

Temper Haddedelemde Pürüzlülük Transferini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesine Yönelik Bir Derleme Çalışması

A Review for Investigation of Parameters Affecting Roughness Transfer in Skin-Pass Rolling

Batuhan ÖZAKIN¹ , Naci KURGAN² 

¹Samsun Üniversitesi Kavak MYO, batuhan.ozakin@samsun.edu.tr

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, naci.kurgan@omu.edu.tr

Öz

Malzemelerin yüzeyi, boyama kalitesi ve şekillendirme açısından belli bir pürüzlülüğe sahip olmalıdır. Yüzey pürüzlülüğü, genellikle temper haddelenmesi olarak bilinen özel pürüzlü merdanelerle haddelenerek malzemeye verilir. Bir merdanenin pürüzlülüğü, haddelenme parametrelerinden etkilenir ve böylelikle malzeme yüzeyine aktarılır. Malzemede oluşturulacak olan yüzey pürüzlülüğü, boya ve/veya kaplamaların performansı açısından önemli bir faktördür. Yüzey pürüzlülüğünün az olması boya ve/veya kaplamanın yapışmasını azaltabileceği gibi, fazla olması da boya ve/veya kaplamanın yetersiz olmasına ve paslanmaya neden olabilecek ayrıca boya ve/veya kaplamanın fazla kullanılmasına sebep olarak maliyetlerin artmasına sebep olacaktır. Bu sebeplerden dolayı, bir malzeme yüzeyinin en uygun seviyede pürüzlülüğe sahip olması istenir. Bu makalede, temper haddedelemde pürüzlülük transferini etkileyen parametrelere ilişkin çalışmalar referans alınarak literatür taraması yapılmıştır. Bu derleme makalesi bölümler halinde sunularak sonuca ulaşmaya çalışmaktadır. Bu bölümlerde ilk olarak temper haddelenme işlemine, pürüzlendirmenin endüstrideki önemine vurgu yapılmıştır. Sonraki bölümde temper haddelenme ile pürüzlülük transferi sürecinin nasıl gerçekleştiğine değinilmeye çalışılmıştır. Sonraki bölümde ise pürüzlülük transferini etkileyen parametrelere ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Temper haddedelemde pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin, pürüzlülük transfer oranını nasıl etkiledikleri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak son bölümde temper haddelenme işlemi neticesinde oluşan pürüzlülük profilinin nasıl olması gerektiği tartışılmıştır. Bu sayede endüstrideki üreticilerin bu çalışmadan en iyi şekilde faydalanmasına yönelik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda literatüre kazandırılacak çalışmalar hakkında birtakım değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Şerit/Sac Malzemeler, Soğuk Haddelenme, Temper Haddelenme, Pürüzlülük Transferi

Abstract

The surface of materials must have a certain roughness in terms of painting quality and forming. Surface roughness is commonly given to the material by rolling with special rough rolls, known as skin-pass rolling. Roughness of a roll is influenced from rolling parameters and thus transferred to the material surface. Surface roughness profile to be formed on the material is an important factor in terms of performance of paint and/or coatings. Low profile height reduces the adhesion of paint and/or coating, while higher profile height leads to inadequate paint and/or coating and may lead to corrosion, it also increases costs due to overuse of paint/coating. Due to these reasons, it is desirable to have an optimum level of material surface roughness. In this article, literature review was made by referring to studies on parameters affecting roughness transfer in skin-pass rolling. This review article is presented in sections and tries to reach a conclusion. In these sections, firstly, skin-pass rolling process and the importance of roughening in the industry are emphasized. In the next section, the roughness transfer process with skin-pass rolling how occur is tried to be explained. In the next section, studies on the parameters affecting the roughness transfer are examined. Considering the results obtained, how it should be discussed of roughness profile resulting from skin-pass rolling process in the last section. In this way, it has been tried to obtain results for get the most out of from this study of manufacturers in the industry. At the same time, some evaluations have been made about the studies that can be gained in the literature.

Keywords: Strip/Sheet Materials, Cold Rolling, Skin-Pass Rolling, Roughness Transfer

I. GİRİŞ

Haddelenmiş yassı çelik üretimi entegre demir-çelik tesislerinde sıvı ham demir üretimi ile başlar. Yüksek fırınlarda cevherin kok kömürüyle ergitilmesi sonucu elde edilen sıvı ham demir, çelikhanelerde bazik oksijen fırınlarında oksijen üfleme suretiyle karbon oranı % 2'nin altına düşürülerek çelik haline getirilir. Sürekli döküm tesislerinde slab şeklinde dökülen çelik, fırınlarda yaklaşık 1200 °C sıcaklığa kadar tavlandıktan sonra sıcak haddelenerek tesisin kapasitesine göre 1 mm kalınlığa kadar inceltir ve sarılarak bobin haline getirilir. Sıcak haddeme esnasında malzeme yüzeyinde oluşan tufalin soğuk haddeme öncesinde malzemenin temizlenmesi gerekir. Bobin açılarak sürekli asitleme hattında sülfürik asitle ya da hidroklorik asit banyosunda temizlendikten sonra malzeme % 25-80 oranında soğuk haddelenerek inceltir ve tekrar bobin olarak sarılır [1].

Soğuk haddelenen malzemenin taneleri uzar, deformasyon sertleşmesine uğrar ve şekillendirilebilme kabiliyeti azalır. Bu malzeme çok sert bir yapıya sahiptir ancak süneklik ve düzlemsellik gerekmeyen yerlerde kullanılabilir. Malzemenin bu haliyle bir ısıl işleme tabi tutulması gerekmektedir. Yüzey görünümünün birinci derecede önemli olduğu, düzlemselliğin, yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey kalitesinin önemli olduğu yerlerde malzemenin temper haddeme işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Temper haddeme; uygulamada yaklaşık %1 uzamanın verildiği bir ütüleme haddesidir. Esasen incelmeyen olmadığı bu haddede akma gerilmesinin üzerine çıkılarak ezilen malzeme, temper hadde sonrasında deformasyon yaşlanmasına uğraması beklenmeden nihai form verilirse belirgin akma görülmeyeceğinden dolayı daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiş olur. Temper hadde işlemi, malzeme yüzeyinin pürüzlü olması istenen durumlarda pürüzlendirilmiş merdaneler ile yapılır. Bobin kırıkları, malzeme yüzeyindeki dalgalı görünüm ve lüders bantlarının (belirgin akma gerilmesi oluşması) izleri bu haddeme ile ortadan kaldırılır. Bu haddeden sonra malzeme yağlanarak bobin olarak sarılır ve paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilir [1].

Otomotiv, havacılık, makine, konstrüksiyon vb. sektörlerde çok geniş bir yelpazede uygulama sahasına sahip olan yassı çelik malzemelerin söz konusu imalat endüstrilerinde oldukça önemli bir yere sahip olduğu gerçektir [2, 3]. Malzemeler genellikle boyama ve/veya kaplama işlemi öncesinde plastik deformasyon ile şekil verdikten sonra yüzeyleri pürüzlendirilmelidir [4]. Pürüzlendirmedeki amaç yüzeyi boya ve/veya kaplamaya hazırlamak, parçanın birtakım özelliklerini (fiziksel, kimyasal, estetik) iyileştirmek, yüzey ile reaksiyon verebilecek kir, pas, birikinti vb. olumsuz etki oluşturabilecek etkenleri engelleme olabilir [5].

Metalik malzemelerin yüzeyine belli bir pürüzlülük profili transfer etmek için temper haddeme işleminden yararlanır [6-8]. Bu etki mekanik olarak temper haddemeyle % 0,3-3 arasındaki ezme miktarı oranında gerçekleştirilir [9]. Dolayısıyla sac malzemelerin yüzeylerinin pürüzlendirilmesi gerekliliği açık bir şekilde görülebilir.

Literatürde sıklıkla kullanılan yüzey pürüzlülüğü (R_a), örnekleme uzunluğu içindeki yüzey profilinin merkez çizgisine olan mesafedeki mutlak ordinat değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Yüksek yüzey pürüzlülüğü, merdane ile sac malzemenin temas etmesi esnasında yağlama özelliğini artırarak malzemenin şekillendirilmesinde önemli bir avantaj sağlar, çünkü yağlayıcının malzeme yüzeyinde tutunabilmesini sağlayan yağ ceplerini oluşturur. Bununla birlikte, yüksek derecede pürüzlülük, boyalı yüzeyin mat görünmesine neden olur. [10]. Bu kriterlere dayanarak, bir malzeme yüzeyinin optimum seviyede pürüzlülüğe ve homojen bir pürüzlülük dağılımına sahip olması istenir [11].

Metalik malzemelerin temper haddeme ile pürüzlülük transferinde, birçok etken malzemeye aktarılan pürüzlülük transferini etkilemektedir. Literatür incelendiğinde temper haddeme ile pürüzlülük transferini etkileyen parametreler;

- Haddeme uzaması [8, 12-14],
- Haddeme kuvveti [8, 11-12, 15-19],
- Merdane özellikleri (geometrisi, malzemesi, pürüzlülüğü, pürüzlendirilme yöntemi vb.) [6, 7, 11-12, 19-24],
- Haddeme hızı [11-12, 19, 27, 31],
- Ezme miktarı [11-12, 19, 33-34],
- Tribolojik koşullar (yağlayıcı ve sürtünmenin etkisi) [8, 11-12, 23-27],
- Malzeme özellikleri [11-14, 19] vb.'dir.

Bu makalede, temper haddemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin incelenmesine ilişkin çalışmalar referans alınarak literatür taraması yapılmıştır. Bu derleme makalesi bölümler halinde sunulmuştur. İkinci bölümde temper haddeme işlemine, pürüzlendirmenin endüstrideki önemine vurgu yapılmıştır. Üçüncü bölümde temper haddeme ile pürüzlülük transferi sürecinin nasıl gerçekleştiğine değinilmeye çalışılmıştır. Dördüncü bölümde ise pürüzlülük transferini etkileyen parametrelere ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Temper haddemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin, pürüzlülük transfer oranını nasıl etkiledikleri irdelenmiştir. Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak son bölümde temper haddeme işlemi neticesinde oluşan pürüzlülük profilinin nasıl olması gerektiği tartışılmıştır. Bu sayede endüstrideki

üreticilerin bu çalışmadan en iyi şekilde faydalanmasına yönelik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

2. PÜRÜZLENDİRMENİN ENDÜSTRİDEKİ ÖNEMİ

Soğuk haddelme sürecinin son basamağı ve hassas bir sonlandırma süreci olan temper haddelme işlemi ile endüstride yassı ürün pürüzlendirme işleminde rol üstlenen özel pürüzlendirilmiş merdaneler ve bu merdaneler arasından haddelenerek kalınlığı azaltılan şerit veya sac malzeme söz konusudur. Merdaneler SBT (kumlama yoluyla pürüzlendirme), EDT (elektriksel deşarjla pürüzlendirme), EBT (elektron ışınıyla pürüzlendirme), LT (lazerle pürüzlendirme) ve ECD (elektrokrom ile pürüzlendirme) /Topokrom/Pretext [14, 16, 28-32] yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak özel olarak pürüzlendirilir. Pürüzlü merdaneler arasından yassı ürüne haddelme parametrelerine bağlı olarak pürüzlülük transferi gerçekleştirilir. Bu sayede pürüzlendirilmiş yüzeye sahip yüksek kaliteli yassı ürün elde edilir.

Pürüzlendirilmiş yüzeye sahip yüksek kaliteli soğuk haddelenmiş saclara olan talep otomobil endüstrisi, beyaz eşya vb. ev aletleri üretimi ve diğer yüksek teknoloji sektörlerinin genişlemesiyle artmaktadır [35]. Otomobil endüstrisine bakılacak olursa, hemen hemen tüm otomobil karoseri sacları özel bir pürüzlendirilmiş yüzey topografyası ile donatılmaktadır. Pürüzlendirilmiş sac yüzeylerinin standart haddelenerek bitirilmiş yüzeylere göre avantajları şunlardır:

- Şerit yüzeyine uygulanan yağlama maddelerinin daha eşit dağılımı ve daha iyi yapışması,
- Taşıma, ambalajlama ve depolama sırasında tabaka veya şerit malzemenin performansının artırılması, yani yıpranma nedeniyle yüzey kusurlarının oluşması riskinin azaltılması,
- Atölye ortamlarında daha uzun süreli istifleme,
- Şekillendirilebilme yeteneğinin iyileştirilmesi,
- Boyama sonrası homojen yüzey görünümü [36].

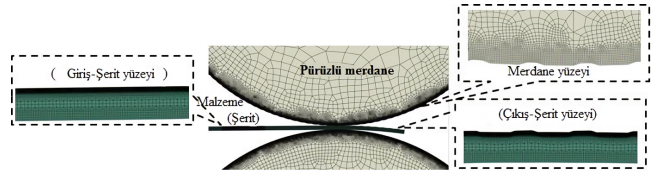
Genel olarak, otomobil endüstrisi çelik sacının yüzeyinin mat bir yüzeye sahip olması gerekir ve yüzey pürüzlülük değerinin $R_a = 0,6-1,6 \mu\text{m}$ arasında olması istenir [37]. Aynı zamanda sac ve/veya şerit gibi bir yassı ürün yüzeyinin optimum seviyede pürüzlülüğe ve homojen bir pürüzlülük dağılımına sahip olması istenir [11].

Temper haddelme işlemi hassas bir süreç olması nedeniyle soğuk haddelme sürecinden farklıdır. Temper haddelme, şerit ve/veya sac malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek için az miktarda ezme oranı ile tavlama işlemi sonrası gerçekleştirilen soğuk haddelme işlemidir. Belirgin akma noktasını (Lüders bandı) ortadan kaldırır bununla

beraber düzlük ve yüzey kalitesi de artar. Soğuk haddelme teknolojisinin önemli bir basamağıdır. Tüm bu avantajlarından ötürü günümüz endüstrisinde oldukça öneme sahiptir [38].

III. PÜRÜZLÜLÜK TRANSFERİ

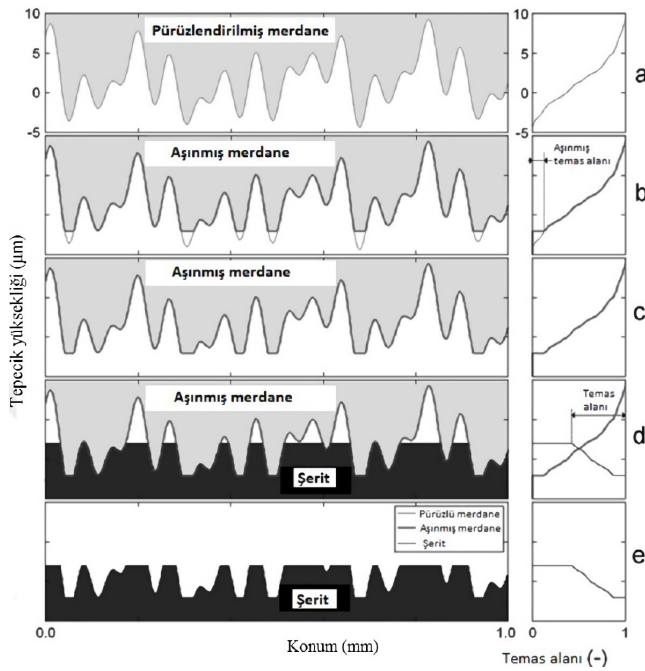
Haddelme işleminde haddelenen malzemenin pürüzlülüğü sürekli değişken durumdadır. Temper haddelme işleminde merdaneler, haddelme sırasında kısmen malzeme yüzeyine aktarılan özel bir pürüzlülük profiline sahiptir [39]. Pürüzlü merdane ile haddelme yöntemiyle malzeme üzerine pürüzlülük transfer edilir. Şekil 1’de temper haddelme yöntemiyle pürüzlendirme işlemi gösterilmiştir [40].



Şekil 1. Temper Haddelme Yöntemiyle Pürüzlendirme İşlemi [40]

Pürüzlülük transferi için Şekil 2’de gösterilen model incelendiğinde, Şekil 2 (a)’da pürüzlendirilmiş merdanenin yüzeyi farklı yükseklikte tepe ve çukurlardan meydana gelir. Haddelme esnasında büyük yük altında en yüksek tepeler kırılır ve düzlük platolar oluşur (Şekil 2 (b), (c)). Düzlüklerin oluşmasıyla birlikte merdanenin yüzey pürüzlülüğü giderek azalır. Pürüzlülükteki azalma haddelme işlemine başlangıcındaki kadar hızlı değildir ve zamanla kararlı bir şekilde azalma eğilimi gösterir. Tepe sayısındaki değişime benzer şekilde, pürüzlülükteki değişim de paraleldir. İşlem sırasında haddelenen malzemenin yüzeyi, merdane yüzey profiline negatif şeklini alır. Yani merdanenin yüzeyinde bulunan tepeler malzemenin yüzeyinde çukur kısımlar oluşturarak malzeme yüzeyinde tepelerin oluşmasını sağlayarak malzemeyi pürüzlendirir (Şekil 2 (d) ve Şekil 2 (e)) [12, 41].

Sertliği yüksek olan merdanenin pürüzlülük profilindeki tepe noktaları, daha yumuşak olan malzemeye yapışarak malzemenin pürüzlülüğünü değiştirir. Ancak haddelme esnasında tanelerin yeniden düzenlenmesi veya merdane ile doğrudan temas halindeki yüksek gerilmelerin varlığı pürüzlülük transferinin tamamıyla gerçekleşmesini engeller [14]. Wentink vd.’ne göre % 1 uzama verilen simülasyon çalışmasında pürüzlülük transferinin yüksek oranlarda gerçekleştiğini, uygulamada yapılan temper haddelmede ise simülasyonda gerçekleşen pürüzlülük transferinin yaklaşık üçte biri oranında gerçekleştiğini belirtmişlerdir [41].



Şekil 2. Pürüzlülük Transfer Modeli [12,41]

Temper haddeleme işleminde, iş merdanelerinden malzeme yüzeyine aktarılan pürüzlülük transfer oranı (PTO), aşağıda verilen (1) nolu denklem ile belirlenir.

$$PTO (\%) = \frac{R_{a_s} - R_{a_i}}{R_{a_m} - R_{a_i}} \quad (1)$$

Bu denklemde R_{a_s} ; malzemenin temper haddeleme sonrası yüzey pürüzlülüğü, R_{a_m} ; merdanenin yüzey pürüzlülüğü ve R_{a_i} ; malzemenin temper haddeleme öncesi yüzey pürüzlülüğünü göstermektedir [8].

IV. PÜRÜZLÜLÜK TRANSFERİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

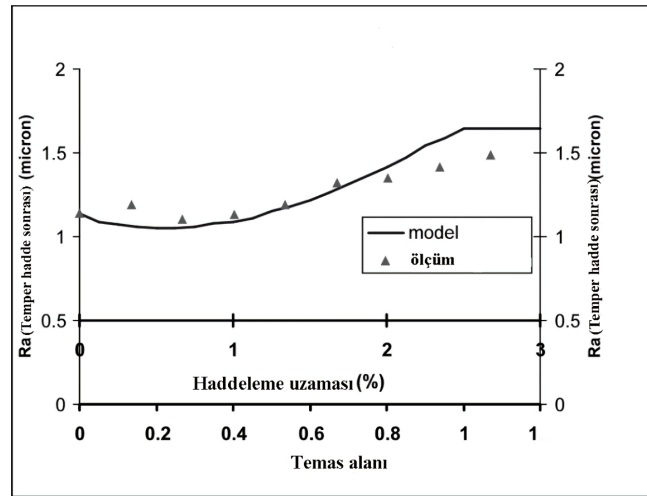
Literatür derlendiğinde temper haddeleme sürecinde özel pürüzlülük profiline sahip merdaneler vasıtasıyla malzeme yüzeyine pürüzlülük profili transferini birçok parametrenin etkilediği belirlenmiştir. Literatür taraması göz önüne alındığında bu parametreler; haddeleme uzaması, haddeleme kuvveti, merdane özellikleri (geometrisi, malzemesi, pürüzlülüğü, pürüzlendirilme yöntemi vb.), haddeleme hızı, ezme miktarı, tribolojik koşullar ve malzeme özellikleridir. Bu parametrelerin her birinin tek tek değişimi veya birkaçının birlikte değişimi pürüzlülük transferini etkilemektedir. Bu derleme çalışmasında literatür taraması parametrelerin tek tek veya birkaçının birlikte değişimi sonucu elde edilen bulgular dahilinde pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin

pürüzlülük transfer oranını ne şekilde etkiledikleri sonucuna ulaşılmaya çalışılmıştır.

Haddeleme uzaması değeri; temper haddeleme işlemi öncesi malzemenin uzunluğu (l_0) ve temper haddeleme işlemi sonrası malzemenin uzunluğu (l_1) ölçülerek (2) denkleme göre belirlenebilir [42].

$$e = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (2)$$

Haddeleme uzaması ile pürüzlendirme ilişkisini belirlemek amacıyla H340LAD kalitesinde malzemeye yapılan temper haddeleme sonrasında elde edilen ilişki Şekil 3'te verilmiştir.

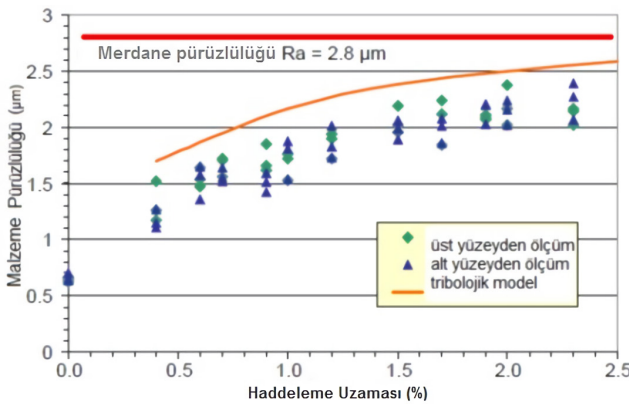


Şekil 3. Temper Hadde Sonrası Haddeleme Uzaması-Pürüzlülük İlişkisi [14]

Şekil 3 incelendiğinde, haddeleme sırasındaki temas alanı (bkz. Şekil 2) ne kadar yüksek ise, malzemeye aktarılan pürüzlülük o kadar fazla olacaktır ve malzeme pürüzlülüğü, merdane pürüzlülük profiline daha fazla uyum sağlayacaktır. Temas alanı ile haddeleme uzaması arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır. Sıfır uzama için temas alanı da sıfırdır ve ürünün son pürüzlülüğü malzemenin ilk pürüzlülük değeridir. Temas alanı "1" birim olduğunda yani malzeme ile merdane tam temas halindeyken, üründeki son pürüzlülük değeri merdanenin pürüzlülük değerine çok yaklaşacaktır. H340LAD kalite malzeme için haddeleme uzaması (% 0-1) veya temas alanı (% 0-0,4) küçük olduğunda, malzemenin son pürüzlülüğü ilk pürüzlülüğünden daha küçük olacaktır. Bu bölgede malzemenin tepeleri merdaneyle temas halindedir ve temas eden tepeler R_a değerini düşürerek malzemeyi düzleştirerek son pürüzlülük değerini azaltır. Bu bölgeden sonra haddeleme uzaması (% 1-2,5) veya temas alanı (% 0,4-1) büyük değerler aldığı merdanenin

tepeleri, malzemede derin vadiler meydana getirerek yüzeyi pürüzlendirir ve pürüzlülük değeri artar. Dolayısıyla pürüzlülük transferi artışı gerçekleşir. Merdane ve malzeme arasındaki pürüzlülük farkı çok ise, merdanenin tepeleri kısa bir süre boyunca malzemenin tepelerine temas edecek ve son pürüzlülüğün azaldığı bölge daha kısa olacaktır. Merdaneler ve malzeme arasındaki pürüzlülük farkı az ise pürüzlülüğün azaldığı bölge daha uzun olacaktır. Pürüzlülük transferinin artış yaptığı bölgeden sonra malzemenin son pürüzlülüğü sadece sürtünmeden etkilenir. Sürtünmenin pürüzlendirmeye etkisi dikkate alınmazsa pürüzlülük değerinin pürüzlendirme bölgesinden sonra sabit kaldığı varsayılabilir [14].

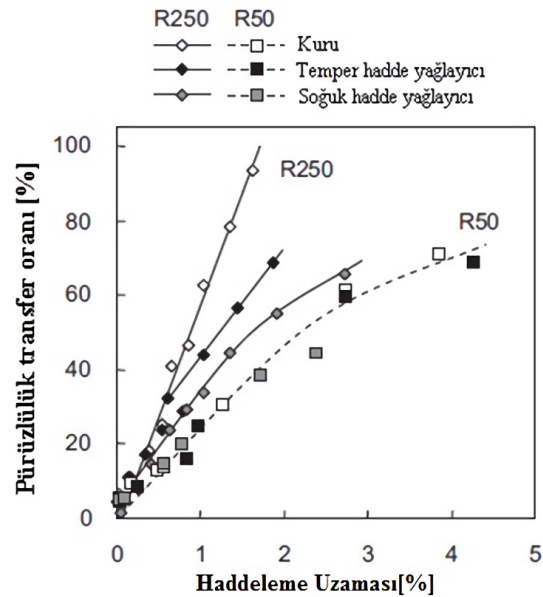
SMS DEMAG grubu tarafından gerçekleştirilen testlerin sonuçlarına bakılacak olursa, malzemenin her iki yüzeyinde de temper haddeleme sonrasında pürüzlülük transferinin yüzde uzama ile artış gösterdiği ve pürüzlülük transferindeki bu artışın kalınlığı daha az olan malzemelerde daha gözlemlenebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır [12, 13]. Şekil 4'te temper haddelirmede yüzde uzamasının pürüzlülük transferine etkisi görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir.



Şekil 4. Temper Haddelirmede Haddeleme Uzaması-Malzeme Pürüzlülüğü İlişkisi [13]

Merdane çapının haddeleme uzaması ile pürüzlülük transferine olan etkileri ise bir başka çalışmada belirlenmeye çalışılmıştır. Küçük yarıçaplı merdanelerde malzemeye etki eden temas alanı daha az olduğundan hidrostatik basınç oluşumu için gerekli şartlar sağlanamamaktadır. Sonuçlar büyük ve küçük yarıçaplı merdane için kuru şartlar referans alınarak değerlendirilmiştir. Böylelikle pürüzlü (3,1 µm) ve büyük yarıçaplı (R250) merdane yardımıyla % 1 uzama ve % 60 pürüzlülük transferi elde edilirken, aynı oranda pürüzlülük transferi elde edebilmek için aynı pürüzlülükte ve küçük yarıçaplı merdane (R50) yardımıyla malzemeye % 3 uzama

miktari verilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Aynı çalışmada merdane çapı, yağlayıcı tipinin uzamaya ve pürüzlülük transferine olan etkileri araştırılmıştır. Pürüzlü (3,1 µm), küçük yarıçaplı merdane (R50) ile kuru ve iki farklı yağlayıcı yardımıyla malzemeye pürüzlülük transferi gerçekleştirilirken, pürüzlülük transferinin yağlayıcı türünden fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte pürüzlü (3,1 µm), büyük yarıçaplı merdane (R250) ve kuru şartlarda malzemeye % 1 uzama ile % 60 oranında pürüzlülük transferi sağlanırken, yağlayıcı kullanılan şartlarda aynı oranda pürüzlülük transferi elde edebilmek için % 1,5-% 2 uzama verilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 5'te haddeleme uzaması-pürüzlülük transfer oranı ilişkisi görülmektedir [8].

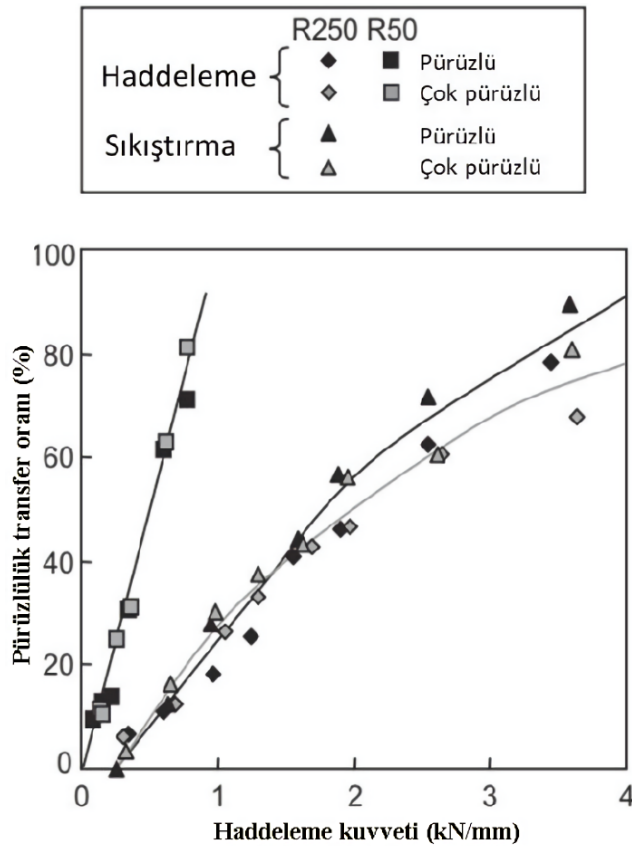


Şekil 5. Haddeleme Uzaması-Pürüzlülük Transfer Oranı İlişkisi [8]

Merdane pürüzlendirme yöntemlerinin pürüzlülük transferine olan etkilerine dolaylı olarak sonuç bulan bir çalışmada, EDT işlemi ile pürüzlendirilmiş olan merdanenin SBT gibi alternatif merdane pürüzlendirme yöntemlerine göre temel avantajlarından biri malzemenin yüzey topografyasının çok düzgün elde edilebilmesi ve merdane ile yeniden üretilebilir dokular oluşturulabildiği sonucuna ulaşılmışlardır [28]. Yine farklı bir çalışmada da SBT yöntemi ile pürüzlendirilen merdanelerin pürüzlülüklerini daha kısa sürelerde kaybettiğini belirterek bu çalışmaya paralel bulgular elde etmişlerdir [11, 12].

Haddeleme kuvvetinin artışıyla birlikte pürüzlülük transferinin doğru orantılı olarak arttığı başka bir çalışmada belirlenmiştir. Şekil 6'da haddeleme kuvveti-pürüzlülük transfer

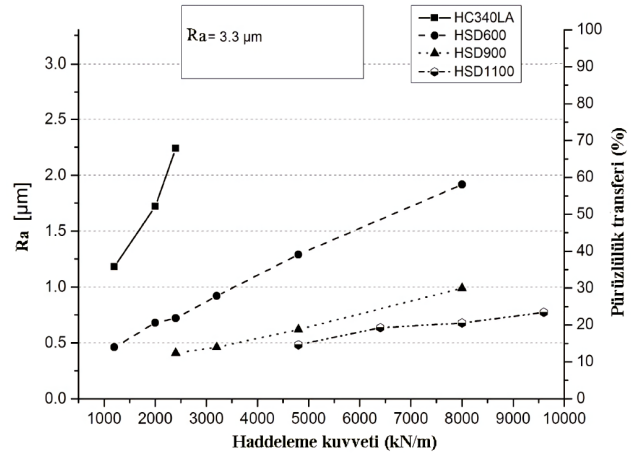
oranı ilişkisi görülebilir. 50 mm ve 250 mm yarıçaplı, 3,1 μm (pürüzlü) ve 8 μm (çok pürüzlü) pürüzlülüğe sahip merdanelerle yapılan deneylerde, iki farklı pürüzlülükte de haddeme kuvvetinin artışının pürüzlülük transfer oranını artırdığını belirlenmiştir. Temper haddeme ile elde pürüzlülük, belirli bir hata seviyesi içinde aynı kuvvetteki sıkıştırma (presleme) ile elde edilen pürüzlülük yaklaşık olarak kabaca tahmin edilebilir. Küçük yarıçaplı merdane (R50) ile elde edilen pürüzlülük transferi eğilimi ile büyük yarıçaplı merdane (R250) ile elde edilen pürüzlülük transferi eğilimi niceliksel olarak çakışmadığı belirlenmiştir [7].



Şekil 6. Haddeme Kuvveti-Pürüzlülük Transfer Oranı İlişkisi [7]

Farklı bir çalışmada ise özel pürüzlendirilmiş bir merdane ile yüksek mangan (HSD) kalite çeliklerin temper haddeme işleminde, pürüzlülük transferine malzeme özellikleri (yüksek mangan kalite çelikler) ve haddeme kuvveti etkisi araştırılmıştır. Pürüzlülüğü 3,3 μm ve çapı 330 mm olan merdane ile yapılan temper hadde deney sonuçları Şekil 7'de malzeme ortalama pürüzlülüğü ve pürüzlülük transferi, haddeme kuvvetlerinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Sonuçlar özellikle HSD çeliklerinin belirli bir haddeme kuvvetindeki pürüzlülük transferinin, artan akma mukavemeti

ile azaldığını göstermektedir. Örneğin; 4800 kN/m haddeme kuvvetinde HSD600 çeliğinin pürüzlülük transferi % 60, HSD900 çeliği için % 30, HSD1100 çeliği için % 27 oranındadır. HC340LA çeliğine ise 2400 kN/m haddeme kuvvetinde % 91,7 pürüzlülük transfer edildiği gözlenmiştir [16].

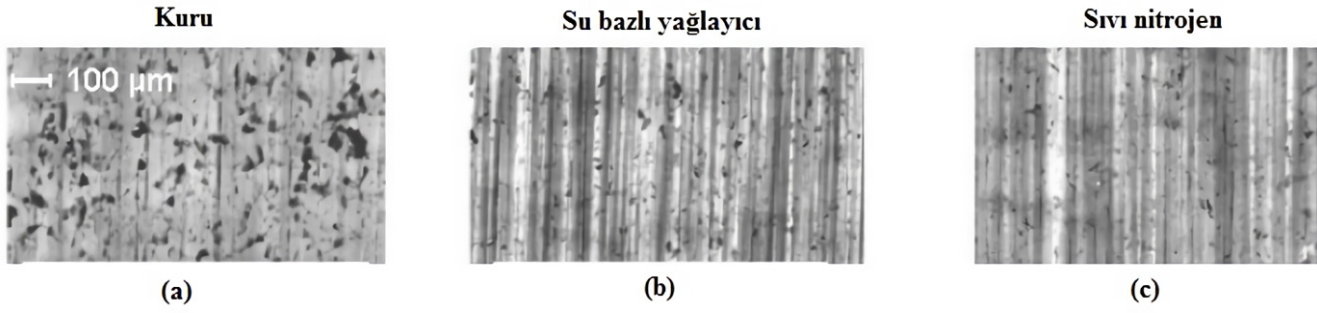


Şekil 7. Haddeme kuvvetinin bir fonksiyonu olarak malzeme ortalama pürüzlülüğü ve pürüzlülük transferi [16]

Kuru, su bazlı yağlayıcı ve sıvı nitrojen yağlayıcı ile yapılan temper haddeme neticesinde oluşan yüzey görüntülerinin incelendiği bir çalışmada elde edilen SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8 (a)'da su bazlı yağlayıcı ile gerçekleştirilen temper hadde neticesinde elde edilen yüzeylerin az miktarda parlak olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 8 (b)'de kuru şartlarda gerçekleştirilen temper hadde neticesinde elde edilen yüzeylerin Şekil 8 (a)'da görülen yüzey ile yakın benzerlikte bir yüzey dokusuna sahip olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 8 (c)'de sıvı nitrojen kullanılarak gerçekleştirilen temper hadde neticesinde elde edilen yüzeylerin ise daha parlak ve daha düzgün olduğunu belirtmişlerdir [25, 26].

Pürüzlülük transferini etkileyen bazı parametrelerin yapıldığı bir çalışmada bazı parametrelerin sabit tutulması ile yapılan pürüzlendirme deneylerinde, kuru haddemede pürüzlülük transferinin yağlanmış koşullardaki haddemeden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu olayın nedenini haddeme kuvvetinin kuru haddemede daha yüksek olmasıyla açıklamışlardır [11, 12]. Ayrıca bunun nedenini sürtünme katsayısının, haddeme kuvvetinin artmasına neden olan, kuru haddemede daha yüksek olmasına bağlamışlardır [43].

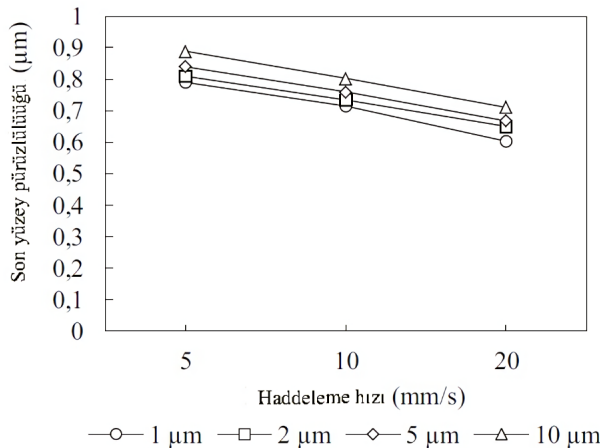
Sürtünme koşullarının pürüzlülük transferini etkilediğini tespit etmek için yapılan bir çalışmada ise sürtünme



Şekil 8. Kuru, Su Bazlı Yağlayıcı ve Sıvı Nitrojen Yağlayıcı ile Yapılan Temper Haddeleme Neticesinde Elde Edilen Yüzey Görünümleri [26]

koşullarının pürüzlülük transferini etkilediği belirlenmiştir. Plastik deformasyon ile kayan bölgede ve silindirik iş parçası deformasyonu ile yerel pürüzlülük deformasyonu arasındaki etkileşime bağlı olarak kayan ve yapışma bölgesi arasındaki sınırdaki daha yüksek pürüzlülük transferine neden olduğunu belirtmişlerdir [23, 24].

Haddeleme hızının nihai yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan bir simülasyon çalışmasında, sürtünme katsayısının 0,1 ve ezme oranının % 20 olduğu durumda Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, haddeleme hızındaki artış, malzemenin orijinal yüzey pürüzlülüğü ve ezme oranı ne olursa olsun, merdane yüzey sertliği malzemenin yassılaştırılmasına sebebiyet verir ve daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip bir yüzey elde edilebileceğini tespit etmişlerdir [27]. Bu durum, daha yüksek bir haddeleme hızı olması durumunda, özellikle yüzey bölgesinde ileri kesme işlemini hızlandıran daha yüksek bir gerilme anlamına gelir ve uygulanan gerilme, bu koşul altında yüzey alanında daha yüksek bir seviyeye yükselebilir, bu da sonuçta malzemenin daha fazla yüzey deformasyonuna uğramasına sebep olacağını belirtmişlerdir [44].



Şekil 9. Haddeleme hızı ile yüzey pürüzlülük transferi ilişkisi [27]

Temper haddeleme işleminde haddeleme hızının pürüzlülük transferini ne şekilde etkilediğini belirlemek için yapılan başka bir çalışmada ERD7114 kalite malzeme ile yapılan testlerde hız arttıkça genellikle pürüzlülük transferinde azalma kaydedilirken ERD6112 malzeme ile yapılan testlerde hız arttıkça pürüzlülük transferinde artış kaydedilmiştir. Bu sonucu karbon yüzdesi daha fazla, dayanım değerleri daha yüksek ve sünekliği daha düşük olan 6112 kalite malzemenin yüksek hızda (50 d/dk) soğuk şekillendirmeden dolayı daha fazla deformasyon sertleşmesine uğrama ihtimalinden ötürü kaynaklandığını tahmin etmişlerdir [11, 12].

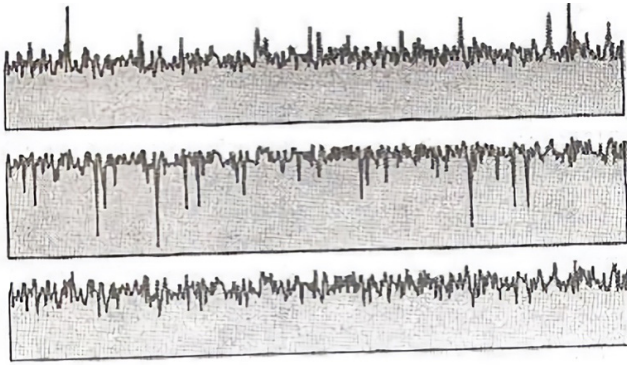
Ezme miktarı ise temper haddeleme işlemi öncesi malzemenin kalınlığı (t_0) ve temper haddeleme işlemi sonrası malzemenin kalınlığı (t_1) ölçülerek (3) denkleminde göre belirlenebilir [42].

$$r = \frac{t_0 - t_1}{t_0} \quad (3)$$

Ezme miktarının etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada 700 µm ezme miktarında elde edilen sonuçlarla 350 µm ezme miktarında elde edilen test sonuçlarının karşılaştırıldığında, daha küçük ezme miktarında daha dar aralıkta yani daha homojen bir pürüzlülük dağılımının elde edildiği görülmüştür. Ezme miktarı düşük olduğunda, merdane yüzeyindeki daha küçük tepeler pürüzlendirmeye katkıda bulunmaz çünkü malzeme yüzeyine temas edemezler. Daha küçük tepeler büyük ezme miktarlarında yüzeyde pürüzlülük dağılımını olumsuz etkileyen kraterler oluşturduğunu belirtmişlerdir [11, 12, 19].

V. TEMPER HADDE SONRASI ELDE EDİLEN YÜZEY PROFİLİ

R_a , yüzey bitirme işlemlerinde diğer parametrelere göre en genel olarak kullanılan pürüzlülük parametresidir [45]. R_a yüzeyin sahip olduğu tüm profili anlatmaz. Örneğin Şekil 10'da aynı R_a değerine sahip üç farklı yüzey bulunmaktadır fakat bu üç yüzey aynı pürüzlülük değerlerine sahip olsalar dahi farklı yüzeylerdir [46].



Şekil 10. Aynı pürüzlülük değerine (R_a) sahip üç ayrı yüzey profili [46,47]

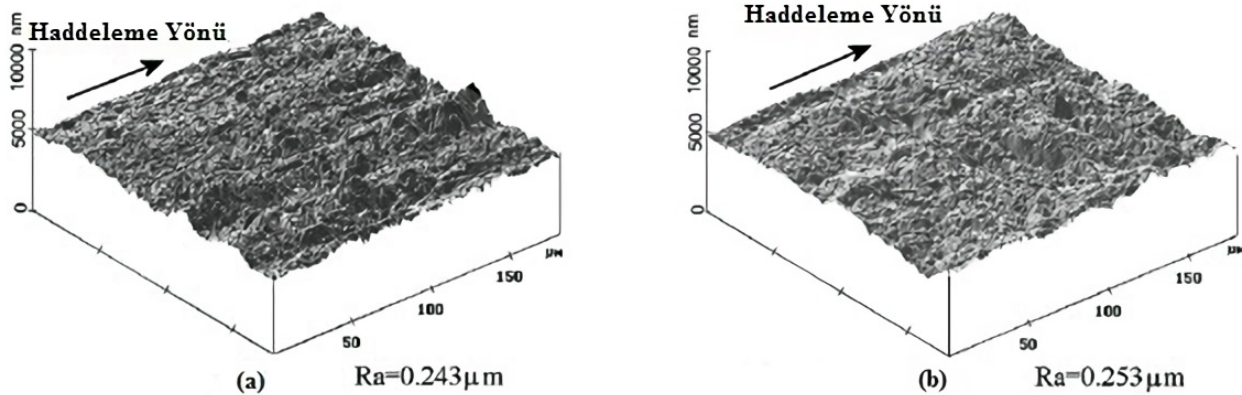
Şekildeki üç yüzeyinde profil şekilleri birbirlerinden farklıdır. İlk profil keskin tepelere, ikinci profil derin vadilere ve üçüncü profil ise her iki profile de sahiptir. Bu üç profil aynı pürüzlülük değerine (R_a) sahip olsalar bile birbirlerinden farklıdır [47]. Otomobil dış gövdesi, beyaz eşya vb. boyanmış sac yüzeylerin görsel kalitesi açısından sadece ortalama pürüzlülük (R_a) şartının yerine getirilmesi yetersiz olarak görülmektedir. Tüm yüzey boyunca pürüzlülük profilinin değişiminin dar bir aralıkta kalması yani homojen olması da önemlidir [9]. Genel olarak, otomobil endüstrisi çelik sacının yüzeyinin mat bir yüzeye sahip olması gerekir ve yüzey pürüzlülük değerinin $R_a = 0,6-1,6 \mu m$ arasında olması istenir [37]. Dolayısıyla temper hadde işleminde malzemeye pürüzlülük transfer ederken bu homojen pürüzlülük profilinin elde edilmesi önemlidir. Temper hadde sonrasında malzeme yüzeyinden alınan 3D alan tarama (lazer taramalı

konfokal mikroskopü veya optik mikroskop) ve/veya AFM (atomik kuvvet mikroskobu) görüntüleri ile pürüzlülük profilini değerlendirmek daha tutarlı ve güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

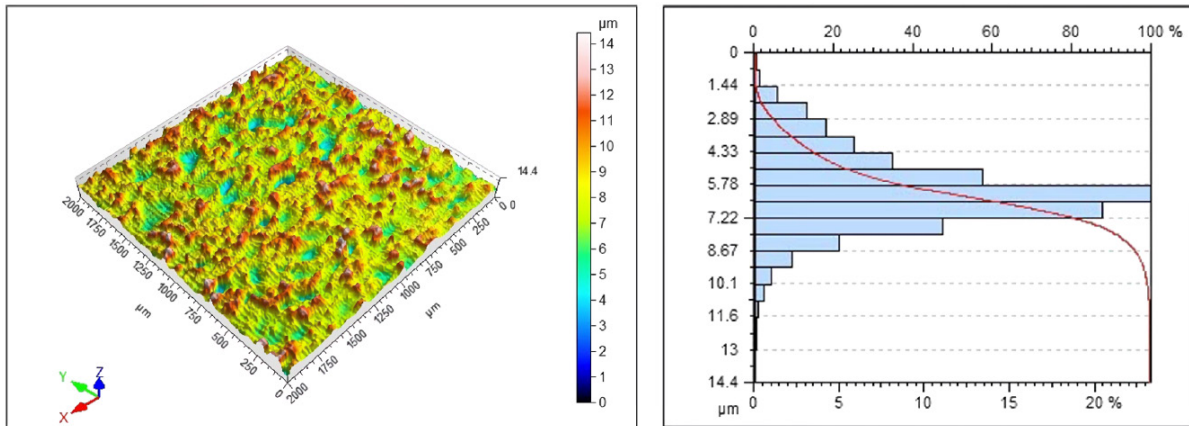
Haddeme işlemi neticesinde yüzeyin değerlendirilmesi için yapılan bir çalışmada, Şekil 11 (a)'da % 8,1 ezme oranı, 5 dev/dak hız ve kuru şartlarda yapılan ve (b)'de % 2 ezme oranı, 5 dev/dak hız ve yağlayıcı kullanılan şartlarda yapılan haddeme neticesinde atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile elde edilen yüzey pürüzlülük profili ve ortalama pürüzlülük değerleri 3D alan tarama görüntüleri verilmiştir [48]. Bu iki görüntü incelendiğinde ortalama pürüzlülük değerlerinin (R_a) birbiriyle yaklaşık aynı olduğu kabul edilerek Şekil 11 (b)'de daha homojen bir yüzey profili elde edildiği görülmektedir. Bu tespit sonucunda düşük ezme oranları ve yağlayıcı kullanılan şartlarda daha homojen bir yüzey profili elde edileceği tahmininde bulunulabilir.

Yüzey değerlendirilmesinin yapıldığı bir başka çalışmada Şekil 12'de gösterilen malzemelere ait yüzeylerin 3D yüzey topografyaları bir optik mikroskop ile belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yağlayıcı kullanılarak yapılan temper haddeme işleminde haddeme hızının 10 d/dk'dan 50 d/dk'ya çıkarılması sonucunda yağlayıcı kullanılması durumunda homojen bir pürüzlülük dağılımı tespit etmişlerdir [11].

Yine aynı çalışmada küçük ezme miktarlarında malzeme daha homojen bir pürüzlülük dağılımı elde edilirken, ezme oranının artması ile malzeme yüzeyinde krater oluşması nedeniyle homojen bir pürüzlülük dağılımı meydana gelmesini olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir [11].



Şekil 11. Farklı Haddeme Koşullarında Elde Edilen Yüzey Profilleri [48]



Şekil 12. 3D Alan Tarama Görüntüsü ve Pürüzlülük Dağılım Oranları [11]

VI. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Malzemelerin temper haddeme ile pürüzlendirilmesi işleminde pürüzlülük transferini etkileyen parametrelere ilişkin literatür taraması sonucu elde edilen çalışmalar incelendiğinde birçok parametrenin pürüzlülük transferini etkilediği belirlenmiştir. Literatür çalışmaları gözden geçirildiğinde temper haddemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin haddeme uzaması, haddeme kuvveti, merdane özellikleri, malzeme özellikleri, tribolojik koşullar, haddeme hızı, ezme miktarı vb. parametreler olduğu sonucuna varılmıştır [6-8, 11-28, 33-34]. Bu parametrelerin her birinin ayrı ayrı değişmesi pürüzlülük transferini etkileyebileceği gibi birkaç parametrenin birlikte değişmesi de pürüzlülük transferini farklı bir şekilde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden haddeme uzaması ve temas alanı birbiriyle orantılı bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Haddeme uzamasının yaklaşık olarak % 0-1 oranında artışıyla birlikte malzemelerin nihai pürüzlülüğünün bir miktar azalmıştır. Merdane pürüzlülük kaybının kararlı hale gelmesiyle birlikte artan haddeme uzaması neticesinde (yaklaşık %1-3) malzemelerin nihai pürüzlülüğünün artış göstermiştir. Bunu takip eden haddeme uzaması miktarlarında (yaklaşık >%3) yalnızca sürtünmenin pürüzlendirmeyi etkileyebileceği sonucuna varılmıştır [13, 14]. Haddeme uzaması ile pürüzlülük transferi ilişkisinde pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden merdane çapı ve yağlayıcının etkisini belirlemek için elde edilen sonuçlar değerlendirilmesi ise şu şekildedir. Büyük çaplı merdane ile daha küçük haddeme uzaması değerlerinde daha yüksek oranda malzemeye pürüzlülük transfer edildiği ve yağlayıcı türünün haddeme uzaması ile pürüzlülük transferi ilişkisinde pek etkili olmadığı sonucuna varılmıştır [8]. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde bu alanda oldukça kısıtlı

çalışma olduğu görülmektedir. Haddeme uzaması ile pürüzlülük transferi ilişkisinde farklı haddeme hızlarında, farklı merdane pürüzlülüğüne sahip merdane kullanılarak, farklı özelliklere sahip malzemeler kullanılarak bu değişimin ne şekilde etkilendiğine dair çalışmalar yapılabilir.

Merdane pürüzlendirme yöntemlerinin pürüzlülük transferine olan etkileri incelendiğinde literatürün bu konuda çok kısıtlı kaldığı söylenebilir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde EDT ile pürüzlendirilen merdanelerin SBT ile pürüzlendirilen merdaneler ile yapılan temper haddeme işlemlerinde daha uzun süre pürüzlülük profilini koruduğu sonucuna varılmıştır [11, 12, 28]. Literatürde diğer merdane pürüzlendirme yöntemleriyle (EBT, LT, ECD, Pretex, Topocrom vb.) pürüzlendirilen merdanelerle pürüzlülük transferi adına gerçekleştirilmiş yetersiz çalışma olduğu göze çarpmaktadır. Bu yöntemlerle pürüzlendirilmiş merdanelerle pürüzlülük transferinin karşılaştırılmasına yönelik birtakım çalışmalar yürütülerek en avantajlı yöntem belirlenmeye çalışılabilir.

Temper haddeme ile pürüzlülük transferi gerçekleştirilirken en etkili parametrelerden biri de haddeme kuvvetidir. Literatür çalışmaları incelendiğinde, haddeme kuvvetinin artışı her zaman pürüzlülük transferinin artışıyla sonuçlanmıştır [7, 11-12]. Ayrıca malzeme özelliklerinin haddeme kuvveti ile pürüzlülük transferi ilişkisine bakılacak olursa; pürüzlülük transferinin malzemenin artan akma mukavemeti ile azalmakta olduğu sonucuna varılmıştır [16]. Küçük veya büyük çaplı merdanelerle yapılan temper haddeme ile malzemenin pürüzlendirilmesinde haddeme kuvveti ile pürüzlülük transferi ilişkisi incelendiğinde niceliksel olarak bir benzerlik oluşmadığı ve küçük çaplı merdaneler ile pek sağlıklı bir sonuç alınmadığı sonucuna varılmıştır [7]. Literatüre kazandırılacak çalışmalara değinecek olursak farklı haddeme hızlarında, farklı

ezme oranlarında, farklı merdane özellikleri gibi etkenlerin haddeleme kuvveti ile pürüzlülük transferi ilişkisinin incelenmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.

Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden biri de tribolojik koşullardır. Sürtünmenin etkisinin yüksek olması durumunda ise pürüzlülük transferinin haddeleme kuvveti artışı sebebiyle artacağı sonucuna varılabilir [23, 24]. Yağlayıcı kullanılan şartlarda sürtünme kuvveti azalmasından ötürü pürüzlülük transferinin azalacağı sonucuna varılabilir [11, 12]. Kuru, su bazlı yağlayıcı ve sıvı nitrojen yağlayıcı ile yapılan temper haddeleme neticesinde oluşan yüzey görünümlerinin incelendiği bir çalışmada sıvı nitrojen yağlayıcı ile yapılan temper haddeleme neticesinde kuru şartlarda yüksek oranda pürüzlülük transferi oluştuğunu sıvı nitrojen yağlayıcı ile yapılan temper haddeleme neticesinde pürüzlülük transferinin daha az gerçekleştiği sonucuna incelenen SEM görüntüleri dahilinde varılmıştır [25, 26]. Literatür çalışmalarının yine yetersiz sayıda olduğu göze çarpmaktadır. Elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere farklı sürtünme şartları ve farklı tipte yağlayıcıların veya diğer haddeleme parametrelerinin birkaçının birlikte değiştirilmesi ile yapılan temper haddeleme neticesinde malzemenin pürüzlülük transferine olan etkileri incelenerek literatüre kazandırılabilir.

Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden biri de haddeleme hızıdır. Haddeleme hızındaki artış, malzemenin orijinal yüzey pürüzlülüğü ve ezme oranı ne olursa olsun, merdane yüzey sertliği malzemenin yassılaştırmasına sebebiyet verir ve daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip bir yüzey elde edilebileceği sonucuna varılmıştır [27]. Malzeme özelliklerinin bu sonucun tersine istisna durum oluşturabileceği bir çalışmada ise ERD6112 malzeme ile yapılan testlerde hız arttıkça pürüzlülük transferinde artış kaydedilmiştir. Bu sonucu karbon yüzdesi daha fazla, dayanım değerleri daha yüksek ve sünekliği daha düşük olan 6112 kalite malzemenin yüksek hızda (50 d/dk) soğuk şekillendirmeden dolayı daha fazla deformasyon sertleşmesine uğrama ihtimalinden ötürü kaynaklandığını tahmin etmişlerdir [11, 12]. Literatürde bu alanda yetersiz sayıda çalışma olduğu görülebilir. Farklı haddeleme uzaması değerlerinde, farklı yağlayıcılar kullanılarak, farklı merdane özellikleri gibi parametrelerin haddeleme hızı pürüzlülük transferi ilişkisinin incelenmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.

Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerden biri de ezme oranıdır. Küçük ezme miktarlarında merdane yüzeyindeki daha küçük tepeler pürüzlendirmeye katkıda bulunmadığı ve malzeme yüzeyine temas edemedikleri dolayısıyla pürüzlülük transferinin daha

az gerçekleştiği sonucuna varılmıştır [11, 12, 19]. Literatüre diğer haddeleme parametrelerinin değişimiyle birlikte ezme oranı ile pürüzlülük transferi ilişkisinin belirlenmesine yönelik çalışmalar kazandırılabilir.

Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin, pürüzlülük transferini yüksek oranlarda gerçekleştirilmesi endüstride genellikle yeterli değildir. Yüksek pürüzlülük transferinin yanında tüm yüzey boyunca pürüzlülük profilinin değişiminin dar bir aralıkta kalması yani homojen olması da önemlidir [9]. Genel olarak, otomobil endüstrisi çelik sacının yüzeyinin mat bir yüzeye sahip olması gerekir ve yüzey pürüzlülük değerinin $R_a = 0,6-1,6 \mu\text{m}$ arasında olması istenir [37]. Dolayısıyla temper hadde işleminde malzemeye pürüzlülük transfer ederken bu homojen pürüzlülük profilinin elde edilmesi önemlidir. 3D alan tarama işlemleri ile pürüzlülük dağılımının homojen olup olmadığını belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu konuda literatür çalışmaları yine yetersiz olmakla birlikte yüksek haddeleme hızlarında, yağlayıcı kullanılan şartlarda ve küçük ezme miktarlarında homojen bir pürüzlülük dağılımı elde edildiği sonucuna varılmıştır [11, 25]. İmalat endüstrisindeki kullanıcıların ve literatürdeki boşluğun doldurulması için birçok parametrenin değişiminden oluşan optimum koşulların hangi sınırlar olduğu adına geniş kapsamlı araştırma çalışmaları yürütülerek bu alana kazandırılması gereken çok sayıda çalışma olduğu sonucu gözler önüne serilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından P.Y.O. MUH.1904.19.013 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ginzburg, V. B. ve Ballas, R. 2000. Flat Rolling Fundamentals. 1st edition, CRC Press, Newyork, ABD, s. 178-543.
- [2] Govindasamy, G. ve Jain, M. K. 2017. Modeling of bending characteristics of symmetric tri-layer laminated sheet materials. Materialstoday:Proceedings, 4(10), 10704-10713.
- [3] Sharma, A. ve Yadava, V. 2018. Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials – A review. Optics & Laser Technology, 98, 264-280.
- [4] Abe, T. 2014. Surface roughening and formability in sheet metal forming of polycrystalline metal based on r – value of grains. International Journal of Mechanical Sciences, 86, 2-6.
- [5] Groover, P. M. 2016. Modern İmalatın Prensipleri. 4. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, s. 383-483.
- [6] Kijima, H. 2013. Influence of roll radius on contact condition and material deformation in skin-pass rolling of steel strip.

- Journal of Materials Processing Technology, 213(10), 1764–1771.
- [7] Kijima, H. 2014. Influence of roll radius on roughness transfer in skin-pass rolling of steel strip. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(5), 1111–1719.
- [8] Kijima, H. 2015. 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.
- [9] Nakhoul, R. 2014. Multi-Scale Method for Modeling Thin Sheet Buckling under Residual Stress – In the Context of Cold Strip Rolling. *Doktora Tezi, Paris Teknoloji Enstitüsü, Fransa*, s. 29-45.
- [10] Elkoca, O. 2008. A study on the characteristics of electrical discharge textured skin pass mill work roll. *Surface Coatings Technology*, 202(12), 2765–2774.
- [11] Çolak, B. ve Kurgan, N. 2018. An experimental investigation into roughness transfer in skin-pass rolling of steel strips. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96, 3321-3330.
- [12] Çolak, B. 2018. Soğuk haddede pürüzlülük transferini etkileyen haddeme parametrelerinin ve malzeme özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük*.
- [13] SMS DEMAG. 2003. Influence of temper rolling on material properties, *Zürih, İsviçre*.
- [14] Handy, Y., Kurzinsky, J., Jacobs, L., Hörnström, S. E., Richter, U. 2005. Hot and cold rolling processes characterization and control of roughness transfer in temper rolling. *Office for Official Publications of the European Communities, Lüksemburg*.
- [15] Asgari, H., Bakhtiari, A. R., Toroghinejad, M. R. ve Ashrafizadeh, F. 2008. Influence of force variations in skin pass rolling on texture and surface reactivity of hot dip galvanised low carbon steel sheets. *Ironmaking & Steelmaking* 35(7), 545–48.
- [16] Köhler, K., Kwiaton, N. ve Bretschneider, M. 2016. Skin pass rolling of high manganese steels. In *Materials Science Forum*. 854, 93-98.
- [17] Dick, K. ve Lenard, J. G. 2005. 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.
- [18] Kijima, H. 2019. Mechanism of roughness profile transfer in skin-pass rolling of thin steel strip. *JFE Technical Report*, 129-134.
- [19] Başoğlu, F. 2019. Temper haddede merdane parametrelerinin sac malzemelerin pürüzlülük transferine etkisinin deneysel incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun*.
- [20] Lenard, J. G. 2004. The effect of roll roughness on the rolling parameters during cold rolling of an aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 152(2), 144-153.
- [21] Kijima, H. ve Bay, N. 2008. 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.
- [22] Kijima, H. ve Bay, N. 2008. 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.
- [23] Kijima, H. 2015. Influence of lubrication on roughness crushing in skin-pass rolling of steel strip. *Journal of Materials Processing Technology*, 216, 1-9.
- [24] Kijima, H. ve Bay, N. 2009. Influence of tool roughness and lubrication on contact conditions in skin-pass rolling. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(10), 4835-4841.
- [25] Holz, R., Hoen, K. ve Weiss, K. 2010. Advanced technology in skin pass rolling. *Millenium Steel*, 129-133.
- [26] Plicht, G., Schillak, H., Lin, M., Edwards, R., Mebrahtu, T., Hofinghoff, H. ve Demski, T. 2007. Skin-pass rolling of steel strip using liquid nitrogen. *Materials Science And Technology*, 6, 149-157.
- [27] Qu, F., Xie, H., & Jiang, Z. 2016. Finite element method analysis of surface roughness transfer in micro flexible rolling. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 80, p. 04002). EDP Sciences.
- [28] Simao, J., Apinwall, D. K., Wise, M. L. H. ve Subari, K. 1996. Surface texture transfer in simulated tandem and temper mill rolling using electrical discharge textured rolls. *Journal of materials processing technology*, 56(1-4), 177-189.
- [29] Batalha, G. F. ve Stipkovic Filho, M. 2001. Quantitative characterization of the surface topography of cold rolled sheets—new approaches and possibilities. *Journal of materials processing technology*, 113(1-3), 732-738.
- [30] Prevention, I. P. 2001. Reference document on best available techniques in the ferrous metals processing industry.
- [31] Hilgenberg, K. ve Steinhoff, K. 2015. Texturing of skin-pass rolls by pulsed laser dispersing. *Journal of Materials Processing Technology* 225, 84–92.
- [32] Bidulská, J., Kvačkaj, T., Bodák, V. ve Bidulský, R. 2017. The microgeometry parameters of uncoated and zinc-coated cold rolled steel strips. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 17(2).
- [33] Wu, C., Zhang, L., Qu, P., Li, S. ve Jiang, Z. 2018. 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.
- [34] Wu, C., Zhang, L., Qu, P., Li, S. ve Jiang, Z. 2019. A new method for predicting the three-dimensional surface texture transfer in the skin pass rolling of metal strips. *Wear*, 426, 1246-1264.
- [35] Gorbunov, A. V., Belov, V. K. ve Begletsov, D. O. 2009. Texturing of rollers for the production of auto-industry sheet. *Steel in Translation*, 39(8), 696.

- [36] Bloeck, M. 2012. Aluminium sheet for automotive applications. Novelis Switzerland SA, İsviçre. s. 98-108.
- [37] Sun, D., Yao, L., Fan, Q. ve Zhang, J. 2005. Research on service performances between different textured cold rolls. In AISTech 2006: Iron & Steel Technology Conference Proceedings (I & II), 2, 285-289.
- [38] Ma, Q., Wang, D. ve Liu, H. 2008. Research and development of lingsteel temper rolling mill and key technique study. In Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge, Springer, London, England, s. 541-550.
- [39] Jeulin, D. ve Laurence, P. 1996. Morphological simulation of the roughness transfer on steel sheets. Microscopy Microanalysis Microstructures, 7(5-6), 541-547.
- [40] Fujii, Y., Maeda, Y. ve Ifuku, R. 2014. Prediction of surface roughness on rolled sheet by texture roll. Procedia Engineering, 81, 161-166.
- [41] Wentink, D. J., Matthews, D., Appelman, N. M. ve Toose, E. M. 2015. A generic model for surface texture development, wear and roughness transfer in skin pass rolling. Wear, 328, 167-176.
- [42] Grassino, J., Vedani, M., Vimercati, G. ve Zanella, G. 2012. Effects of skin pass rolling parameters on mechanical properties of steels. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(11), 2017-2026.
- [43] Lenard, J. G. 2013. Primer on flat rolling. Newnes.
- [44] Li, H. J., Jiang, Z. Y. ve Wei, D. B. 2013. Study on effect of strain rate on 3D surface asperity flattening in uniaxial planar compression by crystal plasticity finite element modelling. Wear, 301(1-2), 11-18.
- [45] Wilson, W. R. D., Hsu, T. C. ve Huang, X. B. 1995. A realistic friction model for computer simulation of sheet metal forming processes. Journal Of Engineering For Industry, 117(2), 202-209.
- [46] Butler, L. H. 1957. The effects of lubricants on the surface appearance of aluminum after plastic deformation. Metallurgia, 2, 63-66.
- [47] Yıldız, Y. 2011. Alüminyum folyo haddemede kullanılan merdanelerin taşlama operasyonu ile kazandıkları yüzey özelliklerinin haddeme prosesine etkileri” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [48] Ma, B., Tieu, A. K., Lu, C. ve Jiang, Z. 2002. An experimental investigation of steel surface characteristic transfer by cold rolling. Journal of Materials Processing Technology, 125, 657-663.