

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

Effect of Burnishing Process on the Surface Properties of Drilled AISI 1050 and D2 Cold Work Tool Steel Materials

Tuncay Sımsek^{a*}, Alican Yakın^b, Adnan Akkurt^c

Submitted: 02.03.2023 Revised: 16.07.2023 Accepted: 21.07.2023 doi:10.30855/gmbd.0705060

ABSTRACT

Keywords: Burnishing process, surface roughness, microhardness, circularity, cylindricality

^{a*} Kırıkkale Üniversitesi,
Kırıkkale Meslek Yüksekokulu,
Motorlu Araçlar ve Ulaştırma
Teknolojileri Bölümü
71450 - Kırıkkale, Türkiye
Orcid: 0000-0002-4683-0152
e mail: tuncaysimsek@kku.edu.tr

^b Gazi Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi,
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği
06560 – Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0002-3013-5286

^c Gazi Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi,
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği
06560 – Ankara, Türkiye
Orcid: 0000-0002-0622-1352

*Corresponding author:
tuncaysimsek@kku.edu.tr

In this study, the surfaces of AISI 1050 Medium Carbon Steel and D2 Cold Work Tool Steel, which are commonly used in the machine manufacturing industry, were processed using the burnishing method. In the burnishing experiments, cylindrical materials with dimensions of Ø50x30mm and a Ø20mm hole drilled in the center were used. For the turning process, the cutting speed was selected as 60 m/min and the feed rate as 0.25 mm/rev. The burnishing process was applied in a single pass. The properties such as microhardness, surface morphology, circularity, cylindricality and surface roughness of the materials by the burnishing process were examined in detail. After burnishing, the hardness of AISI 1050 and D2 cold work tool steel materials was measured to be 292 HV and 302 HV, respectively. The results obtained showed that the burnishing process increased the hardness value of AISI 1050 steel proportionally more than the hardness value of D2 steel. It was determined that the circularity and cylindrical properties of the hole surfaces were improved. The obtained results show that the burnishing process will increase the efficiency of the machine elements working in contact and the damage that may occur during the operation of these machine elements can be minimized by burnishing process.

AISI 1050 ve D2 Soğuk İş Takım Çeliği Malzeme Üzerine Açılmış Deliklere Uygulanan Ezme İşleminin Yüzey Özelliklerine Etkisi

ÖZ

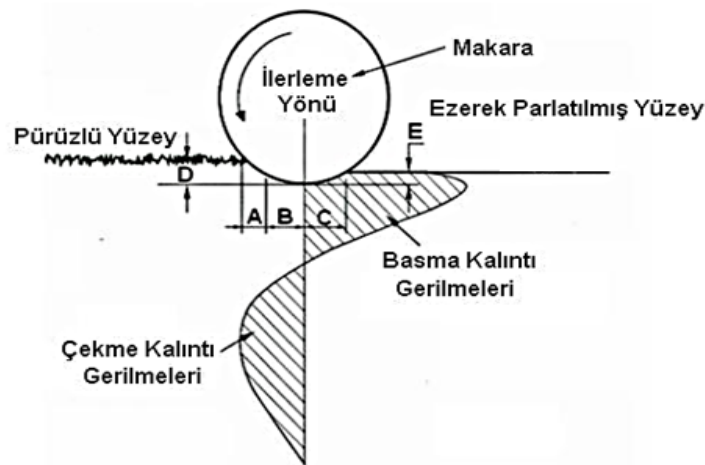
Bu çalışmada; makine imalat sanayinde yoğun olarak kullanılan AISI 1050 Orta Karbonlu Çelik ve D2 Soğuk İş Takım Çeliği malzemelerinin yüzeyleri ezme yöntemi ile işlenmiştir. Ezme deneylerinde, Ø20 mm çapında delik delinen Ø50X30mm ölçülerindeki silindirik malzemeler kullanılmıştır. Tornalama işlemi için kesme hızı 60 m/dak ve ilerleme hızı 0.25 mm/devir seçilmiştir. Ezme işlemi delme sonrası tek paso olacak şekilde uygulanmıştır. Ezilme işlemi ile elde edilen yüzeyler üzerinden mikro sertlik, yüzey morfolojisi, dairesellik, silindiriklik ve yüzey pürüzlülüğü gibi özellikleri tespit edebilmek için ölçümler yapılmış, görüntüler alınmıştır. Ezme işlemi sonrasında AISI 1050 ve D2 soğuk iş takım çeliği malzemelerinin sertlikleri sırasıyla 292 ve 302 HV ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ezme işleminin; AISI 1050 çeliğinin sertlik değerini D2 çeliğinin sertlik değerinden oransal olarak daha fazla artırdığını göstermiştir. Ezme işlemi ile her iki malzeme türü için de yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı ve yüzey kalitesinin arttığı tespit edilmiştir. İşlem sonrası, delik yüzeylerinin dairesellik ve silindiriklik özelliklerinin önemli derecede geliştirildiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, ezme işleminin özellikle birbirleri ile temas halinde çalışan makine elemanlarının verimliliğini artırdığı ve yorulma ömürlerini uzattığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Ezme işlemi, yüzey pürüzlülüğü, mikrosertlik, dairesellik, silindiriklik

1. Giriş (Introduction)

Makine imalat ve bileşik sanayi kollarında herhangi bir amaç doğrultusunda kullanılan parçaların delik yüzeylerinin istenen niteliklerde olması için klasik işleme metotlarından (delme ve tornalama) sonra honlama, taşlama ve raybalama gibi son yüzey işleme yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılan bu yöntemler delik yüzeyleri için yöntemin özelliğine bağlı olarak sınırlı tolerans aralıklarında yüzey elde edilebilmesini sağlamaktadır. Çoğu zaman elde edilen bu tolerans aralıkları istenildiği hassasiyetlere ulaşmayı mümkün kılmamaktadır. Talaşsız şekillendirme yöntemi olan ezme metodu ise daha iyi yüzey bitirme özelliği sunması sayesinde son zamanlarda talaşlı uygulamalara oranla daha çok ilgi çekmektedir. Ayrıca ezme yönteminin kolay uygulanabilir ve nispeten daha ucuz olması da bu yöntemin daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Ucuz ve pratik uygulanabilir olmasının yanı sıra, ezme işleminin istenen hassasiyette yüzey kalitesi sağlaması, bu yöntem makine parçalarının bitirme işlemlerinde diğer yöntemlere nazaran daha çok tercih edilmesine sebep olmaktadır [1-3]. Ezme yönteminin metal ve alaşımlarının yüzey pürüzlülüğü, sertlik, aşınma direnci, yorulma ve dairesellik-silindiriklik gibi özelliklerini iyileştirdiği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Sahip olduğu bu avantajlardan ötürü ezme işlemi, makine konstrüksiyon, otomotiv, havacılık ve endüstrinin birçok kolunda yaygınlaşarak kullanılmaktadır. Piston kolu, şaft, aks, mil gibi makine elemanlarının yüzeyinin ve dairesellik ve silindiriklik özelliklerinin oldukça iyi olması beklenmektedir. Bu özelliklerin iyi olması güç ve hareket aktarımını önemli ölçüde olumlu etkilemekte dolayısıyla enerjiden tasarruf sağlamakta ve makine elemanlarının ve güç organlarının zarar görmesini engellemektedir [1, 4].

Bu çalışmada kullanılan AISI 1050 çeliği ve D2 takım çeliği numunelerine yüzey pürüzlülük, yüzey sertlik ve dairesellik ve silindiriklik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ezme işlemi uygulanmıştır. Makine elemanlarının verimliliğinin artırılması için yüzey pürüzlülüğü, sertlik, dairesellik ve silindiriklik gibi özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmenin en etkili yollarından biri son yıllarda öne çıkan ezme yöntemidir. Ezme yöntemi pürüzsüz ve sert bilyelerin iş parçasının yüzeyinde deformasyon meydana gelmesi işlemi kapsamaktadır. Silindirik küresel uçlu yapılar belli kuvvetlerle malzeme yüzeyine temas ettirilerek deformasyon sertleşmesinin oluşması sağlanmaktadır. Bu işlemin sonucunda aşınmaya karşı dayanıklı, sert ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Şekil 1 ezme işlemi ve deformasyon sertleşmesinin şematik görselini göstermektedir. (A) bölgesi ezme işlemi öncesi talaşlı imalat uygulanmakta (raybalama, tornalama, delme), (D) numune yüzeyine ilk temas gerçekleşmekte ve malzemenin akma sınırının geçildiği bölge (B) olmaktadır. (C) bölgesi plastik deformasyonun, (E) bölgesi ise belirli miktarda elastik dönüşüm ile iş parçasının yüzeyinin pürüzsüz ve parlak olması ile sonuçlanan bölgeleri göstermektedir [1].



Şekil 1. Ezme işlemi ve plastik deformasyon oluşumu [1] (Burnishing process and formation of plastic deformation)

Ezme işleminde pürüzsüz bir katman elde etmek için işlem parametrelerinin uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Ezme işleminde yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. İlerleme hızı, bilye malzemesi ve çapı, ezme hızı, yağlayıcı ve işlem malzemesi en önemli parametreler arasında yer almakta ve bu parametrelerin iyi bir şekilde optimize edilmesi kaliteli bir yüzeyin elde edilmesine katkı sağlamaktadır [5]. Literatür çalışmalarına bakıldığında birbirinden farklı çeşitli

malzeme gruplarının ezme işlemine tabi tutularak parlatıldığı açıkça görülmektedir. Koçak, ezme işleminden sonra Al 6013 ve MS58 malzemelerinin yüzey pürüzlülüğünde, mikroyapısında ve mikrosertlik değerlerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir [6]. Hasan ve arkadaşları ise ilerleme hızı ve ezme kuvveti parametrelerinin alüminyum ve pirinç malzemeleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır [7]. Başka bir çalışmada Akkurt ve arkadaşları ezme işleminin Al 6061 alaşım parçalarının dairesellik ve yüzey pürüzlülüğü özelliklerine etkisi araştırılmıştır [8]. Ezme işleminden sonra AA7075-T6 alüminyum alaşımı malzemesinde meydana artık gerilmeler detaylı bir şekilde Malyer tarafından analiz edilmiştir [9]. Akkurt tarafından yapılan başka bir çalışmada, D3 takım çeliğine ezme işlemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar; honlama, delme, tornalama ve raybalama gibi yüzey bitirme işlemleriyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [10]. El-Khabeery ve arkadaşları Al-6061-T6 alaşımına farklı ezme parametreleri uygulayarak bu parametrelerin yüzey özelliklerine etki miktarlarını incelemiştir. Yapılan inceleme sonucunda hızın yüksek ve paso derinliğinin fazla olması durumunun yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini göstermiştir. Öte yandan düşük hız ve düşük paso kalınlığı seçildiğinde daha pürüzsüz ve düzgün bir yüzey elde edildiği görülmüştür [11]. Sagbas yaptığı çalışmada ezme parametrelerinin yüzey özelliklerine etkisini araştırmış ve elde ettiği sonuçlar ezme parametrelerinden hız ve paso sayısının yüzey özelliklerini en çok etkileyen faktörler olduğunu göstermiştir [12].

Bu çalışmada AISI 1050 Orta Karbonlu Çelik ve D2 Soğuk İş Takım Çeliği malzemeler ezilerek parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Ezme işlemi için uygun boyutların elde edilmesi için malzemeler CNC torna tezgâhı kullanılarak delinmiştir. Delik iç yüzeyleri, ezme parametreleri uygun hala getirildikten sonra karakterizasyon işlemi yapılmıştır. Malzemelerin morfolojik ve sertlik özellikleri optik mikroskop ve mikro sertlik cihazları kullanılarak karakterize edilmiştir. Ek olarak numunelere ait dairesellik-silindiriklik ve pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

2. Deneysel Çalışmalar (Experimental Method)

Yapılan çalışmada ekonomik olması nedeniyle endüstride çok yoğun bir şekilde kullanılan AISI 1050 karbon çeliği ve D2 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal içerikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir. AISI 1050 ve D2 soğuk takım çeliği malzemelerine ait bazı mekanik özellikler (elastik modül, akma dayanımı, çekme dayanımı, sertlik değerleri) ise Tablo 3’te verilmiştir. Deney numuneleri çubuk şeklinde dolu malzemeden 50x30 mm ölçülerinde kesildikten sonra iç delik çapları Taksan TTC-630 modeli CNC torna tezgahında soğutma sıvısı kullanılarak 20 mm olacak şekilde delinmiştir. CNC torna tezgahında tüm numunelerin son yüzey işleme payları bırakılarak delinmiştir. Delme işlemlerinde kesme hızı 60 m/dak, ilerleme 0.25 mm/devir olarak seçilmiştir. Kesici takım olarak ISCAR marka uç kullanılmıştır. Kullanılan ucun uç yarıçapı 0.8 mm’dir.

Tablo 1. AISI 1050 Karbon Çeliğine ait kimyasal içerik (Chemical content of AISI 1050 carbon steel)

Kimyasal Element	C	Si	Cr	S	Mn	P	Fe
Ağırlıkça %	0.51	0,16	-	0.028	0.62	0,020	Kal.

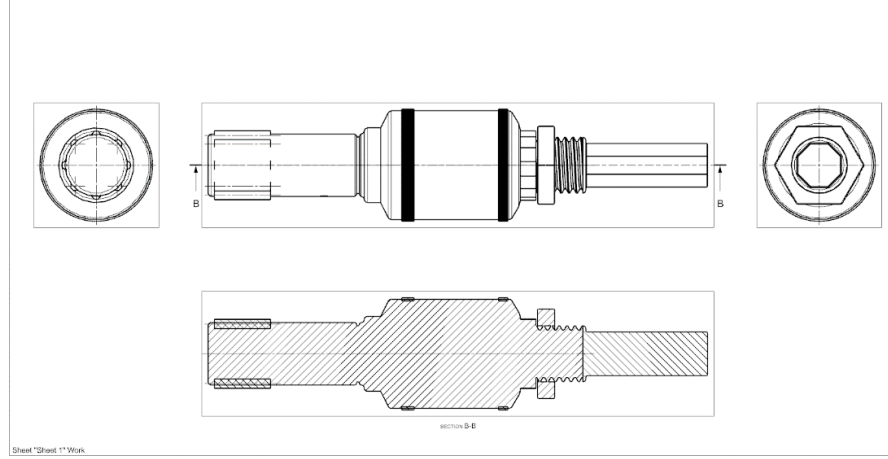
Tablo 2. D2 Soğuk İş Takım Çeliğine ait kimyasal içerik (Chemical content of D2 cold work tool steel)

Kimyasal Element	C	Si	Cr	S	Mn	P	Mo	V	Fe
Ağırlıkça %	1.45-1.60	0.10-0.60	11.00-13.00	0.03	0.20-0.60	0.03	0.60-0.80	0.90-1.10	Kal.

Numuneler CNC tezgâhı kullanılarak delindikten sonra Şekil 2’de gösterilen ezme aparatı ile ezilerek parlatılmıştır (Akkurt, 2011). Bu çalışmada ezme kuvveti 150 N, ezme hızı 1.25 mm/s, devir sayısı 250 rpm, ezme derinliği 0.05 mm ve paso sayısı 1 olarak seçilmiştir. Ezme işlemi 10 mm çaplı bilyelere sahip ezme aparatı kullanılarak yağlı ortamda yapılmıştır. Ezme işlemi 10 mm uzunluğu boyunca tek paso halinde gerçekleştirilmiştir. Ezme işlemi boyunca devamlı olarak bilyeler ve iş parçasının pürüzlü yüzeyi arasında plastik deformasyon sonucu ezme ve geriye esneme işlemleri tekrarlanmıştır. Çünkü, iş parçası delik çapı 20 mm delinmiş, takım çap ölçüsü 20,05 ayarlanmış (malzemeye bağlı ezme payı), işlem sonrası delik ölçüsü 20,02 olarak ölçülmüştür. Ayrıca, ezme işleminin malzemelerin dairesellik silindiriklik özelliklerine etkilerini analiz edilmiştir. Deney numunelerinin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde Taylor Hobson FTS PGI 1230, dairesellik-silindiriklik ölçülmesinde ise Taylor Hobson TR 585 cihazı kullanılmıştır. Dairesellik-silindiriklik analizlerinde 3 farklı konumdan ölçüm alınmıştır.

Tablo 3. AISI 1050 ve D2 soğuk iş çeliğinin bazı mekanik özellikleri (Some mechanical properties of AISI 1050 carbon steel and D2 cold work tool steel)

Malzeme	Akma dayanımı	Çekme Dayanımı	Poisson Oranı	Elastisite modülü
AISI 1050	580 MPa	690	0.3	190-210 GPa
D2 soğuk iş çeliği	469 MPa	759 MPa	0.3	190-210 GPa

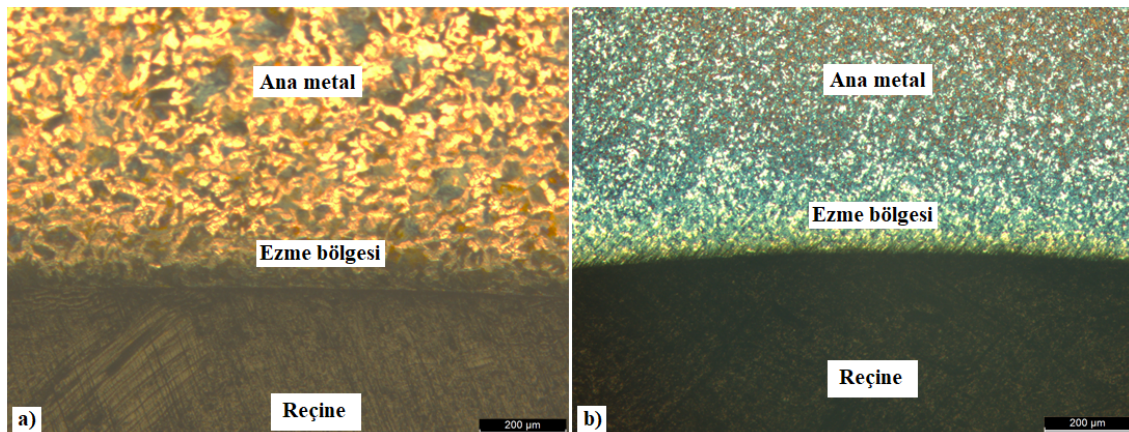


Şekil 2. Ezme işleminde kullanılan ezme aparatının şematik gösterimi (Akkurt, 2011) (Schematic representation of the burnishing apparatus)

Ezme işlemi tamamlanan numuneler, metalografik incelemelere hazırlanmak üzere aşındırıcı disk ile kesilmiştir. Numunelerin dağlama işlemi %2 nital çözeltisi ile yapıldıktan sonra optik mikroskopta (Leica M205 C) incelenmiştir. Daha sonra numunelerin dairesellik-silindiriklik ve yüzey pürüzlülükleri analiz edilmiştir. Bu işlemlerin ardından ezmenin sertlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi için elmas piramit uç kullanılarak 50 g yük ve 10 s bekleme süresi parametreleri ile mikro sertlik testleri (Shimadzu HVM-2) yapılmıştır.

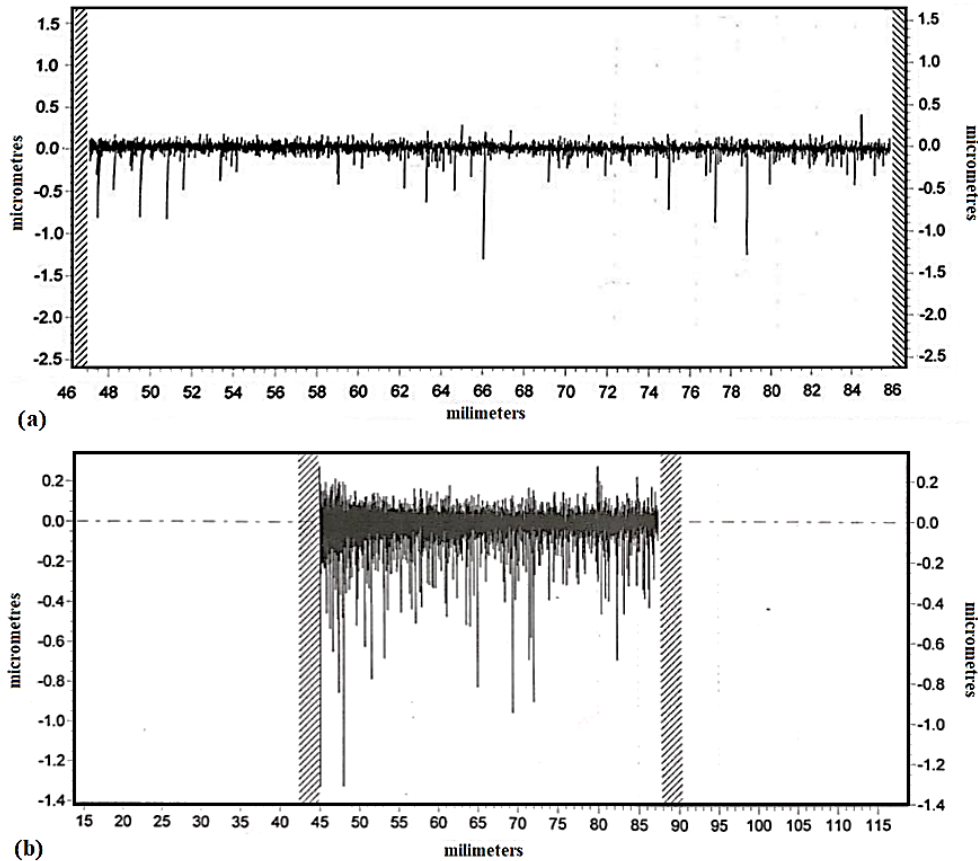
3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

Şekil 3'te AISI 1050 Orta karbonlu çelik ve D2 soğuk iş takım çeliği malzemelerin ezme işlemlerinden sonra metalografik işlemler için hazırlanmış optik mikroskopik görüntüleri gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde anametal ile ezme işlemi uygulanmış bölgelerin mikro yapılarının farklılık gösterdiği görülmektedir. AISI 1050 malzemesinde ezilmiş bölgeden ana metala geçiş bölgesinde yaklaşık 40 μm 'lik deformasyonun meydana geldiği açıkça görülmektedir. D2 malzemesinde ise yaklaşık olarak 52 μm 'lik bir deformasyon görülmektedir. Ezme işlemi sırasında ezme takımı tarafından yüzeye uygulanan kuvvetler neticesinde mikro yapının değiştiği ve uygulanan kuvvetlerin miktarına bağlı olarak numunede sert katmanlar oluştuğu bilinmektedir. Belirli kuvvetlerin etkisinde kalan iş parçasının mikroyapısında meydana gelen dislokasyon yoğunluğu deformasyon sertleşmesinin oluşmasına ve deformasyon sertleşmesi sonucunda bu sert katmanların oluştuğu bilinmektedir. Deformasyon sertleşmesi sonrasında daha ince formların oluştuğu görülmektedir [13].



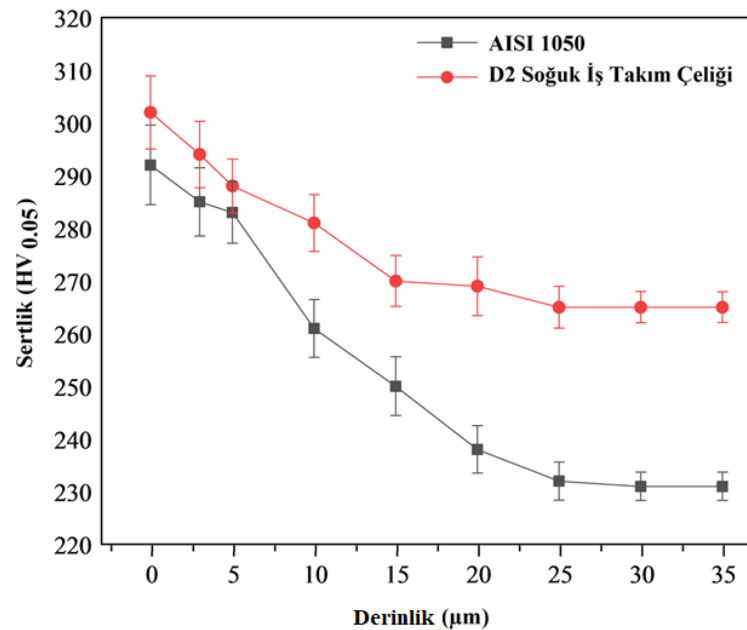
Şekil 3. Ezme işlemi sonrası optik mikroskop görüntüleri a) AISI 1050 Orta karbonlu çeliği malzeme b) D2 soğuk iş takım çeliği malzeme (Optical microscope images after burnishing a) AISI 1050 low carbon steel material b) D2 cold work tool steel material)

Şekil 4 ise ezme uygulamasından sonra numunelerin yüzey pürüzlülük grafiklerini göstermektedir. Delik iç yüzeyleri tormalandıktan sonra AISI 1050 ve D2 çelik malzemelerinin yüzey pürüzlülükleri 1,34 μm ve 1,42 μm olarak bulunmuştur. Ezme işleminden sonra ortalama pürüzlülük değeri AISI 1050 karbon çeliği için $R_a:0.366 \mu\text{m}$, D2 malzemesi için ise $R_a:0.461 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür [14]. Omar tarafından yapılmış olan bir çalışmada ezme işleminin Al 6061-T6 alaşımının yüzey sertliği ve pürüzlülüğü üzerine etkisini konu alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ezme işleminin yüzey pürüzlülüğünü % 87 azalttığı ve sertlik değerini ise %14 arttırdığını göstermiştir [1]. Başka bir çalışmada Nguyen ve arkadaşları tarafından ezme parametrelerinin yüzey özelliklerine etkisi araştırılmış ve ezme hızının belli bir miktara kadar artırılmasının yüzey pürüzlülüğünü azalttığını ancak belli bir hız değerinden sonra pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca paso derinliğinin artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artış gösterdiği not edilmiştir. Yüzey sertliğinin ve sertlik derinliğinin ezme pasosunun derinliğinin artmasına bağlı olarak arttığı görülmüştür [2]. Korzyski yaptığı bir çalışmada ezme kuvvetini ve paso sayısının yüzey kalitesi üzerinde doğrudan etki ettiğini gözlemlemiştir. Ayrıca kaliteli bir yüzey elde etmek için uygulanması gereken kuvvetin sadece numunenin mekanik özelliklerinin değil ayrıca başlangıç yüzey pürüzlülük değerlerinin dikkate alınarak seçilmesi gerektiği Korzyski tarafından vurgulanmıştır [15]. Okada ve arkadaşları ezme parametrelerinin yüzey kalitesine etkisini araştırmış ve bu araştırma sonucunda ezme kuvvetinin ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin büyük olduğunu vurgulamışlardır. Ezme kuvvetinin artması ve ilerleme hızının azaltılması ile düzenli ve sürekli bir yüzey elde edildiği Okada ve arkadaşları tarafından gözlenmiştir [16]. G. Patel ve arkadaşları yapmış oldukları bir çalışmada yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörün ezme kuvveti / baskı olduğunu vurgulamışlardır [17]. Başka bir çalışmada Yuan ve arkadaşları ezme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve mikro sertliğe etkileri araştırılmıştır. Ezme derinliği belirli bir miktara kadar artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ancak belirli miktardan sonra arttırmaya devam edildiğinde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir. Mil hızı belirli bir miktara kadar artırıldığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı ancak arttırmaya devam edildiğinde pürüzlülüğü azalttığı vurgulanmıştır [18]. Bu çalışmada elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ezme işlemi sonrasında pürüzlülüğün önemli ölçüde düştüğü açıkça görülmektedir. Bu durum ezme işleminin yüzey kalitesi üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Ezme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri a) AISI 1050 Orta karbonlu çelik, b) D2 soğuk iş takım çeliği (Surface roughness values after burnishing, a) AISI 1050 low carbon steel, b) D2 cold work tool steel)

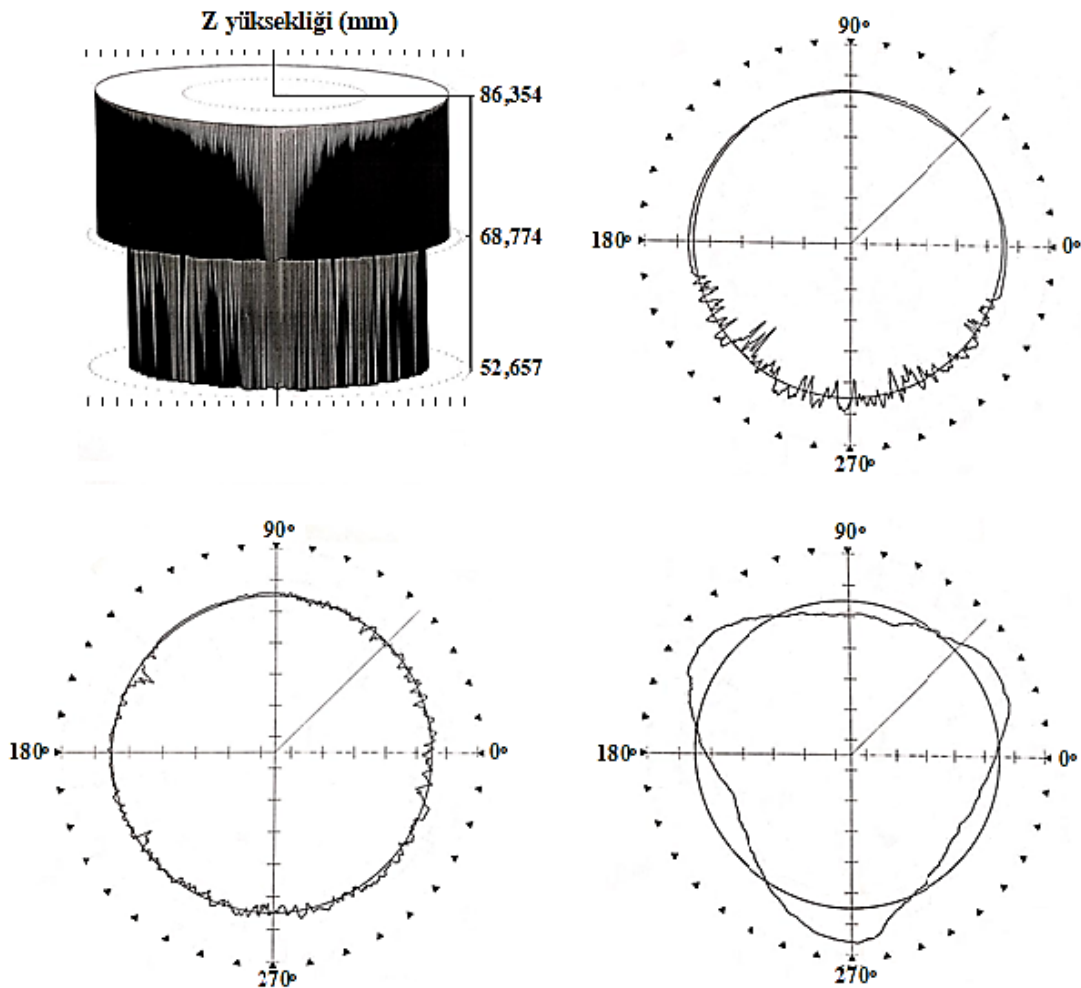
Ezme işleminden sonra numunelerin mikro sertlik değerleri delik kenarından malzemeye doğru olacak şekilde ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere AISI 1050 malzemesinin ana metalin sertliği yaklaşık olarak 230 HV değerine sahipken delik yüzeyine doğru ilerledikçe sertlik değerlerinin artarak 292 HV maksimum değerine sahip olmaktadır. D2 malzemesinde ise yaklaşık olarak 265 HV sertliğe sahip ana malzemenin sertliği ezme işleminden sonra 302 HV'ye çıkmıştır. Ezme işlemi malzemede yoğun plastik deformasyona ve nihayetinde deformasyon sertleşmesine sebep olduğu için, sertlik değerlerinde artış meydana gelmektedir. Ezme işleminin istenen sonuçları vermesi için, ezme kuvveti, ilerleme hızı, ezme geçiş parametresi ve nüfuziyet derinliği birçok faktörün uygun bir şekilde seçilmelidir. Bahsedilen parametrelerden birinin veya birkaçının uygun seçilmemesi durumunda malzeme yüzeyinde pullanmaya, çatlama ya da kopmalara sebep olmaktadır. Khalilpourazary ve arkadaşlarının yürüttüğü bir çalışmada elde ettikleri sonuçlar, ezme kuvvetinin ve nüfuziyet derinliğinin artmasına bağlı olarak mikro sertlik değerlerinin de arttığını göstermiştir. Artan ezme kuvveti ve nüfuziyet derinliğinin malzeme yüzeyinde yoğun plastik deformasyona sebep olduğu bu nedenle malzeme yüzeyinin mikro sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak kuvvetin ve nüfuziyet derinliğinin artması sertlik değerlerinin aksine yüzey pürüzlülük değerini arttırarak yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir [19]. Rotella ve arkadaşları ezme işleminde farklı soğutma ve yağlama koşullarını sağlayarak bu parametrelerin yüzey kalitesine olan etkisi Ti6Al4V alaşımı kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kriyojenik soğutma sıvısının kullanılması durumunda mikro sertlik değerlerinde artışın meydana geldiğini ancak pürüzlülük değerlerinde kayda değer değişiklik olmadığını göstermiştir. Soğutma sıvısı yerine yağlama sıvısı kullanıldığında ise yüzey pürüzlülük değerlerinin önemli ölçüde azaldığı Rotella ve arkadaşları tarafından gözlenmiştir [20]. Tugay ve arkadaşları tarafından ezme işleminin 316 L paslanmaz çelik malzemesinin mikro sertliğine ve korozyon direncine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ezme işleminin malzemenin mikro sertliğini %45 arttırdığı ve korozyon direncini iyileştirdiği gözlenmiştir [21]. Yuan ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada mil hızının ve ezme derinliğinin artmasıyla yüzey sertliğinin arttığını vurgulamışlardır [18]. Çobanoğlu ve arkadaşları ezme parametrelerinin mikro sertliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmış ve ezme kuvvetinin mikro sertliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin diğer parametrelere nazaran daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Ezme hızı ve ilerleme hızının ise mikro sertliğe etkisinin yüksek olduğu ancak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin daha düşük olduğu gözlenmiştir [22]. Literatür çalışmalarına bakıldığında uygun ezme parametreleri kullanıldığında yüzey pürüzlülüğü ve sertlik değerlerinde muazzam iyileşmeler meydana geldiği görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında literatür çalışmalarına benzer bir şekilde ezme işleminin yüzey pürüzlülüğünü ve mikro sertliği önemli ölçüde iyileştirdiği açıkça gözlenmektedir.



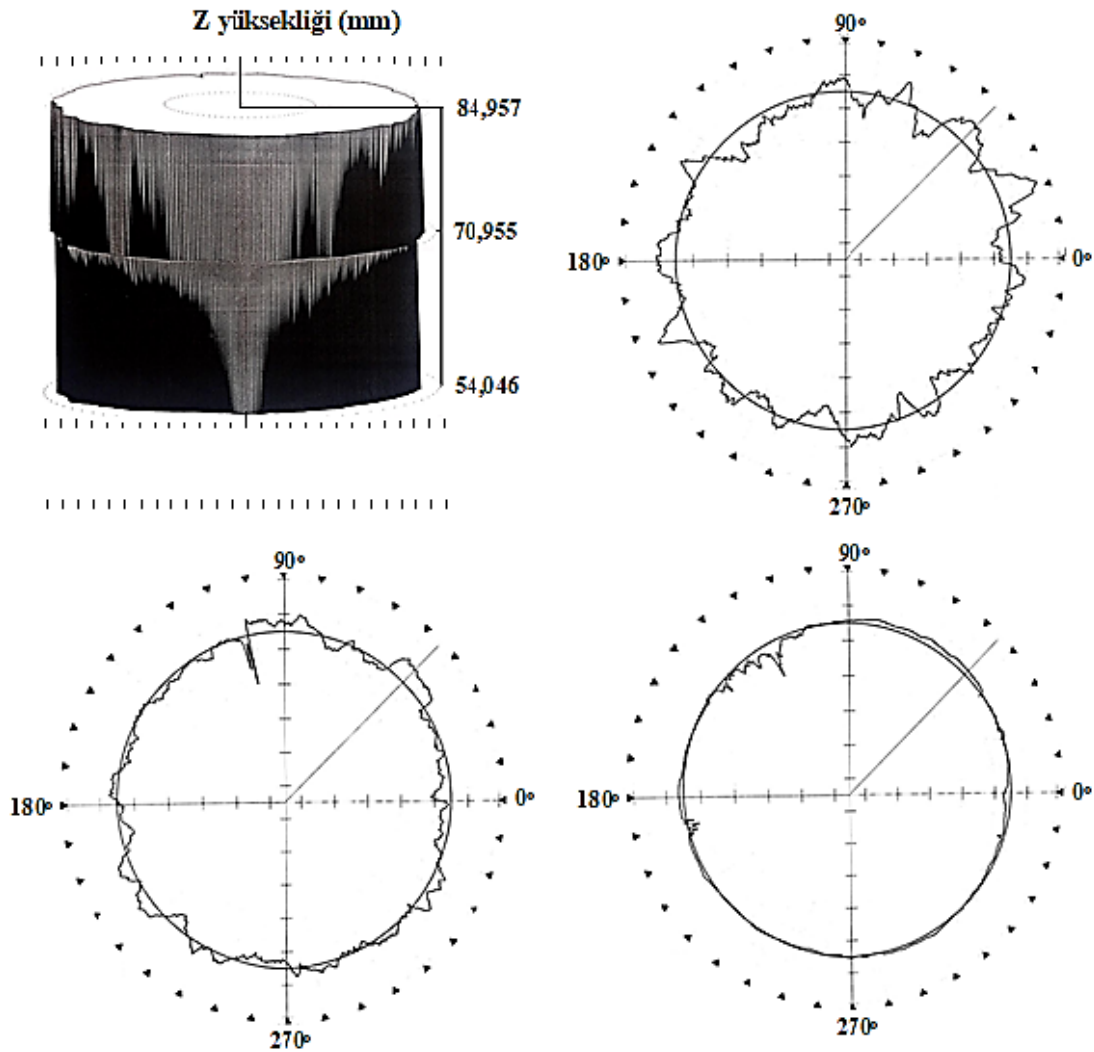
Şekil 5. Ezilen numunelerin mikrosertlik grafikleri (Microhardness graphs of specimens after burnishing)

Şekil 6 ve Şekil 7 ise numunelere ait iç çap silindiriklik ve dairesellik görsellerini göstermektedir. Ezme işleminden sonra AISI 1050 ve D2 malzemelerinin silindiriklik değerleri 17.05 ve 70.87 µm olarak

ölçülmüştür. Makine imalat sanayisi imal edilen makine parçalarının hassas geometrik toleranslara sahip olmasını istemektedir. Ezme işleminde kullanılan takımların aşınması, kesme esnasında kuvvetlerin düzensiz olması (paso sayısı ve kalınlığı, kesme hızı vb.) sebeplerden ötürü dairesellik istenen düzeyde elde edilememektedir. Bu nedenle ezme parametrelerinin uygun seçilmesi oldukça önem arz etmektedir. Mühendislik parçalarının ideal geometride olması bütün sanayi uygulamalarında istenen özellik olduğu bilinmektedir. Dönme hareketinde bulunan güç aktarma organları vb. makine parçaları için silindiriklik ve daireselliğin önemi büyük olmaktadır. Silindiriklik ve daireselliğin uygun olmaması durumunda dönen makine elemanlarının temas ettiği yüzeylerde aşınma meydana gelmekte, güç kaybı oluşmakta ve dolayısıyla ciddi ekonomik kayıplar oluşmaktadır [10]. Ezme süresi ve derinliğinin silindiriklik ve dairesellik üzerinde önemli bir etkiye olduğu bilinmektedir. Bu yüzden paso sayısı minimum tutularak 0.05 mm derinliğinde tek bir paso uygulanmış ve ezilme işlemi yapılmıştır. Ezme derinliği, belirli miktarlarda uygulandığında daireselliği arttırabilmektedir ancak belirli miktarların üzerinde ezme derinliğinin uygulanması malzemede yanmaya ve yüzeyde pullanmaya sebep olmaktadır [23, 24]. Dairesellik değeri maksimum ve minimum yarıçap profilinin farkı alınarak ölçülmektedir. Yapılan çalışmada iç dairesellik, orta kenar ve kenar dairesellik değerleri ise AISI 1050 çeliği için 12.22, 2.09 ve 4.03 μm , D2 soğuk iş takım çeliği için ise 42.32, 36.11 ve 10.30 μm olarak hesaplanmıştır. Ezilen numunelerin sertlik değerlerinin düşük olması silindiriklik değerlerinin daha iyi olmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 6. Ezme işlemi sonrası AISI 1050 Orta karbonlu çeliğinin silindiriklik ve dairesellik değişimleri
(Cylindrical and circularity changes of AISI 1050 low carbon steel after burnishing)



Şekil 7. Ezme işlemi sonrası D2 soğuk iş takım çeliğinin silindiriklik ve dairesellik değişimleri (Cylindrical and circularity changes of D2 cold work tool steel after burnishing)

4. Sonuçlar (Conclusion)

Bu çalışmada AISI 1050 orta karbon çeliği ve D2 soğuk iş takım çeliği malzemeleri ezme işlemine tabi tutulmuştur. Ezme işlemi uygulanan numunelerin sertlik değerlerinin arttığı ve pürüzlülük değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Ezme işleminin uygulanmasıyla, AISI 1050 orta karbon çeliği ve D2 soğuk iş takım çeliği malzemelerinin sertlikleri sırasıyla 292 ve 302 HV olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ezme işleminin; AISI 1050 çeliğinin sertlik değerini D2 çeliğinin sertlik değerinden oransal olarak daha fazla arttırdığı görülmektedir. Ezme işlemiyle, AISI 1050 ve D2 çelik malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri 0.366 ve 0.461 μm olarak ölçülmüştür. Ezme işlemi sonrasında AISI 1050 çeliğinin pürüzlülük değerinin D2 çeliğinin pürüzlülük değerinden daha düşük olduğu yani yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülmektedir. Bu çalışmada uygulanan parametrelere bağlı olarak ezme işlemi uygulanmayan malzemelerden sertlik değeri daha düşük olanın ezme işlemi sonrasında daha düşük pürüzlülük değerine sahip olduğu gözlenmiştir. Pürüzlülük değerleri dikkate alındığında, ezme işleminin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği görülmektedir. Numunelerin iç dairesellik, orta kenar ve kenar dairesellik değerleri ise AISI 1050 çeliği için 12.22, 2.09 ve 4.03 μm , D2 soğuk iş takım çeliği için ise 42.32, 36.11 ve 10.30 μm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, ezme işleminin dairesellik ve silindiriklik toleranslarını geliştirdiğini ortaya koymuştur.

Teşekkür (Acknowledgment)

Yapılan çalışmaya katkılarından dolayı YETER MAKİNE ve Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye destekleri için teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] O. Bataineh, "Effect of roller burnishing on the surface roughness and hardness of 6061-T6 aluminum alloy using ANOVA," *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 8, no. 4, pp. 565-569, 2019. doi:18178/ijmerr.8.4.565-569
- [2] T.-T. Nguyen and X.-B. Le, "Optimization of interior roller burnishing process for improving surface quality," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 33, no. 11, pp. 1233-1241, 2018. doi:10.1080/10426914.2018.1453159
- [3] T. Zhang, N. Bugtai, and I. D. Marinescu, "Burnishing of aerospace alloy: a theoretical-experimental approach," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 37, pp. 472-478, 2015. doi:10.1016/j.jmsy.2014.11.004
- [4] G. Duncheva, J. Maximov, A. Anchev, V. Dunchev, T. Atanasov, and J. Capek, "Finite element and experimental study of the residual stresses in 2024-T3 Al alloy treated via single toroidal roller burnishing," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 43, pp. 1-11, 2021. doi:10.1007/s40430-020-02775-8
- [5] T. Mohamed, H. Hamid, A. Salah, and B. Salim, "Effect of roller burnishing parameters on roughness surface and hardness of unalloyed S 355 J0 steel by using response surface methodology," *Manufacturing Technology*, vol. 17, no. 4, pp. 602-610, 2017.
- [6] H. Koçak, "Al 6013 ve MS 58 malzemelere delik içi ezerek parlatma işlemi uygulanmasıyla yüzeysel özelliklerin iyileştirilmesi," *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, cilt 8, sayı 4, ss. 972-980, 2020. doi: 10.29109/gujsc.821576
- [7] A. M. Hassan and A. S. Al-Bsharat, "Influence of burnishing process on surface roughness, hardness, and microstructure of some non-ferrous metals," *Wear*, vol. 199, no. 1, pp. 1-8, 1996. doi:10.1016/0043-1648(95)06847-3
- [8] A. Akkurt ve İ. Ovalı, "Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçalarının Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, cilt 15, sayı 3, 2009.
- [9] E. Malyer, "Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi," *Politeknik Dergisi*, cilt 21, sayı 3, ss. 565-573, 2018. doi:10.2339/politeknik.389592
- [10] A. Akkurt, "Comparison of roller burnishing and other methods of finishing treatment of the surface of openings in parts from tool steel D3 for cold forming," *Metal science and heat treatment*, vol. 53, no. 3-4, p. 145, 2011. doi:10.1007/s11041-011-9358-2
- [11] M. El-Khabeery and M. El-Axir, "Experimental techniques for studying the effects of milling roller-burnishing parameters on surface integrity," *International Journal of machine tools and manufacture*, vol. 41, no. 12, pp. 1705-1719, 2001. doi:10.1016/S0890-6955(01)00036-0
- [12] A. Sagbas, "Analysis and optimization of surface roughness in the ball burnishing process using response surface methodology and desirability function," *Advances in Engineering Software*, vol. 42, no. 11, pp. 992-998, 2011. doi:10.1016/j.advengsoft.2011.05.021
- [13] V. J. Prasad, K. S. Joshi, V. V. Ramana, and R. Chiranjeevi, "Effect of roller burnishing on surface properties of wrought AA6063 aluminium alloys," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 8033-8040, 2018. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.488
- [14] A. Hassan, "An investigation into the surface characteristics of burnished cast Al-Cu alloys," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 37, no. 6, pp. 813-821, 1997, doi:10.1016/S0890-6955(96)00058-2
- [15] M. Korzynski, "Modeling and experimental validation of the force-surface roughness relation for smoothing burnishing with a spherical tool," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47, no. 12-13, pp. 1956-1964, 2007. doi:10.1016/j.ijmachtools.2007.03.002
- [16] M. Okada, S. Suenobu, K. Watanabe, Y. Yamashita, and N. Asakawa, "Development and burnishing characteristics of roller burnishing method with rolling and sliding effects," *Mechatronics*, vol. 29, pp. 110-118, 2015. doi:10.1016/j.mechatronics.2014.11.002
- [17] J. G. Patel and Y. VAGHELA, "To Study and Optimize the Process Parameter Throw Roller Burnishing Process on EN19 Material by Response Surface Methodology," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, vol. 6, no. 6, pp. 21-30, 2016
- [18] X. Yuan, Y. Sun, L. Gao, and S. Jiang, "Effect of roller burnishing process parameters on the surface roughness and microhardness for TA2 alloy," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 85, pp. 1373-1383, 2016. doi:10.1007/s00170-015-8031-0
- [19] S. Khalilpourazary and J. Salehi, "How alumina nanoparticles impact surface characteristics of Al7175 in roller burnishing process," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 39, pp. 1-11, 2019. doi:10.1016/j.jmapro.2019.01.027

- [20] G. Rotella, S. Rinaldi, and L. Filice, "Roller burnishing of Ti6Al4V under different cooling/lubrication conditions and tool design: effects on surface integrity," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, pp. 431-440, 2020. doi:10.1007/s00170-019-04631-z
- [21] I. O. Tugay, A. Hosseinzadeh, and G. G. Yapici, "Hardness and wear resistance of roller burnished 316L stainless steel," *Materials Today: Proceedings*, vol. 47, pp. 2405-2409, 2021. doi:10.1016/j.matpr.2021.04.363
- [22] T. Cobanoglu and S. Ozturk, "Effect of burnishing parameters on the surface quality and hardness," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 229, no. 2, pp. 286-294, 2015. doi:10.1177/09544054145279
- [23] N. Loh and S. Tam, "Effects of ball burnishing parameters on surface finish—a literature survey and discussion," *Precision Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 215-220, 1988. doi:10.1016/0141-6359(88)90056-6
- [24] K.-H. Zum Gahr, *Microstructure and wear of materials*. Elsevier, 1987.

This is an open access article under the CC-BY license

