



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde haddeleme parametrelerinin etkisinin incelenmesi

Investigation of the effect of rolling parameters in roughness transfer by skin-pass rolling to AISI 304 stainless steel sheet materials

Yazar(lar) (Author(s)): Batuhan ÖZAKIN¹, Naci KURGAN²

ORCID¹: 0000-0003-1754-949X

ORCID²: 0000-0001-7297-7249

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özakin B. ve Kurgan N., “AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde haddeleme parametrelerinin etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1201-1209, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.836460

AISI 304 Paslanmaz Çelik Sac Malzemelere Temper Haddeme ile Pürüzlülük Transferinde Haddeme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi

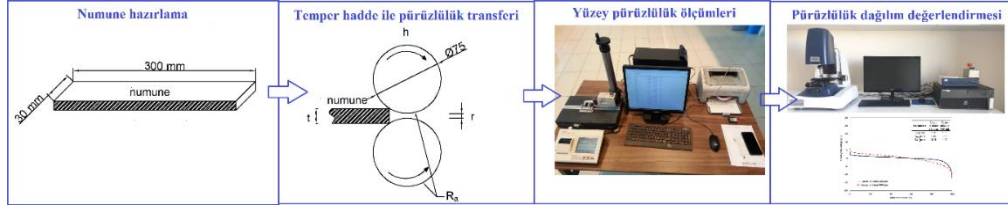
Investigation of the Effect of Rolling Parameters in Roughness Transfer by Skin-Pass Rolling to AISI 304 Stainless Steel Sheet Materials

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Pürüzlülük transferine haddeme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. / The effect of rolling parameters on roughness transfer was investigated.
- ❖ Malzeme yüzeyine transfer edilen pürüzlülük dağılımı, malzeme oranı eğrileri ile değerlendirilmiştir. / Roughness distribution transferred to the surface of the material was evaluated by material ratio curves.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada temper haddeme ile pürüzlülük transferinde haddeme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. / In this study, the effect of rolling parameters on roughness transfer by skin-pass rolling was investigated.



Şekil. Deneysel çalışma süreci /Figure. Experimental study process

Amaç (Aim)

Yüze pürüzlülüğünü etkileyen temper haddeme parametrelerinin etkisini incelemek ve malzemenin boyanabilirlik ve şekillendirilebilirlik açısından pürüzlülük dağılımının homojen olup olmadığını değerlendirmek amaçlanmıştır. / It was aimed to examine the effect of skin-pass rolling parameters affecting the surface roughness, and evaluate whether roughness distribution of the material is homogeneous in terms of dyeability and formability.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

AISI 304 malzeme pürüzlü merdaneler ile farklı haddeme parametreleriyle pürüzlendirilmiştir. Yüzeylerden pürüzlülük ölçümleri alınarak pürüzlülük transfer oranları ve pürüzlülük dağılımları değerlendirilmiştir. / AISI 304 material were roughened with different rolling parameters using rough rolls. By taking roughness measurements from the surfaces, roughness transfer ratios and roughness distributions were evaluated.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışma, temper haddeme ile sac malzemelerin yüzeylerine pürüzlülük transferine haddeme parametrelerinin etkisini incelemekte ve pürüzlülük dağılımının değerlendirilmesinde farklı bir yaklaşım sunmaktadır. / This study examines the effect of rolling parameters on the transfer of roughness to the surfaces of sheet materials by skin-pass rolling and offers a different approach in evaluating the roughness distribution.

Bulgular (Findings)

Pürüzlülük transfer oranı, ezme miktarı arttıkça arttı. Yağlı koşullar, merdane pürüzlülüğü ve malzeme kalınlığı artışıyla azaldı. Haddeme hızı artışının etkisi gözlenmedi. / Roughness transfer ratio was increase as reduction ratio increased. Roughness transfer ratio was decrease as the roll roughness, material thickness increased and in lubricant condition. The effect of increasing the rolling speed was not observed.

Sonuç (Conclusion)

Düşük pürüzlü merdane, ezme miktarı, haddeme hızı, kalın malzeme ve yağlı koşulların tercih edilmesi ile daha homojen pürüzlülük dağılımına ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. / It was concluded that a more homogeneous roughness distribution can be achieved by choosing low roughness roll, reduction ratio, rolling speed, thick material and lubrication conditions.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

AISI 304 Paslanmaz Çelik Sac Malzemelere Temper Haddeme ile Pürüzlülük Transferinde Haddeme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Batuhan ÖZAKIN^{1*}, Naci KURGAN²

¹Kavak Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Arç. ve Ulş. Tek. Bölümü, Samsun Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 05.12.2020 ; Kabul/Accepted : 17.05.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 28.05.2021)

ÖZ

Sac malzemelerin yüzeyleri, boyanabilme ve şekillendirme açısından belli bir pürüzlülük profiline sahip olmalıdır. Yüzeyin pürüzlülüğünün az olması boya veya kaplamaların yapışmasını azaltabileceği gibi fazla olması boya veya kaplamanın yetersiz olması sonucunda paslanmaya neden olabilecek ayrıca boya veya kaplamanın fazla kullanılmasına sebep olarak maliyetlerin artmasına sebep olacaktır. Bu sebeplerden dolayı, sac malzeme yüzeyinin en uygun seviyede pürüzlülüğe sahip olması istenir. Sac malzemelerin yüzeylerine genellikle temper haddeme olarak bilinen, özel pürüzlü merdanelerle pürüzlülük profili transfer edilir. Sac malzeme yüzeyine aktarılan pürüzlülük profili, haddeme parametrelerinden etkilenir. Bu deneysel çalışmada otomotiv endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılan yüksek akma mukavemeti ve uzama kabiliyetine sahip olan AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere temper haddeme ile pürüzlülük transferine ezme miktarı, haddeme hızı, merdane pürüzlülüğü, yağlama koşulları ve malzeme kalınlığının etkisi araştırılmış ve pürüzlülük dağılımı malzeme oranı eğrileri yardımıyla değerlendirilmiştir. Ezme miktarı arttıkça pürüzlülük transfer oranı arttı. Yağlayıcı kullanılan koşullar altında, merdane pürüzlülüğü, malzeme kalınlığı artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranı azaldı. Haddeme hızının artışı pürüzlülük transfer oranına etkisi olmadığı sonucuna varıldı. Ayrıca düşük ezme miktarı, düşük haddeme hızı, düşük pürüzlülüğe sahip merdane, kalın malzeme ve yağlı koşulların tercih edilmesi ile daha homojen bir pürüzlülük dağılımına ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Temper (skin-pass) haddeme, pürüzlülük transferi, haddeme parametreleri, AISI 304.

Investigation of the Effect of Rolling Parameters in Roughness Transfer by Skin-Pass Rolling to AISI 304 Stainless Steel Sheet Materials

ABSTRACT

The surfaces of sheet materials must have a certain roughness profile in terms of paintability and forming. As well as low roughness of the surface may reduce the adhesion of paints/coatings, excess of paint/coating may lead to rusting as a result of insufficient of paint/coating also excessive use of paint/coating will cause increased costs. For these reasons, the surface of sheet material is desired an optimal level of roughness. Roughness profile is transferred to surface of sheet materials by special roughing rollers, commonly known as skin-pass rolling. Roughness profile transferred to the sheet material surface is influenced by the rolling parameters. In this experimental study, it was investigated effect of the reduction ratio, rolling speed, roll roughness, lubrication conditions and material thickness on the roughness transfer by skin-pass rolling to AISI 304 stainless steel sheet materials with high yield strength and elongation ability, which are used extensively in the automotive industry and the roughness distribution was evaluated with the help of material ratio curves. Roughness transfer ratio increased as the reduction ratio increased. Roughness transfer ratio decreased with increasing material thickness, roll roughness, under the conditions of using lubricant. It was concluded that the increase in rolling speed had no effect on the roughness transfer ratio. Also, it was concluded that a more homogeneous roughness distribution can be achieved by choosing low reduction ratio, low rolling speed, low roughness roll, thick material and lubrication conditions.

Keywords: Skin-pass (temper) rolling, roughness transfer, rolling parameters, AISI 304.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Soğuk haddeme, sıcak haddelenmiş malzemeye kıyasla üstün yüzey kalitesi ve boyut toleranslarına sahip sac ve şerit üretmek için kullanılan bir üretim sürecidir. Soğuk haddeme, sıcak haddeme işleminin ardından

malzemenin bobin halinde sarıldığı ve kalınlık azalmasının sıcak haddeme işlemine göre daha az olduğu haddeme işlemidir. Soğuk haddeme işleminde malzeme iki silindirik merdane arasında basınç kuvvetleri etkisi altındadır ve malzeme üzerine uygulanan gerilmenin büyüklüğüne bağlı olarak mekanik özellikler iyileşir. Soğuk haddemeyi takiben, soğuk haddelenmiş şeritler temper haddeme işlemine tabi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : batuhan.ozakin@samsun.edu.tr

tutulmadan önce tavlınır. Temper haddeleme, tavlanan soğuk haddelemiş şerit veya sacın özelliklerinin, düzlüğünün ve yüzey morfolojisinin müşteri gereksinimlerini karşılayacak şekilde uyarıldığı son haddeleme aşamasıdır [1]. Temper haddeleme işlemi geleneksel haddelemeden oldukça farklıdır çünkü küçük uzamalar ve büyük bir temas yayı boyunca yüksek sürtünmenin varlığından olduğu kabul edilir [2].

Otomotiv, makine, havacılık, konstrüksiyon vb. sektörlerde geniş bir kapsamda kullanım alanına sahip olan sac malzemeler belirtilen sektörlerde büyük bir öneme sahiptir [3]. Sac malzemelerin yüzeyleri, boyanabilme ve şekillendirme açısından belli bir pürüzlülük profiline sahip olmalıdır. Sac malzemelerin yüzeylerine genellikle soğuk haddeleme sürecinin son aşaması olan temper haddeleme olarak bilinen, özel pürüzlü merdanelerle malzemeye pürüzlülük profili transfer edilir. Özel pürüzlülüğe sahip merdanenin yüzeyi farklı yükseklikte tepe ve çukurlardan meydana gelmektedir. Merdanenin yüzeyinde bulunan bu tepeler malzemenin yüzeyinde çukur kısımlar oluşturarak ve merdane yüzeyindeki çukurlar ise malzeme yüzeyinde tepelerin oluşmasını sağlayarak malzemeyi pürüzlendirmektedir [4]. Temper haddeleme işleminde sac malzeme yüzeyine aktarılan pürüzlülük profili, haddeleme parametrelerinden etkilenmektedir ve bu sayede sac malzemelerin yüzeyine haddeleme parametrelerinin etkisiyle farklı formlarda pürüzlülük profili transfer edilir. Sac malzeme yüzeyine transfer edilen pürüzlülük profili, boya veya kaplamaların performansı açısından önemli bir unsurdur. Yüzeyin pürüzlülüğünün az olması boya/kaplamaların yapışmasını azaltabileceği gibi, fazla olması boya/kaplamanın yetersiz olmasına ve paslanmaya neden olabilecek ayrıca boya/kaplamanın fazla kullanılmasına sebep olarak maliyetlerin artmasına sebep olacaktır. Bu sebeplerden dolayı, sac malzeme yüzeyinin en uygun seviyede pürüzlülüğe sahip olması istenir [5]. Otomotiv sektöründe kullanılan sac malzemelerin ayrıca şekillendirilebilirlik ve boyanabilirlik açısından yüzeyindeki pürüzlülük dağılımının (tepe ve vadi dağılımı) homojen olması önem arz etmektedir [6].

Temper haddelemede pürüzlülük transferi birçok haddeleme parametresinden etkilenmektedir. Pawelski vd. [7], haddeleme uzamasının ezme oranının bir fonksiyonu olduğunu göstermişler ve aynı çalışmada merdaneden sac yüzeyine pürüzlülük transferinin haddeleme uzaması ile arttığını ayrıca merdane pürüzlendirme yöntemlerinden EDT (Electrical Discharge Texturing) yöntemiyle malzemenin yüzeyine daha fazla, LT (Laser Texturing) yöntemiyle daha az pürüzlülük transfer edilebileceğini tespit etmişlerdir. Ma vd. [8], haddeleme hızının artmasıyla birlikte malzemenin daha fazla pürüzlendiğini göstermişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün çoğunlukla ezme miktarı artışı ile arttığını belirtmişlerdir. Kijima ve Bay [9], takım pürüzlülüğünün iş parçası deformasyonu üzerindeki etkisini, yüksek sürtünme ve küçük ezme oranı altında pürüzlülük transferini nümerik olarak araştırmışlardır.

Kijima ve Bay [10], elde ettikleri nümerik sonuçları değerlendirmek için düzlem şekil değiştirme içeren deneysel çalışmada iş parçası ile takım arasındaki temas uzunluğunun yüksek olmasının pürüzlülük transferini artıracaklarını belirtmişlerdir. Kijima [11], merdane yarıçapının temper haddelemede pürüzlülük transferi üzerindeki etkisini deneysel haddeleme testleri ve ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle nümerik olarak araştırmıştır. Merdane yarıçapı artışının malzeme yüzeyinde temas uzunluğunun artışına sebep olacağından daha yüksek miktarda pürüzlülük transferi sağlanabileceğini belirtmiştir. Kijima [12], temper haddelemede yağlama işleminin, uzama ve pürüzlülük transferi üzerindeki etkisini belirlemiş yağlama davranışı ile merdane yarıçapı arasındaki ilişkiyi deneysel haddeleme testleri ile doğrulamıştır. Wu vd. [13] nümerik ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak soğuk haddelemede yüzey pürüzlülük transferini araştırmak için basit bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Sonuç olarak merdaneden şeride ani pürüzlülük transferi nedeniyle haddeleme kuvvetinin zamana bağlı olduğunu (merdane pürüzlülük profilinde bulunan pürüz tepelerinin farklı şekillerde olmasından ötürü malzeme ile temasında zamana bağlı değişken aralıkta bir haddeleme kuvveti meydana getireceği), ayrıca ezme oranı arttıkça haddeleme kuvvetinin önemli ölçüde artacağını belirtmişlerdir. Çolak ve Kurgan [14], haddeleme kuvvetini artıran her parametrenin pürüzlülük transferini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Haddeleme kuvvetinin ve dolayısıyla pürüzlülük transferinin, yüksek haddeleme hızlarında yapılan testlerde ve daha ince malzemelerle yüksek ezme oranlarında daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yağlanmış pürüzlendirme testlerinde malzeme yüzeyindeki pürüzlülüğün azaldığını göstermişler ayrıca kuru haddeleme ile karşılaştırıldığında, yağlanmış haddelemede daha homojen bir pürüzlülük dağılımı elde edildiğini belirtmişlerdir. Wu vd. [15] başka bir çalışmada metal şeritlerin temper haddelemesinde üç boyutlu yüzey pürüzlülük transferini tahmin etmek için sonlu elemanlar yöntemiyle yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Sonuç olarak bir metal şeridin yüzey profilinin iş merdanesinin pürüzlülük profilinden önemli ölçüde etkilenebileceğini ve iş merdanesi yüzey profilinin, istenen pürüzlü şerit yüzeylerinin oluşumu için kritik olduğunu belirtmişlerdir. Daha büyük bir ezme oranının daha yüksek bir pürüzlülük transfer oranıyla sonuçlanacağını ve haddeleme hızının pürüzlülük transferi üzerindeki etkisinin göz ardı edilebileceğini belirtmişlerdir. Ezme oranının metal şeritlerin temper haddelemesinde istenen yüzey pürüzlülüğünü üretmek için etkili bir haddeleme parametresi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Literatür çalışmalarını değerlendirildiğinde malzeme yüzeyine transfer edilen pürüzlülük profilinin homojen dağılım gösterip göstermediğini değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğu (istatistiksel, atomik kuvvet mikroskopundan elde edilen görüntülerin karşılaştırılması vb.) görülmüştür. Bu çalışmada belirtilen bu boşluğu özgün bir yaklaşım sunan malzeme oranı eğrileriyle değerlendirmek

amaçlanmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temper haddeleme parametrelerinin etkisinin incelenmesi de çalışmanın bir diğer amacıdır.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda, bu deneysel çalışmada otomotiv endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılan yüksek akma mukavemeti ve uzama kabiliyetine sahip olan AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferine ezme miktarı, haddeleme hızı, merdane pürüzlülüğü, yağlama koşulları ve malzeme kalınlığının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca pürüzlülük dağılımı malzeme oranı eğrileri yardımıyla değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere yüksek akma mukavemeti ve uzama sergileyen AISI 304 paslanmaz çelik sac malzeme kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin spektral analizi, Spektrolab marka optik emisyon spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin kimyasal bileşimi (Chemical composition of AISI 304 stainless steel sheet material)

Kimyasal bileşimi (%)													
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V	Co	W	Mo
Denge	0.016	0.412	1.466	0.040	0.007	18.273	7.887	0.196	0.007	0.084	0.230	0.011	0.125

Deneylerde kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin çekme özelliklerinin belirlenmesi için TS EN ISO 6892-1 standardına uygun ve haddeleme yönüne paralel olarak hazırlanan test numunelerine çekme deneyi, Instron marka universal çekme cihazı kullanılarak oda sıcaklığında ve standarda uygun olarak gerçekleştirilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemeye ait çekme özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemeye ait çekme özellikleri (Tensile properties of AISI 304 stainless steel sheet material)

Akma mukavemeti	Çekme mukavemeti	Toplam uzama (%)
306±5 MPa	638±16 MPa	58.4±0.8

Deneylerde kullanılacak olan numuneler iki farklı kalınlıkta (1.0 ve 1.5 mm), 30 mm genişliğinde ve 300 mm uzunluğunda kesilerek temper haddeleme deneylerine hazır hale getirilmiştir.

2.2. Haddeleme Düzenegi (Rolling Equipment)

Temper haddeleme deneylerinde özel olarak imal edilmiş bir haddeleme düzenegi kullanılmıştır. Haddeleme deneyleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında yapılmıştır. Haddeleme düzeneginin teknik özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Haddeleme düzenegine ait bilgileri içeren ve düzenek hakkında birtakım bilgiler, Şekil 1.a’da gösterilmiştir. Temper haddeleme yönteminde kullanılan özel olarak

ürüzlendirilen hadde merdaneleri ise Şekil 1.b’ de gösterilmiştir. Haddeleme deneylerinde ilk olarak paso ayarlama mekanizması ile haddelenecek numunenin ezme miktarı ayarı yapılmıştır. Deney numunesi yerleştirilerek merdanelerin malzemeye temas etmesi sağlanır ve ardından üst merdane mili üzerine komparatör saati yardımıyla ezme miktarı hassas olarak verilerek (Şekil 1.c) deneyler gerçekleştirilmiştir.

2.3. Haddeleme Parametreleri (Rolling Parameters)

Temper haddeleme deneylerinde, haddeleme parametrelerinin değişimi neticesinde malzeme yüzeyine transfer edilen pürüzlülük transferinin oranı değişim göstermektedir. Bu deneysel çalışmada kullanılan haddeleme parametreleri Çizelge 4’de verilmiştir.

2.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri (Surface Roughness Measurements)

Hadde merdanelerinin yüzeylerinin pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo marka SJ-410 model pürüzlülük ölçme cihazı ile haddelenmiş sac numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri ise PCE-RT2000 model pürüzlülük ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

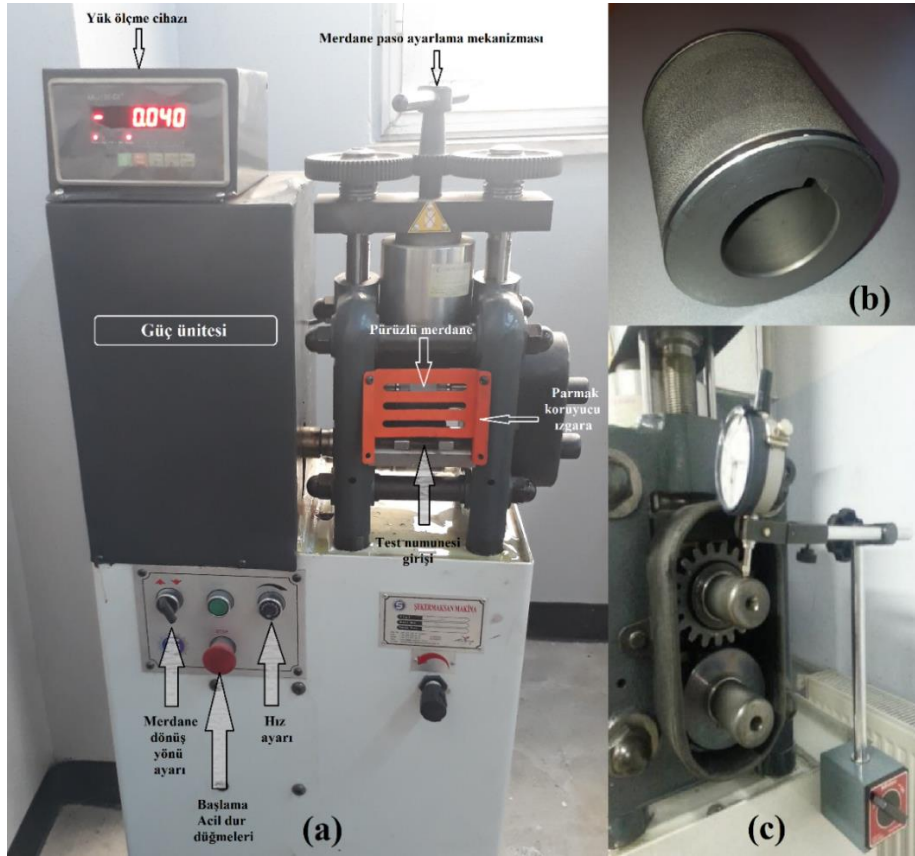
Merdane pürüzlülük ölçümlerinde, bir merdane için 0°, 90°, 180°, 270° açılardan alınan pürüzlülük ölçümlerinin ortalaması alınarak her bir merdane için pürüzlülüğü tayin

edilmiştir. Merdane çiftinin pürüzlülüğünü tayin etmek için ise alt ve üst her iki merdane için bu ortalama pürüzlülük değerlerinin ortalaması alınarak merdane çiftlerinin ortalama pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Çizelge 4’de pürüzlü ve çok pürüzlü merdane çiftlerine ait ortalama pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Temper haddeleme işlemi sonrasında deney numunelerine transfer edilen yüzey pürüzlülük ölçümlerinde ise test numunelerinin alt ve üst kısımlarından üçer adet haddeleme doğrultusunda alınan yüzey pürüzlülük ölçümlerinin ortalaması alınarak deney numunelerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 3. Haddeleme düzeneginin teknik özellikleri (Technical properties of the rolling device)

Haddeleme düzenegi	
Merdane tipi	2’li merdane düzeni
Merdane ölçüleri	075 mm × 50 mm
Merdane malzemesi	Soğuk iş takım çeliği (2379)
Haddeleme hızı aralığı	0-100 d/dk
Motor gücü	1.5 kW
Merdane pürüzlülükleri	Pürüzlü merdane: 4.4 µm (R _a)
	Çok pürüzlü merdane: 6.8 µm (R _a)
Merdane pürüzlendirme yöntemi	Elmasla pürüzlendirme



Şekil 1. a) Haddeme düzeneği, b) Pürüzlendirilmiş hadde merdanesi ve c) Paso ayarı (a) Rolling equipment, b) Roughened rolling roll and c) Reduction adjustment)

Çizelge 4. Deneysel çalışmada kullanılan haddeme parametreleri (Rolling parameters used in the experimental study)

Haddeme Parametreleri	
Malzeme kalınlığı (mm)	
a=1	a=1.5
Merdane pürüzlülükleri (µm)	
Pürüzlü (R _a) p=4.4	Çok pürüzlü (R _a) p=6.8
Ezme miktarı (µm)	
r=250	r=500
Haddeme hızı (d/dk)	
h=10	h=50
Yağlayıcı şartları	
Kuru (K)	Yağlı (Y) Mineral yağ

2.5. Pürüzlülük Transfer Oranının Hesaplanması (Calculation of Roughness Transfer Ratio)

Pürüzlülük transfer oranı (t), 1'de verilen denklem yardımıyla hesaplanmıştır [11]. Denklemde R_{a_s} ; sac malzemenin haddeme sonrası aritmetik ortalama pürüzlülük değerini, R_{a_0} ; sac malzemenin haddeme öncesi aritmetik ortalama pürüzlülük değerini ve R_{a_m} ; merdanenin aritmetik ortalama pürüzlülük değerini göstermektedir.

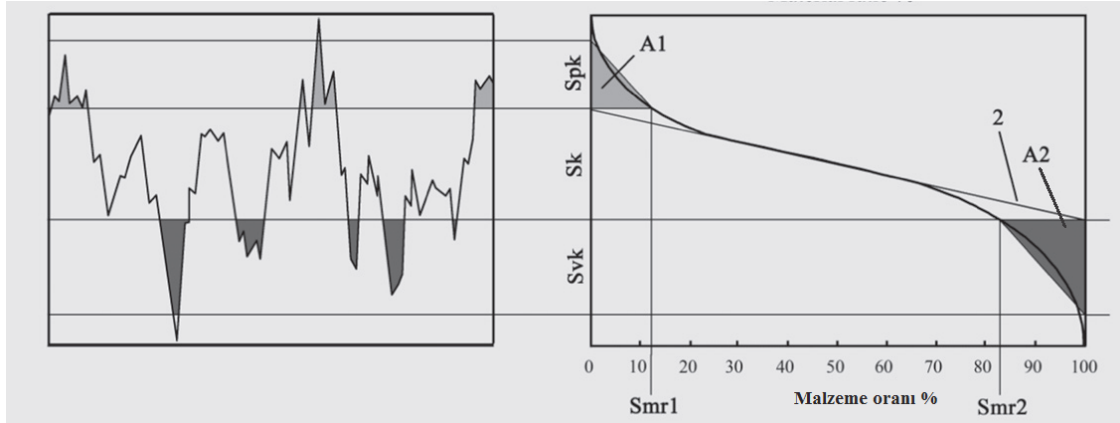
$$t (\%) = \frac{R_{a_s} - R_{a_0}}{R_{a_m} - R_{a_0}} \times 100 \quad (1)$$

2.6. Malzeme Oranı Eğrisi ve Pürüzlülük Parametreleri (Material Ratio Curve and Roughness Parameters)

Malzeme oranı eğrisi, pürüzlü yüzeyde ölçülen en yüksek tepeden en düşük vadiye kadar pürüzlülük dağılımını gösteren eğrilerdir ve eğri oluşturmada kullanılan parametreler EN ISO 13565-2 standardında tanımlanmıştır [16].

S_k parametresi, malzeme yüzey pürüzlülük profilinde bulunan çekirdek pürüzlülük derinliğidir ve bu derinlikle birlikte malzeme yüzeyindeki vadiler ve tepeler eşit bir alana yayılır ve birbirini dengeler. S_{pk} parametresi, çekirdek pürüzlülük profilinin üzerindeki tepe noktalarının yüksekliğidir. S_{vk} parametresi, çekirdek pürüzlülük profilinin altındaki vadilerin derinliğidir. S_{mr1} ve S_{mr2} değerleri, çekirdek pürüzlülük profili ile malzeme oranlarının sınırlarını gösterir. A_1 ve A_2 ise sırasıyla tepelerin ve vadilerin pürüzlülük profili tarafından oluşturulan alanı gösterir. Bu tanımlanmış parametreleri içeren malzeme oranı eğrisi Şekil 2'de gösterilmektedir [16, 17].

3D pürüzlülük parametreleri ile malzeme oranı eğrilerinin elde edilmesinde Bruker Contour GT-K model optik profilometre cihazından faydalanılmıştır. Vision-Software programında yüzeylerden alınan pürüzlülük dağılımlarından malzeme oranı eğrileri elde edilmiş ve deneysel çalışmada araştırılan haddeme parametrelerinin homojen dağılım sergileyip sergilemediği karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

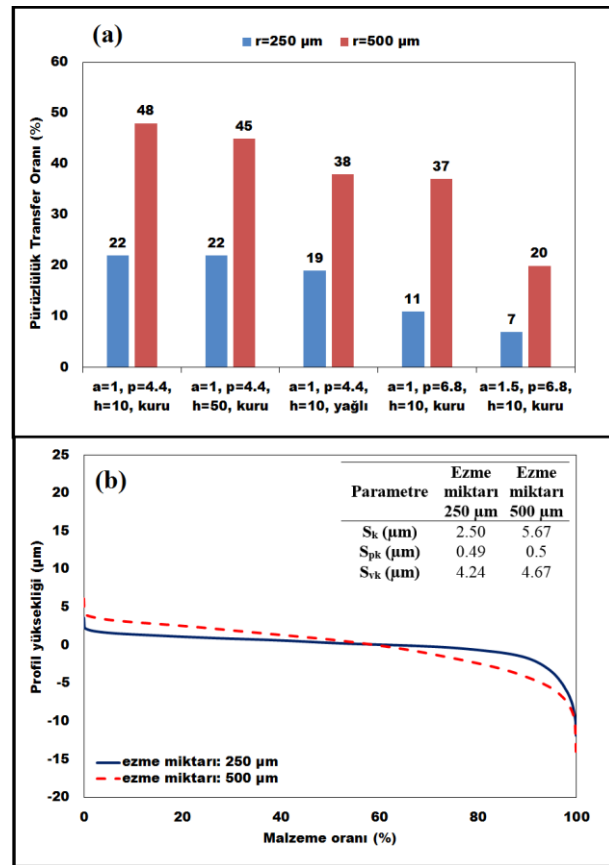


Şekil 2. Malzeme oranı eğrisi ve parametreleri (Material ratio curve and parameters) [16, 17]

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Temper haddelemede pürüzlülük transferine etki eden en önemli parametrelerden biri ezme miktarıdır. Şekil 3.a'da ezme miktarının pürüzlülük transfer oranına olan etkisi görülmektedir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı ezme miktarı (250 μm ve 500 μm) ile yapılan temper haddeleme testlerinde ezme miktarının artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranının arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu ile testlerin tamamında karşılaşılmış olup, ezme miktarı artışıyla birlikte merdanenin pürüzlülük profilinde bulunan tepeler ile vadilerin sac malzemeye daha yüksek oranda temasıyla birlikte pürüzlülük transferi artmıştır. Elde edilen bu bulgu, Wu vd. [15] tarafından elde edilen sonuçlara paralellik göstermektedir. 1 mm kalınlık, 4.4 μm pürüzlülüğe sahip merdane, 10 d/dk haddeleme hızında, kuru şartlarda ($a=1$, $p=4.4$, $h=10$, kuru) iki farklı ezme miktarı (250 μm ve 500 μm) ile yapılan temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yüzeylerden hassas olarak yapılan 3D ölçümlerden elde edilen malzeme oranı eğrisi Şekil 3.b'de gösterilmiştir. Ezme miktarı arttıkça çekirdek pürüzlülük derinliği (S_k) yüksek oranda artış göstermiştir. Bununla birlikte tepe yükseklikleri ve vadi derinliklerinde de artış gözlemlenmiştir. Dolayısıyla AISI 304 paslanmaz sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde ezme miktarı arttıkça pürüzlülük dağılımının homojenliğinin bozulduğu söylenebilir. Çolak ve Kurgan [14] bu bulguya benzer sonuçlara pürüzlülük ölçümlerinin standart sapmalarını değerlendirerek ulaşmışlardır.

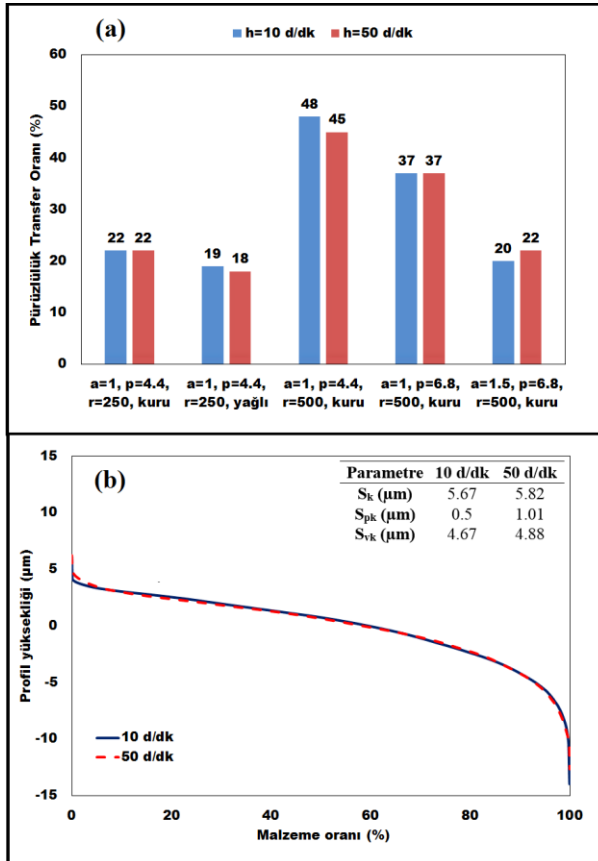
Temper haddelemede pürüzlülük transferine etki eden parametrelerden bir diğeri haddeleme hızıdır. Şekil 4.a'da haddeleme hızının pürüzlülük transfer oranına etkisi görülmektedir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı haddeleme hızı (10 d/dk ve 50 d/dk) ile yapılan temper haddeleme testlerinde



Şekil 3. a) Ezme miktarının pürüzlülük transfer oranına etkisi, b) malzeme oranı eğrisi (a) Effect of reduction ratio on roughness transfer ratio, b) Material ratio curve)

haddeleme hızının artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranında artış ve azalışlar gözlenmesine rağmen genel olarak sabit kaldığı söylenebilir. Mekicha vd. [18] haddeleme hızının şerit malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü çok az etkilediği sonucuna varmışlardır. 1 mm kalınlık, 4.4 μm pürüzlülüğe sahip merdane, 500 μm ezme miktarında, kuru şartlarda ($a=1$, $p=4.4$, $r=500$,

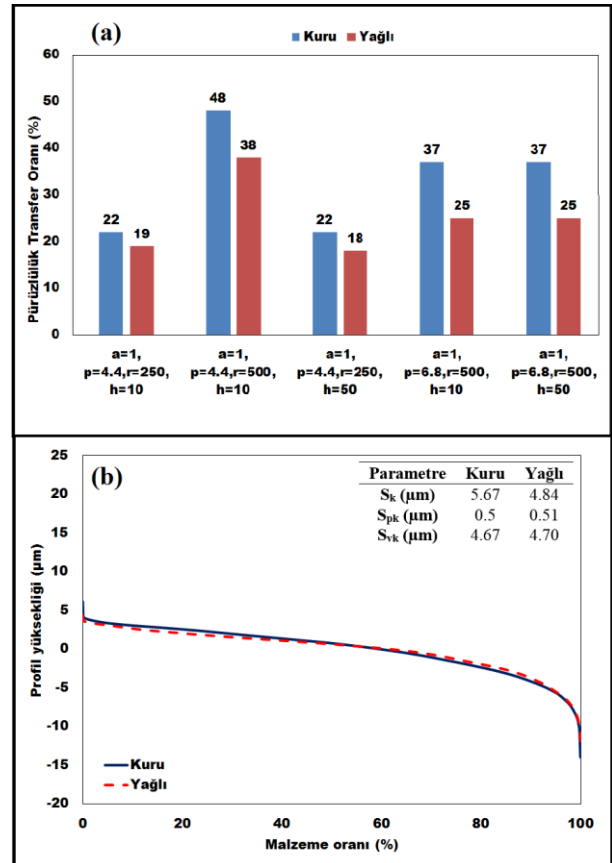
kuru) iki farklı haddeleme hızı (10 d/dk ve 50 d/dk) ile yapılan temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yüzeylerden hassas olarak yapılan 3D ölçümlerden elde edilen malzeme oranı eğrisi Şekil 4.b’de gösterilmiştir. Haddeleme hızı arttıkça çekirdek pürüzlülük derinliği (S_k) ve vadi derinliği (S_{vk}) değerleri birbirine çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Bununla birlikte tepe yüksekliklerinde (S_{pk}) haddeleme hızı arttıkça bir artış gözlemlendi. Jeng vd. [19] alüminyum malzemede azalan haddeleme hızının tepe miktarında azalma gösterdiği bulgusuna varmışlardır. Bu bulguya benzer bulgulara bu çalışmada kullanılan AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelerin temper haddeleme ile pürüzlülük transferi sürecinde de ulaşılmıştır. Dolayısıyla AISI 304 paslanmaz sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde düşük haddeleme hızlarını seçmek hem homojen pürüzlülük dağılımı elde edilmesi hem de merdanenin uzun ömürlü olması açısından da faydalı olacağı söylenebilir.



Şekil 4. a) Haddeleme hızının pürüzlülük transfer oranına etkisi, b) malzeme oranı eğrisi (a) Effect of rolling speed on roughness transfer ratio, b) Material ratio curve)

Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden yağlama koşulları da bir diğer parametre olarak göze çarpmaktadır. Şekil 5.a, yağlama koşullarının pürüzlülük transfer oranına etkisini göstermektedir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı ortamda (kuru ve yağlı) yapılan temper haddeleme testlerinde yağlayıcı kullanılan testlerde pürüzlülük transfer oranının azaldığı

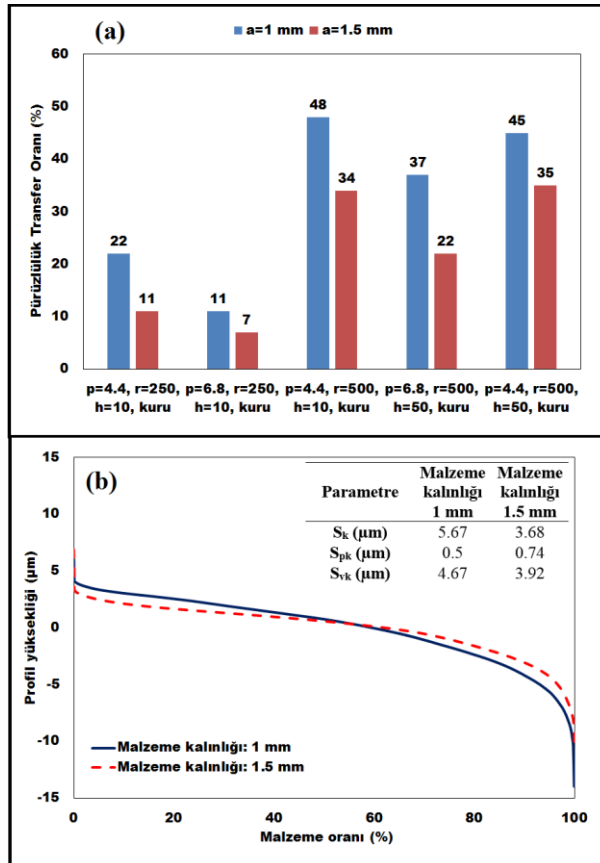
gözlenmiştir. Yağlayıcı kullanılması durumunda yüzeydeki sürtünme kuvvetinin azalması ve yağlayıcının merdane ile sac malzeme arasındaki temasın önüne geçebilecek bir film tabaka oluşturmasından ötürü kuru şartlara göre daha az pürüzlülük transferi gerçekleştiği söylenebilir. Nagase vd. [20] ile Kijima [12] tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar bu bulguyu doğrular niteliktedir. 1 mm kalınlık, 4.4 µm pürüzlülüğe sahip merdane, 500 µm ezme miktarı, 10 d/dk haddeleme hızında ($a=1$, $p=4.4$, $r=500$, $h=10$) iki farklı ortamda (kuru ve yağlı) yapılan temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yüzeylerden hassas olarak yapılan 3D ölçümlerden elde edilen malzeme oranı eğrisi Şekil 5.b’de gösterilmiştir. Yağlayıcı kullanılan koşullarda çekirdek pürüzlülük derinliğinin (S_k) azaldığı bununla birlikte vadi derinliği (S_{vk}) ve tepe yüksekliği (S_{pk}) değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu bulguya benzer bulgulara DC04 kalite sac malzemeler için Özakin ve Kurgan [21] tarafından ulaşıldı. Dolayısıyla AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelerin temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yağlayıcı kullanılan koşullarda pürüzlülük profil yüksekliklerinin kuru şartlara göre daha homojen pürüzlülük dağılımı elde edildiği söylenebilir.



Şekil 5. a) Yağlama koşullarının pürüzlülük transfer oranına etkisi, b) malzeme oranı eğrisi (a) Effect of lubrication conditions on roughness transfer ratio, b) material ratio curve)

Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden malzeme kalınlığı da bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Şekil 6.a, malzeme

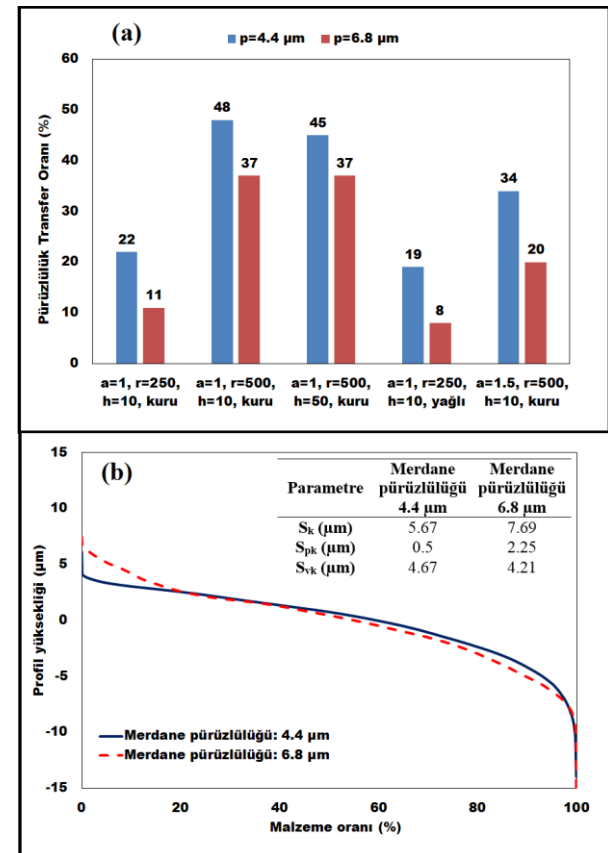
kalınlığının pürüzlülük transferine olan etkisini göstermektedir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı kalınlıkta (1 mm ve 1.5 mm) yapılan temper haddeleme testlerinde kalınlığı fazla olan sac malzemede pürüzlülük transfer oranının daha az olduğu görülmüştür. Malzeme kalınlığının artışı ile birlikte pürüzlülük transferinde azalma gözlenmiştir. Bunun nedeni kalın malzemenin daha az ezilmesinden dolayıdır. Bu bulguya benzer sonuçlara Çolak ve Kurgan [14] tarafından ulaşılmıştır. 4.4 μm pürüzlülüğe sahip merdane, 500 μm ezme miktarı, 10 d/dk haddeleme hızında, kuru şartlarda ($p=4.4$, $r=500$, $h=10$, kuru) iki farklı kalınlıkta (1 mm ve 1.5 mm) yapılan temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yüzeylerden hassas olarak yapılan 3D ölçümlerden elde edilen malzeme oranı eğrisi Şekil 6.b'de gösterilmiştir. Malzeme kalınlığı arttıkça çekirdek pürüzlülük derinliği (S_k) ve vadi derinliği (S_{vk}) değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bununla birlikte tepe yüksekliklerinde (S_{pk}) ise malzeme kalınlığı arttıkça bir artış gözlenmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelerin temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde malzeme kalınlığı arttıkça daha homojen pürüzlülük dağılımı elde edildiği bulgusuna ulaşılabilir.



Şekil 6. a) Malzeme kalınlığının pürüzlülük transfer oranına etkisi, b) malzeme oranı eğrisi (a) Effect of material thickness on roughness transfer ratio, b) material ratio curve)

Temper haddelemede pürüzlülük transferine etki eden parametrelerden bir diğeri merdane pürüzlülüğüdür. Şekil 7.a'da merdane pürüzlülüğünün pürüzlülük transfer

oranına etkisi görülmektedir. AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı pürüzlülüğe sahip merdane ile (4.4 μm ve 6.8 μm) yapılan temper haddeleme testlerinde merdane pürüzlülüğünün artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranında azaldığı bulgusuna ulaşılmıştır. Bu durum çok pürüzlü merdanenin (6.8 μm) haddeleme esnasında daha az pürüzlü merdaneye (4.4 μm) nazaran sac malzeme yüzeyine temas eden alanının daha az olmasından dolayı sac malzeme yüzeyine daha az pürüzlülük transferine neden olduğu düşünülmektedir. Lenard [22] tarafından yapılan çalışmada yüksek pürüzlülüğe sahip merdane ile haddelemede metalin deformasyona karşı yüksek direnç gösterdiği sonucuna varması bu bulguya destek olarak sunulabilir. 1 mm kalınlık, 500 μm ezme miktarı, 10 d/dk haddeleme hızında, kuru şartlarda ($a=1$, $r=500$, $h=10$, kuru) iki farklı pürüzlülüğe sahip merdane (4.4 μm ve 6.8 μm) kullanılarak yapılan temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yüzeylerden hassas olarak yapılan 3D ölçümlerden elde edilen malzeme oranı eğrisi Şekil 7.b'de gösterilmiştir. Merdane pürüzlülüğü arttıkça çekirdek pürüzlülük derinliği (S_k) ve tepe yüksekliği (S_{pk}) değerlerinde artış gözlenmiştir. Bununla birlikte vadi derinliği (S_{vk}) merdane pürüzlülüğü arttıkça azalmıştır. AISI 304 paslanmaz sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde merdane pürüzlülüğünün artışıyla birlikte pürüzlülük dağılımının homojenliğinin bozulduğu söylenebilir.



Şekil 7. a) Merdane pürüzlülüğünün pürüzlülük transfer oranına etkisi, b) malzeme oranı eğrisi (a) Effect of roll roughness on roughness transfer ratio, b) material ratio curve)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu deneysel çalışmada otomotiv endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılan yüksek akma mukavemeti ve uzama kabiliyetine sahip olan AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferine ezme miktarı, haddeleme hızı, merdane pürüzlülüğü, ve yağlama koşulları, malzeme kalınlığının etkisi araştırılmış ve pürüzlülük dağılımı malzeme oranı eğrileri yardımıyla değerlendirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı ezme miktarı ile (250 µm ve 500 µm) yapılan temper haddeleme testlerinde ezme miktarının artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranının arttığı ve pürüzlülük dağılımının homojenliğinin bozulduğu tespit edilmiştir.
- AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı haddeleme hızı ile (10 d/dk ve 50 d/dk) yapılan temper haddeleme testlerinde haddeleme hızının artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranında artış ve azalışlar gözlenmesine rağmen genel olarak sabit kalmıştır. Pürüzlülük dağılımları da haddeleme hızı arttıkça birbirine benzer davranış sergilese de düşük haddeleme hızlarında yüksek haddeleme hızlarına oranla daha homojen olduğu sonucuna varılmıştır.
- AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı ortamda (kuru ve yağlı) yapılan temper haddeleme testlerinde yağlayıcı kullanılan testlerde pürüzlülük transfer oranının azaldığı ve daha homojen bir pürüzlülük dağılımı elde edildiği gözlemlenmiştir.
- AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı kalınlıkta (1 mm ve 1,5 mm) yapılan temper haddeleme testlerinde kalın sac malzeme pürüzlülük transfer oranının daha az olduğu ve daha homojen bir pürüzlülük dağılımı elde edildiği sonucuna varılmıştır.
- AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere iki farklı pürüzlülüğe sahip merdane ile (4,4 µm ve 6,8 µm) yapılan temper haddeleme testlerinde merdane pürüzlülüğünün artışıyla birlikte pürüzlülük transfer oranının azaldığı ve pürüzlülük dağılımının homojenliğinin bozulduğu tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlara ek olarak AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerin temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde haddeleme parametrelerinden düşük ezme miktarı, düşük haddeleme hızı, düşük pürüzlülüğe sahip merdane, kalın malzeme ve yağlı koşulların tercih edilmesi ile daha homojen bir pürüzlülük dağılımına ulaşılabileceği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, Ondokuz Mayıs Üniversitesi PYO. MUH.1904.19.013 proje numarası ve TÜBİTAK “2211-C” tarafından sağlanan destekler ile Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesinin laboratuvar destekleri ve ERDEMİR T.A.Ş.’nin malzeme bağışları için teşekkür ederler.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS’ CONTRIBUTIONS)

Batuhan ÖZAKIN: Deneylemlerin yapılması, sonuçların raporlanması ve makalenin yazılması.

Naci KURGAN: Çalışmada kullanılan yöntemlerin belirlenmesi ve sonuçların yorumlanması.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Plicht, G., Schillak, H., Lin, M., Edwards, R., Mebrahtu, T., Hofinghoff, H. and Demski, T., “Skin-pass rolling of steel strip using liquid nitrogen”, *Materials Science & Technology (MS&T)* 2007, Detroit, Michigan, 149-157, (2007).
- [2] Grassino, J., Vedani, M., Vimercati, G. and Zanella, G., “Effects of skin pass rolling parameters on mechanical properties of steels”, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(11): 2017-2026, (2012).
- [3] Sharma, A. and Yadava, V., “Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials—A review”, *Optics & Laser Technology*, 98: 264-280, (2018).
- [4] Wentink, D. J., Matthews, D., Appelman, N. M. and Toose, E. M., “A generic model for surface texture development, wear and roughness transfer in skin pass rolling”, *Wear*, 328: 167-176, (2015).
- [5] Özakin, B. and Kurgan, N., “Temper Haddelemede Pürüzlülük Transferini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesine Yönelik Bir Derleme Çalışması”, *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 1(2): 67-78, (2019).
- [6] Elkoca, O., “A study on the characteristics of electrical discharge textured skin pass mill work roll”, *Surface and Coatings Technology*, 202(12): 2765-2774, (2008).
- [7] Pawelski, O., Rasp, W., Zwick, W., Nettelbeck, H. J. and Steinhoff, K., “The influence of different work-roll texturing systems on the development of surface structure in the temper rolling process of steel sheet used in the automotive industry”, *Journal of Materials Processing Technology*, 45(1-4): 215-222, (1994).
- [8] Ma, B., Tieu, A. K., Lu, C. and Jiang, Z., “An experimental investigation of steel surface characteristic transfer by cold rolling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 125: 657-663, (2002).
- [9] Kijima, H. and Bay, N., “Skin-pass rolling I—Studies on roughness transfer and elongation under pure normal loading”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(12-13): 1313-1317, (2008).

- [10] Kijima, H. and Bay, N., “Skin-pass rolling II—Studies of roughness transfer under combined normal and tangential loading”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(12-13): 1308-1312, (2008).
- [11] Kijima, H., “Influence of roll radius on roughness transfer in skin-pass rolling of steel strip”, *Journal of Materials Processing Technology*, 214(5): 1111-1119 (2014).
- [12] Kijima, H., “An experimental investigation on the influence of lubrication on roughness transfer in skin-pass rolling of steel strip”, *Journal of Materials Processing Technology*, 225: 1-8, (2015).
- [13] Wu, C., Zhang, L., Qu, P., Li, S. and Jiang, Z., “A simple approach for analysing the surface texture transfer in cold rolling of metal strips”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(1-4): 597-608, (2018).
- [14] Çolak, B. and Kurgan, N., “An experimental investigation into roughness transfer in skin-pass rolling of steel strips”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96(9-12): 3321-3330, (2018).
- [15] Wu, C., Zhang, L., Qu, P., Li, S. and Jiang, Z., “A new method for predicting the three-dimensional surface texture transfer in the skin pass rolling of metal strips”, *Wear*, 426: 1246-1264 (2019).
- [16] EN ISO 13565-2, “Geometrical Product Specifications (GPS)- Surface texture: Profile method- Surfaces having stratified functional properties- Part 2: Height characterization using the linear material ratio curve”, (1997).
- [17] Walton, K., Blunt, L. and Fleming, L., “The topographic development and areal parametric characterization of a stratified surface polished by mass finishing”, *Surface Topography: Metrology and Properties*, 3(3): 035003, (2015).
- [18] Mekicha, M. A., de Rooij, M. B., Jacobs, L., Matthews, D. T. A. and Schipper, D. J., “Experimental validation of contact models for cold-rolling processes”, *Journal of Materials Processing Technology*, 275: 116371, (2020).
- [19] Jeng, Y. R., Lee, J. T., Hwu, Y. J., Liu, L. C. and Lu, C. Y., (2020). “Effects of operation parameters of cold rolling on surface finish of aluminum”, *Tribology International*, 148: 106321, (2020).
- [20] Nagase, N., Shido, S. and Yarita, I., “The effect of soluble lubricant on surface imprinting in temper rolling by 4 hi rolling mill”, *ISIJ International*, 49(6): 881-889, (2009).
- [21] Özakın, B. and Kurgan, N., “DC04 kalite sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yağlayıcının etkisinin incelenmesi”, *International Journal of Eastern Anatolian Science Engineering and Design*, 2(2): 325-336, (2020).
- [22] Dick, K. and Lenard, J. G., “The effect of roll roughness and lubricant viscosity on the loads on the mill during cold rolling of steel strips”, *Journal of Materials Processing Technology*, 168(1): 16-24, (2005).