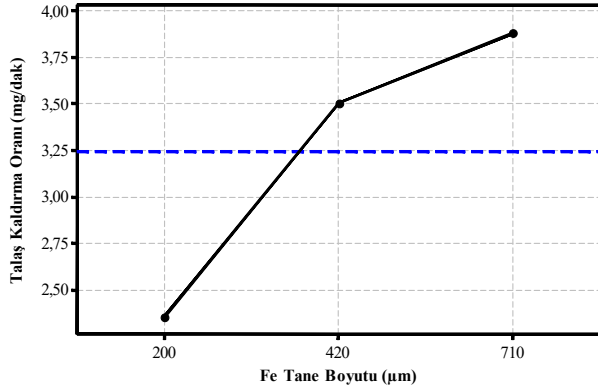
Şekil 6'da Fe tozu tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekildeki mavi kesikli çizgi, 27 deney

sonrasında ölçülen TKO değerlerinin aritmetik ortalamalarını ifade etmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, Fe tozunun tane boyutunun artmasıyla TKO değerleri de artmaktadır. Fe tozunun 200 µm boyutunda olması durumunda elde edilen TKO değerleri, toplam deneylerin aritmetik ortalamasının altındadır. Dolayısıyla, Fe tozu tane boyutunun bu seviyesinin TKO üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı düşünülebilir. Fe tozu tane boyutunun 420 µm değerine çıkmasıyla, TKO değerlerinde keskin bir artış olduğu; 710 µm değerine çıkmasıyla ise bu artış oranında bir azalmanın olduğu görülmektedir. Karışım içerisinde yer alan Fe tozlarının tane boyutlarının artmasıyla, daha gözenekli bir yapı oluşmaktadır. Dolayısıyla Fe tozlarının aralarında daha fazla aşındırıcı tozlar yerleşmekte ve yüzeyden kaldırılan malzeme miktarı da artmaktadır. Diğer yandan, toz tane boyutlarındaki artış, ara bölgede oluşan manyetik kuvvetin şiddetini arttırmakta ve daha kuvvetli bir çekim kuvvetine yol açmaktadır. Böylece aşındırıcı tozların yüzeye uyguladıkları baskı kuvveti artmakta ve daha etkin bir talaş kaldırma işlemi gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, TKO üzerinde Fe tozu tane boyutunun 3. seviyesi tercih edilebilir bir seviye olarak tespit edilmiştir.

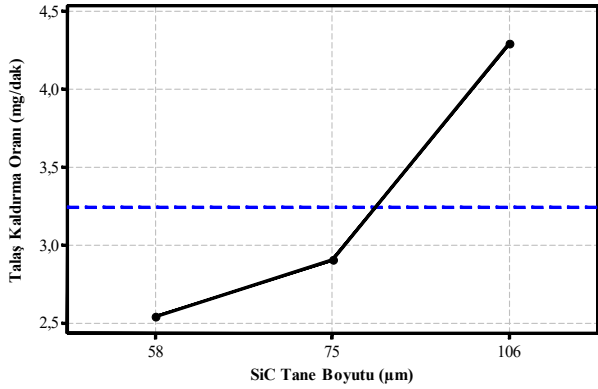
3.1.2. SiC tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi (Effect of particle size of SiC on MRR)

Şekil 7'de SiC tane boyutlarının TKO üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilde SiC tane boyutunun 1. seviyesi (58µm) ve 2. seviyesi (75µm) kullanılarak yapılan deneyler sonucu ölçülen TKO değerlerinin yapılan tüm deneylerin ortalama TKO değerlerinin altında olduğu görülmektedir. Sonuçlar irdelendiğinde SiC tane boyutunun artmasıyla TKO değerinin de arttığı ancak bu artışın 1. ve 2. seviyeler arasında 2. ve 3. seviyeler arasındaki artış oranına nispeten daha az olduğu görülmektedir. Dolayısıyla TKO değeri üzerinde SiC tane boyutunun 3. seviyesi tercih edilebilir bir değer olarak tespit edilmiştir. SiC tanecik boyutunun, TKO üzerindeki etkisi iki açıdan değerlendirilebilir. Birincisi,

tanecik-iş parçası temas uzunluğu, ikincisi ise demir tozları arasındaki tanecik sayısındaki değişimdir. Birinci durumda, SiC tane boyutunun artmasıyla temas uzunluğu artmakta ve yüzeyden daha büyük kesitli talaşlar kaldırılmakta ve TKO oranı artmaktadır. Diğer yandan artan SiC tane boyutu demir tozları arasında daha az aşındırıcı tozun yerleşmesine neden olmaktadır. Bu durumda TKO oranının azalması beklenmektedir. Şekil değerlendirildiğinde birinci durumun daha etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca Fe tozu tane boyutu ve SiC tane boyutunun TKO üzerindeki etkileri birlikte değerlendirildiğinde en iyi sonuçların Fe tozu tane boyutunun 420 µm ve SiC tane boyutunun 106 µm olduğu deneylerde elde edildiği görülmektedir. Yapılan deneylerden SiC tane boyutları ile Fe tozu tane boyutları arasında yaklaşık olarak ¼ lük bir oranın en iyi sonuçları verdiği sonucu çıkarılmaktadır.



Şekil 6. Fe tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi (Effect of particle size of Fe on MRR)

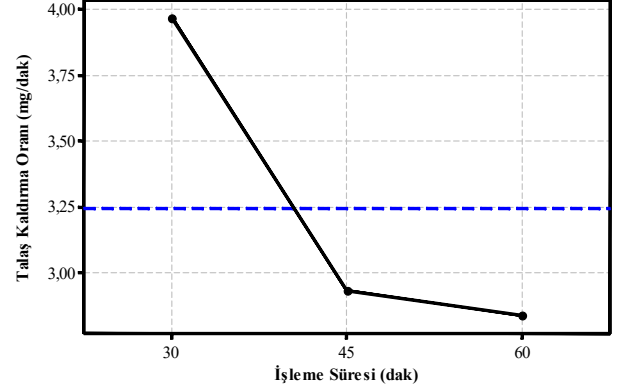


Şekil 7. SiC tane boyutunun TKO üzerindeki etkisi (Effect of particle size of SiC on MRR)

3.1.3. İşleme süresinin TKO üzerindeki etkisi (Effect of machining time on MRR)

İşleme süresinin TKO değerleri üzerindeki etkisi Şekil 8’de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi işlem süresi arttıkça TKO değerleri azalmaktadır. Bu durum işlem süresince aşındırıcı taneciklerin keskin kesme kenarlarının sürtünme sebebiyle keskinliğini kaybetmesi sonucu etkin bir talaş kaldırmadan ziyade kenarları yuvarlanmış

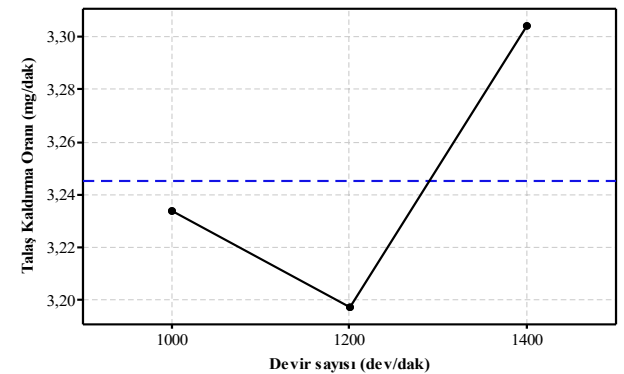
aşındırıcıların yüzeyde sürtünmesi sonucu etkisinin azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Sonuç olarak TKO üzerinde işlem süresinin 1. seviyesinin tercih edilebilir nitelikte olduğu görülmektedir.



Şekil 8. İşleme süresinin TKO üzerindeki etkisi (Effect of machining time on MRR)

3.1.4. Devir sayısının TKO üzerindeki etkisi (Effect of number of revolution on MRR)

Şekil 9 devir sayısının TKO üzerindeki etkisini göstermektedir. Bilindiği gibi devir sayısının artmasıyla kesme hızı ve dolayısıyla aşındırıcı taneciklerin yüzeyde birim zamanda almış olduğu yol artmaktadır. Buna bağlı olarak TKO değerinin de artması beklenmektedir. Şekil incelendiğinde TKO değerinin devir sayısı ile değişimi faktör seviyelerinin farklı değerlerinde azalma ve artma şeklinde tutarsız bir eğilim göstermektedir. Devir sayısının 3. seviyesinde beklenen artış yaşanırken 2. seviyesindeki azalma ile ilgili literatürde makul bir değerlendirme bulunamamıştır. Dolayısıyla devir sayısının 3. seviyesinin tercih edilebilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

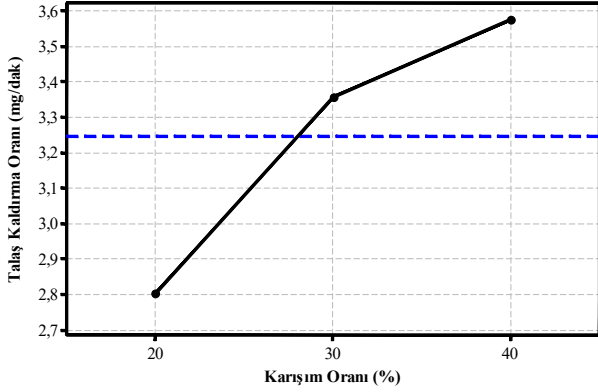


Şekil 9. Devir sayısının TKO üzerindeki etkisi (Effect of number of revolution on MRR)

3.1.5. Karışım oranının TKO üzerindeki etkisi (Effect of mixing ratio on MRR)

Şekil 10 (SiC+B4C)/Fe oranının TKO üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu oran TKO üzerinde önemli bir etkiye

sahiptir [5]. Karışımdaki aşındırıcı oranındaki artış Fe tozlarının arasına daha fazla aşındırıcı taneciklerin yerleşmesine yol açmaktadır. Karışım oranının 1. seviyesinde (%20) TKO değeri deney ortalamalarının altında kalmıştır. Karışım oranı 2. ve 3. seviyelerinde TKO değerinin deney ortalamalarının üzerinde yer aldığı görülmüştür. Bu durum, tanecik sayısındaki artışa bağlı olarak TKO değerlerinin artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Dolayısıyla karışım oranının 3. seviyesinin tercih edilebilir bir seviye olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Karışım oranının TKO üzerindeki etkisi
(Effect of mixing ratio on MRR)

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları (Surface Roughness Measurement Result)

Numuneler, aynı kesme parametreleri ile tormalama işlemine tabi tutulmalarına rağmen, kontrol edilemeyen çevresel faktörler, titreşim vb. koşullar ve AISI 304 L malzemesinin işlenmesi zor metaller grubunda yer alması sebebiyle her numunenin Ra değerleri birbirinden farklı olmaktadır. Dolayısıyla MAİ yönteminin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla numunelerin MAİ işlemi uygulanmadan sahip oldukları ve MAİ işlemi uygulandıktan sonra sahip oldukları ortalama yüzey pürüzlülük değerleri her bir numune için ayrı ayrı ölçülmüş ve Eş. 2 yardımıyla yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranı (YPIÖ) tespit edilmiştir.

$$\frac{Ra_i - Ra_s}{Ra_i} \times 100 = \% \text{ iyileşme} \quad (2)$$

Burada;

Ra_i : MAİ işlemi uygulanmadan sahip olunan ortalama yüzey pürüzlülük değeri
Ra_s : MAİ işlemi uygulandıktan sonra sahip olunan ortalama yüzey pürüzlülük değerini ifade etmektedir.

Ölçülen ve hesaplanan değerler Tablo 5'te toplu şekilde verilmiştir. Tablo değerlendirildiğinde MAİ yönteminin yüzey pürüzlülüğünü %8,709 - 74,172 oranında iyileştirdiği görülmektedir. Şekil 11'de ise 20 ve 21 no'lu deneylere ait numunelerden MAİ işlemi uygulanmadan ve MAİ işlemi

uygulandıktan sonra alınan 3D yüzey topoğrafyası görüntüleri verilmiştir. Şekilden ayrıca enine kesit boyunca bir çizgi üzerinden alınan ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişime ait etken profiller de görülmektedir.

Yüzey görüntüleri ve etken profiller birlikte değerlendirildiğinde MAİ yönteminin yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede iyileştirdiği görülmektedir.

İşlem öncesi yüzey yapısı genellikle tormalama işlemi neticesinde kesici takımın yüzeyde oluşturduğu ve yöne bağımlı derin çizikler şeklinde oluşan pürüz tepelerinden meydana gelmektedir. MAİ işlemi sonrası pürüz tepelerinin önemli derecede törpüldüğü ve çiziklerin önemli ölçüde yüzeyden kaldırıldığı ve daha parlak ve pürüzsüz yüzeylerin elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum özellikle 20 no'lu numunede daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu numuneye ait işlem öncesi ve sonrası etken profil grafikleri birlikte incelendiğinde ortalama pürüz yüksekliklerinin (Rpv) 19,688 µm değerinden 5,399 µm değerine kadar düştüğü ve yüzey pürüzlülüğünün %74,172 oranında iyileştiği belirlenmiştir. Bu oran A3B1C3D3E2 deney koşullarında elde edilmiştir. 21 no'lu numune değerlendirildiğinde (A3B1C3D3E3) MAİ yönteminin etkin bir şekilde yüzey bitirme işlemi yapmadığı ve bu iyileşme oranının sadece %8,709 olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla elde edilecek üründen beklenen yüzey kalitesi işlem koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

3.2.1. Fe tozu tane boyutunun YPIÖ üzerindeki etkisi (Effect of particle size of Fe on IRSR)

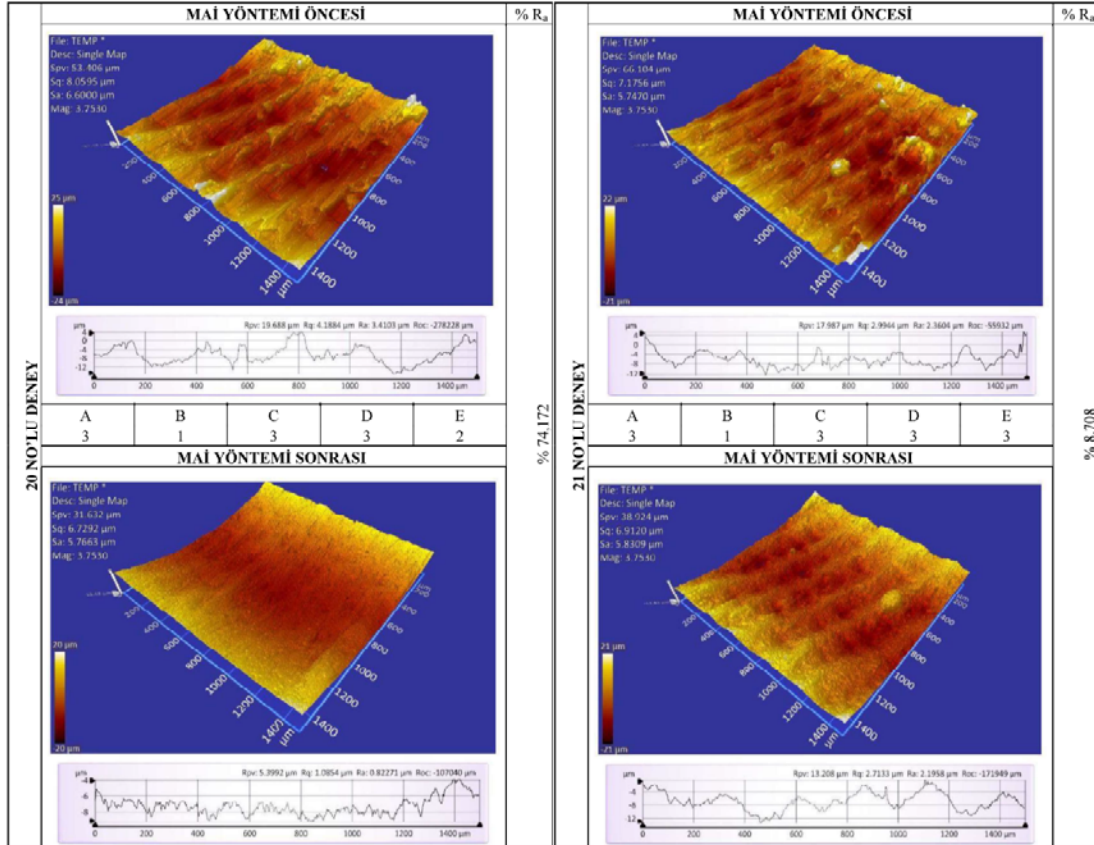
Fe tozu tane boyutunun YPIÖ üzerindeki etkisi Şekil 12'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi Fe tozu tane boyutunun 1. Seviyesinde (200 µm) tüm deneylerin aritmetik ortalaması olan ve şekilde kesikli çizgiyle belirtilen %40,67'lik iyileşme değerinin üzerinde bir iyileşme gerçekleşmiştir. Fe tozu tane boyutunun 2. (420 µm) ve 3. seviyelerinde (710 µm) ise YPIÖ azalarak ortalama değer altına düşmektedir. YPIÖ değerindeki bu azalma, TKO değerlerinin tam tersine, Fe tozu tane boyunun artmasıyla daha güçlü bir manyetik kuvvet etkisiyle aşındırıcı taneciklerin yüzeye daha şiddetli bir basınç uygulaması ve bunun sonucunda yüzeylerde derin çiziklerin meydana gelmesiyle ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla Fe tozu tane boyutunun ortalama yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme üzerindeki en etkin seviyesinin 1. seviye olduğu tespit edilmiştir.

3.2.2. SiC tozu tane boyutunun YPIÖ üzerindeki etkisi (Effect of particle size of SiC on IRSR)

SiC taneciklerin tane boyutlarının YPIÖ üzerindeki etkisi şekil 13'te görülmektedir. Şekil incelendiğinde SiC tane boyutunun 1. seviyesinin (58 µm) kullanıldığı deneylerde ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde %42,36 oranında iyileşme meydana gelmiştir. SiC tane boyutunun 2. Seviyesinin (75 µm) kullanıldığı deneylerde ise beklenildiği gibi bir azalma olmuştur.

Tablo 5. Yüzeý pürüzlülük deęerleri (Surface roughness values)

Dency No				Dency No			
	Ra _i (µm)	Ra _s (µm)	YPIÖ (%)		Ra _i (µm)	Ra _s (µm)	YPIÖ (%)
1	2,281	1,177	48,388	15	1,680	1,200	28,595
2	1,500	0,766	48,948	16	2,526	1,605	36,444
3	1,524	0,720	52,747	17	2,859	1,605	43,876
4	3,227	2,894	10,323	18	1,626	0,808	50,300
5	2,018	1,289	36,118	19	2,802	2,065	26,296
6	3,620	2,060	43,109	20	3,163	0,817	74,172
7	1,460	0,421	71,180	21	2,343	2,139	8,709
8	1,987	0,573	71,140	22	2,511	1,989	20,791
9	2,302	1,364	40,751	23	1,841	0,881	52,147
10	1,169	0,824	29,483	24	3,966	3,124	21,223
11	1,725	1,116	35,298	25	3,840	1,441	62,466
12	2,435	1,042	57,220	26	2,648	1,656	37,473
13	2,286	1,242	45,686	27	2,222	1,734	21,955
14	1,979	1,521	23,120	-	-	-	-

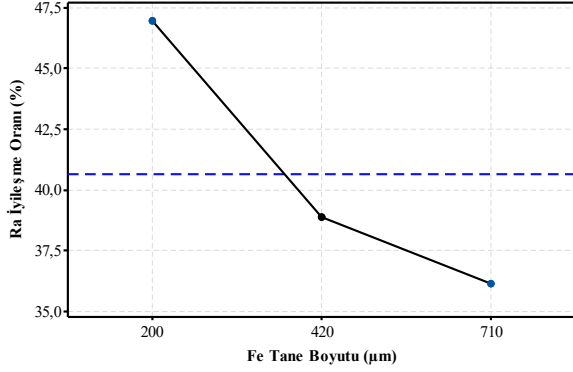


Şekil 11. MAİ işleminin öncesi ve sonrası yüzey profilleri (Profiles of surfaces, before and after MAI process)

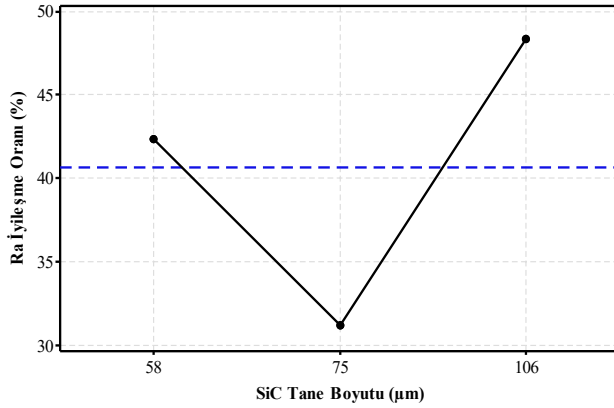
Aşındırıcı boyutunun artması aşındırıcının keskinlik derecesini azaltacağı için YPIÖ değerleri de azalmaktadır. Ancak SiC tane boyutunun 3. seviyesinin kullanıldığı

deneylerde ise YPIÖ değerlerinin beklenenin aksine tekrar arttığı görülmektedir. Literatürde bu sonuçla ilgili makul bir değerlendirme bulunmamaktadır. Dolayısıyla SiC tane

boyutunun YPİO üzerindeki etkisi belirgin olmamakla birlikte, özellikle daha büyük boyutlu SiC taneciklerinin MAİ işlemi sırasında parçalanması ve ara bölgedeki tribolojik koşulları artırarak daha fazla aşınmalara yol açması ve daha etkin bir yüzey bitirme işlemi yapmış olması şeklinde yorumlanabilir. Sonuç olarak SiC tane boyutunun Ra iyileşme oranı üzerindeki etkin seviyesinin 3. seviye olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12. Fe tane boyutunun YPİO üzerindeki etkisi
(Effect of particle size of Fe on IRSR)



Şekil 13. SiC tane boyutunun YPİO üzerindeki etkisi
(Effect of particle size of SiC on IRSR)

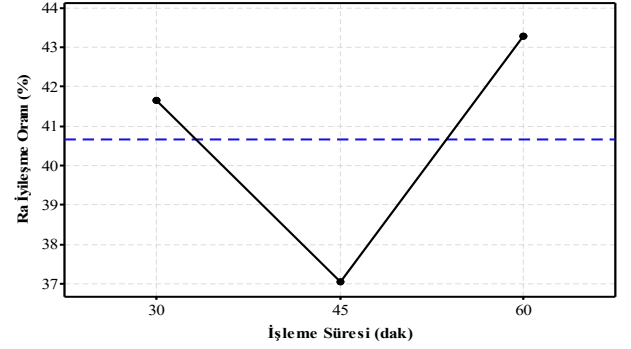
3.2.3. İşleme süresinin YPİO üzerindeki etkisi (Effect of machining time on IRSR)

Şekil 14 işlem süresinin YPİO üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil incelendiğinde işlem süresinin 1. seviyesinde YPİO değerlerinin, deney ortalamalarının üzerinde olduğu, işlem sürelerinin 2. ve 3. seviyelerinde ise YPİO değerlerinin sırasıyla ortalamanın altında ve üzerinde seyrettiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar 1. seviyenin kullanıldığı deneyler için etkin bir bitirme işleminin yapıldığını ancak 2. seviyenin kullanıldığı deneylerde işlemin yüzeyde derin çiziklere yol açarak etkin bir bitirme işlemi için yeterli olmadığını göstermektedir. İşlem süresindeki daha fazla artışa bağlı olarak (60 dakika) aşındırıcı tanelerin talaş kaldırma etkisine ilave olarak parçalanmaları yeni keskin kenarlı daha küçük aşındırıcıların oluşmasıyla kesme mekanizması yeniden etkin hale

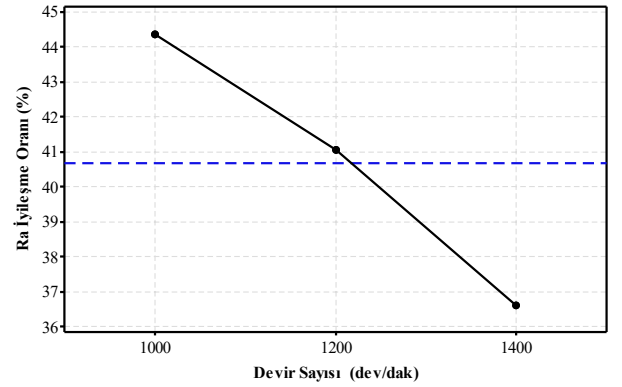
gelmektedir. Bu çalışmada işlem süresinin YPİO üzerindeki etkin seviyesinin 3. seviye olduğu görülmektedir.

3.2.4. Devir sayısının YPİO üzerindeki etkisi (Effect of number of revolution on IRSR)

Şekil 15'te devir sayısının YPİO üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi devir sayısının artmasıyla YPİO azalmaktadır. Devir sayısı birim zamanda alınan yolu ve taneciklere etkiyen merkezkaç kuvvetini değiştirdiği için Ra değerini de doğrudan etkilemektedir. YPİO değerlerinin devir sayısının birinci ve ikinci seviyelerinde ortalamanın üzerinde; üçüncü seviyesinde ise ortalamanın altında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar TKO ölçüm sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, aşındırıcı tanecikler yardımıyla yüzeyde oluşan aşınma izlerinin derinlik ve genişliklerinin artması YPİO değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak elde edilen değerler doğrultusunda YPİO üzerinde devir sayısının etkin seviyesinin 1. seviye olduğu görülmektedir.



Şekil 14. İşleme süresinin YPİO üzerindeki etkisi
(Effect of machining time on IRSR)

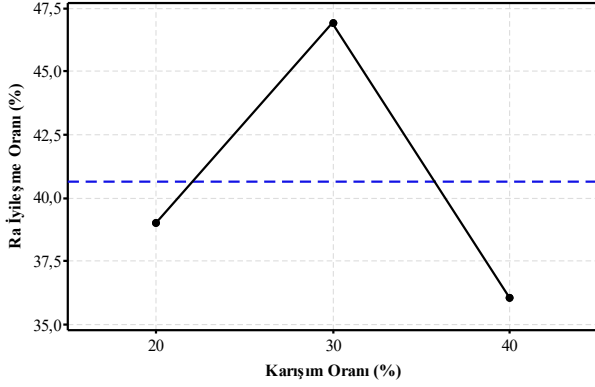


Şekil 15. Devir sayısının YPİO üzerindeki etkisi
(Effect of number of revolutions on IRSR)

3.2.5. Karışım oranının YPİO üzerindeki etkisi (Effect of mixing ratio on IRSR)

Karışımındaki aşındırıcı taneciklerin Fe tozu taneciklerine kütlece oranının YPİO üzerindeki etkisi Şekil 16'da görülmektedir. Bilindiği gibi, karışımındaki manyetik ve aşındırıcı tozların oranları talaş kaldırma üzerinde doğrudan

ve önemli bir etkiye sahiptir. Karışımdaki aşındırıcı oranının azalmasıyla manyetik tozlar arasına yerleşen aşındırıcı tanecikler yüzeye etkin bir basınç uygulayamamakta ve TKO ve YPİO değerleri de azalmaktadır. Karışım oranının üçüncü seviyesinde ise (%40) oluşan manyetik kuvvetin şiddeti aşındırıcıları yüzeye bastırarak büyüklüğe ulaşamadığından işlemin verimi azalmaktadır. Dolayısıyla karışım oranının YPİO üzerindeki en etkin seviyesinin 2. seviye olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 16. Karışım oranının YPİO üzerindeki etkisi
(Effect of mixing ratio on IRSR)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sanayide oldukça geniş kullanılan AISI 304L östenitik paslanmaz çelik boruların iç yüzeyleri ileri imalat yöntemlerinden olan MAİ yöntemi ile işlenmiş ve deneyler sonrasında TKO ve YPİO ölçülerek işlem parametrelerinin en etkin seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmada yapılan 27 deneyin sonucu birlikte incelendiğinde;

TKO üzerinde Fe tozu tane boyutunun 3. seviyesinin (710 μm), SiC tane boyutunun 3. seviyesinin (106 μm), işlem süresinin 1. seviyesinin (30 dak), devir sayısı ve karışım oranı parametrelerinin ise 3. seviyelerinin (sırasıyla 1400 dev/dak ve %40) tercih edilebilir seviyeler olduğu tespit edilmiştir.

YPİO üzerinde Fe tozu tane boyutunun 1. seviyesinin (200 μm), SiC tane boyutunun 3. seviyesinin (106 μm), işlem süresinin 3. seviyesinin (60 dak), devir sayısının 1. Seviyesinin (1000 dev/dak) ve karışım oranı parametresinin ise 2. seviyesinin (%30) tercih edilebilir seviyeler olduğu tespit edilmiştir.

MAİ yöntemiyle önceden tormalanmış yüzeylerin pürüzlülük değerleri, uygun işlem koşullarının seçilmesiyle %75'e yakın bir oranda iyileştirilebilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF 16.10 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hashimoto F., Yamaguchi H., Krajnik P., Wegener K., Chaudhari, R., Hoffmeister, H. W., Kuster, F. Abrasive fine-finishing technology. CIRP Ann.-Manufacturing Technology, 65 (2), 597-620, 2016.
2. Yurdakul M., Güneş S., İç Y.T., Improvement of the surface quality in the honing process using taguchi method. Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi Universtiy, 31 (2), 347-360, 2016.
3. Fox M., Agrawal, K., Shinmura, T., and Komanduri, R., Magnetic Abrasive Machining of Rollers, CIRP Ann., 43 (1),181-184, 1994.
4. Yamaguchi H. and Shinmura, T., Study of the Surface Modification Resulting from an Internal Magnetic Abrasive Finishing Process, Wear, 225-229, 246-255, 1999.
5. Yamaguchi H. and Shinmura, T., Study of an Internal Magnetic Abrasive Finishing using a Pole rotation System-Discussion of the Characteristic Abrasive Behavior, Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, 24, 237-244, 2000.
6. Kang J., Development of high-speed internal finishing and cleaning of flexible capillary tubes by magnetic abrasive finishing, PhD Thesis, University of Florida, Florida, 2012.
7. Mori T., Hikota, K., Kawashima, Y., Clarification of Magnetic Abrasive Finishing Mechanism, Journal of Material Processing Technology, 143-144(20), 682-686, 2003.
8. Yamaguchi H., Shinmura T., Takenaga M., Development of a New Precision Internal Machining Process Using an Alternating Magnetic Field, Precis. Eng., 27 (1), 51-58, 2003.
9. Shinmura T., Study on Magnetic Abrasive Finishing, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 39 (1), 325-328, 1990.
10. Kang J., George A., Yamaguchi H., High-speed Internal Finishing of Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing, 5th CIRP Conference on High Performance Cutting, 414-418, 2012.
11. Nteziyaremye V., Wang Y, Li W., Shih A., Yamaguchi H., Surface finishing of Needles for high - performance biopsy, Procedia CIRP 14, 48 - 53, 2014.
12. Wang A.C., Lee S.J., Study the characteristics of magnetic finishing with gel abrasive, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 49, 1063-1069, 2009.
13. Sihag N., Kala P., Pandey P.M., Chemo Assisted Amgentic Abrasive Finishing: Experimental Investigations, 12th Global Conference on sustainable Manufacturing, Procedia CIRP, 26, 539-543, 2015.
14. Mori T., Hirota K., Kawashima Y., Clarification of magnetic abrasive finishing mechanism, Journal of Materials Processing Technology, 143-144, 682-686, 2003.
15. Chang G.W., Yan B.H., Hsu R.T., Study on cylindrical magnetic abrasive finishing using unbonded magnetic

- abrasives, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42, 575-583, 2002.
16. Yamaguchi H., Shinmura T., Study of the surface modification resulting from an internal magnetic abrasive finishing process, *Wear*, 225-229, 246-255, 1999.
 17. Nteziyaremye V., Wang Y., Li W., Shih A., Yamaguchi, H., Surface Finishing of Needles for High- Performance Biopsy, 6th CIRP Conference on High Performance Cutting, *Procedia CIRP*, 14, 48-53, 2014.
 18. Chou S.H., Wang A.C., Lin Y.C., Elucidating the rheological effect of gel abrasives in magnetic abrasive finishing, 18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining, *Procedia CIRP*, 42, 866-871, 2016.
 19. Kang J., Yamaguchi H., Internal finishing of capillary tubes by magnetic abrasive finishing using a multiple pole-tip system, *Precesion Engineering*, 36, 510-516, 2012.

