

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK SAC HADDELENMESİNDE FİBER OPTİK LAZER YÖNTEMİ  
İLE PÜRÜZLENDİRMENİN KALİTE VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hayrettin BİTARAF**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**İmal Usulleri Programı**

**Danışman**  
**Prof. Mehmet Emin YURCİ**

**Temmuz, 2019**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUK SAC HADDELENMESİNDE FİBER OPTİK LAZER YÖNTEMİ  
İLE PÜRÜZLENDİRMENİN KALİTE VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Hayrettin BİTARAF tarafından hazırlanan tez çalışması 30.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği İmal Usulleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Mehmet Emin YURCİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof. Mehmet Emin YURCİ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. B. Onur KÜÇÜKYILDIRIM, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN, Üye

Trakya Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Danışmanım Prof. Mehmet Emin YURCİ yönetiminde tarafımca hazırlanan Soğuk Sac Haddelenmesinde Fiber Optik Lazer Yöntemi ile Pürüzlendirmenin Kalite ve Verimlilik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hayrettin BİTARAF

*En büyük destekçim eşime*

*ve*

*enerji kaynağım minik kızıma*

## TEŞEKKÜR

---

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bu tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren kıymetli Hocam Sayın Prof. Mehmet Emin YURCI'ye sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca iş hayatımdaki çalışmalarına ilham veren, sürekli pozitif bakış açısı ile sorunların üstesinden gelmeme destek olan, çok sevdiğim, elim bir hastalık sonucu erken yaşta aramızdan ayrılan, rahmetli Başmühendisim Aytekin BULUÇ'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mesleki gelişimime imkan veren, haddeleme prosesini yakından tanıma ve inceleme fırsatı bulduğum, bu tez çalışmama olanak sağlayan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları Ticaret Anonim Şirketine ve çalışmalarına teknik destek sağlayan Hadde Atelyesi Başmühendisi Sayın Aykut BAŞKAYA'ya müteşekkirim.

Tez çalışmalarım kapsamında deneme üretimler ile test yapma imkanı sağlayan İtalya'da yerleşik Tenova Pomini Spa firmasına ve farklı uygulamalar hakkında bilgi edinmek amacıyla ziyarette bulunduğumuz Novelis firmasının İsviçre'nin Sierre kentinde yerleşik alüminyum haddeleme tesisi yetkililerine teşekkürü borç bilirim.

Hayrettin BİTARAF

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>KISALTMA LİSTESİ</b>                                                        | <b>vii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                           | <b>viii</b> |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                           | <b>x</b>    |
| <b>ÖZET</b>                                                                    | <b>xi</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                | <b>xiii</b> |
| <b>1 GİRİŞ</b>                                                                 | <b>1</b>    |
| 1.1 Literatür Özeti . . . . .                                                  | 1           |
| 1.2 Tezin Amacı . . . . .                                                      | 2           |
| 1.3 Hipotez ve Yöntem . . . . .                                                | 3           |
| <b>2 SOĞUK HADDELEME TEKNOLOJİSİ</b>                                           | <b>4</b>    |
| 2.1 Soğuk Haddeleme . . . . .                                                  | 4           |
| 2.1.1 Soğuk Haddeleme Prosesinin Entegre Tesisteki Yeri . . . . .              | 6           |
| 2.2 Soğuk Haddeleme Tezgahları Tipleri . . . . .                               | 8           |
| 2.2.1 Döo Haddeler . . . . .                                                   | 9           |
| 2.2.2 Dörtlü Haddeler . . . . .                                                | 9           |
| 2.2.3 Schloemann Hadde Tezgahı . . . . .                                       | 11          |
| 2.2.4 Altılı Küme Hadde Ayakları (Cluster Haddeler) . . . . .                  | 12          |
| 2.2.5 Çok Destekli Hadde Ayakları (Rohn ve Sendzimir) . . . . .                | 12          |
| 2.2.6 Tandem Hadde Tezgahları . . . . .                                        | 15          |
| 2.2.7 Sürekli Tandem Hadde Tezgahları . . . . .                                | 15          |
| 2.3 Soğuk Haddeleme Tezgahlarının Otomatik Kontrolü . . . . .                  | 17          |
| 2.3.1 Hadde Pozisyonu veya Hadde Aralığı Göstergeleri . . . . .                | 17          |
| 2.3.2 Hadde Kuvveti Ölçme Sistemleri . . . . .                                 | 17          |
| 2.3.3 Sacın Biçim ve Boyut Kontrolü . . . . .                                  | 18          |
| 2.3.4 Otomatik Ölçü Kontrol Sistemi . . . . .                                  | 19          |
| <b>3 SOĞUK SAC HADDELENMESİNDE VERİMLİLİK VE KALİTEYİ ARTTIRAN UYGULAMALAR</b> | <b>22</b>   |
| 3.1 Hassas Merkezleme Sistemi . . . . .                                        | 22          |
| 3.2 Yedek Kafalı Kenar Kesme Ünitesi . . . . .                                 | 22          |

|          |                                                                                       |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3      | Sac Düzgünlüğü Ölçüm ve Kontrol Yöntemleri . . . . .                                  | 24        |
| 3.4      | Kalınlıkta Üniformluğun Sağlanması . . . . .                                          | 28        |
| 3.5      | Kalite ve Verimliliği Arttıran Diğer Uygulamalar . . . . .                            | 29        |
| <b>4</b> | <b>İŞ HADDELERİNDE PÜRÜZLÜLÜK</b>                                                     | <b>32</b> |
| 4.1      | Pürüzlülük Parametrelerinin Tanımı . . . . .                                          | 32        |
| 4.2      | Hadde Pürüzlendirme Yöntemleri . . . . .                                              | 33        |
| 4.2.1    | Kumlama ile Pürüzlendirme - SBT . . . . .                                             | 34        |
| 4.2.2    | Elektroerozyon ile Pürüzlendirme - EDT . . . . .                                      | 35        |
| 4.2.3    | Elektron Işını ile Pürüzlendirme - EBT . . . . .                                      | 36        |
| 4.2.4    | Sert Krom Kaplama ile Pürüzlendirme-ECD . . . . .                                     | 36        |
| 4.2.5    | Lazer ile Pürüzlendirme-LT . . . . .                                                  | 37        |
| 4.2.6    | Fiber Optik Lazer ile Dijital Pürüzlendirme - PDT . . . . .                           | 38        |
| 4.2.7    | Pürüzlendirme Yöntemlerine Ait Yüzey Görünüşleri . . . . .                            | 39        |
| 4.3      | PDT ile Pürüzlendirme Yöntemi Detayları . . . . .                                     | 40        |
| 4.3.1    | Lazer Ünitesi . . . . .                                                               | 40        |
| 4.3.2    | Tezgah Gövdesi . . . . .                                                              | 41        |
| 4.3.3    | PDT Tezgahının Avantaj ve Dezavantajları . . . . .                                    | 42        |
| <b>5</b> | <b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                                            | <b>44</b> |
| 5.1      | Giriş . . . . .                                                                       | 44        |
| 5.2      | Pürüzlendirme Sonuçlarının Kaydedilmesi ve Değerlendirilmesi . . . . .                | 48        |
| 5.3      | EDT ve PDT Yöntemlerinde Pürüzlülüğün Saca Aktarılmasının Mukayese Edilmesi . . . . . | 59        |
| <b>6</b> | <b>SONUÇ ve ÖNERİLER</b>                                                              | <b>61</b> |
| 6.1      | Sonuç . . . . .                                                                       | 61        |
| 6.2      | Öneriler . . . . .                                                                    | 62        |
|          | <b>KAYNAKÇA</b>                                                                       | <b>63</b> |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|     |                                                                                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|
| EBT | Electron Beam Texturing (Elektron Işını ile Pürüzlendirme)                      |
| ECD | Electro Chrome Deposit (Elektrolitik Krom Kaplama - Topocrom)                   |
| EDT | Electrical Discharge Texturing (Elektroerozyon ile Pürüzlendirme)               |
| LT  | Laser Texturing (Lazer ile Pürüzlendirme)                                       |
| PDT | Pomini Digital Texturing (Fiber Optik Lazerle Yeni Nesil Pürüzlendirme Yöntemi) |
| Ra  | Ortalama Pürüzlülük                                                             |
| RPc | Pürüzlülükteki Ortalama Tepecik Sayısı                                          |
| SBT | Shotblast Texturing (Kumlama ile Pürüzlendirme)                                 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|            |                                                                                                                                                                    |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | Temas yayı şematik görünüşü . . . . .                                                                                                                              | 5  |
| Şekil 2.2  | Sıcak haddeleme ve öncesi prosesler (Erdemir) [12] . . . . .                                                                                                       | 7  |
| Şekil 2.3  | Soğuk haddelemenin de içinde bulunduğu sıcak haddeleme sonrası prosesler (Erdemir) [12] . . . . .                                                                  | 8  |
| Şekil 2.4  | Düo haddenin şematik görünüşü. . . . .                                                                                                                             | 9  |
| Şekil 2.5  | Dörtlü haddenin şematik görünüşü [7] . . . . .                                                                                                                     | 10 |
| Şekil 2.6  | Schloemann tersinir hadde tezgahının şematik görünüşü [7] . . . . .                                                                                                | 11 |
| Şekil 2.7  | Altılı küme hadde ayağı hadde düzeni [7] . . . . .                                                                                                                 | 12 |
| Şekil 2.8  | Altılı küme haddelerde kullanılan iş haddeleri çap limiti (sol), Rohn'un on iki haddeli hadde tezgahı hadde düzeni (sağ) [7] . . . . .                             | 13 |
| Şekil 2.9  | Sendzimir hadde ayağı ve kartuş tertiplerinin genel görünüşü [7]..                                                                                                 | 14 |
| Şekil 2.10 | Sürekli tandem hadde hattı [7] . . . . .                                                                                                                           | 16 |
| Şekil 2.11 | Sürekli tandem hadde hattı şematik görünüşü [7]. . . . .                                                                                                           | 17 |
| Şekil 2.12 | $L_{ref}$ ve $\Delta L$ değerlerinin şematik olarak gösterimi [14] . . . . .                                                                                       | 19 |
| Şekil 2.13 | Örnek üç hadde ayaklı soğuk tandem hadde tezgahı otomatik ölçü kontrol sistemi [7]. . . . .                                                                        | 20 |
| Şekil 2.14 | Örnek beş hadde ayaklı soğuk tandem hadde tezgahı otomatik ölçü kontrol sistemi [7]. . . . .                                                                       | 21 |
| Şekil 3.1  | Kombine tip yedek kafalı kenar kesme ve hurda doğrama ünitesi. .                                                                                                   | 23 |
| Şekil 3.2  | Bağımsız tip yedek kafalı kenar kesme ve hurda doğrama ünitesi. .                                                                                                  | 23 |
| Şekil 3.3  | Temaslı tip düzgünlük ölçme merdanesi şematik görünüşü (Shapemeter/Stresometer) [13] . . . . .                                                                     | 24 |
| Şekil 3.4  | Yüzey düzgünlüğünü ölçen temaslı tip hava yataklı sistemler (Siemens ABSM) [15] . . . . .                                                                          | 25 |
| Şekil 3.5  | Yüzey düzgünlüğü ölçen temaslı tip gerinim ölçer kontrollü sistemler (ABB-Stressometer) [17]. . . . .                                                              | 25 |
| Şekil 3.6  | Yüzey düzgünlüğü ölçen temaslı tip piezoelektrik sensör kontrollü sistemler (VOLLMER- Shapemeter ve SMS X-SHAPE) [18] . . . . .                                    | 26 |
| Şekil 3.7  | Eddy akımları ile yüzey düzgünlüğü kontrolü yapan sistemin şematik görünüşü (Siemens SIFLAT) [19] . . . . .                                                        | 27 |
| Şekil 3.8  | Eddy akımları ile yüzey düzgünlüğü kontrolü yapan ekipmanın görünüşü (Siemens SIFLAT) [19] . . . . .                                                               | 27 |
| Şekil 3.9  | Haddelenmiş sacda şekil bozuklukları [13]. . . . .                                                                                                                 | 28 |
| Şekil 3.10 | Hadde elastik deformasyon ve kaydırma sistemlerinin şematik görünüşü ve bu sistemlerin sac kesitine etkisi [13]. . . . .                                           | 29 |
| Şekil 4.1  | Ortalama Pürüzlülüğün ( $R_a$ ) şematik gösterimi (A: eksene göre profil, B:Negatif profillerin ters çevrilmiş hali, C: Ortalama pürüzlülük $R_a$ ) [20] . . . . . | 32 |
| Şekil 4.2  | Ortalama tepelik sayısının ( $RP_c$ ) şematik gösterimi (1: yüzey pürüzlülüğünün merkez hattı) [22]. . . . .                                                       | 33 |
| Şekil 4.3  | SBT yönteminin şematik görünüşü [27] . . . . .                                                                                                                     | 34 |
| Şekil 4.4  | EDT yönteminin şematik görünüşü [27] . . . . .                                                                                                                     | 35 |
| Şekil 4.5  | EBT yönteminin şematik görünüşü [27] . . . . .                                                                                                                     | 36 |
| Şekil 4.6  | Sert krom kaplama ile pürüzlendirme (ECD) yönteminin şematik görünüşü [27] . . . . .                                                                               | 37 |
| Şekil 4.7  | Inert gaz ortamında lazer ile pürüzlendirme yönteminin şematik görünüşü [27] . . . . .                                                                             | 38 |

|                   |                                                                                                                                                                                                |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.8</b>  | PDT yönteminin şematik görünüşü . . . . .                                                                                                                                                      | 38 |
| <b>Şekil 4.9</b>  | PDT yönteminde deneme pürüzlendirme yapılan bölge . . . . .                                                                                                                                    | 39 |
| <b>Şekil 4.10</b> | Pürüzlendirme Yöntemlerine Ait Yüzey Görünüşleri [4] . . . . .                                                                                                                                 | 40 |
| <b>Şekil 4.11</b> | Pürüzlendirme Esnasındaki Lazer Görüntüsü (Pomini/İtalya) . . . .                                                                                                                              | 41 |
| <b>Şekil 4.12</b> | PDT Tezgahı (Pomini/İtalya). . . . .                                                                                                                                                           | 42 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | Pomini İtalya tesisinde PDT tezgahına takılı test merdanesi . . . . .                                                                                                                          | 45 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | Pomini İtalya tesisinde yüzey görünümlerinin dijital mikroskop ile incelenmesi . . . . .                                                                                                       | 45 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | Pomini İtalya tesisinde pürüzlendirmiş, ön ölçüme hazır hadde . . .                                                                                                                            | 46 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | Yüzey pürüzlülüğün iki boyutlu ölçümünde kullanılan Mitutoyo cihazı . . . . .                                                                                                                  | 47 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | Yüzey görünümünün elde edilmesinde kullanılan Dino-Lite cihazı .                                                                                                                               | 47 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu ölçümünde kullanılan Nanofocus optik tarama cihazı [29] . . . . .                                                                                              | 48 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | Hadde Pürüzlülük ölçüm sonuçları değerlendirme tablosu . . . . .                                                                                                                               | 49 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | Hadde Pürüzlülük ölçüm sonuçları değerlendirme tablosu . . . . .                                                                                                                               | 50 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | Ra ve RPc ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi . . . . .                                                                                                                                     | 51 |
| <b>Şekil 5.10</b> | 2,62 $\mu\text{m}$ Ra ve 109 RPc değerlerindeki yüzeyin üç boyutlu tarama görüntüsü . . . . .                                                                                                  | 52 |
| <b>Şekil 5.11</b> | 2,62 $\mu\text{m}$ Ra ve 109 RPc değerlerindeki yüzeyin gerçek görüntüsü (7 $\text{mm}^2$ ) . . . . .                                                                                          | 53 |
| <b>Şekil 5.12</b> | 2,47 $\mu\text{m}$ Ra ve 132 RPc değerlerindeki yüzeyin üç boyutlu tarama görüntüsü . . . . .                                                                                                  | 54 |
| <b>Şekil 5.13</b> | 2,47 $\mu\text{m}$ Ra ve 132 RPc değerlerindeki yüzeyin gerçek görüntüsü (3,5 $\text{mm}^2$ ) . . . . .                                                                                        | 55 |
| <b>Şekil 5.14</b> | 3,5 $\mu\text{m}$ Ra ve 86 RPc değerlerindeki EDT ile pürüzlendirilmiş hadde yüzeyi (sol), 3,1 $\mu\text{m}$ Ra ve 112 RPc değerlerindeki PDT ile pürüzlendirilmiş hadde yüzeyi(sağ) . . . . . | 56 |
| <b>Şekil 5.15</b> | EDT ve PDT ile yapılan pürüzlülük ölçüm sonuçları . . . . .                                                                                                                                    | 58 |
| <b>Şekil 5.16</b> | Haddeleme sonrası pürüzlülük değişim grafiği . . . . .                                                                                                                                         | 60 |

## TABLO LİSTESİ

---

|                  |                                                                                          |    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 5.1</b> | PDT yöntemi le pürüzlendirilmiş test haddelerindeki Ra ve RPc ölçüm sonuçları . . . . .  | 51 |
| <b>Tablo 5.2</b> | EDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş test haddelerindeki Ra ve RPc ölçüm sonuçları . . . . . | 57 |

# **Soğuk Sac Haddelenmesinde Fiber Optik Lazer Yöntemi İle Pürüzlendirmenin Kalite Ve Verimlilik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi**

Hayrettin BİTARAF

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Mehmet Emin YURCİ

Kaynakları verimli kullanmamızın önemi gün geçtikçe kendini daha çok hissettirmektedir. Küresel pazara hitap eden demir çelik sektöründe, kaynağını verimli kullananın ve kaliteli üretim yapanın rekabet gücü de artmaktadır. Bu tezde, soğuk sac haddelenmesinde verimlilik ve kalite konusu kapsamında hadde pürüzlendirme ele alınmakta ve soğuk sac haddeleme konusunda bilimsel incelemelerin yanında sektöre fayda sağlayabilecek tedbirler belirlenmektedir.

Bu tez çalışmasında, soğuk hadde tezgahı tipleri incelenmiş, tezgahların sacı şekillendirirken kalite yönetim sisteminin ihtiyaç duyduğu boyutsal ve pozisyona bağlı olarak çalışan otomatik kontrol sistemlerine değinilmiştir. Soğuk haddeleme hatlarında kalite ve verimliliği arttırmaya yönelik yapılabilecek bazı yöntemlerden bahsedilmiştir. Ayrıca, haddeleme kalitesini doğrudan etkileyen iş haddesi yüzeylerinin pürüzlendirilme yöntemleri genel olarak, yeni nesil fiber optik lazer pürüzlendirme yöntemi ise detaylı olarak incelenmiştir.

Hadde yüzeyindeki pürüzlülük homojenliği ve formu, sac yüzey kaplama kalitesini doğrudan etkilemektedir. Pürüzlülükteki tepelik sayısının fazla olması, saca transfer edilen pürüzlülük derecesini arttırmakta, sacın boya sonrası görünümüne ve sacın şekillendirilmesine olumlu katkı sağlamaktadır. Ayrıca pürüz krater yapısının ezilme ve kırılmaya karşı dirençli olması haddeleme servis ömrünün uzun olmasını sağlamaktadır.

Tezin uygulama bölümünde, iş haddelerinde kontrollü yüzey pürüzlülüğü elde etmek için yeni nesil fiber optik lazer pürüzlendirme tezgahında (PDT) deneme

pürüzlendirmeleri yapılmış ve bu haddelerin yüzeyindeki pürüzlülük değerleri ile saca aktarılan pürüzlülük değerleri kaydedilmiştir. Ölçüm sonuçları, sektörde yaygın olarak kullanılan ve halihazırda otomobil üreticileri tarafından kullanılması tercih edilen elektroerozyonla pürüzlendirme tezgahlardaki (EDT) ölçüm sonuçları ile mukayese edilmiştir. Bu mukayeselerin sonucunda, PDT tezgahının mevcut yaygın olarak kullanılan EDT tezgahları ile benzer homojenlikte pürüzlendirmeleri yapabildiği, PDT tezgahı ile oluşturulan hadde pürüzlüğünde daha fazla tepecik olduğu, PDT tezgahının haddeleme esnasında aynı kuvvet altında saca aktardığı pürüzlülük derecesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Her iki gelişme de, gerek haddeleme işleminin kontrolü ve gerekse üretilen sacın kullanımı açısından olumlu etkiler yaratacaktır.

Soğuk Haddelenmiş saca sonradan ister boya isterse galvaniz kaplama yapılsın, pürüz karakteristiğinin önemi büyüktür. Galvanizleme işleminin başarısı sayesinde, önemi; en çok kullanıldığı otomotiv örnek alınacak olursa, korozyona karşı 5 yıl ila 10 yıl arasında garanti süresi verilebilmektedir. Dolayısıyla tez konusunun ele alınışının ne denli önemli olduğunu sadece bu yönü bile daha iyi ifade etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk haddelemede verimlilik, soğuk haddelemede kalite, hadde pürüzlendirme, lazer ile pürüzlendirme

# **Investigating Of Fibre Optics Laser Roughening Method's Effects On Quality And Productivity of Cold Rolling Processes**

Hayrettin BİTARAF

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Mehmet Emin YURCI

The importance of using resources efficiently makes itself feel more and more. The companies in the iron and steel industry that use their resources efficiently and produce high quality have more competitiveness in global market. In this study, the subject of the roll roughening for Productivity and Quality Improvement in Cold Rolling is discussed and some useful measures are determined for the sector regarding cold rolling of steel sheet.

In this study, the types of cold rolling mills are reviewed, dimensional and positional automatic control systems during strip rolling required by quality management systems are mentioned. Some methods and equipment that increase the quality and efficiency of cold rolling lines are mentioned. In addition, the topic of efficiency in the roughening of the surface of the work roll, which directly affects the rolling quality, and the effect of the new generation roughing method on the rolling efficiency are discussed in detail.

Roughness homogeneity and form on the roll surface directly affect the quality of the sheet surface coating. Higher number of peak-count in roughness increases the roughness ratio transferred to the sheet, contributes to the sheet surface appearance after paint and contributes to the sheet metal forming. In addition, the crater structure of the roughness is resistant to crushing and breaking, thus providing a long rolling service life.

In experimental part, in order to obtain the controllable surface roughness of the work rolls, some trial roughening was performed on the new generation machine, the roughness values on the surface of the test rolls and the roughness values transferred to the surface of the sheet are recorded. The measurement results from

new generation fibre optic laser roughening machine (PDT) is compared with the measurement results in the Electrical Discharge Texturing (EDT) machine which is widely used in the industry and preferred by car manufacturers. As a result of these comparisons, it is observed that the PDT machine was able to texture the surface of roll as the same as the EDT machines which are widely used in the industry. Another result of the comparison is that the amount of roughness transferred to the sheet surface is higher in the PDT machine under the same rolling force. These developments will have positive impact on both the control of the rolling process and the usage of the manufactured sheet.

Whether the further application to be made on cold rolled steel sheet is galvanizing or painting does not matter. The roughness characteristic is of great importance. For the most common usage area of automotive industry is taken into consideration, from five to ten years of warranty period is offering against to corrosion on exposed galvanized surfaces. Therefore, also, it is better understood why it is important to discuss the thesis subject.

**Key Words:** Productivity in cold rolling, quality in cold rolling, roll roughness, laser roughening

### 1.1 Literatür Özeti

Haddelerdeki yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesinde, kumlama ile pürüzlendirme (Shot Blast Texturing - SBT), elektroerozyon ile pürüzlendirme (Electrical Discharge Texturing - EDT), elektron ışını ile pürüzlendirme (Electron Beam Texturing - EBT), sert krom kaplama ile pürüzlendirme (Electro Chrome Deposit - ECD), lazer ile pürüzlendirme (Lazer Texturing - LT) ve yeni nesil fiber optik lazer ile pürüzlendirme (Pomini Digital Texturing - PDT) yöntemleri uygulanmaktadır.

SBT, EDT ve ECD yöntemlerinde pürüzün krater yapısı tamamen kontrol altında değildir ve rastlantısal yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir. EBT ve LT yöntemlerinde pürüzün krater yapısı kontrol altındadır ve rastlantısal yüzey pürüzlülüğü yerine düzenli pürüzlülük (desen) elde edilmektedir. PDT yönteminde ise hem pürüzün krater yapısı kontrol altındadır hem de rastlantısal yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir. SBT yönteminde yüzeye fırlatılan tanecikler aşınabildiği için hadde sertliğine bağlı olarak pürüzün krater yapısının sürdürülebilirliği sağlanamamaktadır. Bu nedenle SBT yöntemi yerine 1990'lı yıllardan beri EDT yöntemi tercih edilmektedir. ECD ve PDT yöntemleri de EDT yöntemine alternatif olarak 2010'lu yıllarda geliştirilmiş olup, bunun üzerindeki geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Haddeleme işleminin mekaniği sürtünmeye dayanmaktadır. Dolayısıyla sacın haddeler tarafından kapılıp ilerletilmesi de uygulanan sürtünme rejimine bağlıdır.

Soğuk haddelenen sacların yüzey pürüzlülüğündeki tepecik sayısı (RPc) fazlaştıkça sacın derin çekme ve boya tutunması özellikleri iyileştiğinden, tepecik sayısının fazla olmasını sağlayacak yöntemler üzerindeki çalışmalar yıllardır devam etmektedir.

2003 yılının Mart ayında KAWASAKI firması tarafından yapılan bir çalışmada, elektroerozyonla pürüzlendirme EDT (Electrical Discharge Texturing) sonrası elde edilen yüzey ile kumla pürüzlendirme SBT (Shotblast Texturing) sonrası elde edilen yüzey mukayese edilmiştir. Tepecik sayısının EDT yönteminde daha fazla olduğu ve bundan dolayı soğuk haddelenmiş saca pres ile şekil verme için daha uygun yüzey sağlandığı savunulmuştur [1, 2].

Topocrom firması 2013 yılında yayınladığı teknik raporda; elektrolitik sert krom kaplama yöntemi ECD (Electro Chrome Deposit) ile SBT yöntemini tepecik sayısı bakımından mukayese etmiş ve tepecik sayısının kumlama yöntemine göre daha fazla olduğunu, EDT yöntemindeki tepecik sayısı seviyesinde olduğunu ortaya koymuştur. Aynı zamanda tepecik sayısı artışının otomobil dış yüzey boya görünümüne olumlu etkisi olduğunu belirtmiştir [3].

Çolak'ın 2018 yılında yayınlanan doktora tezinde, tepecik sayısı artışının önemine değinilmiş olup, yeni nesil lazer pürüzlendirme yönteminde PDT (Pomini Discharge Texturing) EDT yöntemine kıyasla %20 daha fazla tepecik sayısı elde edilebildiği belirtilmiştir [4].

Literatürde PDT ile hadde pürüzlendirme yöntemi üzerine akademik bir araştırma ile karşılaşılmamıştır. Literatür bilgisi olarak sadece tezgahı üreten Pomini firmasının tepecik sayısının EDT yöntemine kıyasla fazla olduğunu gösteren makale ve teknik raporları ile Çolak'ın doktora tezindeki bilgilendirmeler bulunmaktadır. Bu tez çalışması ile yeni nesil PDT tezgahıyla pürüzlendirilen yüzey üzerine çalışmalar akademik ortama taşınmıştır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu tezin amacı, soğuk haddeleme işlemindeki kalite ve verimliliği etkileyen faktörlerin irdelenmesidir. Bu arada, iş haddeleri yüzeyindeki pürüzlülük değeri sac yüzey kaplama kalitesi üzerinde etkili olduğundan özellikle üzerinde durulan bir konu olmuştur. 2013 yılından itibaren PDT (Pomini Digital Texturing) yeni bir pürüzlendirme yöntemi olarak ortaya çıktığından, özellikle en yaygın uygulama olan EDT ile karşılaştırılması gerekmekte idi. Bu amaçla, iş haddeleri yüzeyindeki pürüzlülüğün elde ediliş yöntemlerine göre mukayese edilmesi ve yeni nesil lazer

pürüzlendirme tezgahı PDT ile pürüzlendirilmiş iş haddelerinin haddeleme verimliliği üzerindeki etkileri ortaya konulması hedeflenmiştir.

### 1.3 Hipotez ve Yöntem

Hadde yüzeyinde rastlantısal kraterli ve homojen bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmesi, saca şekillendirilme kolaylığı ve boya sonrasında düzgün yansıma oluşturmalarını sağlamaktadır [1, 5]. Homojen pürüzlülük ve fazla tepecik sayıları elde edilmesi otomobil dış yüzey sacları için esas olarak istenen bir özelliktir [5]. Yani, hadde yüzeyinde homojen ve fazla tepecik sayılı pürüzlülük elde edilmesi, yüzey kalitesi yüksek sac elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Saca aktarılan pürüzlülük derecesinin ve hadde işletme ömrünün fazla olması, haddeleme kuvvetinden ve hadde değiştirme işçiliğinden tasarruf edilmesine, yani verimliliğin artmasına katkı sağlamaktadır.

Tezin amacı doğrultusunda, soğuk sac haddelenmesinde kalite verimliliği doğrudan etkileyen hadde pürüzlendirme yöntemleri irdelenecektir.

Yeni nesil fiber optik lazer pürüzlendirme yöntemi (PDT) kullanılarak belli sayıdaki haddeler sıklıkla kullanılan farklı pürüzlülük değerlerinde pürüzlendirilmesi ve sonuçlarının sektörde yaygın olarak kullanılan elektroerozyon pürüzlendirme yöntemi (EDT) ile mukayese edilmesi planlanmıştır.

Test haddelerinde elde edilecek olan ortalama pürüzlülük değerinin homojen dağılımı incelenmesi planlanmıştır. PDT yöntemindeki ortalama pürüzlülüğün homojen dağılımının, EDT yöntemindeki ortalama pürüzlülüğün homojen dağılımını sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi planlanmıştır.

PDT pürüzlülük formunda elde edilecek olan tepecik sayısı (RPC) ve EDT yöntemi ile elde edilebilen tepecik sayısının mukayese edilmesi planlanmıştır.

PDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş haddelerin saca transfer ettiği pürüzlülük derecesinin, Aynı hadde kuvveti altındaki EDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş haddelerin saca transfer ettiği pürüzlülük derecesi ile mukayese edilmesi planlanmıştır.

### **2.1 Soğuk Haddeleme**

Soğuk haddelenmiş saclar 0,3 ile 3 mm kalınlık ve 200 mm ile 2.200 mm genişlik aralığındadır. Seri üretim yapılan dört veya beş tandem hadde ayağı içeren sürekli tesislerde, genellikle 600 mm üzerindeki genişlikte olan saclar imal edilir. 0,3 mm den daha ince olan saclar genellikle teneke ve folyo üretim hatlarında haddelenmektedir. Soğuk haddeleme hatlarında kalınlığı inceltilmiş sac pekleşmeden dolayı plastik şekillendirilebilme sınırına yaklaştığından, folyo veya teneke haddelerinde haddelenmeden önce tekrar tavlansak iç gerilimlerin giderilmesi gerekmektedir. Soğuk haddelemede maksimum hız 600 ile 1.400 m/dak arasında değişir. 0,3 mm den daha ince saclardaki haddeleme hızları maksimum hızları 1.500 ile 2.300 m/dak arasında değişmektedir [6].

Haddeme enerjisi, çok büyük moment uygulayan iş haddeleri vasıtasıyla saca iletilmektedir [7]. İş haddesi çapı ile haddeleme kuvveti arasındaki en önemli faktörlerden biri, haddenin saca temas ettiği yüzey alanıdır. Temas yüzeyi arttıkça, gerekli olan hadde kuvveti de artmaktadır [8]. Bu nedenle hadde çapı mümkün oldukça küçük tutulmaya çalışılmaktadır. Eğilme eğiliminde olan küçük çaplı haddeler, büyük çaplı destek haddeler ile desteklemektedir [9]. Ezme oranına göre oluşan kapma açısından dolayı hadde çapı belli bir değerin altına inmemektedir. Kapma açısı, optimum iş haddesi çapının belirlenmesinde rol oynamaktadır. Ezme oranının çok düşük olduğu, ince ve sert malzemelerde (örneğin paslanmaz çelik saclarda) gerekli haddeleme kuvvetini sağlayabilmek için iş haddesi çapı mümkün olduğu kadar küçük tutulmaktadır.

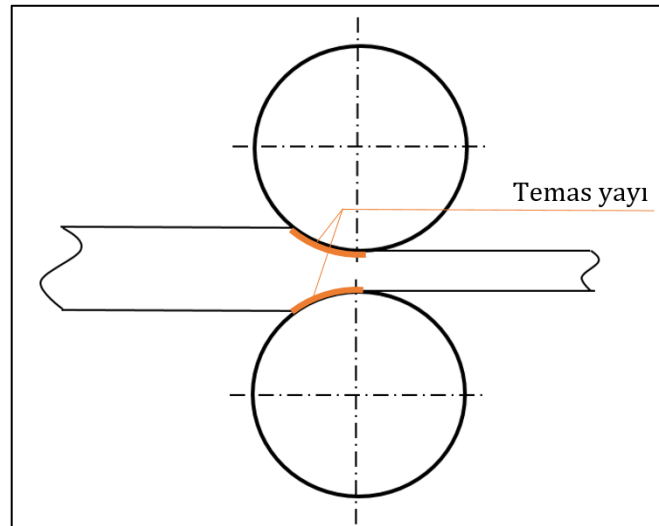
Soğuk haddelemede, tufaldan arındırılmış sac band, büyük bir gergi ve haddeleme gücü altında sert haddeler arasından geçirilerek şekillendirme uygulanmaktadır. Bu işlem, tek bir tersinir hadde üzerinde ileri-geri yönlerdeki geçişlerle veya birbiri ardınca hadde ayaklı sürekli haddeleme (tandem hadde) tezgahlarda yapılmaktadır.

Sac, sürekli olarak yüksek baskı altında tutularak hadde ayaklarından geçmektedir. Sürekli hadde tesislerinin verimliliği tersnir hadde tezgahlara oranla çok yüksektir. Bununla birlikte sürekli hadde tesisleri için gerekli yatırım maliyeti tersnir hadde tezgahlarına oranla aşırı yüksektir.

Her hadde ayağı çıkışında sacın kalınlığı azalmakta ve boyu uzamaktadır. Böylece sac tesis boyunca ilerledikçe giderek hızlanmaktadır. Ölçü ve biçim kontrolünü sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmek için kalınlık incelmesi ile boydaki artış yanıl bir yayılma olmadan gerçekleştirilmektedir [10].

Soğuk haddelemede sacın mikro yapısı çekme ve haddeleme yönünde ezilen taneciklerin rotasyonu sonucu şekil değiştirmektedir. Taneler arası sert fazlar deforme olmamakta ve mikro kırıklarla ayrılmış olarak haddeleme yönü doğrultusunda dizilmektedir. Soğuk haddede metalin haddeler arasında hareketi esnasında, artan bir eğilme direnci veya akış direnci eşlik etmektedir.

Haddeleme tezgahı, haddeler aracılığıyla saca çok büyük kuvvet iletmelidir. Bu kuvvet; sacın akış direncine, ön ve arka germe değerlerine ve haddeler ile sac arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Birim genişlik için haddeleme gücü, temas yayı boyunca uygulanan kuvvetin toplamıdır. Ezme arttıkça temas yayının da boyu artacağından ihtiyaç olan haddeleme gücü de artmaktadır. Temas yayı, Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.1** Temas yayı şematik görünüşü

Haddeler sac bandı sürmek için hadde ile sac arasında sürtünmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu sürtünme, aradaki bir nötr noktası ile hadde kuvveti maksimum olduğunda, girişte sacı haddelerin içine çekerken çıkışta sacın hareketine karşı direnç göstermektedir [10]. Haddeleme enerjisi haddedeki sürtünmeye bağlı olan soğuk şekillendirme enerjisinin toplamıdır. Bu enerjinin bir kısmı metalde iç gerilme olarak saklı kalmaktadır. Bu durum, tavlama sırasında rekristalizasyonu kolaylaştırmaktadır [11].

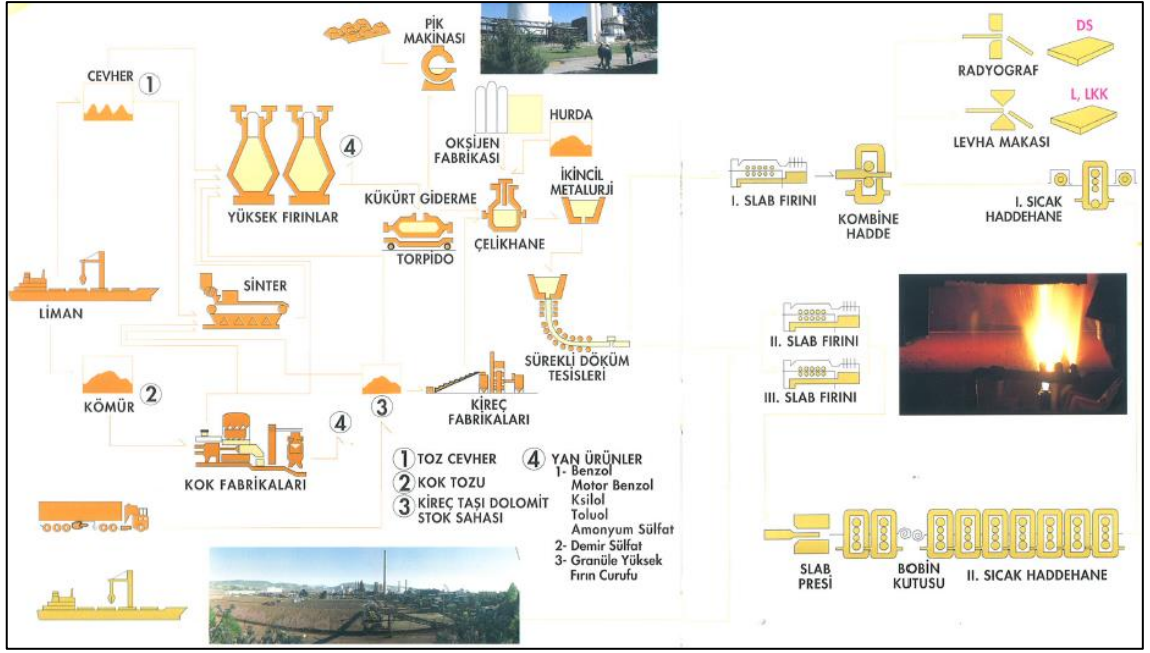
Ürün karakteristiklerinin gözlenmesi kesilen sac band örnekleri ile yapılmaktadır. Boyutlar ve pürüzlülük ölçülmekte, sertlik ve mukavemet kontrol edilmektedir. Boyut toleransları tüm üretim hattı boyunca izlenmektedir. X-ışını ile kalınlık ve sürekli genişlik ölçümü yapılmaktadır. Düzgünlük, hadde çıkışındaki gerilim dağılımına duyarlı merdaneler ile sac band genişliği boyunca kontrol edilmektedir (Bkz. Madde 3.3).

Yüzey görünüşü, uzman operatörlerce gözlemlenmektedir. Ayrıca özel kameralı cihazlar kontrasttaki değişimleri takip edebilmekte veya lazer ışını yansımasıyla gözlem çalışması yapılabilmektedir. Bu cihazlar ürün kalitesinin band boyunca takibini mümkün kılan akıllı yazılımlarla birleştirilmiştir [7].

### **2.1.1 Soğuk Haddeleme Prosesinin Entegre Tesisteki Yeri**

Modern metalurji tesislerinin esas üniteleri, yüksek fırın, çelikhane ve haddehaneden meydana gelmektedir. Yüksek fırından ham demir elde edilmektedir. Ham demir çelikhane yeniden işleme tabi tutularak çeliğe dönüştürülmektedir. Çelikhanelerde ingot veya blum halinde elde edilen yarı mamul, haddehanelerde şekillendirilerek son mamul elde edilmektedir.

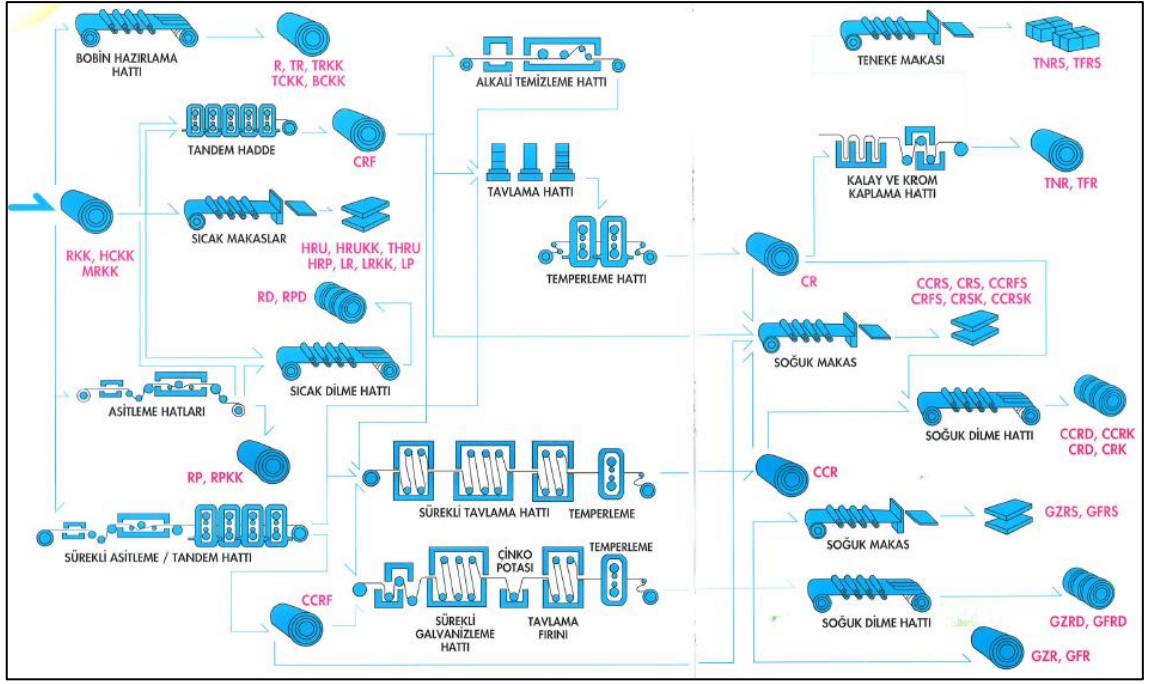
Entegre demir çelik tesislerinde sıcak haddeleme prosesinden önceki diğer üniteler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2** Sıcak haddeleme ve öncesi prosesler (Erdemir) [12]

Sıcak haddelemenin ardından soğuk haddelenecek olan sac band öncelikle yaş dekapaj (asitleme) hattından geçirilmektedir. Sıcak haddelenmiş yassı mamuller, daha sonraki soğuk haddeleme ile uyumlu olmayan bir tufal ile kaplıdır. Bu kabuk sac ile iş haddesi arasında farklı bir tabaka gibi davranacağından haddeleme yassı mamulü çizebilir veya aşırı sertlik nedeniyle anormal reaksiyonlara neden olabilir. Bu nedenle soğuk haddeleme öncesi sac band yüzeyindeki kabuk tufal bir asit banyosu içinde dekapaj işlemi ile yok edilmektedir.

Demir çelik tesislerinde soğuk haddelemenin de içinde bulunduğu sıcak haddeleme sonrası prosesler Şekil 2.3’de gösterilmiş olup, soğuk haddeleme prosesi sonrasında tavlama (Continuis Annealing Line – CAL), temper haddeleme (Skin Pass Mill-SPM), kaplama, dilme, kesme ve paketlenme hatları da mevcuttur.



**Şekil 2.3** Soğuk haddelemenin de içinde bulunduğu sıcak haddeleme sonrası prosesler (Erdemir) [12]

## 2.2 Soğuk Haddeleme Tezgahları Tipleri

Sac haddelerinde kalite ve verimlilik açısından irdelenmesi gereken en önemli konu hadde ayağı tipleridir. Çeşitli tiplerdeki hadde tezgahları değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Genellikle haddelerin ayak üzerindeki düzenleniş şekillerine göre tek destekli haddeler ve çok destekli haddeler şeklinde tarif edilmektedir. Alışlagelmiş tipte olmayan haddeler ise ortaya koyan fikir sahibinin ismi ile ya da genel olarak kabul edilmiş bir tanım ile tarif edilmektedir.

Haddeler genellikle fonksiyonlarına göre tanımlanmaktadır. Eğer haddeler teneke yapmak için kullanılmaktaysa bu haddeler "teneke haddesi" olarak anılmaktadır. Sac bantlarda 0,04 mm kalınlık ve 760 mm genişlik istenmesi sonucunda özel olarak imal edilen "folyo haddeleri" kurulmuştur.

Modern soğuk haddeleme ayaklarında duo hadde, dörtlü hadde, altılı küme hadde (cluster) ve çok destekli hadde ayakları (Rohn ve Sendzimir) tek ayaklı haddelerin başlıca örnekleridir.

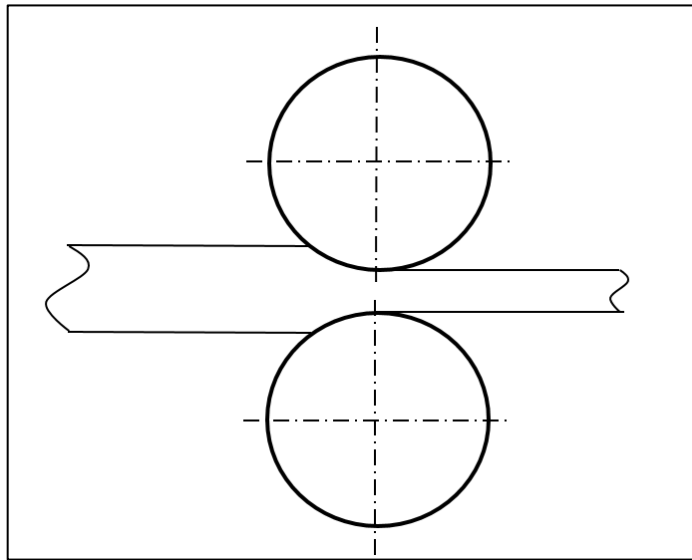
Sac bandın kalınlığının inceltilmesi için yukarıda bahsi geçen hadde tiplerinin yanı sıra bazı haddeler "temper haddeleri" olarak isimlendirilmiştir. Temper haddeler,

istenilen yüzey bitirmeleri, metalurjik özellikler ve haddelenen malzemenin düzgünlüğü için kullanılmaktadır [7, 13].

### 2.2.1 Döo Haddeler

Döo haddeler (Şekil 2.4) çeliğin soğuk haddelenmesi için kullanılan en basit tip tezgahdır. 1920'lerin sonunda bile bu tip haddeler sacdaki dalgaları gidermek, yüzeyini düzeltmek, sıkı ve düzgün bir yüzey oluşturmak ve aynı zamanda soğuk şekillendirme ile sacı sertleştirmek amacı ile kullanılmıştır.

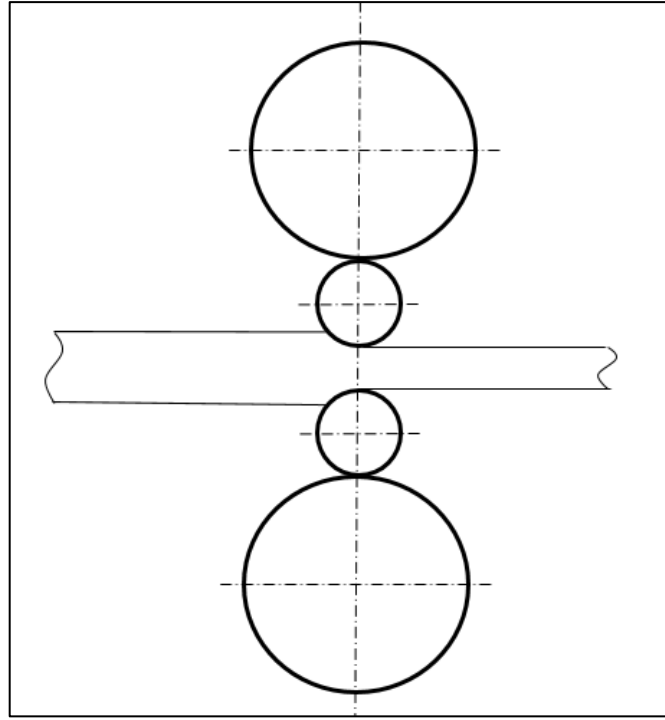
Yüksek hızlı 4 veya 5 hadde ayaklı sürekli tandem haddelerin kullanımının yaygınlaşmasıyla döo haddeler genel olarak soğuk haddeleme amacı ile kullanımdan kalkmıştır. Döo haddeler ticari olarak artık bazı araştırma çalışmalarında dar sacların haddelenmesinde kullanılmaktadır[7].



Şekil 2.4 Döo haddenin şematik görünüşü

### 2.2.2 Dörtlü Haddeler

Çelik sacın soğuk haddelenmesi için en fazla kullanılan tezgah tipi dörtlü haddedir (Şekil 2.5). Başlangıçta iş haddelerini tahrik etmek yaygın olmasına rağmen sonraları iş haddelerinin üst ve altında bulunan destek haddeleri tahrik edilmeye başlanmıştır. Destek haddelerinin yüzeyleri genellikle iş haddelerinin yüzeylerinden daha yumuşak olarak imal edilmektedir [7].



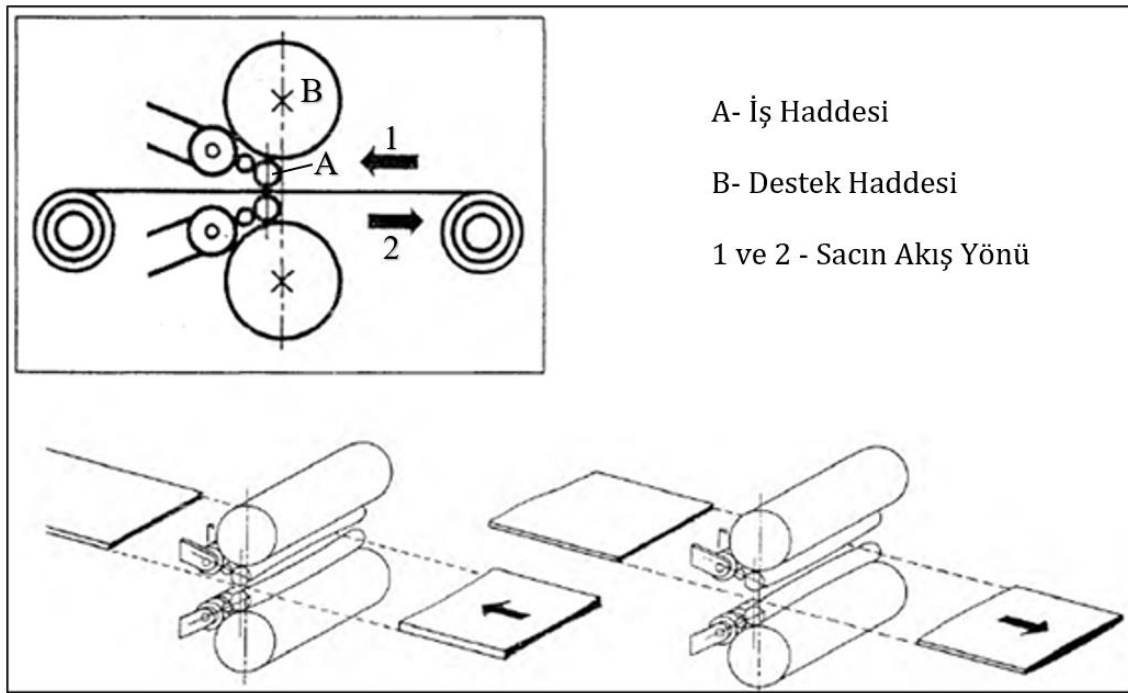
**Şekil 2.5** Dörtlü haddenin şematik görünüşü [7]

Tek hadde ayaklı haddelene tezgahı alınmadan önce hadde tezgahının tek yönde mi yoksa çift yönde mi (tersinir) çalışacağını belirlemek gerekmektedir. Tek yönlü çalışan haddede bobin halindeki sacın, çıkış tarafından giriş tarafına çeşitli ekipmanlar ile transfer edilmesi gerekmektedir. Bu durumda malzeme nakil problemi ortaya çıkmaktadır. Hadde tezgahı tersinir olarak çalıştırıldığında bu problem ortadan kalkmaktadır. Fakat tersinir çalışan bir hadde tezgahının elektrik donanımının fiyatı, tek yönlü çalışan tezgahlarınkinden çok daha pahalıdır. Bu dezavantaja rağmen dört haddeli tersinir hadde tezgahları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tersinir hadde tek hadde ayaklı bir ünedir ve burada sac istenilen ezmeyi elde edene kadar birkaç defa ileri geri yaparak haddeden geçirilmektedir. Haddenin her iki tarafında bobini açmak ve haddelenen sacı sarmak için çift yönlü tahrik edilebilen tamburlar bulunmaktadır. Sac önce bir yönde, sonra tersi yönde istenilen son kalınlığı elde edene kadar geçirilmektedir. Son pasoya kadar sac bandın kuyruk kısımları haddelenmemekte ve sac açıcı tamburlarda tutulmaktadır. Son pasoda sac bandın kuyruk kısmı da serbest bırakılmakta ve sacın tamamı bobin sarma tamburuna sarılmaktadır [7].

### 2.2.3 Schloemann Hadde Tezgahı

Schloemann hadde tezgahında (Şekil 2.6) iş haddelerinin yanal bükülmesini önlemek için çıkış tarafında ilave destek haddeleri bulunmaktadır. İş haddesi yatakları ve tahrik şekilleri destek haddesinde kullanılanlardan farklı dizayn edilmiştir. Bu haddenin şasisinin konstrüksiyonu ve imalat şekli klasik dörtlü hadde tezgahı gibi dizayn edilmiştir. Bununla birlikte iş haddesi ile destek haddesi çapları arasındaki fark 6 kat veya daha fazla olabilmektedir [7].



**Şekil 2.6** Schloemann tersinir hadde tezgahının şematik görünüşü [7]

İş haddelerinin (A) yatak yuvaları yoktur, basit çeneler arasında tutulmakta ve kolaylıkla değiştirilebilmektedirler.

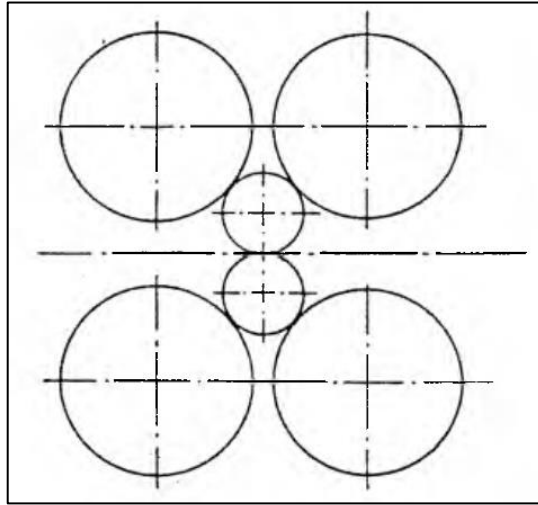
Küçük iş haddeleri dolayısıyla daha düşük haddeleme kuvvetleri olduğundan, ana destek haddelerinde rulmanlı yataklar kullanılmaktadır.

Schloemann haddeleri, dizaynları itibarıyla tersinir çalıştırılabilir ve destek haddeleri vasıtasıyla tahriklendiklerinden bu haddeler kolaylıkla düo ve dörtlü hadde tipine dönüştürülebilmektedir [7].

#### 2.2.4 Altılı Küme Hadde Ayakları

Mümkün olduğu kadar küçük çaplı tutulması gereken iş haddelerinin yatay ve düşey yönlerdeki elastik deformasyonlara mani olmak için altılı küme hadde ayakları geliştirilmiştir (Şekil 2.7).

Farrington, altılı küme hadde tipinde 203 mm sac genişliğine uygun bir hadde ayağı dizayn etmiştir. Sisteme bir adet üstteki ve bir adet alttaki destek haddelerinden tahrik vermiştir. İş haddeleri 82.55 mm, destek haddeleri de 254 mm çapında olan bu hadde vasıtasıyla, paslanmaz çeliği 0.152 mm kalınlığına kadar inceltmiştir [7].

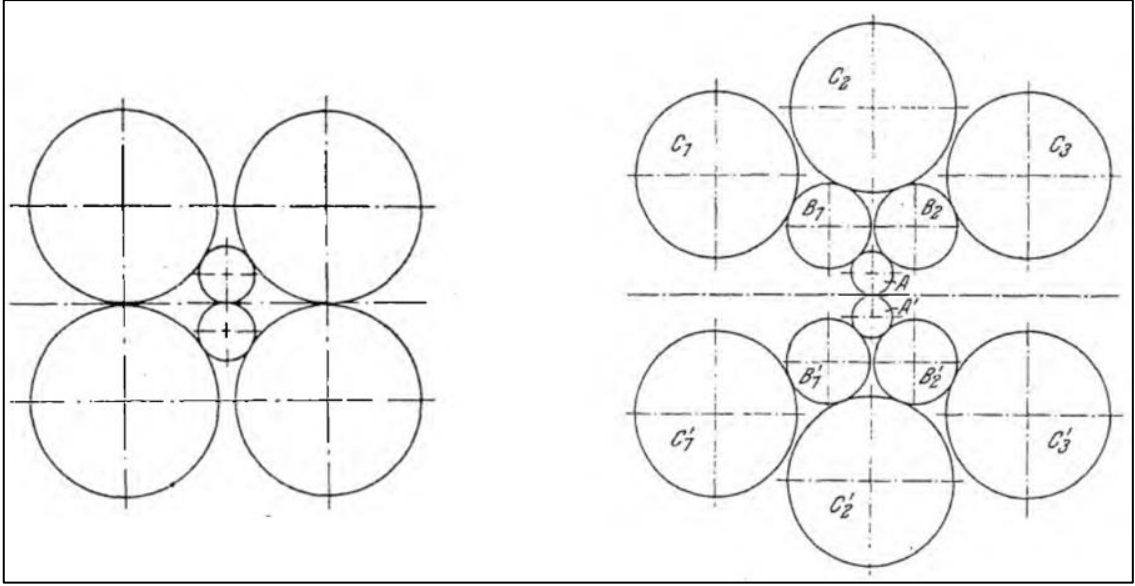


Şekil 2.7 Altılı küme hadde ayağı hadde düzeni [7]

#### 2.2.5 Çok Destekli Hadde Ayakları (Rohn ve Sendzimir)

Mathey tarafından dizayn edilen altı haddeli hadde tipinde, iş haddelerinin destek haddelerine oranla ne kadar küçük yapılabileceğinin pratik bir limiti vardır. Bu limit, iş haddelerinin yatay teğeti ile destek merdanelerinin yatay teğetinin aynı düzlemde olduğu yer olup, Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmiştir.

İş haddelerinin çapının yanında destek haddelerinin çapını da düşürebilmek için Rohn 1925 yılında on veya on sekiz destek haddeli hadde ayakları geliştirmiştir. Şekil 2.8’de Rohn’un dizaynına göre yapılmış on iki haddeli bir tip gösterilmiştir. Burada, iş haddeleri (A) 10 mm, ara haddeler (B) 20 mm ve destek haddeleri (C) 40.64 mm çapındadır. Kullanım amacı ise 0,5 mm kalınlığındaki nikel sacı, altı pasoda 0,01 mm kalınlığa indirmektir [7].



**Şekil 2.8** Altılı küme haddelerde kullanılan iş haddeleri çap limiti (sol), Rohn'un on iki haddeli hadde tezgahı hadde düzeni (sağ) [7]

Rohn'un tasarımı, Tadeusz Sendzimir tarafından geliştirilmiştir. Çok destekli hadde ayakları paslanmaz ve silisyum alaşımlı sacların haddelenmesinde tercih edilmektedir.

Sendzimir haddesinin yaygın kullanılmasında iki esas neden öne çıkmaktadır. Birincisi aynı boyutlardaki dört haddeli haddeden daha ucuza imal edilebilmesi, ikincisi de bu hadde düzenindeki küçük çaplı iş haddelerinin diğer hadde düzenlerine göre daha küçük şekil toleranslarında sac elde edilmesine imkan sağlamasıdır.

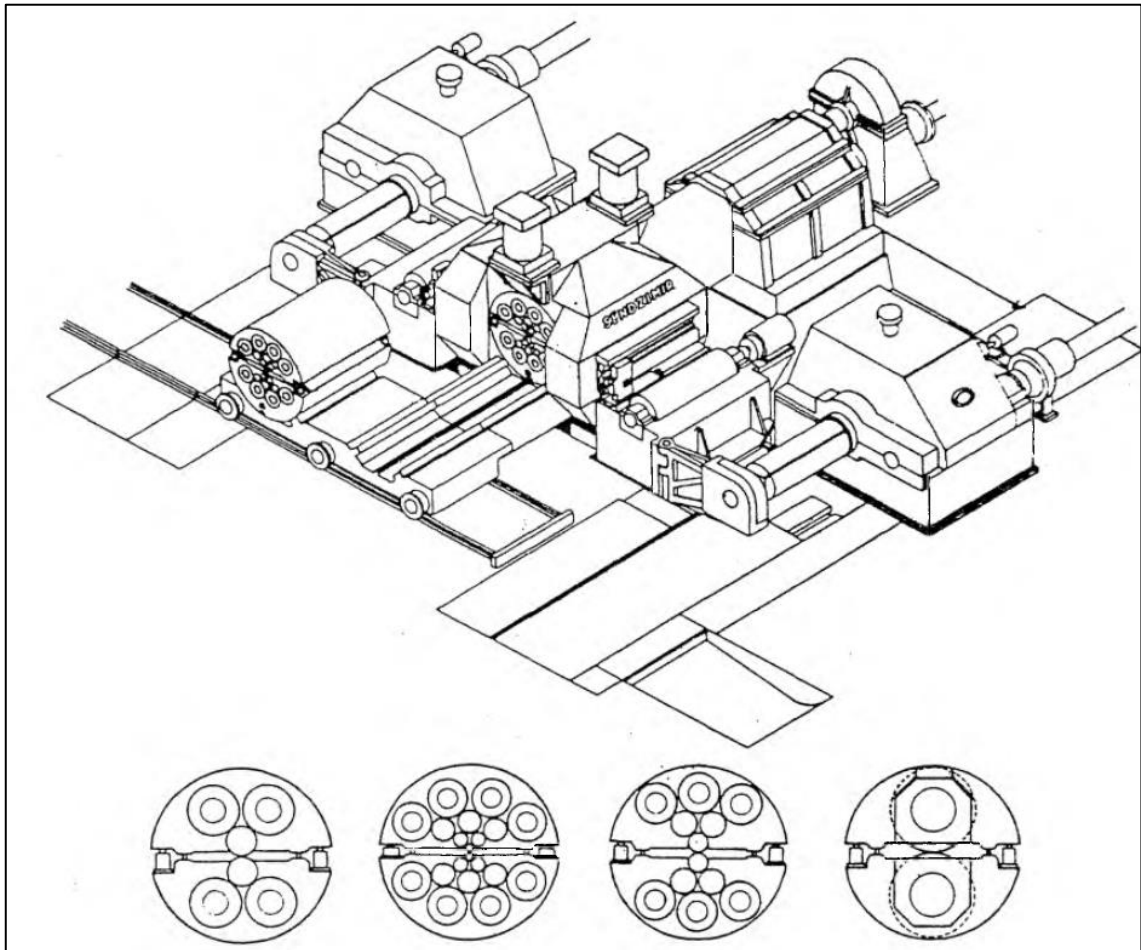
İlk Sendzimir haddelerinde gergi kontrolü çok önem kazanmıştır. İş haddelerinin çapı küçüldüğünde haddelenen sacdaki gergi, daha büyük çaplı haddelere göre fazla olabilmektedir. Hadde tezgahının iki yanında sacı saran iki büyük tambur bulunmaktadır. Bu tamburların üzerinde küçük kıştırma merdaneleri bulunmaktadır. Bu sistem sac banda gereken ön ve arka gergiyi sağlamaktadır. 1940'larda Sendzimir haddesine iki taraftan çalışan modern bir germe tertibatı tatbik edilmiştir. Bugünlerde Sendzimir haddesinde sac boyunca çok dar bir kalınlık toleransı içerisinde ürün elde edilebilmektedir.

İkinci Dünya Savaşı ve hemen sonrasında Sendzimir haddesinde çok değişiklikler yapılmıştır. Önce 1-2-3 hadde tertibi uygulanmıştır. Burada iş haddeleri iki ara

haddesi vasıtasıyla tahrik edilmiş ve iki tahrik haddesi de üç destek haddesiyle desteklenmiştir. Sonrasında 1-2-3-4 hadde tertibi geliştirilmiştir. Burada iş haddeleri üçlü ara haddelerinin iki tanesi ile tahrik edilmiştir.

Senzimir hadde tezgahının kartuş tipi de geliştirilmiştir (Şekil 2.9). Kartuşun kullanılmasının sebebi birçok hadde tertibinin aynı tezgahta kullanılabilmesini mümkün hale getirmektir. Hadde tertipleri farklı özelliklere göre kartuş şeklinde hazır halde beklemektedir. Üretim hattına hangi tertip gerekirse, takılı olan set kartuş hattan çıkartılıp yerine yeni hadde tertipi takılmaktadır. Bu değişiklik işlemi, özel değişim aparatları sayesinde birkaç dakikada tamamlanabilmektedir.

Nisshin Çelik Şirketi tarafından kurulan ve geliştirilen Sendzimir tandem haddesinin proses görünüşü Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bu haddehane 1270 mm genişlikte ve 24 tona kadar olan paslanmaz çelik sacların haddelenmesi için dizayn edilmiştir [7].



**Şekil 2.9** Sendzimir hadde ayağı ve kartuş tertiplerinin genel görünüşü [7].

### **2.2.6 Tandem Hadde Tezgahları**

Fazla miktarda geniş sac haddelemek için genellikle tandem tipi hadde tezgahları kullanılmaktadır. Tandem haddelerde birbiri ardına birkaç hadde ayağı bulunmaktadır. Sac, her bir hadde ayağından farklı hızda geçmekte olup, haddeleme miktarına bağlı olarak uzanan sac bir sonraki hadde ayağından daha hızlı geçmektedir.

Tandem haddeler birbiri ardına birkaç hadde ayağından oluşsa da tertip şekli ve gövde şekilleri genellikle birbirinin aynıdır. Soğuk haddeleme yöntemiyle düzgün bir sac elde edebilmek için dörtlü, altılı veya küme tipi hadde düzeni kullanılmaktadır. Genellikle, destek haddelerinin yatakları kaymalı tipte ve iş haddelerinin yatakları rulmanlı tiptedir. Hadde ayakları mümkün olduğu kadar birbirine yakın tutulmaktadır. Hadde ayakları aralarındaki mesafe; haddelerin boyu, ilave sistemlerin boyutu ve tahrik düzenlerinin şekline bağlı olarak yaklaşık 3.5-4 m'dir [7].

### **2.2.7 Sürekli Tandem Hadde Tezgahları**

Sürekli haddeleme tarzında haddeler arka arkaya dizilişe göre dizayn edilmektedir. Sonsuz boyda haddeleme esastır. Uzun süreli duruşlar, sacın kopması veya arıza hallerinde sacda kesintiler olabilmektedir. Bu takdirde, sürekli haddelemeyi yeniden başlatmak için öncü olarak bir kılavuz sac veya çelik halat haddeleme hattında yer alan haddelerin tümünden geçirilmektedir. Böylelikle haddeleme işlemi başlatılmış olmaktadır.

Aşağıda örnek olarak bir sürekli tandem hattı düzeneği tanımlanmaktadır.

Hattın girişinde sac açıcı tamburda açılan sac bandın ucu, tahrikli sac sürücü merdanelere ulaştırılmaktadır. Tahrikli olan sac sürücü merdaneler vasıtasıyla sac, tahrikli doğrultucuya iletilmektedir. Tahrikli doğrultucu, bobinden açılan sacı nispeten düz forma getirerek makasa kadar ulaştırmaktadır.

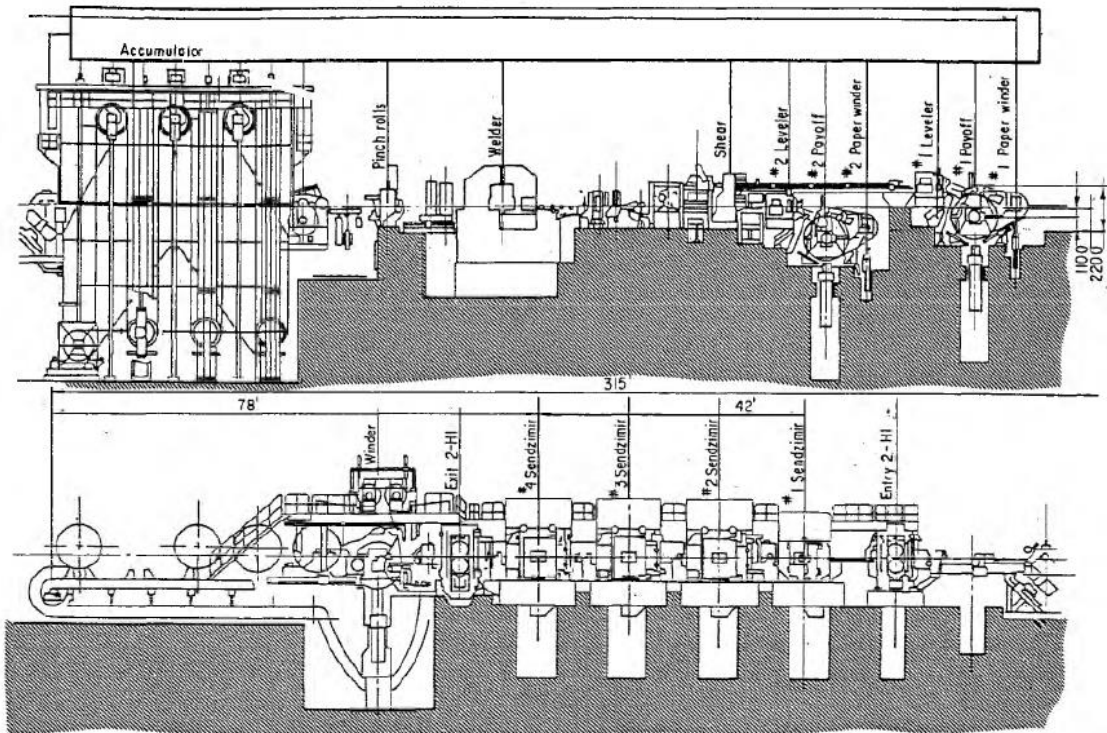
Çift bıçaklı hidrolik bir giyotin makas, sac bobinin düzgün kalınlık ve formda olmayan uç kısımlarını düzgün kısma erişinceye kadar kesmektedir. Yani birinci

bobinin son ucunu, ondan sonra gelen bobinin ön ucunu kesmektedir. Sonrasında manuel veya otomatik kaynak makinası vasıtasıyla sac birleştirilmektedir.

Sac akümülatörü (sac band deposu), minimum haddeleme hızında iken kaynak işlemi süresince hattın durmaması için ihtiyaç olacak sacı depolamak amacıyla dizayn edilmiştir. Sacın yönünü değiştiren merdaneler sac deposunun giriş, çıkış ve içerisinde bulunmaktadır. Sac deposunun çıkış kısmında bulunan otomatik merkezleme sistemi, sacın hadde ayakları boyunca düzgün olarak ilerlemesi amacıyla sacın hadde ayaklarına girmeden önce hattın merkezine gelmesini sağlamaktadır.

Çıkışta bulunan iki merdaneli tahrikli sac sürücü ile çıkış tarafı sac yönü değiştirme merdanesi arasında sacı kesmek için boy makası bulunmaktadır. Bu makas sac bandını istenilen miktara geldiğinde kesmekte ve sac band sac sarıcı tamburda sarılmaktadır.

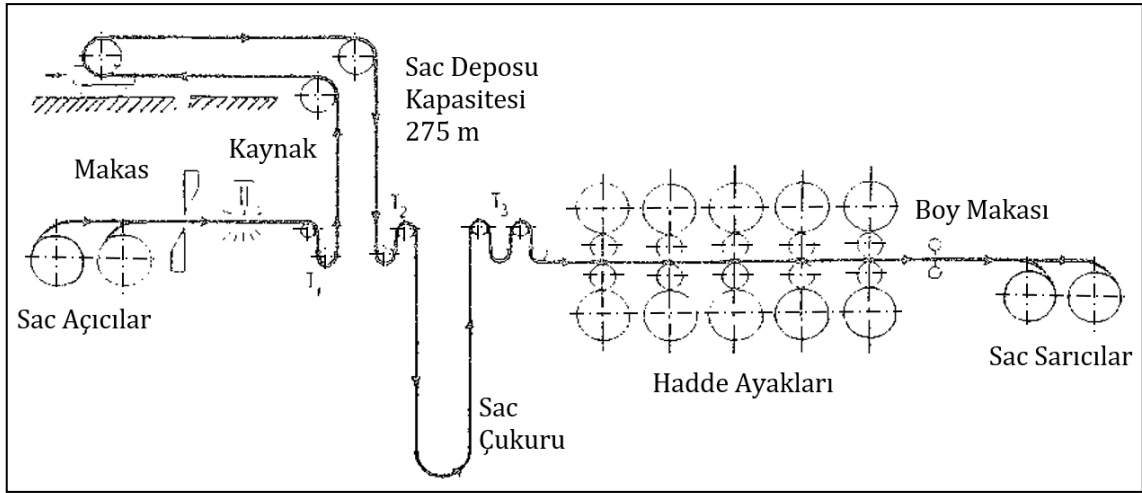
Tandem haddehanesinde her bir hadde ayağı arasında sacın hızını, gerginliğini ölçen mekanizmalar ve otomatik kalınlık kontrol sistemleri bulunmaktadır [7].



Şekil 2.10 Sürekli tandem hadde hattı [7]

Nippon Kokan tarafından hazırlanan beş destekli tamamen sürekli çalışan haddehane Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu haddehane 1.296 mm genişliğinde 1.52 mm den 4.57 mm kalınlıklara kadar olan sac bantları, 0.15 mm ile 1.62 mm kalınlıklara indirgemek için kurulmuştur. Üretim kapasitesi ayda 118.000 ton olup, maksimum haddeleme hızı 2.000 m/dak dır.

Haddehanenin giriş bölümünde yapılan kaynak 1.5 dakika sürmekte ve haddehaneyi bu süre içerisinde beslemek için 276 m kapasiteye sahip bir sac deposu bulunmaktadır. İş haddeleri arasında sac olduğu zaman bile iş haddelerini değiştirebilecek bir mekanizma bulunmaktadır. Saca dokunmadan iş haddeleri hadde ayaklarından dışarıya alınabilmektedir [7].



Şekil 2.11 Sürekli tandem hadde hattı şematik görünüşü [7]

## 2.3 Soğuk Haddeleme Tezgahlarının Otomatik Kontrolü

### 2.3.1 Hadde Pozisyonu veya Hadde Aralığı Göstergeleri

Vidalı mekanik pozisyon göstergeleri yerini elektronik sensörlere bırakmıştır. Sensör ile haddelerin açık veya basmakta olduğu tespit edilip, elektrik sinyalleri ile bilgisayar üzerinden operatörlere iletilmektedir.

### 2.3.2 Hadde Kuvveti Ölçme Sistemleri

Kalınlığı anlık kontrol edebilmek ve haddeleri aşırı baskıdan doğacak deformasyona karşı koruyabilmek için hadde kuvvetlerini kontrol altında tutmak gerekmektedir.

Hadde kuvveti ayak üzerindeki gerinim ölçerleriyle, baskı yapan hidroliğin basıncı ile ya da yük sensörleri (loadcell) vasıtasıyla ölçülebilmektedir. Yük sensörlerinin güvenilirliği yüksektir ve kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

### **2.3.3 Sacın Biçim ve Boyut Kontrolü**

#### **2.3.3.1 Genişlik**

Haddelenen sacın genişliği sürekli kontrol edilmektedir. Ölçülen genişlik doğru hadde parametrelerinin belirlenmesini ve doğru ekipmanın devrede olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sürekli haddeleme hatlarında sac bandın merkezlenmesi için genişlik ölçümü yapan cihazlar vasıtasıyla da pozisyon kontrolü yapılmaktadır. Günümüzde genişlik ölçümünde radyasyonlu ölçüm cihazlarına alternatif cihazlar olduğundan genişlik ölçümü için radyasyon kullanılan cihazlar tercih edilmemektedir. Basit yöntem olarak floresan ışığı ve optik okuyucular, gelişmiş yöntem olarak, kameralı sistemler ve indüksiyon akımı kullanılan sistemler kullanılmaktadır. Optik okuyuculu sistemler, ortamın tozundan dolayı sık sık temizlik bakımı gerektirmektedir. İndüksiyon akımına duyarlı sistemler, sadece genişlik ölçümü için değil aynı zamanda sac bandın hattın eksenine merkezlenmesi gereken yerlerde merkezleme sistemlerine anlık veri sağlamak için de kullanılmaktadır.

#### **2.3.3.2 Kalınlık**

Haddelenmiş sacda aranan başlıca özelliklerden bir de kalınlığının belli bir ticari tolerans içerisinde olmasıdır. Bu nedenle sac kalınlığının ölçülmesi çok önemlidir. Evvelce uygulanmakta olan, yüzeye sürekli temas eden ölçüm yöntemleri, sacda kalite kusurları oluşturduğu ve cihazda sık sık arızalanmalara neden olduğu için günümüzde kullanılmamaktadır. Soğuk haddelemede en yaygın kullanılan metot iyonlaşma radyasyonunun absorpsiyonuna dayalı cihazların (x-ışını, beta-ışını ve gama-ışını) kullanılmasıdır. Radyoizotop ışınlarının (beta-ışını ve gamma-ışını) radyoaktif kaynakları, x-ışını ışınlarınınkine göre daha uzun ömürlüdür ve çeliğin bileşenlerinden daha az etkilenmektedir. Bununla birlikte, radyoizotop ışınlarının

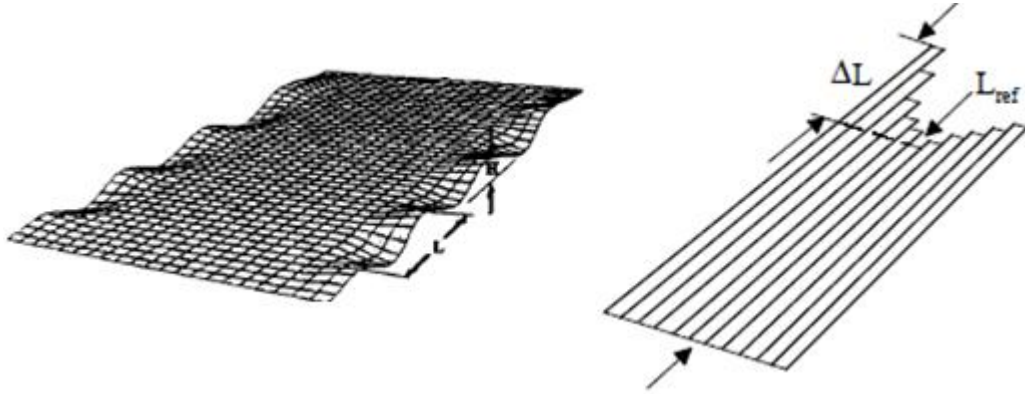
kısa dalga boylarından dolayı insan hücrelerine daha çok zarar verme riski olduğu için ağırlıklı olarak x-ışını kalınlık ölçme sistemleri tercih edilmektedir.

### 2.3.3.3 Yüzey Düzgünlüğü

Yüzey düzgünlüğü ölçüm yöntemleri sıcak ve soğuk haddeleme için farklıdır. Sıcak haddelenmiş saclarda lif uzunlukları arasındaki farklılıklardan doğan düzlük hataları lazer telemetri ölçümlerine bağlı tekniklerle tespit edilebilmektedir. Soğuk haddelemede ise en yaygın teknik bölümlere ayrılmış tensiyometrik merdane tekniğidir. Ticari adı shapemeter merdanesi olarak geçmektedir. Tensiometrik merdanelerdeki bölümler, hava yataklarıyla, basınç ölçerlerle, piezoelektrik gerilm ölçerlerle birim bölüm başına değişimleri algılar. Bu teknikte uzunluğuna liflerin gerilme farklılıkları ölçülerek, I-Unit olarak adlandırılan yüzey düzgünlük değeri elde edilmektedir. I-Unit biriminin fiziksel tanımı (2.1) eşitliğinde verilmiştir;

$$I Unit = \frac{\Delta L}{L_{ref}} 10^5 \quad (2.1)$$

(2.1) eşitliğindeki  $L_{ref}$  ve  $\Delta L$  değerleri Şekil 2.12’de şematik olarak gösterilmiş olup, sacın hadde boyuna ince lifler halinde kesildiği varsayıldığında, iç gerilmelerden kurtulan her bir lif düzgünce genleşecek ve lifler arasında boy farkı ( $\Delta L$ ) oluşacaktır.



**Şekil 2.12**  $L_{ref}$  ve  $\Delta L$  değerlerinin şematik olarak gösterimi [14]

### 2.3.4 Otomatik Ölçü Kontrol Sistemi

Yassı mamul haddelenmesinde ticari olarak daha hassas ölçüler istendiği için, haddelenmiş sac bandın kalınlık ölçüsünün otomatik olarak kontrol edilmesi kaçınılmazdır. Otomatik ölçü kontrol sistemleri, esas olarak kapalı devre geri

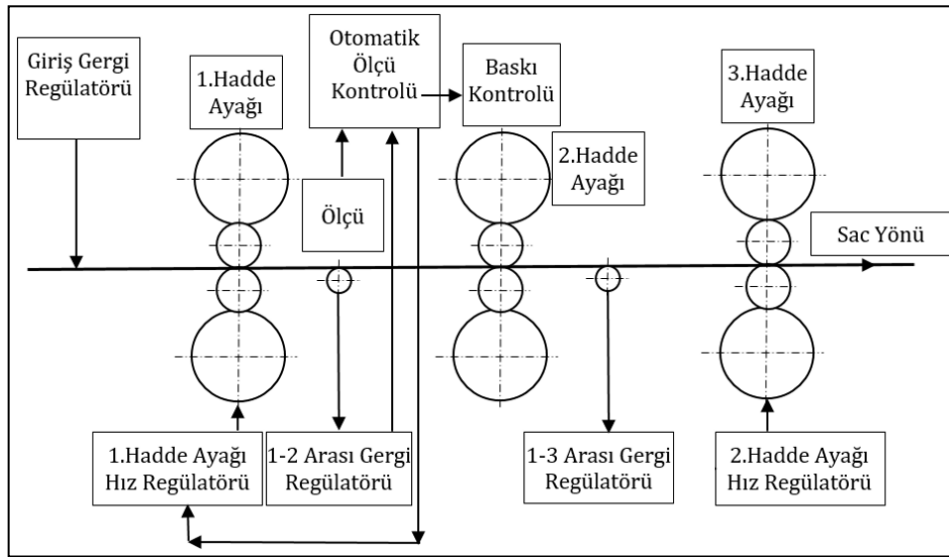
besleme (feedback) sistemler olup, hadde ayarları bir operatör veya bilgisayar tarafından yapılmaktadır.

Bütün otomatik ölçü kontrol sistemleri hassas bir kalınlık ölçme ünitesi içerir ve günümüzde haddelerin çoğunda kalınlık ölçümü için radyasyon tipi ölçme cihazları kullanılmaktadır.

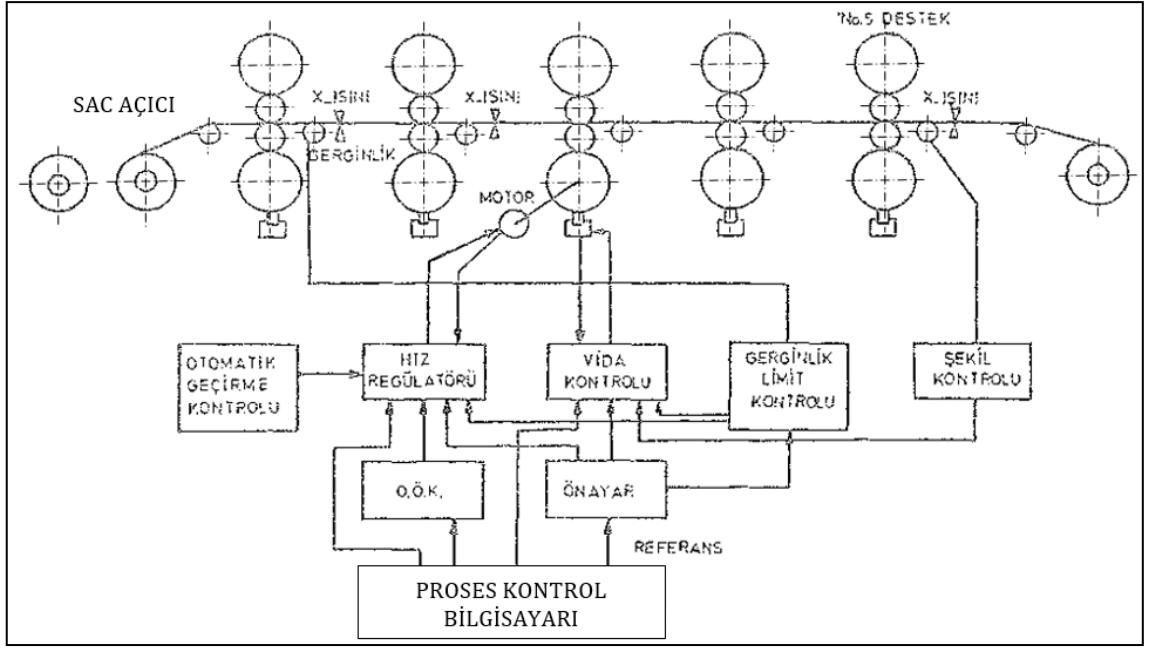
Otomatik ölçü kontrol sistemi hidrolik hadde aralığı ayarlama sistemiyle daha da iyileştirilmiştir. Çünkü hidrolik sistemler hadde vidalarına göre çok daha çabuk cevap verme kabiliyetine sahiptirler.

Otomatik ölçme ve kontrol sistemleri, sac kalınlığı tolerans limitlerini çok daha daraltmıştır [7].

Genel olarak, otomatik ölçü kontrol sistemlerinin amacı, haddelenen sacın daima aynı kalınlıkta olmasını sağlamaktır. Örnek üç hadde ayaklı ve beş hadde ayaklı soğuk tandem hadde tezgahı otomatik ölçü kontrol sistemleri Şekil 2.13 ve 2.14'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.13** Örnek üç hadde ayaklı soğuk tandem hadde tezgahı otomatik ölçü kontrol sistemi [7]



**Şekil 2.14** Örnek beş hadde ayaklı soğuk tandem hadde tezgahı otomatik ölçü kontrol sistemi [7]

## SOĞUK SAC HADDELENMESİNDE VERİMLİLİK VE KALİTEYİ ARTTIRAN UYGULAMALAR

---

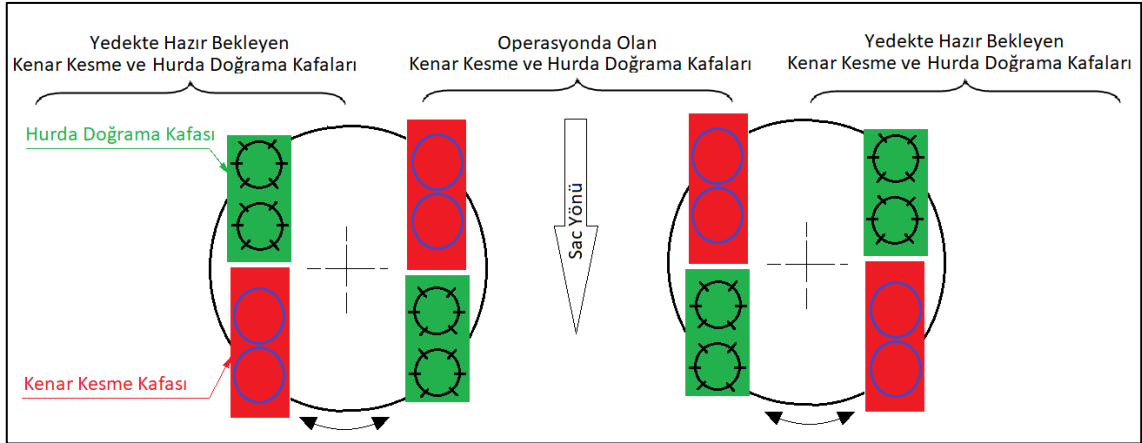
### 3.1 Hassas Merkezleme Sistemi

Özellikle sürekli dekapaj ve haddeleme hatlarında 300 metre mesafelere varan uzunluklardan ve sac bandın saptırma merdaneleri ile yönlerinin değiştirilmesinden dolayı sacı hattın merkezinde tutmak, ilave sistemler gerektirmektedir. Merkezleme sistemleri temel olarak mekanik sistemler, optik sistemler ve endüktif sistemler olarak üç çeşittir. Mekanik sistemlerde kenar kılavuz makaraları, sac banda değerek yön verdiği için sac kenarlarına hasar vermektedir. Bu da, sacda kalite kusuruna ve merkezleme sonrasında bulunan lastik kaplı haddelerde tahribata neden olmaktadır. Optik sistemler ve endüktif sistemler, sac bandın pozisyonunu algılar ve hidrolik silindirler ile hatta dikliği ayarlanabilen merdanelere doğrultma için bilgi vermektedir. Optik sensörler sık bakım gerektirdiği için nispeten daha pahalı olan endüktif sensörler tercih edilmektedir. Endüktif sistemlerin merkezleme hassasiyeti  $\pm 1$  mm olduğundan kenar kesme ekipmanından hemen önce yerleştirildiğinde mekanik sistemlere göre % 50 ye varan kenar kesme hurdası tasarrufu sağlamaktadır.

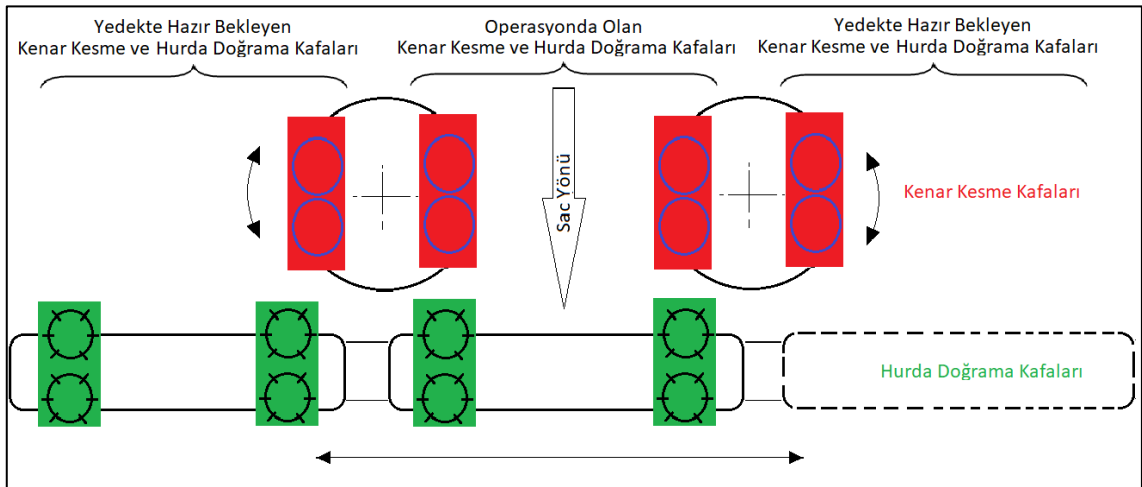
### 3.2 Yedek Kafalı Kenar Kesme Ünitesi

Kenar kesme bıçakları sık sık hasarlanan ve değişim gerektiren parçalardır. Klasik tek kafalı kenar kesme sistemlerinde bu değişikliğin yapılacağı bakım aktivitesi boyunca hat üretim kaybına uğramaktadır. Arıza, hurda doğrama ünitesinde ise bakım süresi üç saate kadar sürebilmektedir. Bu üretim kayıpların önüne geçebilmek için çift kafalı kenar kesme ve hurda doğrama sistemleri tercih edilebilmektedir. Çift kafalı sistemde, bir dakika içerisinde sistem otomatik olarak dönerek yedek kafaları devreye sokabilmektedir. Hat çalışırken arızalı olan kafalarda bakım yapılabilmekte ve bıçak değişimi gerçekleştirilebilmektedir.

Yedek kafalı kenar kesme ve hurda doğrama üniteleri örnek uygulamaları Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir. Erdemir 2. sürekli dekapaj hattında bulunan tek kafalı kenar kesme üniteleri 2018 yılında modernize edilerek Şekil 3.1’de gösterilen kombine tip yedek kafalı kenar kesme ve hurda doğrama ünitesine dönüştürülmüştür. Bu modernizasyon sayesinde kenar kesme ünitesinden kaynaklı hat duruşları önemli ölçüde azaltılmıştır.



**Şekil 3.1** Kombine tip yedek kafalı kenar kesme ve hurda doğrama ünitesi<sup>1</sup>



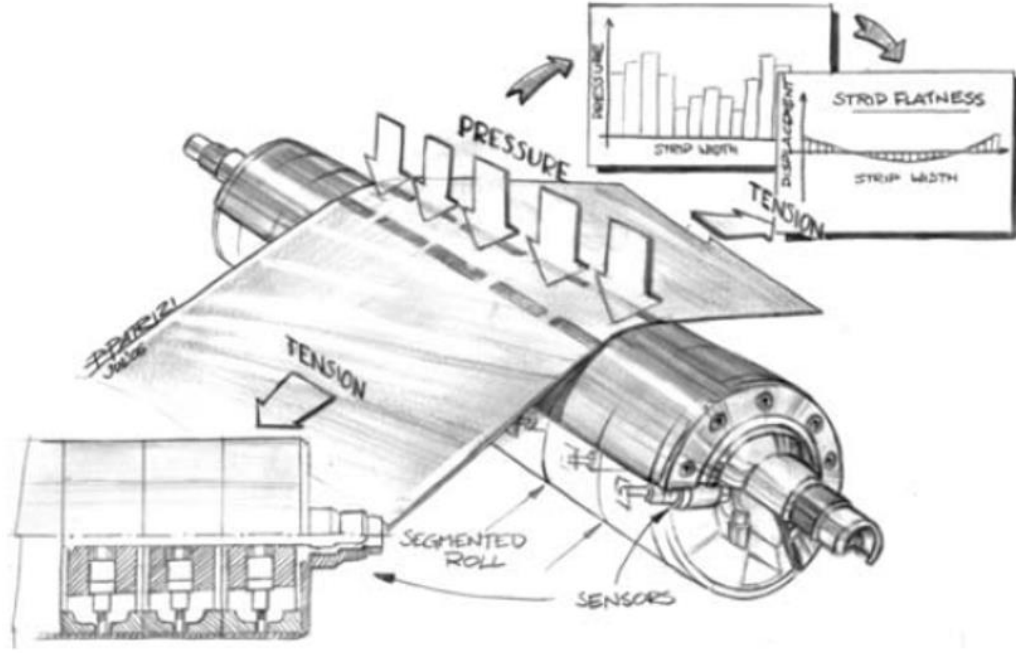
**Şekil 3.2** Bağımsız tip yedek kafalı kenar kesme ve hurda doğrama ünitesi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hurda doğrama ünitesinin operasyon süresi kenar kesme ünitesine bağlıdır. Toplam alan ihtiyacı Şekil 3.2’ye göre düşüktür.

<sup>2</sup> Hurda doğrama ünitesinin operasyon süresi kenar kesme ünitesinden bağımsızdır. Toplam alan ihtiyacı Şekil 3.1’e göre yüksektir.

### 3.3 Sac Düzgünlüğü Ölçüm ve Kontrol Yöntemleri

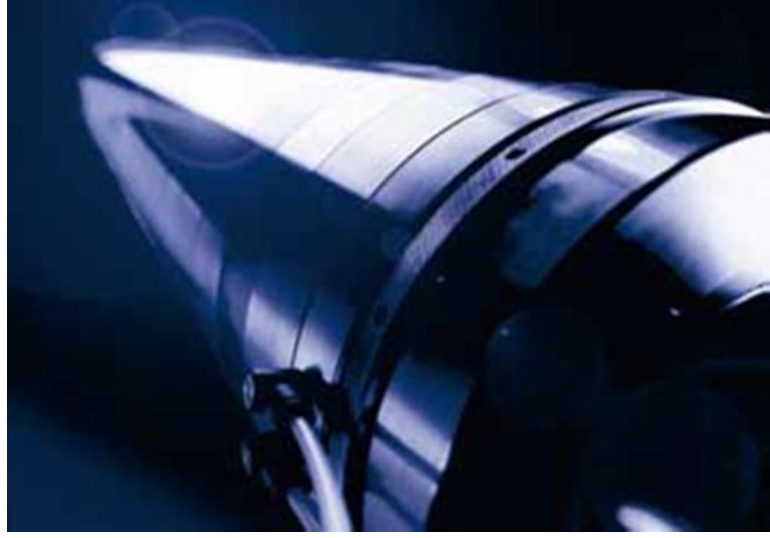
Düzgünlük ölçümü için farklı firmaların geliştirdiği farklı tipte ekipman ve yöntemleri mevcuttur. Temaslı ve temassız tip düzgünlük ölçen sistemler bulunmakla birlikte, hassas düzgünlük gerektiren soğuk haddelemede, temaslı tipler daha çok tercih edilmektedir. Örnek bir temaslı tip düzgünlük ölçme merdanesi Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3** Temaslı tip düzgünlük ölçme merdanesi şematik görünüşü (Shapemeter/Stresometer) [13]

Temaslı tipler merdane şeklinde olup, merdane boyunca ayrı ayrı bölmelerden oluşmaktadır. Kimi tasarımda bölmeler dışardan görünmekte, kimi tasarımda merdane üzerine katman geçirilmiş olup, bölme ayrımları dışarıdan görünmemektedir. Bölmelerdeki basınç ölçerlerle, pozisyon ölçerlerle veya piezoelektrik gerinim ölçerlerle elde edilen veriler uygun kalibrasyonlarla uzunluk birimine dönüştürülmektedir. Kapalı çevrim otomatik kontrol sisteminde bu cihazlardan ölçülen düzgünlük verilerine göre haddeleme kontrol sistemine bilgi verilmekte ve uygun düzgünlüğün elde edilmesi sağlanmaktadır.

Hava basınç yatakları ile bölmelerin uyguladığı basıncı ölçen sistemlere ait örnek görsel Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.4** Yüzey düzgünlüğünü ölçen temaslı tip hava yataklı sistemler (Siemens ABSM) [15]

Bu yöntemde, merdane farklı bölmelerden oluşmakta olup, her bir bölümde basıncı ölçen hava yatakları bulunmaktadır. Bölmelerin üzerine gelen baskı yataktaki hava basıncını arttırmaktadır. Bu basınç artışları sisteme ait yazılımdaki kalibrasyon değerlerine bağlı dönüştürülerek mikrometre cinsinden gözlenebilmektedir. Düşük basınç farklılıklarından dolayı genellikle alüminyum saclarda ve folyo haddelerde daha iyi sonuç vermektedir.

Gerinim ölçer kontrolü ile bölmelerin uyguladığı basıncı ölçen sistemlere ait örnek görsel Şekil 3.5'te gösterilmiştir [16].



**Şekil 3.5** Yüzey düzgünlüğü ölçen temaslı tip gerinim ölçer kontrollü sistemler (ABB-Stressometer) [17]

Bu yöntemde hadde farklı bölmelerden oluşmakta olup, her bir bölüm için ayrı gerinim ölçer (strain gauge) bulunmaktadır. Bölmelerin üzerine gelen baskı bölmelerdeki gerilimölçerler tarafından ölçülmekte ve dönüştürücü ile mikrometre cinsinden gözlenebilmektedir.

Piezoelektrik sensör kontrolü ile sac bandın yüzeye uyguladığı basıncı ölçen sistemlere ait örnek görsel Şekil 3.6'da gösterilmiştir [13].

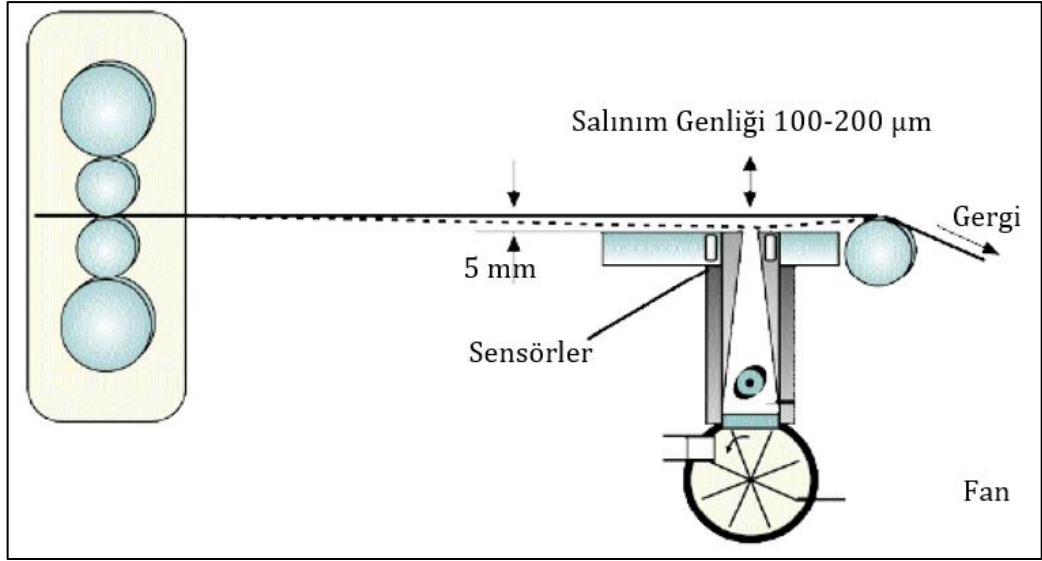


**Şekil 3.6** Yüzey düzgünlüğü ölçen temaslı tip piezoelektrik sensör kontrollü sistemler (VOLLMER- Shapemeter ve SMS X-SHAPE) [18]

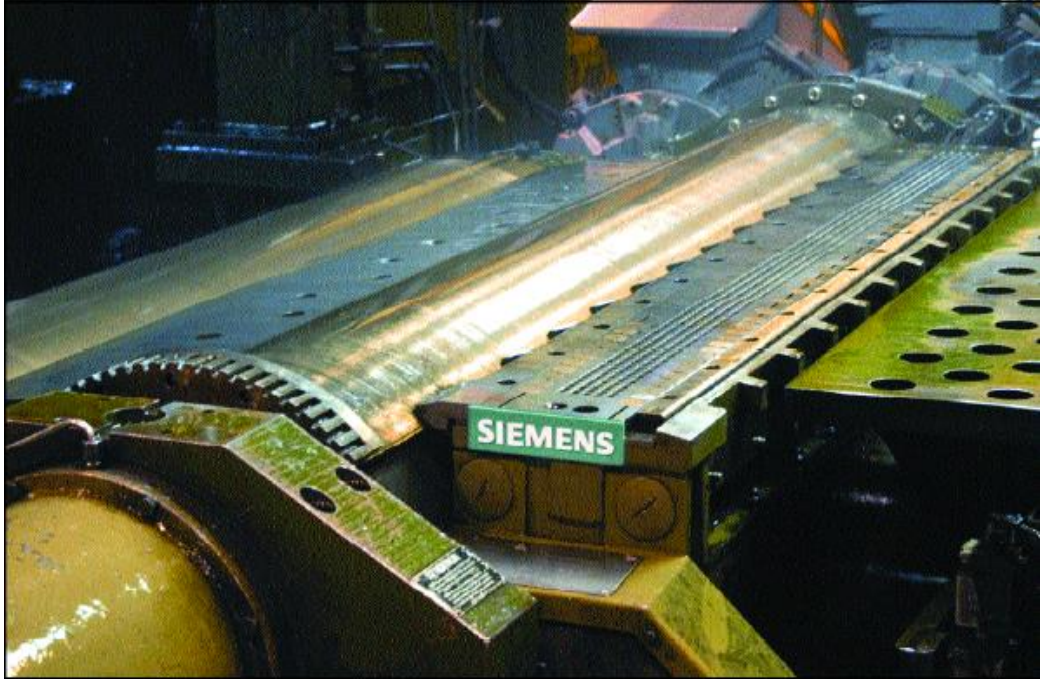
Piezoelektrik sensörlü sistemlerin genel çalışma prensipleri hava yataklı ve gerinim ölçerli sistemler ile aynı olup, merdane gövdesi farklı bölmelerden oluşmaktadır. Merdane içerisinde 4 sıra veya 6 sıra akım dönüştürücü piezoelektrik sensörler bulunmaktadır. Sensörlerin üzerinde yani merdanenin yüzeyinde aşınmaya dayanıklı çelik bir zırh bulunmaktadır. Sensörlerden tespit edilen akım, yazılım vasıtası ile kalibre edilerek uzunluk birime dönüştürülmekte ve mikrometre cinsinden gözlenebilmektedir. Bu yöntem BFI (Betriebsforschungsinstitut) firması tarafından geliştirilmiş olup, soğuk sac haddelenmesinde yaklaşık 50 yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

Temaslı tip olarak bilinen yüzey düzgünlük ölçme yöntemlerinin haricinde temassız tip yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri de bulunmaktadır. Temassız tiplerde, uzaktan yüzeye yansıtılan ışın demetlerinin gelişmiş kamera sistemleri ile ölçülmesi yöntemi bulunsada soğuk haddelemede Eddy akımları ile yakından ölçüm yapan sistemler tercih edilmektedir.

Eddy akımları ile yüzey düzgünlüğü kontrolü yapan sistemlere ait şematik görsel Şekil 3.7'de, ekipmanın görüntüsü Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7** Eddy akımları ile yüzey düzgünlüğü kontrolü yapan sistemin şematik görünüşü (Siemens SIFLAT) [19]



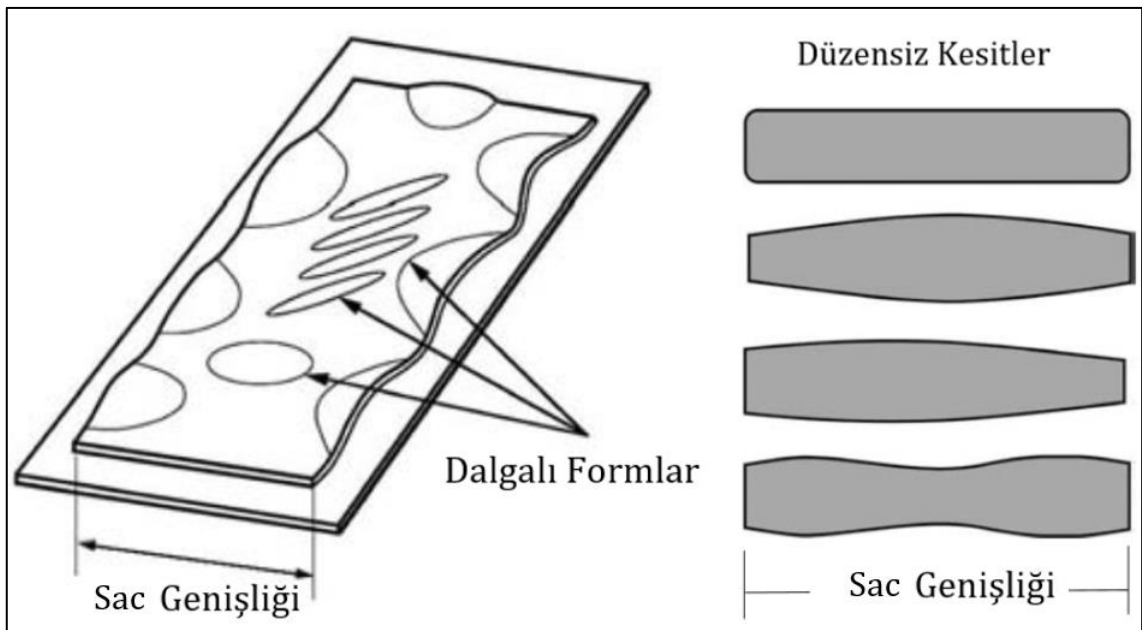
**Şekil 3.8** Eddy akımları ile yüzey düzgünlüğü kontrolü yapan ekipmanın görünüşü (Siemens SIFLAT) [19]

Eddy akımı yöntemi sadece iletken malzemelerde kullanılır. Sensör ile sac arasındaki mesafenin değişimi sensörlerin algıladığı akım şiddetinde dalgalanmalara neden olmakta olup, yazılım vasıtası ile akım değerlerinin dönüştürülmesi sonrası bu dalgaların miktarı mikrometre cinsinden gözlemlenebilmektedir. Doğru ölçüm yapılabilmesi amacıyla vakumlama yapılarak sac

bandın titreşimini minimuma indirilmektedir. Sacın stabilizesini sağlayana hava emişi yerine manyetik sistemler de mevcuttur fakat manyetik stabilizasyon ancak ferromanyetik malzemelere uygulanabilmektedir [13, 19].

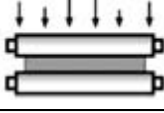
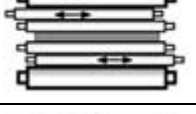
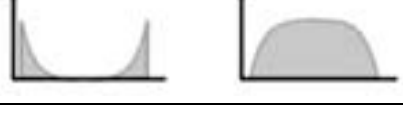
### 3.4 Kalınlıkta Üniformluğun Sağlanması

İş haddeleri arasında haddelen sac, sacın kendi mekanik özellikleri, haddenin rijitliği ya da haddeleme sıvısının doğru uygulanmaması gibi nedenlere bağlı olarak biçim ve boyut sapmaları gösterebilmektedir. Biçimsel hata olarak dalgalı formlar; boyutsal hata olarak da üniform olmayan kesitler ortaya çıkabilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Haddelenmiş sacda şekil bozuklukları [13]

Madde 3.3’de tarif edilen teknolojik yöntemler ile tespit edilen haddelenmiş sacdaki düzensizlikler, otomasyon sistemleri aracılığıyla hadde tezgahlarında kullanımı gittikçe yaygınlaşan çeşitli tiplerde hadde elastik deformasyon ve kaydırma düzeneklerine anlık olarak iletilir. Bu düzenekler sayesinde sacdan istenilen düzgünlük elde edilir. Hadde elastik deformasyon ve kaydırma sistemlerinin şematik görünüşü ve bu sistemlerin haddelenen sacın kesitine etkisi Şekil 3.10’da şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.10’da gösterilen hadde elastik deformasyon ve kaydırma sistemleri haricinde hem iş haddesi hem de ara haddenin kaydırıldığı, daha çok bölgesel baskı sağlayabilen sistemler de günümüzde kullanılmakta olup, sacın haddelenmesinde kaliteyi önemli ölçüde arttırmaktadır.

| Kontrol Tipi                                   | Kontrol Yöntemi                                                                   | Kesite Etkisi (Şerit Genişliği Boyunca Çekme Gerilmesi Dağılımı)                   |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Açı verme                                      |  |  |
| Merdane Bükme (Yataklardan Bükme)              |  |  |
| Merdane Bükme (Merdane Boyunca Değişken Bükme) |  |  |
| Merdane Kaydırma (Ara Merdane Kaydırma)        |  |  |
| Merdane Kaydırma (İş Merdanesi Kaydırma)       |  |  |

**Şekil 3.101** Hadde elastik deformasyon ve kaydırma sistemlerinin şematik görünüşü ve bu sistemlerin sac kesitine etkisi [13]

Hadde elastik deformasyon ve kaydırma sistemleri haricinde, sacın düzgünlüğünü sağlamak üzere hadde gövdesinin dış bükey taşlanarak imal edilmesi veya haddeleme esnasında haddeye bölgesel soğutma uygulanarak hadde çap ölçüsünde farklı genleşmeler yaratılması yöntemleri de uygulanmaktadır.

### 3.5 Kalite ve Verimliliği Arttıran Diğer Uygulamalar

Kalite ve verimliliği arttıran diğer uygulamaların bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- 1- İş haddesi temizleme çözümleri: Tek hadde ayaklı veya iki hadde ayaklı haddeleme hatlarında iş haddelerinin yüzeyine yapışması muhtemel kalıntıların haddeleme esnasında hadde yüzeyinden uzaklaşmasını sağlayan fırça sistemi kurulabilmektedir. Bu sistem sayesinde yüzeye yapışan kalıntılar kaynaklı yüzey kalitesi kusurları giderilmekte, bakım duruşları azalmakta ve hadde atelyesinde ihtiyaç olan kapasite düşmektedir. Erdemir TMDR (Temper Mill Double Reduction) haddesinde 2017 yılında benzer otomatik fırça ve toz toplama sistemi kurulmuştur. Bu proje sayesinde, hat

çalışırken manuel olarak uygulanmakta olan zımparanın ortaya çıkarttığı iş güvenliği zaafıları ve kalite kusurları da ortadan kaldırılmıştır.

- 2- Yüzey muayene sistemleri: Yüzey muayene sistemleri sac yüzeyine çeşitli formlarda ışın demeti gönderen, sac üzerinden yansıyan ışın demetlerini algılayan sensörler ve alınan verileri işleyen bilgisayar donanımlarından oluşmaktadır. Bu sistemler sac yüzeyindeki düzensizlikleri sac band boyunca takip eder, belirli mesafede tekrar edenleri belirleyerek hata kaynağının mekanik esaslı olup olmadığını anında ortaya koyabilmektedir. Belli mesafede tekrar etmeyen kusurlar için kütüphanesinde tanımlanmış olan kusur tipleri ile anlık olarak mukayese ederek kalite operatörlerine hatanın kaynağı hakkında bilgi verebilmektedir. Tüm bu bilgilendirmeler çok hızlı çalışan yazılımlar ile anlık olarak sac band boyunca takip edilebilmekte ve kaydedilebilmektedir. Bu sistemler sayesinde aynı zamanda sac band boyunca yüzey kalite datalarının kaydedilmesi ve kalite çalışmaları için ihtiyaç olduğunda geriye dönük datalara ulaşılması sağlanabilmektedir. Yüzey muayene sistemlerini bir biri ardına üretim yapan tüm hatlara kurulması ile hata kaynağının nihai kaplama hatlarından mı, soğuk haddeleme hatlarından mı yoksa sıcak haddeleme hatlarından mı geldiği tespit edilebilmektedir.
- 3- Malzeme özelliklerinin anlık takip sistemi: EMG Automation GmbH firmasının 2003 yılında geliştirdiği online mekanik özellik ölçüm cihazı (IMPOC) sac band boyunca malzemenin mekanik özelliklerini tahribatsız bir şekilde algılamakta ve kaydedebilmektedir. Ferromanyetik malzemelerde, kalınlığı 0.15 mm ile 6 mm arasında, kaplamalı veya kaplamasız olan, soğuk veya sıcak haddelenmiş, maksimum 900 m/dak hızda üretim yapılan hatlarda kullanılabilmektedir. Bu sistem, çekme dayanımını  $\pm$  %5 toleransında akma dayanımı ise  $\pm$  %10 toleransında verebilmekte ve izleme sağlayarak kalite kayıtlarını zenginleştirmektedir.
- 4- Bobin kırığı önleyici (anti-coil breaker): Bobin açıcılarda sac band açılırken sert malzemelerde sac boyunca sık aralıktaki enine uzun çizgiler oluşmaktadır. Bu kalite kusurunun oluşmasını önlemek için sac açılırken sacı gergi altında ters büküm oluşturan baskı merdanesi eşliğinde açılması sağlanmaktadır. Bu

sistem sayesinde bobin kırığı kalite kusuru oluşmasının önüne geçilebilmektedir.

- 5- Lazer kaynak makinası: Lazer kaynak makinası yüksek mukavemetteki (örneğin çift fazlı DP1000 ve yukarısı) sac malzemelere kaynak yapabilme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca lazer ile atılan kaynak dikişleri haddelenebilme özelliğine sahip olduğundan, haddelerden geçerken yüzeylerinde hasara neden olmamaktadır. Aksi takdirde, kaynak dikişlerinin haddelerden geçişlerinde hadde açılma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda prosesin sürekliliği ortadan kalktığı gibi haddelerin açılıp kapanmasından dolayı oluşan yüzey dalgalanmaları da ortaya çıkmaktadır. Lazer kaynağı sürdürülebilirliği sağlamak açısından fayda sağlayabilmektedir.
- 6- İkinci bobin açıcı ve yüksek kapasiteli sac deposu: Sürekli haddeleme hatlarında sac bandın sürekliliğini sağlayan ikinci bobin açıcı ilavesi ve ikinci bobinin kaynak süresini dengeleyebilecek kapasitede sac deposu ilavesi hattın verimliliğini arttırmaktadır.
- 7- Yeni nesil hadde pürüzlendirme yöntemleri: Hadde pürüzlülüğünün uzun süre korunması ve homojenliğinin sağlanması, haddeleme kalitesini ve verimini pozitif yönde etkilemektedir.

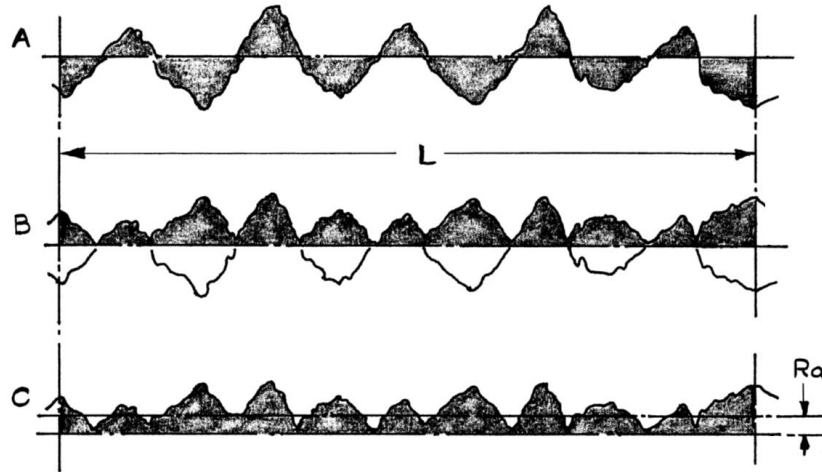
Görüldüğü üzere hadde verimliliği ve kalitesini etkileyen faktörler çok geniş ve her biri ayrı bir araştırma konusudur. Dolayısıyla yüksek lisans tezinin uygulamalı bölümünde hadde pürüzlülüğü üzerinde durulmasına karar verilmiştir.

### 4.1 Pürüzlülük Parametrelerinin Tanımı

Pürüzlülük parametreleri TS 6956 EN ISO 4287, DIN EN 10049 ve ASME B46.1 standartlarında detaylı olarak tarif edilmiştir.

Soğuk haddelenmiş sacların yüzeyindeki pürüzlülük ölçümlerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü “Ra” ve ortalama tepecik sayısı “R<sub>Pc</sub>” değerleri kullanılmaktadır [20], [5].

Ra parametresi, Şekil 4.1’de basitçe tarif edilmiş olup, yüzey pürüzlülüğün merkez hattından ortalama aritmetik sapmasını tanımlar. Diğer bir deyişle belli yüzey uzunluğundaki pürüzlerin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır<sup>1</sup> [21, 22, 23].

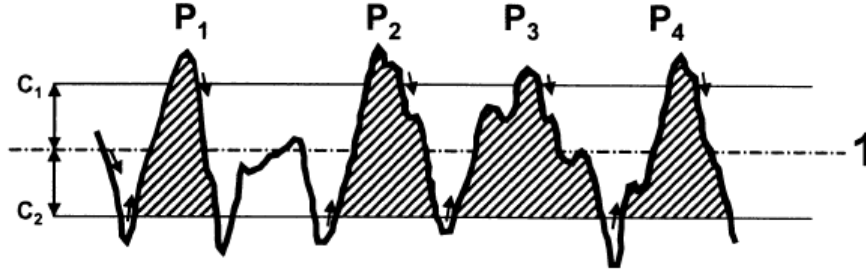


**Şekil 4.1** Ortalama Pürüzlülüğün (Ra) şematik gösterimi (A: eksene göre profil, B:Negatif profillerin ters çevrilmiş hali, C: Ortalama pürüzlülük Ra) [20]

R<sub>Pc</sub> parametresi, Şekil 4.2’de basitçe tarif edilmiş olup, birim yüzey uzunluğundaki tepecik sayısını ifade eder (tepecik/cm ya da tepecik/inç). C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>, pozitif ve negatif eksen uzaklıklarını ifade etmekte ve birbiri arasındaki toplam mesafe, tepecik sayısı seviyesini göstermektedir. C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>’nin her ikisini kesen çıkıntılar tepecik olarak

<sup>1</sup> Pürüzlülük ölçümünü yüzey kusurlarından arındırmak için “cut-off” filtresi kullanılır. TS EN ISO 11562 ye göre filtre değerleri 0,025, 0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8 ve 25 olup, soğuk haddelenmiş sac yüzeyi pürüzlülüğü ölçümü için 0,8 mm “cut-off” değeri kullanılmaktadır.

değerlendirilmektedir. Soğuk haddelenmiş sacların ölçümünde  $C_1$  ve  $C_2$  değeri  $0,5 \mu\text{m}$  olarak alınmaktadır.<sup>1</sup>  $C_1$  ve  $C_2$  değerlerinin değiştirilmesi tepecik sayısı ölçüm sonuçlarını da değiştirmektedir [20, 22, 24].



**Şekil 4.2** Ortalama tepecik sayısının (RPC) şematik gösterimi (1: yüzey pürüzlülüğünün merkez hattı) [22]

## 4.2 Hadde Pürüzlendirme Yöntemleri

Soğuk haddelemedeki iş haddelerinin yüzeyinin pürüzlendirilmesinde kullanılan farklı yöntemler;

- 1- Kumlama ile pürüzlendirme (Shot Blast Texturing - SBT),
- 2- Elektroerozyon ile pürüzlendirme (Electrical Discharge Texturing - EDT),
- 3- Elektron ışını ile pürüzlendirme (Electron Beam Texturing - EBT),
- 4- Sert krom kaplama ile pürüzlendirme (Electro Chrome Deposit - ECD),
- 5- Lazer ile pürüzlendirme (Lazer Texturing - LT) [25],
- 6- Fiber optik lazer ile pürüzlendirme (Pomini Digital Texturing - PDT),

DIN EN 10049'a göre pürüzlendirme yöntemleri rastlantısal pürüzlülük elde edilen yöntemler (SBT, EDT ve ECD) ve düzenli pürüzlülük elde edilen yöntemler (EBT ve LT) olarak iki sınıfa ayrılmıştır. DIN EN 10049'da PDT yönteminden bahsedilmemiş olup, PDT yöntemi son yıllarda geliştirilmiş bir yöntem olduğundan henüz standartlarda bulunmaması normal olarak değerlendirilmektedir. İtalya'da yerleşik Pomini firmasının geliştirdiği yeni nesil fiber optik lazer hadde pürüzlendirme tezgahları, klasik lazer tezgahlarından hem lazer kaynağı olarak hem de

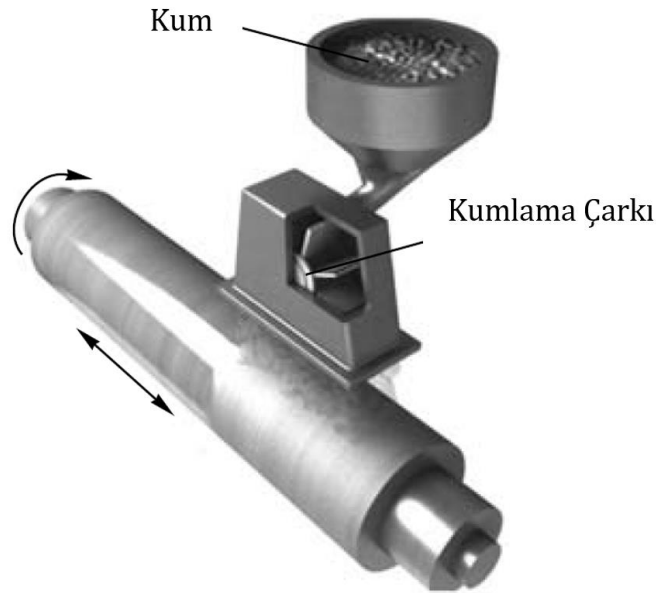
<sup>1</sup> DIN EN 10049 standardına göre  $C_1+C_2 = 1,0 \mu\text{m}$  ( $C_1=C_2$ ),  
SAE J911 standardına göre  $C_1+C_2 = 1,25 \mu\text{m}$  ( $C_1=C_2$ ),

pürüzlendirme yöntemi olarak farklı olup, tamamen rastlantısal kraterler ile yüzey oluşturulabilmektedir<sup>1</sup> [22, 25, 26].

İş haddesi pürüzlendirme yöntemleri hakkında Madde 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5 ve 4.2.6'da detaylı bilgi verilmiştir.

#### 4.2.1 Kumlama ile Pürüzlendirme - SBT

SBT yöntemi (Şekil 4.3) en eski ve en basit yöntem olup, bazı tesislerde halen kullanımı devam etmektedir. Gün geçtikte yerini yeni teknolojik sistemlere bırakmaktadır. Haddenin yüzeyine fırlatılan belli büyüklük ve sertlikteki demir tozlarının metalde oluşturduğu plastik deformasyonlar sonucu hadde yüzeyinde krater ve tepecikler oluşur. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü; demir tozunun haddeye çarpma hızına, çarpma açısına, sertliğine ve büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Çarpmaya bağlı ufalan demir tozu boyutları dolayı ile kontrollü bir şekilde değiştirilmeleri gerekmektedir. Pürüzlülüğün yani kalitenin sürdürülebilirliğini sağlamak oldukça zordur. Hadde sertliğine bağlı pürüzlülük değişkenlik göstermektedir. Herhangi bir ısıl maruziyet söz konusu değildir. Tepecikler çabuk aşındığı için haddeleme ömrü kısadır [26, 27].

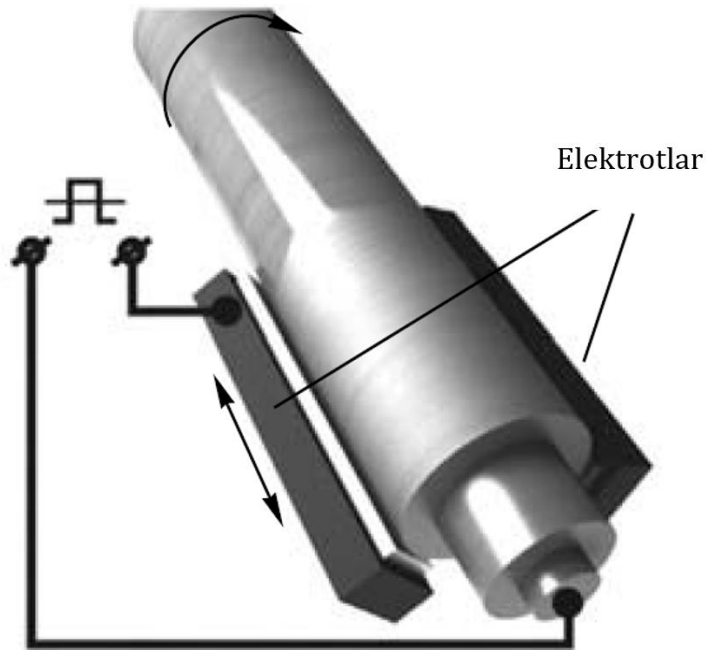


**Şekil 4.3** SBT yönteminin şematik görünüşü [27]

<sup>1</sup> Bu tez dokümanında Lazer ile pürüzlendirme hakkında verilen tüm bilgiler aksi belirtilmedikçe Pomini firmasının geliştirdiği yeni nesil tezgaha (PDT) ait bilgilerdir.

#### 4.2.2 Elektroerozyon ile Pürüzlendirme - EDT

EDT yönteminde (Şekil 4.4) hadde elektriği geçirmeyen (dielektrik) sıvı içerisinde ve hadde yüzeyine yaklaştırılan elektrotlar ile hadde arasında ark oluşur ve bu ark sayesinde yüzeyde metal erozyonu sağlanmış olur. Sistem; EDT tezgahı, dielektrik sirkülasyon tankları, dielektrik yağ filtreleri, karbondioksit yangın söndürme sistemleri, pozisyonları kontrol eden hidrolik üniteler ve elektrotlara enerji sağlayan jeneratörlerden oluşmaktadır. EDT tezgahlarında elektrotun pozisyon kontrolü çok hassas sistemler ile sağlanır. Krater oluşumu tamamen rastgeledir. Elektrotun hadde boyunca hareket ettiği düşük kapasiteli tezgahlar (<3000 adet/yıl) ve hadde boyunca elektrot dizilmiş olan yüksek kapasiteli tezgahlar mevcuttur.<sup>1</sup> Pürüzlülüğün sürdürülebilir olması önemli avantajlarından. Pürüzlülük hadde sertliğinden bağımsızdır. Hadde yüzeyindeki pürüz homojen bir şekilde  $\pm \%5$  tolerans değeri içerisinde. Otomobil üreticileri bu yöntemin kullanılmasını tercih etmektedir [26, 27, 28].

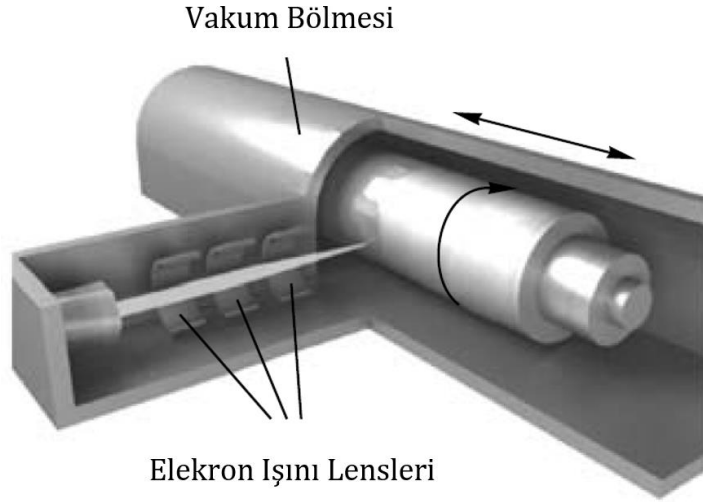


Şekil 4.4 EDT yönteminin şematik görünüşü [27]

<sup>1</sup> Bu tez dokümanında EDT hakkında verilen tüm bilgiler hadde boyunca elektrot dizilmiş olan yüksek kapasiteli tezgahlara aittir.

#### 4.2.3 Elektron Işını ile Pürüzlendirme - EBT

EBT yönteminde (Şekil 4.5) ışın demeti hadde yüzeyinde metalin ergimesine ve oluşan krater etrafında tekrar katılaşmasına yol açar. İş haddesi ve elektron ışın sistemi, yüksek vakum altında olacak şekilde uygulama yapılır. Kraterler belli bir düzende dizilerek doku oluşturur [26, 27].



Şekil 4.5 EBT yönteminin şematik görünüşü [27]

#### 4.2.4 Sert Krom Kaplama ile Pürüzlendirme-ECD

ECD yönteminde (Şekil 4.6) hadde elektroliz yöntemi ile çeşitli sertlikte krom katmanları ile kaplanır. Pürüzlülük, hadde yüzeyinde yarım kürecikler şeklinde oluşur. Elektroliz parametrelerinin ayarlanması ile yarım kürecik miktarı ve boyutları değiştirilebilir. Homojen pürüzlülük dağılımı ve pürüzlülükte fazla tepecik sayısı elde edilebilmektedir. Hadde yüzeyinde oluşan sertlikten dolayı, haddenin servis ömrü uzundur [27]. Haddemeleme servis ömrü bilinen tüm pürüzlendirme yöntemlerine kıyasla en uzun olan yöntemdir. Standart genişliklerde veya uzun süre aynı genişlikte üretim yapan haddehanelerde kullanılması, verimliliği önemli ölçüde arttırabilmektedir<sup>1</sup>. Diğer pürüzlendirme yöntemlerinde, taşlama sonrası önce pürüzlendirme, sonra krom kaplama yapılmakta iken ECD yönteminde taşlama

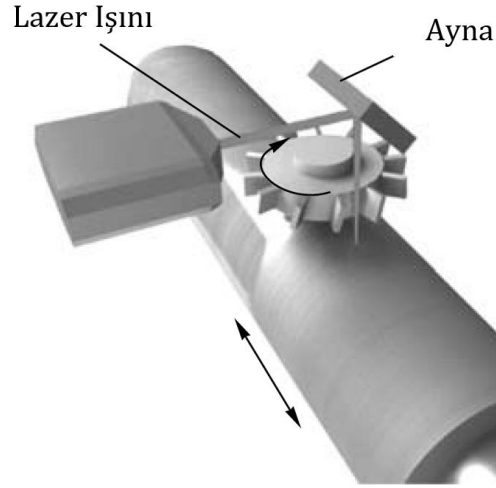
<sup>1</sup> Hadde servis ömrünün uzun olması ERDEMİR gibi anlık sipariş alan, üretim ebatlarının sürekli değiştiği teşebbüslere fayda sağlamamaktadır. Çünkü üretim kalitesini sağlayabilmek için üretim geniş sacdan dar saca doğru sıralanmaktadır ve tekrar geniş sac üretimine başlanacağı zaman iş haddeleri değişmektedir. Bu değişim üretim planına bağlı olarak her vardiya yapılabilir.

Diagram illustrating the components of an electrochemical reactor:

- Katod** (Cathode): The central electrode.
- Anod** (Anode): The surrounding electrodes.
- Elektrolitik Sıvı** (Electrolyte): The liquid medium.
- Reaktör** (Reactor): The housing for the electrodes.
- Electrical Connections**: Indicated by '+' and '-' signs at the top.

#### 4.2.5 Lazer ile Pürüzlendirme-LT

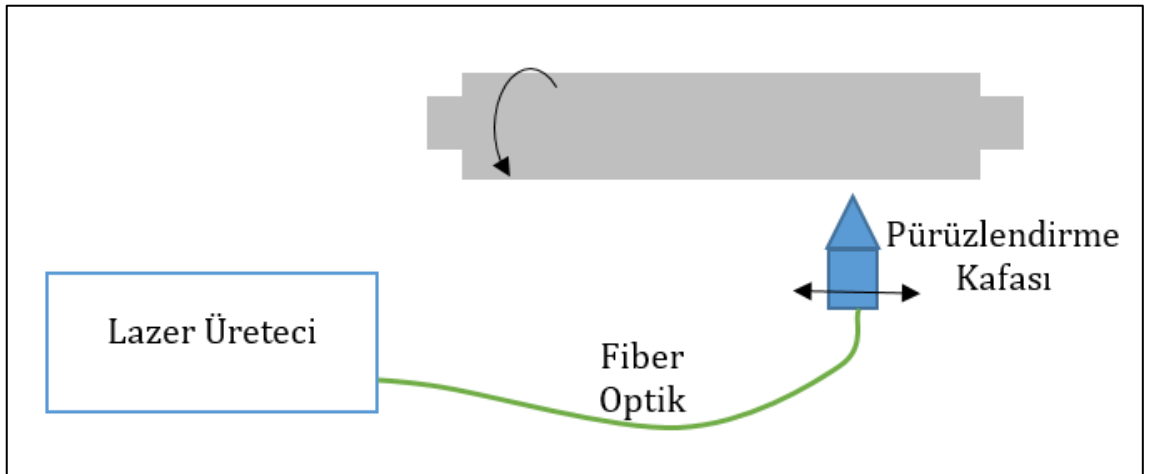
LT yönteminde, EBT yöntemine benzer şekilde lazer ışını inert gaz ortamında aynalar ile hadde yüzeyine ulaşmaktadır (Şekil 4.7). Yüzeye ulaşan ışın, metali eriterek krater oluşumunu sağlamaktadır. Bu yöntemde, haddenin dönme ve ilerleme hareketi ile yüzeydeki kraterler belli bir düzende dizilir ve hadde yüzeyinde desen oluşturmaya olanak sağlanır [27].



**Şekil 4.7** Inert gaz ortamında lazer ile pürüzlendirme yönteminin şematik görünüşü [27]

#### 4.2.6 Fiber Optik Lazer ile Dijital Pürüzlendirme - PDT

Fiber optik lazer sistemi kullanılan yeni nesil pürüzlendirme yönteminde (Şekil 4.8) lazer ışını fiber optikler ile hadde yüzeyine taşınmaktadır. Işının darbeleri yazılım vasıtasıyla ayarlanabilmekte ve yüzeyde tamamen rastlantısal (random) bir pürüzlülük görüntüsü oluşturulabilmektedir. Hadde sadece eksenini etrafında dönmekte, lazer kafaları hadde boyunca hareket etmektedir. Bu yöntemi geliştirmiş olan Pomini firması, yöntemin ticari adını dijital pürüzlendirme yöntemi (Pomini Digital Texturing –PDT) olarak belirtmektedir [26].<sup>1</sup>



**Şekil 4.8** PDT yönteminin şematik görünüşü

<sup>1</sup> Bu tez dokümanında Lazer ile pürüzlendirme hakkında verilen tüm bilgiler aksi belirtilmedikçe Pomini firmasının geliştirdiği yeni nesil PDT tezgahına ait bilgilerdir.

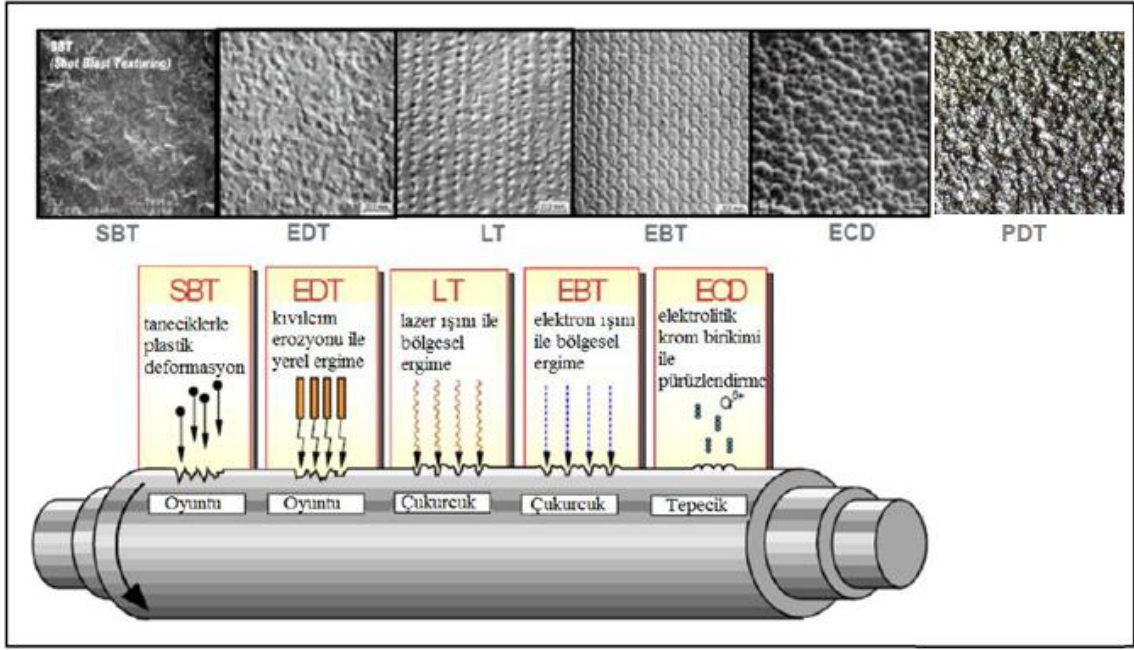
Bu yöntemde, yazılım vasıtasıyla programlanan krater dokusu ve rastlantısal olarak belirlenen pürüzlülük yapısı haddeye uygulanmadan önce bilgisayar ortamında simüle edilmektedir. Bu sayede tesadüfen bir desen oluşumu söz konusu ise haddeye yansıtmadan ortaya çıkmaktadır. Pomini firması, yöntemin adındaki “dijital” kelimesini bu ayırt edici özelliğinden dolayı koyduğunu belirtmiştir. Yine ikinci bir önlem olarak haddenin her iki ucundaki yaklaşık 100 mm’lik haddeleme yapılmayan bölgelerde deneme pürüzlendirme yapılmakta ve görünürde sorun yok ise haddenin tamamı pürüzlendirilmektedir (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9** PDT yönteminde deneme pürüzlendirme yapılan bölge

#### **4.2.7 Pürüzlendirme Yöntemlerine Ait Yüzey Görünüşleri**

Madde 4.2’de tarif edilen yüzey pürüzlendirme yöntemlerinin hadde üzerinde oluşturduğu pürüzlülük görüntüleri Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi lazer pürüzlendirme yöntemi olan LT daha çok desen verme amaçlı geliştirilmiş olsa da Pomini firmasının geliştirdiği PDT tezgahı tamamen rastlantısal kraterler ile pürüzlülük oluşturmaktadır. PDT yüzey görüntüsünden de anlaşılacağı gibi yüzey tepecikleri rassal ve küresel yapıdadır. Küresel yapı tepeciklerin dayanıklı olduğunu gösterir.



**Şekil 4.10** Pürüzlendirme Yöntemlerine Ait Yüzey Görünüşleri [4]

Otomobil üreticileri, EDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş haddenin en iyi boya görünümünü sağladığını düşünmekte ve kaporta sacı sipariş ederken EDT ile pürüzlendirilmiş hadde tercih ettiklerini belirtmektedir. Bu nedenle pürüzlendirme yöntemleri arasından henüz yaygınlaşmamış olan PDT yöntemi üzerinde çalışılmış ve deneysel çalışmalar kısmında EDT yöntemi ile mukayeseler yapılmıştır.

### 4.3 PDT ile Pürüzlendirme Yöntemi Detayları

Tezgah, lazer ünitesi ve tezgah gövdesi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

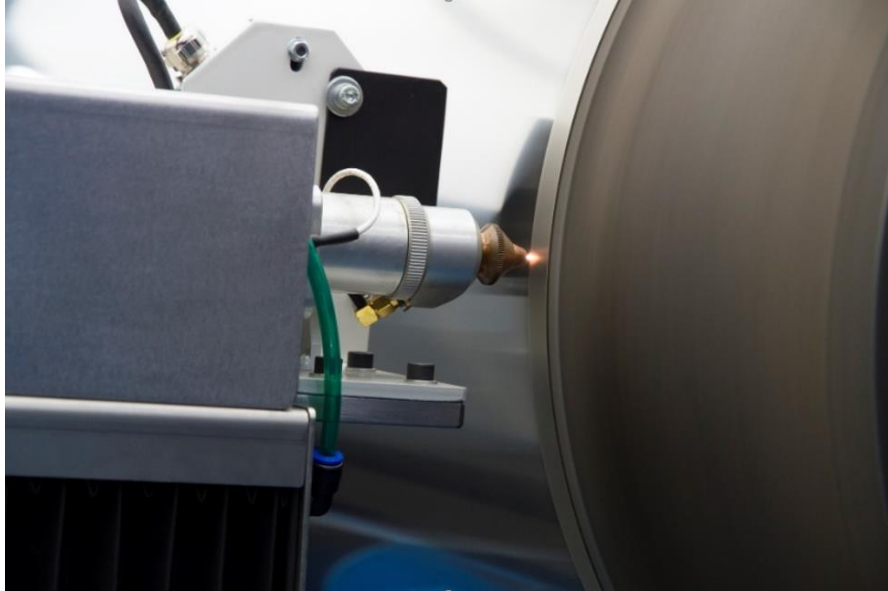
#### 4.3.1 Lazer Ünitesi

Tezgahta “Solid State Pulse Fiber Optik” Lazer kullanılmıştır. Bir tezgahta dört adede kadar lazer ünitesi bulundurulabilmektedir. Lazer ünitelerinin soğutulması için tezgahta kapalı çevrim soğutma ünitesi mevcuttur. Koruyucu ortam olarak argon gazı kullanılmaktadır. Ortalama argon gazı tüketimi 5,7 Nm<sup>3</sup>/h mertebesindedir. Lazer ünitesinin teknolojik ekipman ömrü yaklaşık 20 yıldır.

Lazer’in gücü, lazer süresi, lazer demetinin çapı, hadde devir hızı, lazer kafası ilerleme hızı, randomizasyon, gibi parametreler kullanılarak, oluşturulacak pürüzlülükteki her bir kraterin, çapı, derinliği, şekli, sıklığı vb. ayarlanabilmektedir.

Bu sayede, Ra ve Rpc değerleri birbirinden bağımsız olacak şekilde hadde yüzeyinde pürüzlülük elde edilebilmektedir. Bu parametrelerin operatör tarafından daha rahat kullanılabilmesi için ara yüz yazılmıştır.

Lazer ünitesinin hadde eksenine doğru hareketi, lazer demetinin paralel ve lineer olmasından dolayı hassas olmasına gerek olmamakla birlikte, haddedeki salgı, muyludaki yüzey bozukluğu, eksantriklik gibi kusurlardan etkilenmemektedir. Lazer kafasının hadde boyunca ilerleme hareketi, pürüzlülüğün devamlılığı açısından çok önemli olduğundan lineer motor ile donatılmıştır. Pürüzlendirme esnasındaki lazer görüntüsü sisteme entegre yüksek çözünürlüklü kamera ile çekilmiş olup Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.11** Pürüzlendirme Esnasındaki Lazer Görüntüsü (Pomini/İtalya)

Lazer ile pürüzlendirme esnasında toz oluşmasa da ortamda bulunabilecek toza karşılık her bir lazer ünitesinin üzerine ve tezgah gövdesinin içerisine hava emiş sistemi konumlandırılmıştır.

#### **4.3.2 Tezgah Gövdesi**

Tezgah gövdesi, haddenin iki punta arasında taşlanmasına imkan verecek şekilde dizayn edilmiş. Punta ve ayna birbirinden bağımsız olarak servo motor kullanılarak ileri-geri hareket etmektedir. Hadde iki punta arasında sıkıştırılarak döndürülmektedir. Ayna devri 500 dev/dak mertebelerine ulaşabilmektedir.

Tezgah lazerin yansıma ihtimaline karşılık komple kapalı olarak çalışmaktadır. Tezgahın genel görünüşü Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.12 PDT Tezgahı (Pomini/İtalya)**

#### **4.3.3 PDT Tezgahının Avantaj ve Dezavantajları**

- 1- Yüzey Parametreleri Ra-RPc birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Birim yüzey alanda daha fazla tepelik sayısı (RPc) elde edilebilmektedir.
- 2- Enerji sarfıyatı düşüktür. Pürüzlendirme esnasında tükettiği enerji ortalama 20 kW/h’dir.
- 3- Dielektrik yağ, yağ filtresi, elektrot gibi sarf malzemesi kullanılmamaktadır. Az miktarda argon gazı kullanılmaktadır. İşletme maliyeti düşüktür. Birim hadde hadde başına düşen pürüzlendirme maliyeti EDT yöntemine göre yaklaşık %80 daha düşüktür.<sup>1</sup>
- 4- Diğer pürüzlendirme tezgahlarına göre daha az yer kaplamaktadır.
- 5- Pürüzlendirmeden önce yazılım vasıtası ile simülasyon yapılabilmektedir. Bu sayede, rastlantısal pürüzlülükte bir hata var ise ortaya çıkması sağlanmaktadır.

---

<sup>1</sup> Maliyet bilgisi firmaların teknik dokümanlarından alınmıştır.

- 6- Lazer ışın çapı ve gücü lazerin çıkış noktasından sonra yaklaşık 3 mm değişmediği için haddenin muylusundaki bozuk yüzeyden, varsa hadde salgısından ve çevre titreşiminden pürüzlendirme etkilenmemektedir.
- 7- Kurulumu zemin üzerine monte edilebilmekte, ilave inşaat işine gerek kalmamaktadır.
- 8- Pürüzlendirme sonrası yüksek tepecikleri yok eden mekanik (hassas zımparalama) veya kimyasal (etching vb.) yöntemlere ihtiyaç duymamaktadır.
- 9- Proses kaynaklı yangın riski olmadığı için otomatik yangın söndürme sistemleri kurmak gerektirmiyor.
- 10- Dielektrik yağ sistemleri, yağ filtre sistemleri, elektrot jeneratörleri, otomatik yangın söndürme sistemleri gerektirmediği için ilk yatırım maliyeti düşük olmaktadır.

Yukarıda PDT'nin avantajları sıralanmıştır. Bu yöntemin bilinen ana dezavantajı enerji kesilmesi durumunda pürüzlendirme prosesi sonlanmakta ve haddenin yeniden taşlanması ihtiyacı doğmaktadır. Bilinen ikinci dezavantajı, sadece yüksek kapasite ihtiyacı olan hadde atelyeleri içindir ki o da günümüzdeki PDT tezgahı kapasitesi yaklaşık 3000 hadde/yıldır. İlk kurulum maliyeti EDT yönteminin yaklaşık yarısı mertebesinde olduğu için ikinci tezgah alınarak kapasite sorunu ortadan kaldırılabilse de Pomini firması kapasite arttırmaya yönelik çalışmalara devam etmektedir.

### 5.1 Giriş

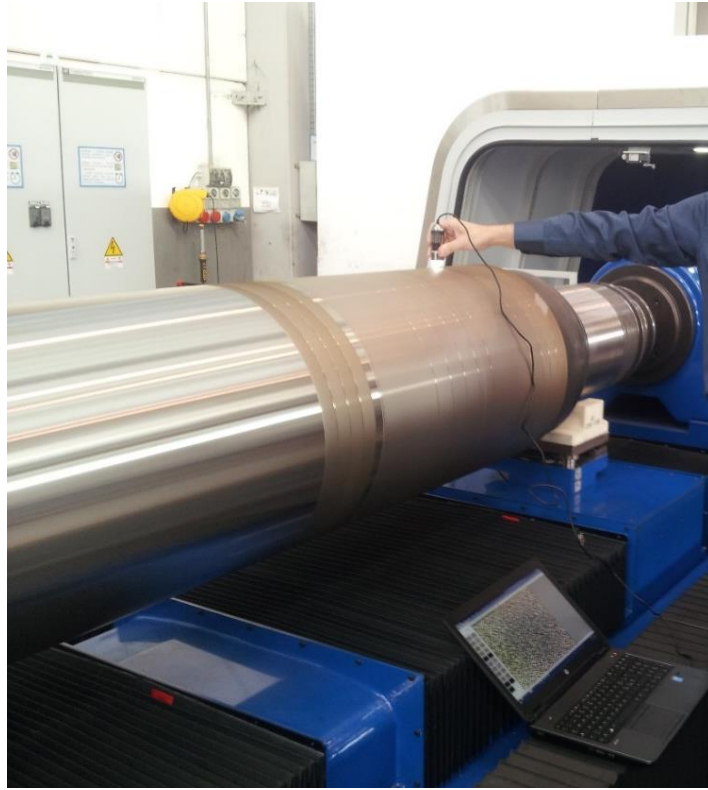
Test çalışmaları kapsamında deneme pürüzlendirmeler Tenova kuruluşuna bağlı Pomini Spa firmasında gerçekleştirilmiştir. Pomini İtalya tesislerinde yapılan çalışmalar sırasında bu kuruluşun teknik ekiplerinden destek alınmıştır. Deneme pürüzlendirmeler esnasında firmadan tezgah almış olan alüminyum kaporta sacı üreticisi ABD merkezli Novelis firmasının İsviçre'nin Sierre kentinde yerleşik tesisleri de ziyaret edilmiştir. Ziyaret esnasında Novelis firmasının EDT'nin oluşturduğu yüzey görünümünden daha farklı yüzey görünümleri üzerinde çalıştığı öğrenilmiştir. Buradan bizim yapmış olduğumuz testlerin dışında da yöntemin başarılı olduğu kanaatine varılmıştır.

Günümüzde otomobil üretici firmalar, pürüz homojenliğinde başarılı olduğu bilinen EDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş hadde ile haddelenmiş sac tercih ettiği için deneysel çalışmalarda EDT yöntemi ile mukayeseler yapılmıştır. Yine bu nedenle PDT yönteminin öncelikle homojen pürüz dağılımı incelenmiştir. Bu tezdeki deneysel çalışmaların büyük bir bölümünü pürüzlendirme homojenliğinin kontrolü oluşturmıştır.

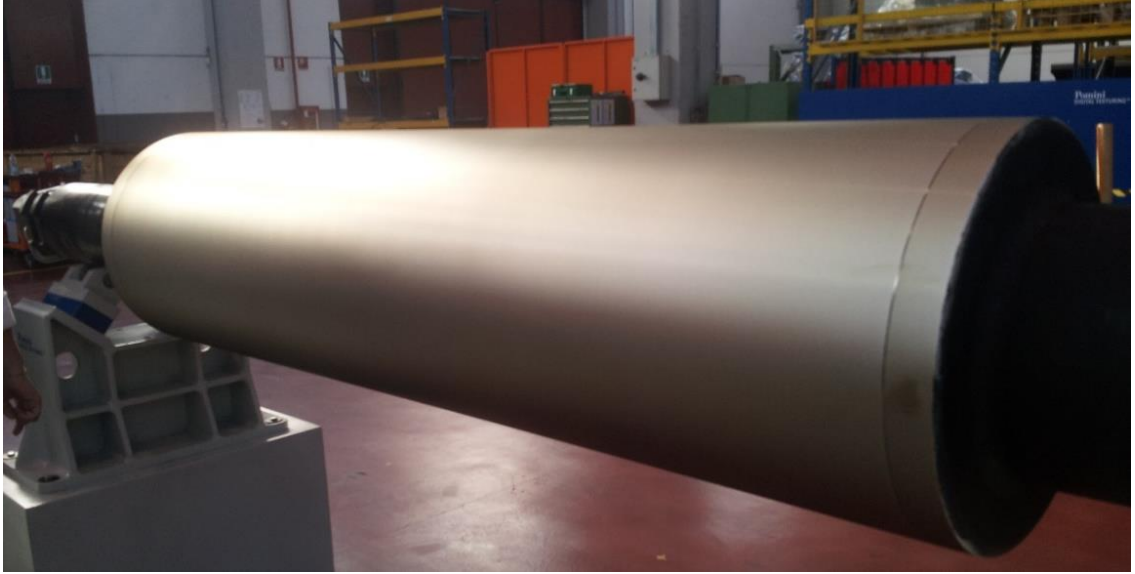
Testler kapsamında farklı çaplarda ve özelliklerde 16 adet soğuk haddeleme iş haddesi, yeni nesil lazer pürüzlendirme tezgahında pürüzlendirilmek üzere, Pomini İtalya tesislerine gönderilmiştir (Şekil 5.1, 5.2, 5.3). Gönderilen haddeler, en sık kullanılan 1,8 Ra ila 3,0 Ra arasındaki farklı değerlerde pürüzlendirilmiştir.



**Şekil 5.1** Pomini İtalya tesisinde PDT tezgahına takılı test merdanesi



**Şekil 5.2** Pomini İtalya tesisinde yüzey görünümlerinin dijital mikroskop ile incelenmesi



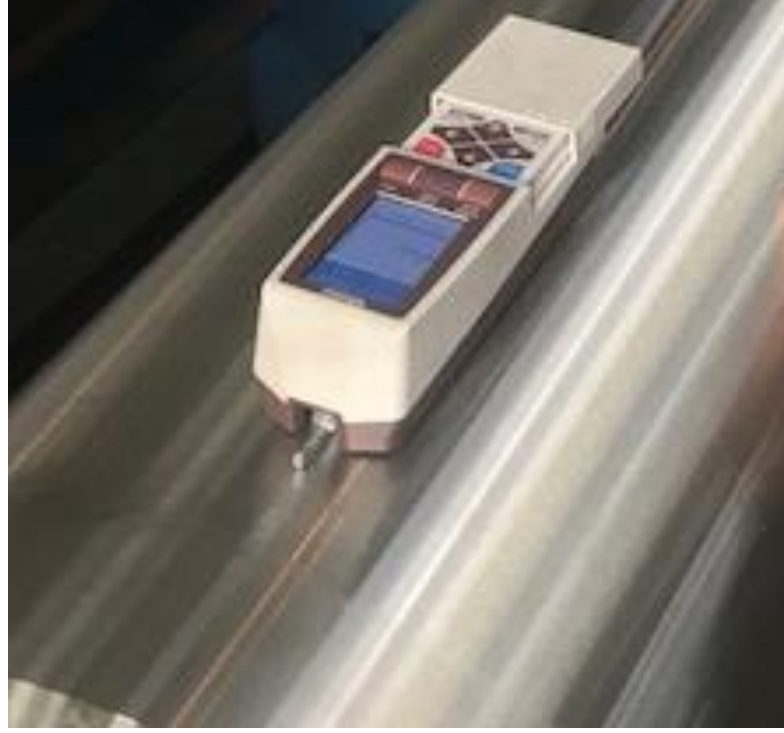
**Şekil 5.3** Pomini İtalya tesisinde pürüzlendirmiş, ön ölçüme hazır hadde<sup>1</sup>

Pürüzlendirme esnasındaki pürüzlendirme parametreleri (Ra ve RPc değerleri), EDT yöntemi ile pürüzlendirilen hadde yüzeyine benzeyecek şekilde ayarlanmıştır. İtalya’da pürüzlendirilen haddelerin yüzey pürüzlülük değerleri (Ra ve RPc değerleri) Türkiye’de sistematik olarak ölçülmüştür. Pürüzlülük ölçümlerinde Mitutoyo SJ 210 cihazı (Şekil 5.4), yüzey görüntüleme Dino marka taşınabilir dijital mikroskop (Şekil 5.5) ve üç boyutlu yüzey profili ölçümünde Nanofocus marka optik yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Şekil 5.6) kullanılmıştır.

Pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan ölçü aleti ve parametreleri (DIN EN 10049);

|                         |                       |                      |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Kullanılan Cihaz:       | Kalibrasyon numunesi: | Cihaz ayarları:      |
| Mitutoyo SJ 210         | Mitutoyo              | Standart: ANSI       |
| Kullanılan Uç: Mitutoyo | Ra:1µm (0-2 Ra)       | Profil: R            |
| Dedector 178-296        | Ra:3.0 µm (2-15 Ra)   | Filtre: Gauss 0,8 mm |
| Ölçüm Kuvveti: 0,75 mN  |                       | C1=C2: 0,5 µm        |
| Uc profili: 2µ / 60°    |                       | N:5                  |
|                         |                       | Hız: 0,5mm/sn        |

<sup>1</sup> Pomini-İtalya tesislerindeki ölçümler pürüzlendirmenin ara kontrolü için yapılmış olup, birkaç ölçümden ibarettir. İtalya’daki ölçüm sonuçları kayıt altına alınmamıştır. Haddeler Türkiye’ye gelince sistematik olarak ölçülmüş ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır.



**Şekil 5.4** Yüzey pürüzlülüğün iki boyutlu ölçümünde kullanılan Mitutoyo cihazı<sup>1</sup>



**Şekil 5.5** Yüzey görünümünün elde edilmesinde kullanılan Dino-Lite cihazı

---

<sup>1</sup> Deney çalışmalarında iki boyutlu ölçümler değerlendirilmiş olup, üç boyutlu ölçümler görsel bilgi amaçlı yapılmıştır.

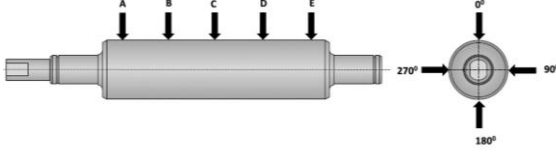


**Şekil 5.6** Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu ölçümünde kullanılan Nanofocus optik tarama cihazı [29]

## **5.2 Pürüzlendirme Sonuçlarının Kaydedilmesi ve Değerlendirilmesi**

Tüm pürüzlendirme tezgahlarında istenilen pürüzlülük değerini elde etmek için yazılım vasıtası ile kalibrasyonlar yapılmakta ve istenilen değere en yakın sonuç elde edildiğinde o pürüzlülük değeri için program kaydedilmektedir. Hadde yüzey pürüzlülük değerinin yüzey boyunca ortalama yüzey pürüzlülüğünün  $\pm$  %5 tolerans aralığının içerisinde olması istenmektedir. Püzlendirme sonucu elde edilen Ra değeri hedeflenen değerin birebir aynısı olması gerekmemektedir. Fakat pürüzlendirme işleminde elde edilen pürüzlülüğün tüm yüzeyde homojen bir şekilde dağılmış olması gerekmektedir. Bu nedenle, hedeflenen pürüzlülük değeri yerine, tezgahtan çıkmış olan hadde yüzeyinde elde edilen pürüzlülük değerlerinin ortalaması referans alınarak, yüzey boyunca ortalama değerden sapma miktarları kontrol edilmektedir.

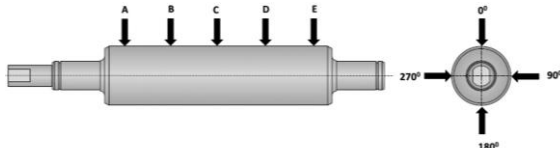
Test haddeleri pürüzlendirmelerinde de benzer şekilde kontrol edilmiştir. Test edilen haddelerin tolerans içinde olup olmadığını belirlemek için Şekil 5.7’de gösterildiği gibi haddenin farklı yerlerinden yapılan ölçümlerin ortalaması değerlendirilmiştir. Haddelerde her bir noktada 4 farklı ölçüm ile 20 farklı noktadan ölçüm yapılarak, her bir haddede toplamda 80 ölçüm yapılmıştır. Değerlendirmelerde 20 farklı noktanın ortalama değerleri dikkate alınmıştır.

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>TARİH:</td><td></td></tr> <tr><td>ROLL NO:</td><td></td></tr> <tr><td>Hedef Ra:</td><td></td></tr> <tr><td>Hedef RPc:</td><td></td></tr> <tr><td>Tolerans +/- %</td><td>5</td></tr> <tr><td>CUT OFF:</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>C1=C2:</td><td>0,5</td></tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | TARİH:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ROLL NO:              |            | Hedef Ra: |            | Hedef RPc: |            | Tolerans +/- % | 5          | CUT OFF: | 0,8                    | C1=C2:               | 0,5        |  |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|----------------|------------|----------|------------------------|----------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|--|-----------------------|--------------------|--|--|-----------------------|
| TARİH:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| ROLL NO:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| Hedef Ra:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| Hedef RPc:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| Tolerans +/- %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| CUT OFF:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| C1=C2:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;"></th><th style="width: 15%;">A</th><th style="width: 15%;">B</th><th style="width: 15%;">C</th><th style="width: 15%;">D</th><th style="width: 15%;">E</th></tr> <tr> <th></th><th>Ra (µm)</th><th>RPc (1/cm)</th><th>Ra (µm)</th><th>RPc (1/cm)</th><th>Ra (µm)</th><th>RPc (1/cm)</th><th>Ra (µm)</th><th>RPc (1/cm)</th><th>Ra (µm)</th><th>RPc (1/cm)</th></tr> </table> |                      | A                     | B          | C         | D          | E          |            | Ra (µm)        | RPc (1/cm) | Ra (µm)  | RPc (1/cm)             | Ra (µm)              | RPc (1/cm) | Ra (µm)                                                                            | RPc (1/cm)         | Ra (µm)            | RPc (1/cm)         |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | B                    | C                     | D          | E         |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ra (µm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | RPc (1/cm)           | Ra (µm)               | RPc (1/cm) | Ra (µm)   | RPc (1/cm) | Ra (µm)    | RPc (1/cm) | Ra (µm)        | RPc (1/cm) |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| 0°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ortalama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| 90°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ortalama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| 180°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ortalama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| 270°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ortalama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td><td style="width: 20%; text-align: center;">HEDEFLLENEN PÜRÜZLÜLÜK</td><td style="width: 20%; text-align: center;">GERÇEKLEŞEN ORTALAMA</td><td style="width: 30%;"></td></tr> <tr> <td></td><td style="text-align: center;">Ra (µm) RPc (1/cm)</td><td style="text-align: center;">Ra (µm) RPc (1/cm)</td><td style="text-align: center;">Ra (µm) RPc (1/cm)</td></tr> <tr> <td>Tolerans Üst Değer</td><td></td><td></td><td>GERÇEKLEŞEN ÜST DEĞER</td></tr> <tr> <td>Tolerans Alt Değer</td><td></td><td></td><td>GERÇEKLEŞEN ALT DEĞER</td></tr> </table> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      |                       |            |           |            |            |            |                |            |          | HEDEFLLENEN PÜRÜZLÜLÜK | GERÇEKLEŞEN ORTALAMA |            |                                                                                    | Ra (µm) RPc (1/cm) | Ra (µm) RPc (1/cm) | Ra (µm) RPc (1/cm) | Tolerans Üst Değer |  |  | GERÇEKLEŞEN ÜST DEĞER | Tolerans Alt Değer |  |  | GERÇEKLEŞEN ALT DEĞER |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | HEDEFLLENEN PÜRÜZLÜLÜK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | GERÇEKLEŞEN ORTALAMA |                       |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ra (µm) RPc (1/cm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Ra (µm) RPc (1/cm)   | Ra (µm) RPc (1/cm)    |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| Tolerans Üst Değer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      | GERÇEKLEŞEN ÜST DEĞER |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |
| Tolerans Alt Değer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                      | GERÇEKLEŞEN ALT DEĞER |            |           |            |            |            |                |            |          |                        |                      |            |                                                                                    |                    |                    |                    |                    |  |  |                       |                    |  |  |                       |

**Şekil 5.7** Hadde Pürüzlülük ölçüm sonuçları değerlendirme tablosu

PDT tezgahında pürüzlendirilmiş olan haddelerin pürüzlendirme sonucunu kontrol etmek üzere Şekil 5.7’deki çizelge 16 adet test haddesi için ayrı ayrı doldurulmuştur. Doldurulmuş örnek bir çizelge Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

|                 |     |
|-----------------|-----|
| TARİH:          |     |
| ROLL NO:        |     |
| Hedef Ra:       | 3   |
| Hedef RPc:      | 100 |
| Tolerans +/- %: | 5   |
| CUT OFF:        | 0,8 |
| C1=C2:          | 0,5 |



|      | A        | B          | C       | D          | E       |            |         |            |         |            |        |
|------|----------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|--------|
|      | Ra (µm)  | RPc (1/cm) | Ra (µm) | RPc (1/cm) | Ra (µm) | RPc (1/cm) | Ra (µm) | RPc (1/cm) | Ra (µm) | RPc (1/cm) |        |
| 0°   | 1        | 3,00       | 116,93  | 2,93       | 113,63  | 3,08       | 112,94  | 3,03       | 122,51  | 2,98       | 113,65 |
|      | 2        | 3,12       | 110,40  | 3,03       | 113,30  | 3,08       | 115,25  | 2,97       | 108,93  | 3,11       | 111,70 |
|      | 3        | 2,82       | 121,29  | 2,97       | 107,51  | 2,25       | 106,78  | 3,01       | 110,71  | 2,92       | 122,65 |
|      | 4        | 3,04       | 110,19  | 3,01       | 111,34  | 3,30       | 102,14  | 2,78       | 124,07  | 2,89       | 115,06 |
|      | Ortalama | 3,00       | 114,70  | 2,98       | 111,45  | 2,93       | 109,28  | 2,95       | 116,56  | 2,98       | 115,77 |
| 90°  | 1        | 3,08       | 104,74  | 3,08       | 108,94  | 3,05       | 111,26  | 3,05       | 119,05  | 3,07       | 107,59 |
|      | 2        | 3,16       | 104,70  | 3,16       | 114,77  | 3,11       | 115,38  | 3,23       | 105,81  | 2,94       | 117,16 |
|      | 3        | 3,02       | 114,98  | 3,16       | 106,05  | 3,02       | 110,91  | 3,07       | 107,89  | 3,08       | 119,22 |
|      | 4        | 3,29       | 112,33  | 2,91       | 117,93  | 3,08       | 114,03  | 3,10       | 123,65  | 2,96       | 121,95 |
|      | Ortalama | 3,14       | 109,19  | 3,08       | 111,92  | 3,07       | 112,90  | 3,11       | 114,10  | 3,01       | 116,48 |
| 180° | 1        | 3,30       | 112,56  | 3,22       | 107,84  | 3,15       | 102,07  | 3,12       | 102,59  | 3,03       | 112,40 |
|      | 2        | 2,96       | 119,06  | 3,08       | 109,28  | 2,99       | 114,51  | 3,22       | 103,67  | 3,19       | 104,26 |
|      | 3        | 3,11       | 113,30  | 3,22       | 110,72  | 3,01       | 107,59  | 2,95       | 112,97  | 3,03       | 112,51 |
|      | 4        | 3,17       | 106,67  | 3,16       | 107,06  | 2,83       | 109,71  | 3,28       | 102,73  | 2,85       | 117,45 |
|      | Ortalama | 3,14       | 112,90  | 3,17       | 108,73  | 3,00       | 108,47  | 3,14       | 105,49  | 3,03       | 111,66 |
| 270° | 1        | 3,09       | 100,77  | 3,03       | 113,13  | 3,10       | 105,63  | 2,97       | 112,75  | 2,99       | 110,38 |
|      | 2        | 3,19       | 109,49  | 2,99       | 106,89  | 2,88       | 107,51  | 3,12       | 110,37  | 3,15       | 115,07 |
|      | 3        | 3,03       | 108,87  | 3,13       | 112,72  | 3,22       | 111,86  | 3,21       | 110,06  | 2,95       | 118,67 |
|      | 4        | 3,15       | 107,84  | 3,08       | 116,60  | 3,01       | 118,30  | 3,07       | 114,51  | 3,19       | 105,60 |
|      | Ortalama | 3,12       | 106,74  | 3,06       | 112,34  | 3,05       | 110,83  | 3,09       | 111,92  | 3,07       | 112,43 |

|                    | HEDEFLLENEN PÜRÜZLÜLÜK |            | GERÇEKLEŞEN ORTALAMA |            |                       |      |        |
|--------------------|------------------------|------------|----------------------|------------|-----------------------|------|--------|
|                    | Ra (µm)                | RPc (1/cm) | Ra (µm)              | RPc (1/cm) |                       |      |        |
| Tolerans Üst Değer | 3                      | 100        | 3,05                 | 111,69     | GERÇEKLEŞEN ÜST DEĞER |      |        |
| Tolerans Alt Değer | 3,15                   | 105        | 3,21                 | 117,28     |                       | 3,17 | 116,56 |
|                    | 2,85                   | 95         | 2,90                 | 106,11     |                       | 2,93 | 105,49 |
|                    |                        |            |                      |            | GERÇEKLEŞEN ALT DEĞER |      |        |

**Şekil 5.8** Hadde Pürüzlülük ölçüm sonuçları değerlendirme tablosu<sup>1</sup>

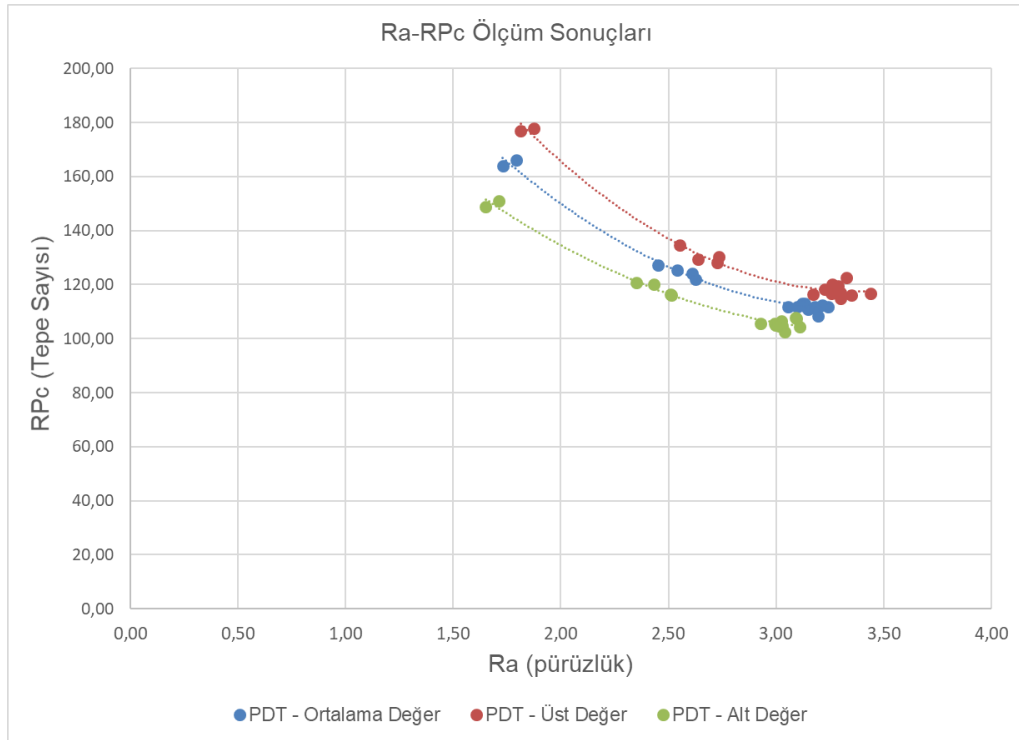
Tüm test haddelerine ait 16 çizelgeden alınan ortalama Ra ve RPc değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

<sup>1</sup> Şekildeki renkli hücreler, maksimum ve minimum ortalama değerleri göstermektedir.

**Tablo 5.1** PDT yöntemi le pürüzlendirilmiş test haddelerindeki Ra ve RPc ölçüm sonuçları<sup>1</sup>

| Test No | Hedeflenen Ra-RPc Değeri |                             | Gerçekleşen Ra-RPc Değeri |        |                                    |            |        |                                    |            |        |
|---------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------|------------------------------------|------------|--------|------------------------------------|------------|--------|
|         | Ortalama Ra Değeri       | Minimum Ortalama RPc Değeri | PDT - Ortalama Değer      |        | PDT - Üst Değer Ortalamaya göre Ra |            |        | PDT - Alt Değer Ortalamaya göre Ra |            |        |
|         |                          |                             | ~Ra                       | ~RPc   | +Ra                                | Farkı %'si | +RPc   | -Ra                                | Farkı %'si | -RPc   |
|         |                          |                             |                           |        |                                    |            |        |                                    |            |        |
| 1       | 1,80                     | 100,00                      | 1,79                      | 166,01 | 1,87                               | 4,48       | 178,00 | 1,71                               | -4,61      | 151,00 |
| 2       | 1,80                     | 100,00                      | 1,73                      | 164,00 | 1,81                               | 4,77       | 177,00 | 1,65                               | -4,62      | 149,00 |
| 3       | 2,50                     | 100,00                      | 2,54                      | 125,34 | 2,64                               | 3,79       | 129,42 | 2,43                               | -4,37      | 120,21 |
| 4       | 2,50                     | 100,00                      | 2,63                      | 122,08 | 2,73                               | 4,01       | 130,33 | 2,51                               | -4,56      | 116,35 |
| 5       | 2,50                     | 100,00                      | 2,61                      | 124,03 | 2,73                               | 4,47       | 128,07 | 2,52                               | -3,58      | 116,25 |
| 6       | 2,50                     | 100,00                      | 2,45                      | 127,20 | 2,55                               | 3,98       | 134,69 | 2,35                               | -4,08      | 120,63 |
| 7       | 3,00                     | 100,00                      | 3,12                      | 112,94 | 3,23                               | 3,38       | 118,20 | 3,00                               | -3,99      | 105,63 |
| 8       | 3,00                     | 100,00                      | 3,13                      | 113,07 | 3,26                               | 4,01       | 120,05 | 3,01                               | -3,88      | 104,76 |
| 9       | 3,00                     | 100,00                      | 3,19                      | 108,45 | 3,35                               | 4,81       | 116,10 | 3,11                               | -2,70      | 104,51 |
| 10      | 3,00                     | 100,00                      | 3,15                      | 110,81 | 3,26                               | 3,43       | 116,72 | 3,03                               | -3,72      | 104,75 |
| 11      | 3,00                     | 100,00                      | 3,24                      | 111,94 | <u>3,44</u>                        | 6,10       | 116,63 | 3,09                               | -4,62      | 107,43 |
| 12      | 3,00                     | 100,00                      | 3,21                      | 112,48 | 3,30                               | 2,64       | 115,03 | 3,09                               | -3,82      | 107,89 |
| 13      | 3,00                     | 100,00                      | 3,13                      | 112,14 | 3,29                               | 4,92       | 119,44 | 3,03                               | -3,43      | 106,70 |
| 14      | 3,00                     | 100,00                      | 3,18                      | 111,82 | 3,33                               | 4,54       | 122,48 | 3,04                               | -4,42      | 102,57 |
| 15      | 3,00                     | 100,00                      | 3,10                      | 111,95 | <u>3,30</u>                        | 6,43       | 116,96 | 3,00                               | -3,35      | 105,14 |
| 16      | 3,00                     | 100,00                      | 3,05                      | 111,69 | 3,17                               | 3,78       | 116,56 | 2,93                               | -4,21      | 105,49 |

Ölçüm sonuçları Şekil 5.9'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

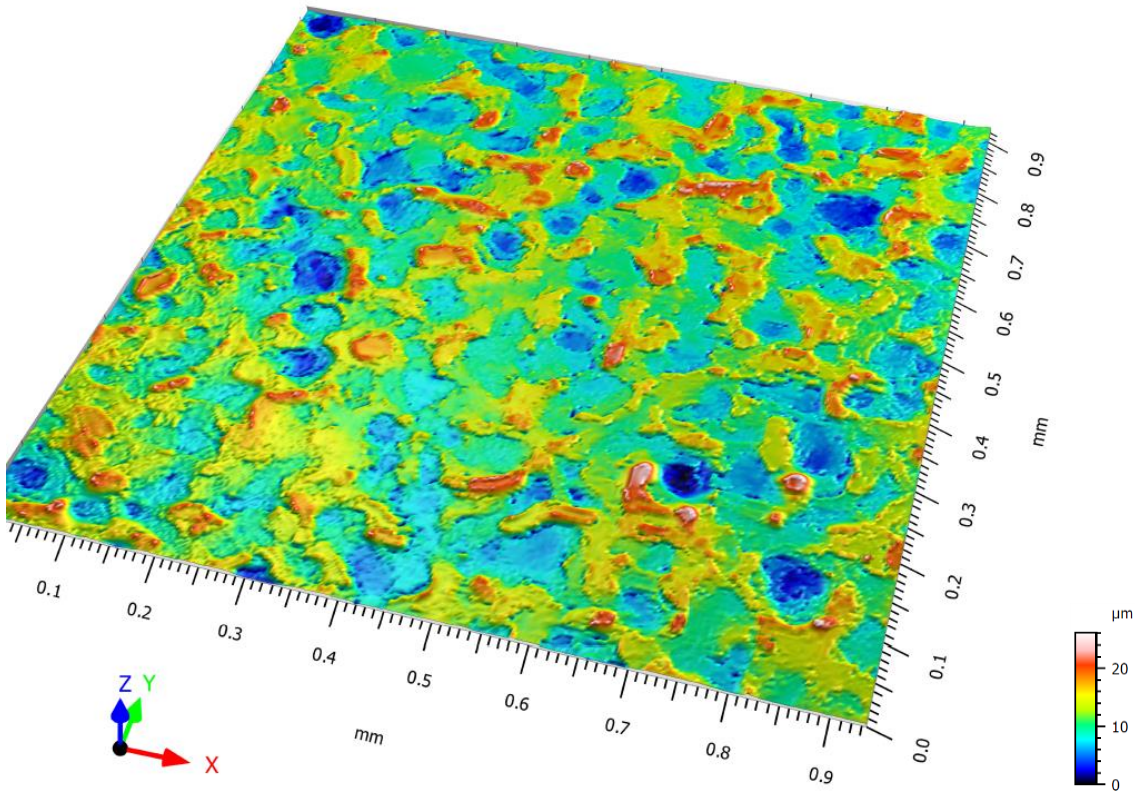


**Şekil 5.9** Ra ve RPc ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

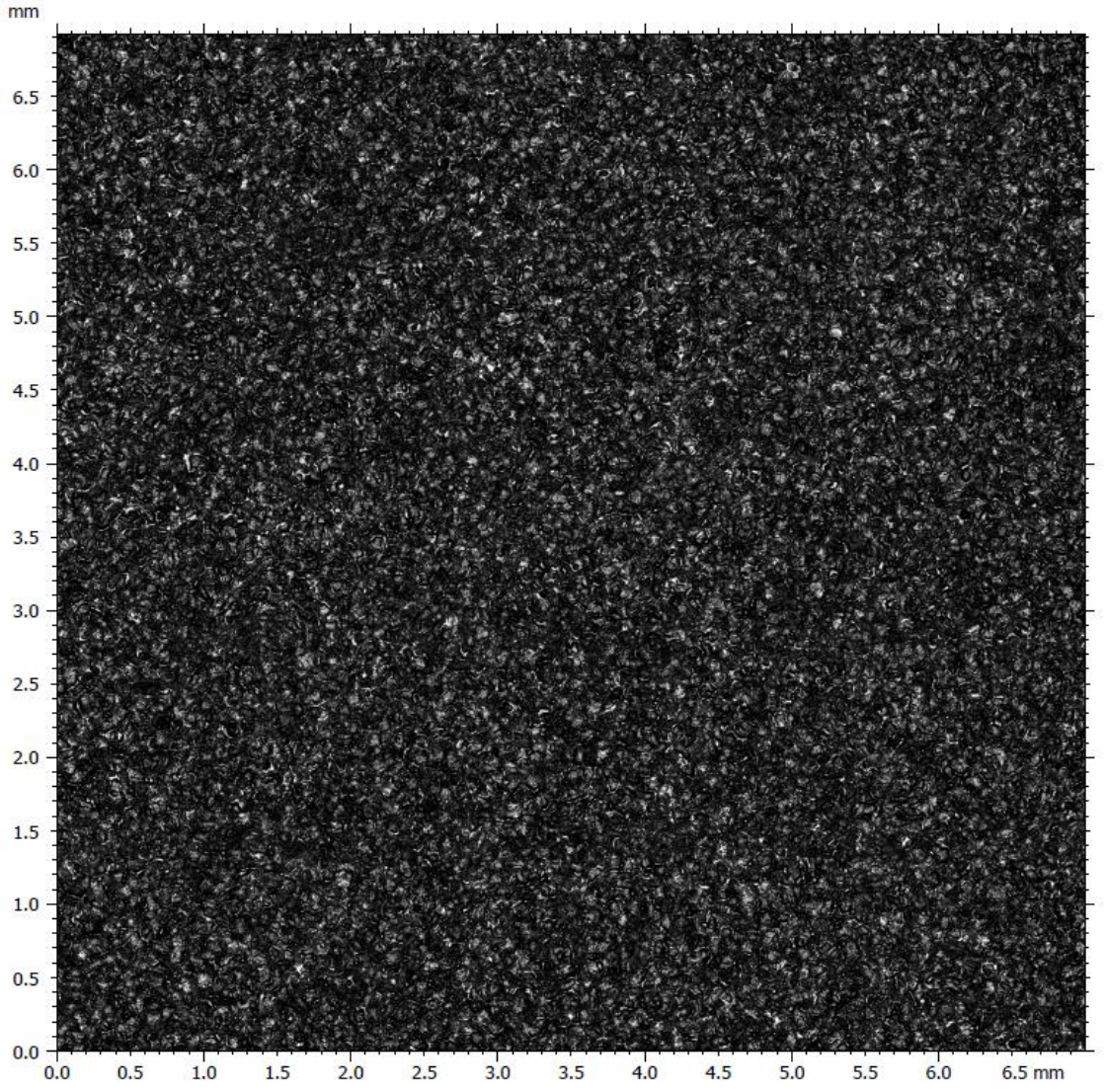
<sup>1</sup> Tablodaki altı çizili değerler, hedeflediğimiz  $\pm$  %5 tolerans değerinin dışında olan değerlerdir.

Tablo 5.1, Şekil 5.9 yorumlandığında, PDT yöntemi ile elde edilen pürüzlülük homojenliğinin, EDT yöntemi ile elde edildiği bilinen  $\pm$  %5 pürüzlülük homojenliğine hemen hemen benzer olduğu anlaşılmıştır.

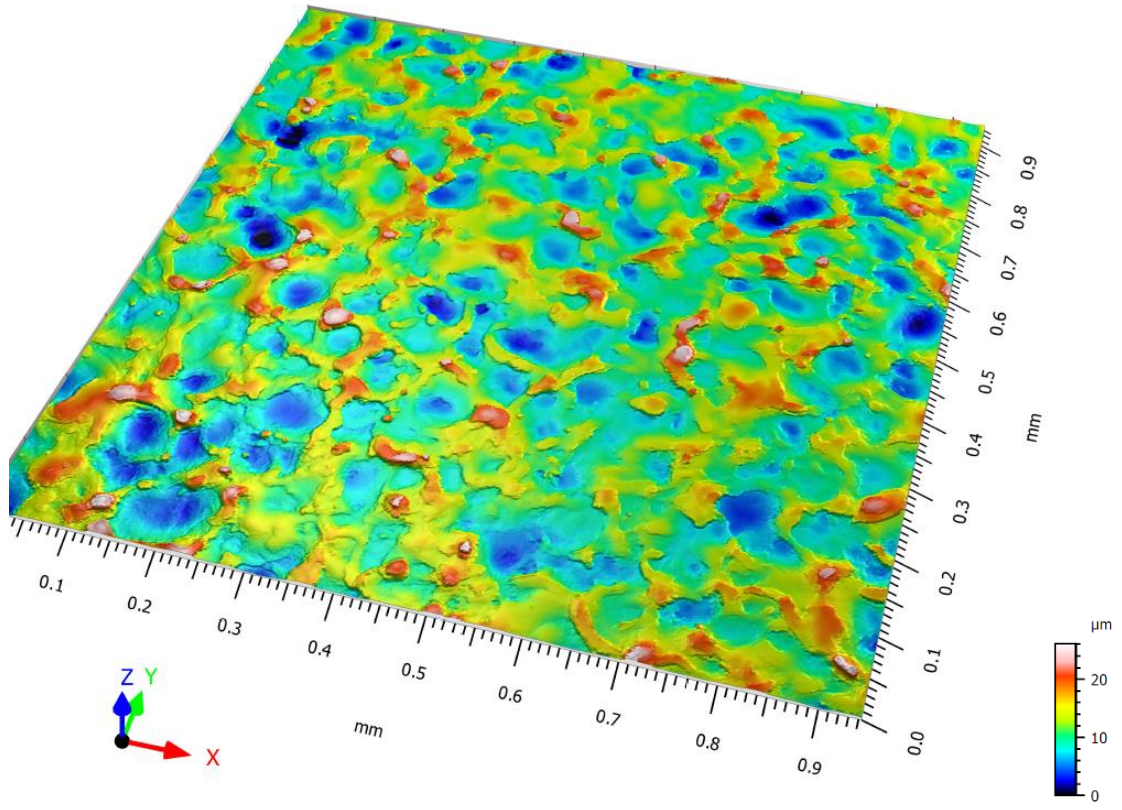
PDT tezgahında pürüzlendirilmiş haddelerin bazılarının yüzeyi, Erdemir ARGE ekiplerinin desteği ile Nanofocus marka üç boyutlu optik yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (profilometre) ile taranmış ve hazırlanan rapordan alınan üç boyutlu görüntüleri ile gerçek görüntüleri Şekil 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13'te gösterilmiştir.



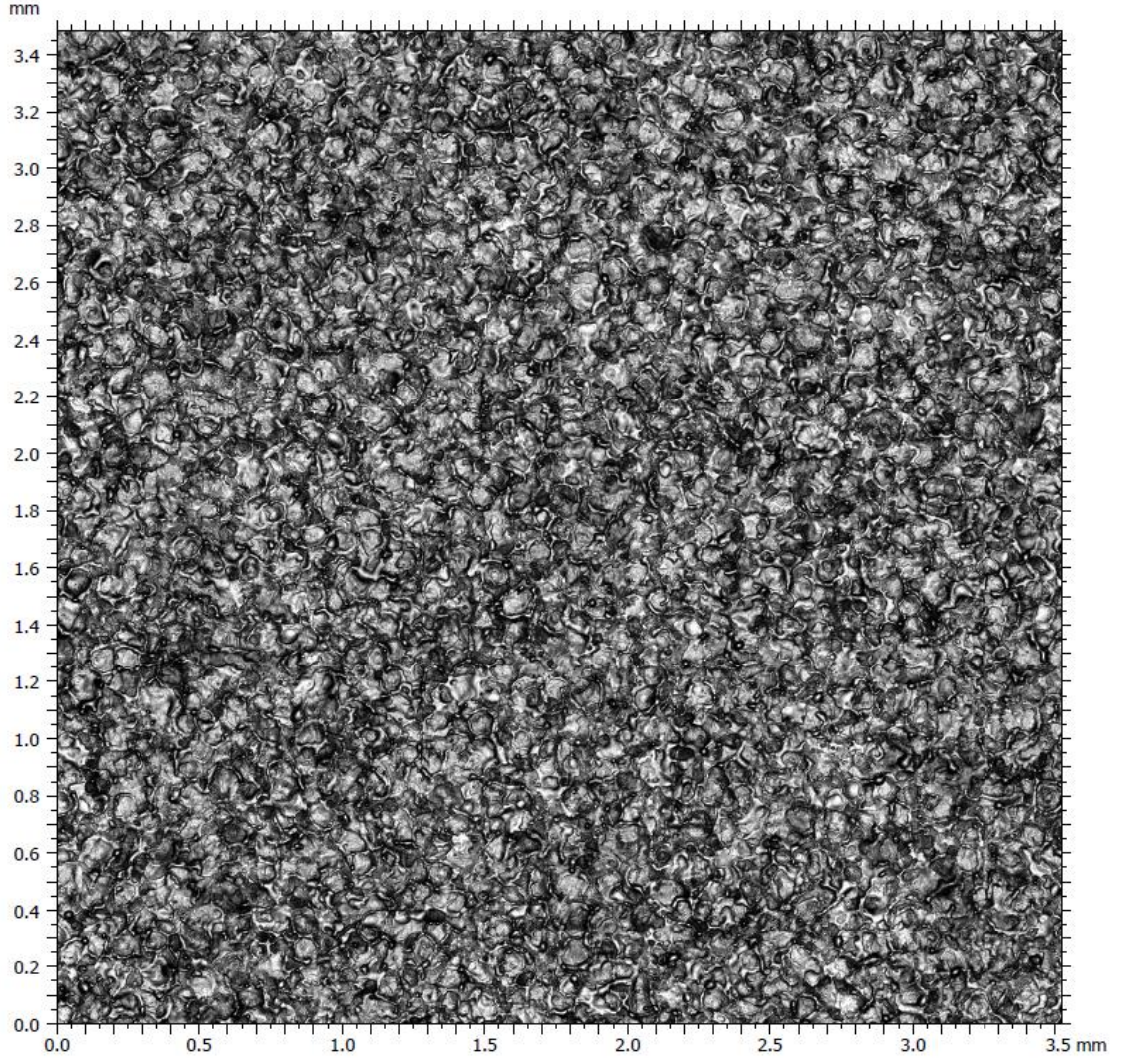
**Şekil 5.10** 2,62 µm Ra ve 109 RPc değerlerindeki yüzeyin üç boyutlu tarama görüntüsü



**Şekil 5.11** 2,62  $\mu\text{m}$  Ra ve 109 RPc değerlerindeki yüzeyin gerçek görüntüsü (7  $\text{mm}^2$ )

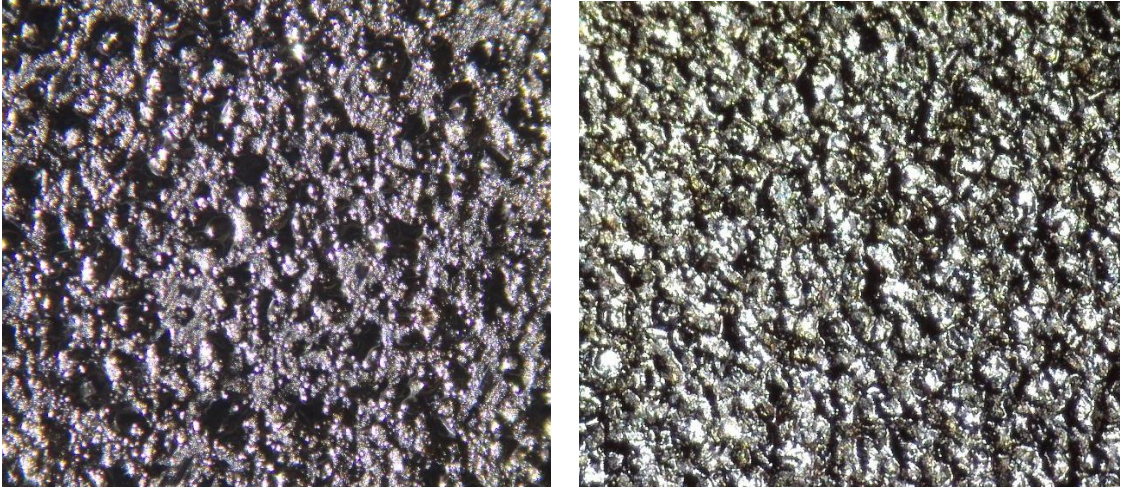


**Şekil 5.12** 2,47  $\mu\text{m}$  Ra ve 132 RPc değerlerindeki yüzeyin üç boyutlu tarama görüntüsü



**Şekil 5.13** 2,47  $\mu\text{m}$  Ra ve 132 RPc değerlerindeki yüzeyin gerçek görüntüsü (3,5  $\text{mm}^2$ )

Portatif dijital el mikroskobu ile çekilen EDT ve PDT ile pürüzlendirilmiş yüzey fotoğraflarına ait 40 kat büyütülmüş örnek görselleri Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



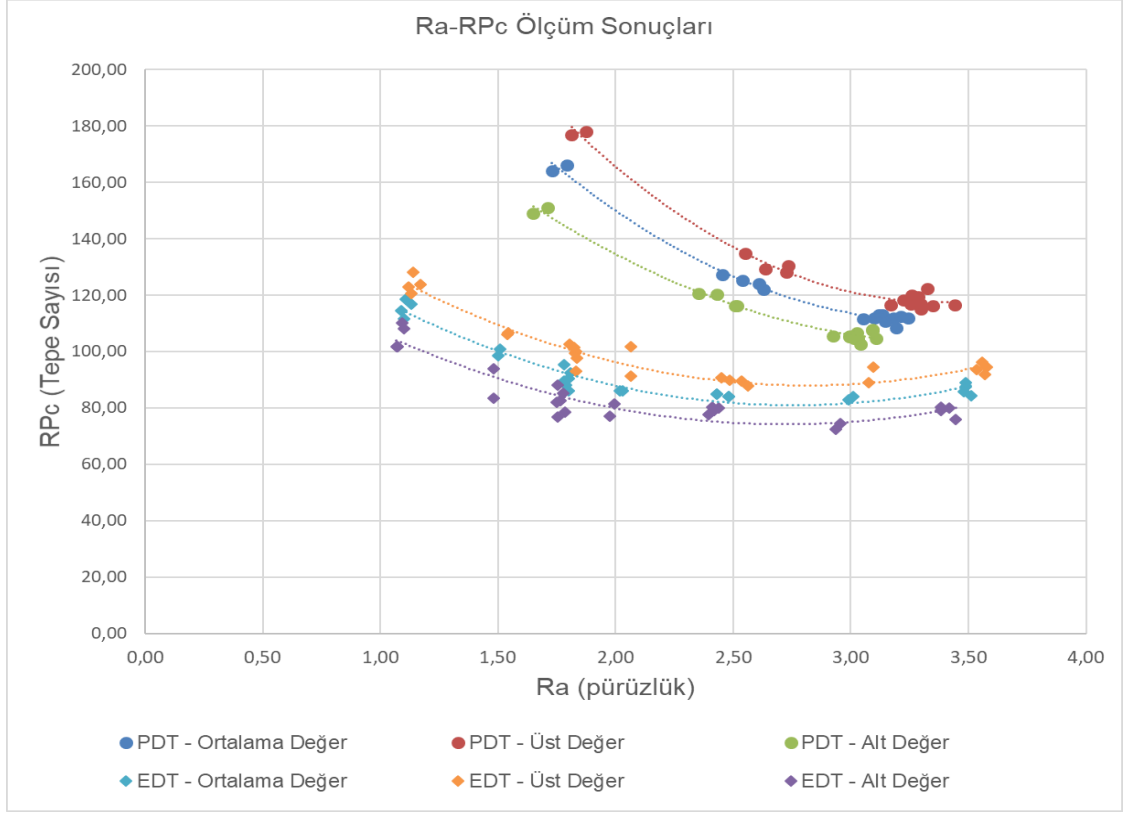
**Şekil 5.14** 3,5  $\mu\text{m}$  Ra ve 86 RPc değerlerindeki EDT ile pürüzlendirilmiş hadde yüzeyi (sol), 3,1  $\mu\text{m}$  Ra ve 112 RPc değerlerindeki PDT ile pürüzlendirilmiş hadde yüzeyi(sağ)

EDT ile pürüzlendirilmiş olan 24 adet test haddesinin yüzey pürüzlülük değerleri kayıt altına alınmıştır. EDT ile pürüzlendirilmiş olan 24 adet haddeye ait ortalama Ra ve RPc değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

**Tablo 5.2** EDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş test haddelerindeki Ra ve RPc ölçüm sonuçları

| Test No | Hedeflenen Ra-RPc Değeri |                             | Gerçekleşen Ra-RPc Değeri |        |                    |            |        |                    |            |        |
|---------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------|--------------------|------------|--------|--------------------|------------|--------|
|         | Ortalama Ra Değeri       | Minimum Ortalama RPc Değeri | EDT - Ortalama Değer      |        | EDT - Üst Değer    |            |        | EDT - Alt Değer    |            |        |
|         |                          |                             | ~Ra                       | ~RPc   | Ortalamaya göre Ra |            |        | Ortalamaya göre Ra |            |        |
|         |                          |                             |                           |        | +Ra                | Farkı %'si | +RPc   | -Ra                | Farkı %'si | -RPc   |
| 1       | 1,10                     | 100,00                      | 1,09                      | 114,45 | 1,12               | 2,70       | 123,03 | 1,07               | -1,90      | 101,75 |
| 2       | 1,10                     | 100,00                      | 1,10                      | 111,66 | 1,13               | 2,80       | 120,48 | 1,07               | -2,60      | 101,83 |
| 3       | 1,10                     | 100,00                      | 1,11                      | 118,43 | 1,14               | 2,80       | 128,26 | 1,09               | -1,70      | 110,02 |
| 4       | 1,10                     | 100,00                      | 1,13                      | 116,82 | 1,17               | 3,50       | 123,83 | 1,10               | -2,70      | 108,18 |
| 5       | 1,50                     | 100,00                      | 1,50                      | 98,54  | 1,54               | 2,80       | 106,52 | 1,48               | -1,20      | 83,56  |
| 6       | 1,50                     | 100,00                      | 1,51                      | 100,95 | 1,54               | 2,00       | 106,20 | 1,48               | -2,00      | 93,78  |
| 7       | 1,80                     | 100,00                      | 1,78                      | 95,46  | 1,80               | 1,30       | 102,52 | 1,75               | -1,50      | 88,01  |
| 8       | 1,80                     | 100,00                      | 1,78                      | 89,57  | 1,83               | 2,80       | 100,05 | 1,75               | -1,70      | 81,87  |
| 9       | 1,80                     | 100,00                      | 1,79                      | 88,21  | 1,83               | 2,40       | 92,97  | 1,75               | -2,10      | 76,74  |
| 10      | 1,80                     | 100,00                      | 1,80                      | 86,06  | 1,83               | 1,40       | 101,55 | 1,78               | -0,90      | 78,57  |
| 11      | 1,80                     | 100,00                      | 1,80                      | 90,39  | 1,83               | 1,90       | 97,53  | 1,76               | -2,00      | 82,53  |
| 12      | 1,80                     | 100,00                      | 1,81                      | 92,55  | 1,83               | 1,00       | 99,49  | 1,78               | -1,80      | 85,24  |
| 13      | 2,00                     | 85,00                       | 2,02                      | 86,00  | 2,06               | 2,20       | 101,74 | 1,98               | -2,20      | 76,97  |
| 14      | 2,00                     | 85,00                       | 2,03                      | 86,00  | 2,06               | 1,70       | 91,33  | 2,00               | -1,70      | 81,53  |
| 15      | 2,50                     | 85,00                       | 2,43                      | 85,00  | 2,45               | 0,80       | 90,61  | 2,41               | -0,80      | 80,24  |
| 16      | 2,50                     | 85,00                       | 2,43                      | 85,00  | 2,49               | 2,30       | 89,76  | 2,40               | -1,40      | 77,69  |
| 17      | 2,50                     | 85,00                       | 2,48                      | 84,00  | 2,54               | 2,30       | 89,54  | 2,44               | -1,70      | 79,88  |
| 18      | 2,50                     | 85,00                       | 2,48                      | 84,00  | 2,56               | 3,30       | 87,70  | 2,42               | -2,40      | 79,13  |
| 19      | 3,00                     | 85,00                       | 2,99                      | 83,00  | 3,09               | 3,50       | 94,45  | 2,94               | -1,80      | 72,54  |
| 20      | 3,00                     | 85,00                       | 3,01                      | 84,00  | 3,08               | 2,20       | 88,87  | 2,96               | -1,80      | 74,42  |
| 21      | 3,50                     | 85,00                       | 3,48                      | 85,84  | 3,57               | 2,60       | 91,76  | 3,38               | -2,80      | 79,23  |
| 22      | 3,50                     | 85,00                       | 3,49                      | 87,50  | 3,58               | 2,50       | 94,50  | 3,42               | -2,10      | 79,98  |
| 23      | 3,50                     | 85,00                       | 3,49                      | 88,96  | 3,56               | 2,00       | 96,25  | 3,38               | -3,10      | 80,24  |
| 24      | 3,50                     | 85,00                       | 3,51                      | 84,18  | 3,53               | 0,70       | 93,52  | 3,45               | -1,80      | 76,01  |

EDT ve PDT pürüzlendirme ile yapılan pürüzlülük ölçüm sonuçları Şekil 5.15'te bir arada gösterilmiştir.



**Şekil 5.15** EDT ve PDT ile yapılan pürüzlülük ölçüm sonuçları<sup>1</sup>

Bütün test haddelerine ait gerçekleşen pürüzlülük değerlerinin ortalama, en alt ve en üst değerleri incelendiğinde, az sayıdaki bazı verilerin toleransın dışında kaldığı gözlemlenmiştir. Mevcut EDT tezgahlarında da benzer şekilde tolerans dışı pürüzlülük değerleri ile karşılaşıldığı için lazer pürüzlendirme yönteminin asgari EDT yönteminin verdiği pürüzlülük homojenliğini sağladığı ve daha yüksek tepecik sayısı değerlerine ulaşılabilirdiği tespit edilmiştir. EDT tezgahlarının sunduğu pürüzlülük değerleri, sacı kullanan müşteriler tarafından kabul gördüğü için ve/veya daha fazla tepecik sayısı (RPc) veren PDT yönteminin henüz yaygınlaşmamış olduğu bilindiği için sac siparişi aşamasında müşteriler tarafından henüz özel RPc değerleri talep edilmemektedir.

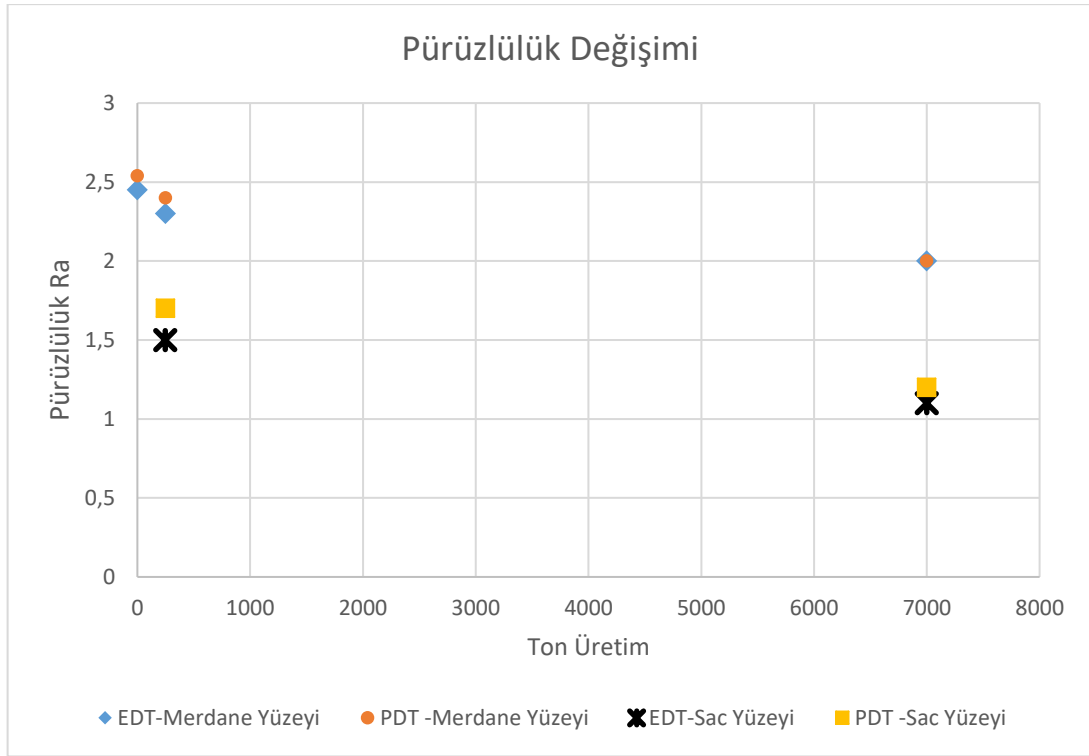
<sup>1</sup> EDT tezgahındaki mevcut parametreler değiştirilmeden pürüzlendirme işlemleri yapılmıştır. Bu nedenle RPc değerleri Lazere kıyasla çok düşük görünmektedir. EDT tezgahındaki RPc değerleri yazılım müdahalesi ile yükseltilebilecek olsa da Lazer tezgahındaki seviyeye kadar ulaşamadığı EDT tezgahı üreticilerinin teknik dokümanlarından bilinmektedir.

### **5.3 EDT ve PDT Yöntemlerinde Pürüzlülüğün Saca Aktarılmasının Mukayese Edilmesi**

Pürüzlendirilmiş haddeler, haddeleme hatlarında ve galvanizleme, tavlama gibi nihai hatların temper haddelerinde kullanılmaktadır. Erdemir siparişlerindeki ve üretim planındaki genişlik çeşitliliğinden dolayı soğuk haddeleme hatlarında haddenin pürüzlülük servis ömrü tükenmeden hadde değişimi yapılmaktadır. Bu nedenle pürüzlülük değerinin haddeleme süresine göre takibinin kontrolü için Erdemir galvanizleme hattında bulunan Temper haddesi kullanılmıştır. Hattı durdurmanın yüksek maliyetlerinden dolayı sadece bir set PDT ile pürüzlendirilmiş ve bir set EDT ile pürüzlendirilmiş hadde çifti için pürüzlülük ölçümü yapılabilmektedir. Yine hattın duruş maliyeti çok yüksek olduğu için haddedeki pürüzlülük değerleri sürekli olarak kontrol edilememiş, sürekli takip etmek yerine fikir edinebilmek açısından 250 ton ve 7000 ton üretim sonrasında hadde üzerindeki ve sac üzerindeki pürüzlülük değerleri kaydedilmiştir.

EDT ile pürüzlendirilmiş 2,45 Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip bir hadde ile ortalama 1,1 mm kalınlığındaki ticari kalite sacdan yaklaşık 250 ton haddelendikten sonra haddenin ve sacın yüzey pürüzlülüğü ölçüldü. 250 ton haddelemenin sonunda haddedeki pürüzlülük değerinin 2,3 Ra olduğu, sacdaki pürüzlülük değerinin 1,5 Ra olduğu görüldü. Yaklaşık 7000 ton haddelemenin sonunda haddedeki pürüzlülük değerinin 2,0 Ra olduğu, sacdaki pürüzlülük değerinin ise 1,1 Ra olduğu görüldü.

Aynı işlemler PDT ile pürüzlendirilmiş 2,54  $\mu\text{m}$  Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip bir hadde için de denendi. 250 ton haddeleme sonucunda haddedeki pürüzlülük değerinin 2,4 Ra olduğu, sacdaki pürüzlülük değerinin ise 1,7 Ra olduğu görüldü. Yaklaşık 7000 ton haddelemenin sonunda haddedeki pürüzlülük değerinin 2,0 Ra olduğu, sacdaki pürüzlülük değerinin ise 1,2 Ra olduğu görüldü. Ölçüm sonuçları Şekil 5.16'de verilen grafikte gösterilmiştir.



**Şekil 5.16** Haddeleme sonrası pürüzlülük değişim grafiği

Şekil 5.16'dan elde edilen verilere göre iki durum tespit edilmiştir;

- 1- Lazer ile pürüzlendirilmiş haddelerde aynı hadde kuvveti altında saca aktarılan pürüzlülük miktarının EDT yöntemine kıyasla daha fazla olduğu doğrulanmıştır. Bunun nedeni, pürüzlülük formundaki tepecik yapılarının daha yüksek ve oval olmasıdır.
- 2- Haddeleme servis ömrü bakımından, EDT ile pürüzlendirilmiş haddelerde yüzey pürüzlülük değeri ile lazerle pürüzlendirilmiş haddelerdeki yüzey pürüzlülük değerinde belirgin fark görülmemiştir. Halbuki pürüz tepelerinin yuvarlak ve kırılmaya daha dayanıklı olmasından dolayı PDT yöntemi ile elde edilen pürüzlendirmenin daha dayanıklı olması gerekirdi. Sadece haddelemenin ilk aşamalarında EDT ile pürüzlendirilmiş haddedeki pürüzlülük değeri lazere kıyasla biraz daha düşük seyretmiştir. Bunun nedeni, EDT ile pürüzlendirilen yüzeyde tepecikler daha sivri olduğu için ilk haddeleme esnasında krater tepeleri kırıldığından pürüzlülük değeri değişmektedir. Lazer ile pürüzlendirilmiş yüzeyde krater tepeleri ovaldır ve kırılmaya daha dirençlidir.

### 6.1 Sonuç

Tez sayesinde, soğuk sac haddelenmesinde sac ile hadde tezgahı arasındaki son temas yüzeyi olan iş haddesi yüzeyinin verimli bir şekilde şekillendirilmesine ait önemli gelişmeler tespit edilmiştir. Bu tezde kullanımı en yaygın olan EDT yöntemi ile üzerine çalışmalar devam etmekte olan yeni nesil PDT yöntemi karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular;

- 1- Literatür araştırmaları sonucu tüm pürüzlendirme yöntemlerinin kendine has pürüz karakteristiği olduğu tespit edilmiştir.
- 2- Yeni nesil sistem olan PDT yöntemiyle pürüzlendirilmiş hadde yüzeyinde, başarısı denenmiş sistem olan EDT yöntemiyle pürüzlendirilmiş hadde yüzeyine benzer homojenlikte pürüzlülük elde edilmiştir. PDT yönteminin, beklenen pürüzlülük homojenliğini sağlayabildiği görülmüştür.
- 3- PDT ile pürüzlendirilmiş hadde yüzeyindeki tepecik sayısının (RPc) EDT ile pürüzlendirilmiş hadde yüzeyine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- 4- PDT ile pürüzlendirilmiş yüzeydeki tepeciklerin daha belirgin ve küresel tepeli olduğu gözlemlenmiştir.
- 5- PDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş haddenin saca transfer ettiği pürüzlülük derecesinin (Ra) EDT yöntemi ile pürüzlendirilmiş haddeye kıyasla yaklaşık %15 daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- 6- Eşit şartlar altında uygulanan belirli miktardaki üretimin sonunda, her iki hadde yüzeyindeki pürüzlülük değerlerinde belirgin fark görülmemiştir. Bununla birlikte, saca transfer edilen pürüzlülük derecesinin (Ra) daha fazla olmasından dolayı işletme ömrünün PDT yöntemi ile pürüzlendirilen haddelerde daha fazla olduğu değerlendirilmiştir.

Homojen ve fazla tepecik sayılı pürüzlülük elde edilmesi, yüzey kalitesi yüksek sac elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Saca aktarılan pürüzlülük derecesinin ve hadde işletme ömrünün fazla olması, haddeleme kuvvetinden ve hadde değiştirme işçiliğinden tasarruf edilmesine, yani verimliliğin artmasına katkı sağlamaktadır.

Soğuk haddelenmiş sacların şekillendirilebilmesi, boya tutunması ve özellikle boya sonrası yüzey görünümünün kalitesi açısından yüzey pürüzlülüğünün kontrol altında tutulması önem arz etmektedir. PDT yönteminde krater yapısı ve sayısı birbirinden bağımsız olarak kontrol altında tutulabilmektedir. Bu doğrultuda, pürüzlendirme yöntemleri içerisinde yüzey pürüzlülüğünü en iyi şekilde kontrol altında tutan yöntemin, bu tez kapsamında sunulan PDT yöntemi olduğu değerlendirilmiştir.

## **6.2 Öneriler**

Endüstriyel açıdan, sac haddeleyen kuruluşlar için sanayi ihracatımızda önemli yer tutan sacların sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından pürüze hakimiyetin çok önemli yer tuttuğu bilinmektedir. Bu bakımdan sanayi kuruluşlarımıza tez çalışmasının yararının görülmesi temenni edilmektedir.

Tez çalışmasında ortaya konulan bulgular, yüzey görünümünün önemli olduğu otomobil üreticileri ile birlikte irdelenerek ve deneme üretimler yapılarak geliştirilebilir. Ayrıca son kullanıcı deneme üretimleriyle soğuk haddelenmiş sac kalitesini arttırmaya yönelik yeni yaklaşımların belirlenmesine ışık tutulabilir.

Tez çalışmasının devamında pürüzlülüğün lazer parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmesi ve lazer parametrelerinin pürüzlülüğe göre kontrol edilebilmesi üzerine çalışma yapılması hedeflenmektedir.

- [1] K. H. T. K. Kazuhiro Abotani, «Hot-Dip Galvanized Sheet Steel with Excellent Press Formability and Surface Quality for the Automotive Panels,» KAWASAKI STEEL, Japan, 2003.
- [2] A. K. TOBIYAMA Yoichi, «Hot-Dip Galvanized Steel Sheet with Excellent Surface Quality for Automotive Outer Panels,» JFE, Japan, 2004.
- [3] K. M. Thomas Routschek, *TOPOCROM® – Texturing Technology and Advantages*, Almanya, İsviçre: Salzgitter-Topocrom Teknik Rapor, 2013.
- [4] B. ÇOLAK, *Soğuk Haddede Pürüzlülük Transferini Etkileyen Haddede Parametrelerinin Ve Malzeme Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi*, Karabük, 2018.
- [5] O. Elkoca, «A study on the characteristics of electrical discharge,» *Surface & Coatings Technology*, p. 2765–2774, 2008.
- [6] Türk Standartları Enstitüsü, «TS EN 10131-Yassı Çelik Mamuller- Soğuk Şekillendirme için Soğuk Haddelenmiş Kaplanmamış Düşük Karbonlu ve Yüksek Akma Dayanımlı Boyut ve Şekil Toleransları,» TSE, 1996.
- [7] W. L. ROBERTS, *Cold Rolling of Steel*, New York: Marcel Dekker Inc., 1978.
- [8] M. E. YURCİ, *Talaşsız Şekil Verme*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, 2003.
- [9] L. Çapan, *Metallere Plastik Şekil Verme*, İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 2003.
- [10] M. E. YURCİ, *Talaşsız Şekillendirmede Analiz Ve Gelişmeler I-II Yüksek Lisans Ders Notları*, İstanbul.
- [11] Z. Wusatowski, *Fundamentals of Rolling*, Polonya: Pergamon Press, 1969.
- [12] ERDEMİR, *Teknik Özellikler Kataloğu*, Zonguldak: Erdemir, 2009.
- [13] V. B. Ginzburg, *Flat-Rolled Steel Processes Advanced Technologies*, USA: Taylor & Francis Group, LLC, 2009.
- [14] Jussi Paakkari, *On-line flatness measurement of large steel plates using moiré topography*, FINLAND: Technical Research Centre of Finland, 1998.

- [15] Claudio Blanco Siemens AG, «Prerequisite for perfect cold band - Innovative and reliable flatness,» %1 içinde *Measurement and control – A key to quality*, Germany, 2008.
- [16] R. U. D. F. G. Julio Molleda, «On-Line Flatness Measurement in the Steelmaking Industry,» *sensors*, pp. 10245-10272, 2013.
- [17] ABB, «[www.new.abb.com](http://www.new.abb.com),» ABB, [Çevrimiçi]. Available: <https://new.abb.com/products/measurement-products/flatness-measurement/flatness-systems>. [Erişildi: Ağustos 2019].
- [18] Vollmer, «[www.vollmergmbh.de](http://www.vollmergmbh.de),» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.vollmergmbh.de/en/produkte-bfi-rolle.html>. [Erişildi: 1 Ağustos 2019].
- [19] A. D. Günter Spreitzhofer, «Contactless measurement for strip flatness in cold rolling mills,» *Millennium steel 2k4*, no. Cold Rolling, pp. 1-4.
- [20] SAE Iron and Steel Technical Committee Division 32, *SAE J911-Surface Roughness and Peak Count Measurement of Cold-Rolled Steel Sheet*, USA: Society of Automotive Engineers, 1998.
- [21] TSE, *TS 6956 EN ISO 4287, Geometrik Mamul Özellikleri (GMÖ) – Yüzey Yapısı: Profil Metodu - Terimler, Tarifler ve Yüzey Yapısı Parametreleri*, 2014.
- [22] DIN Deutsches Institut für Normung, *DIN EN 10049, Measurement of roughness average Ra and peak count R<sub>Pc</sub> on metallic flat products*, 2006.
- [23] The American Society of Mechanical Engineers, *ASME B46.1-Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)*, USA, 2002.
- [24] TSE, *TS EN ISO 11562, Geometrik Mamul Spesifikasyonları - Yüzey Yapısı : Profil Metodu - Faz Düzeltici Filtrelerin Metrolojik Karakteristikleri*, ANKARA, 1999.
- [25] C. Prof. Ing. Emil Evin, «Electro-Discharge Texturing Of Tools Surfaces For Rolling Of Steel Sheets,» *Transfer inovácií*, 2015.
- [26] M. Cavallari, P. Gaboardi, R. McWhirter, M. Perassolo ve C. Trevisan, «New Surface Finishes for Cold Rolling Mills,» %1 içinde *METEC*, Dusseldorf, 2015.
- [27] A. V. Gorbunov, V. K. Belov ve D. O. Begletsov, «Texturing of Rollers for the Production of Auto-Industry Sheet,» *STEEL IN TRANSLATION*, pp. 696-699, 2009.
- [28] M. W. K. S. T. G. F. Z. M. E.-M. D.K. Aspinwall, «Electrical Discharge Texturing,» *Int. J. Mach. Tools Manufacturing*, cilt 1/2, no. Vol.32, pp. pp. 183-193, 1992.

- [29] Nanofocus, «[www.nanofocus.de](http://www.nanofocus.de),» Nanofocus AG, 2017. [Çevrimiçi]. Available: [https://www.nanofocus.de/fileadmin/user\\_upload/Download-Dokumente/Produktdatenblaetter\\_E/NanoFocus\\_usurfmobile\\_E\\_270411\\_web.pdf](https://www.nanofocus.de/fileadmin/user_upload/Download-Dokumente/Produktdatenblaetter_E/NanoFocus_usurfmobile_E_270411_web.pdf). [Erişildi: 1 Nisan 2018].