TEKNOLOJİ, Cilt 6, (2003), Sayı 1-2, 79-92

TEKNOLOJİ

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇME YÖNTEMLERİ VE MUKAYESESİ

Abdulkadir GÜLLÜ Ahmet ÖZDEMİR Halil DEMİR

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06200, Beşevler, Ankara, Türkiye

ÖZET

Talaş kaldırarak imal edilen makine parçalarında elde edilen yüzey pürüzlülüğü, malzeme yapısının, seçilen işleme şartlarının ve yönteminin kesin bir göstergesi olmuştur. Yapılan çeşitli araştırmarlarda yüzey pürüzlülüğünün doğru olarak ölçülmesi ve üretim şekli için en uygun yüzey pürüzlülük ölçme yönteminin tercih edilmesi önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada; meydana gelen pürüzlülüğün ölçülmesi veya kontrol edilmesinde, günümüzde kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin teknik özellikleri özetlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmeye dayalı araştırma yapanlara bir kılavuz kaynak olması ve doğru yöntem seçimi için yol göstermek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey pürüzlülüğü, Pürüzlülük ölçme yöntemleri.

SURFACE ROUGHNESS MEASUREMENT METHODS AND THEIR COMPARISON

ABSTRACT

Surface roughness of the mechanical parts that are manufactured by chip removal is the result of material structure, machining parameters and method selected. In the various researches, the correct measurement of surface roughness and the selection of the best surface roughness measurement method are accepted as a very important decision for the production method. In this study, methods used today and their technical properties for the measurement and control of the surface roughness are summarized. It is aimed that this paper makes a guidence for the researchers who wants to measure surface roughness, and is a source for appropriate selection of surface roughness measurement method.

Key Words: Surface roughness, Roughness measurement methods.

1. GİRİŞ

Ölçme işlemine genel olarak bakıldığında, ölçülen kriter ve ölçme yöntemi ne olursa olsun, ölçme işleminden beklenen en önemli sonuçlar, ölçme yönteminin ve sonuçlarının doğruluğu, gerçekliği ve kesinliği olmuştur [1]. Seçilen ölçme yönteminden elde dilen sonuçların tekrarlanabilir ve yeniden elde edilebilir olması, ölçme sonuçlarının doğruluğunu etkilemektedir [2]. Sürekli akan bir üretim hattında yapılacak Ra ölçümlerinin doğruluğu, gerçekliği ve kesinliği, elde edilen deney sonuçlarının kabul edilebilirliğinin bir göstergesidir [3]. Ölçme yönteminin gerçekliliğinin ve kesinliğinin, uluslararası bir kritere dayalı, pratikte uygulanabilir ve bütün ölçme yöntemlerini ve sonuçlarını kapsayan yöntemlrin ortak özelliği olması gerekmektedir [4,5,6]. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmeyi esas alan yöntemlerin incelenmesinde ve tanıtılmasında uluslararası benimsenen kriterlere uygunluk dikkate alınmıştır.

Talaş kaldırarak şekillendirme sırasında; seçilen yönteme, kesici cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısıl faktörlerin ve kesici-işparçası arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde genellikle istenmediği halde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denmektedir [7].

Değişik parçaların biraraya gelmesiyle oluşan ürün kalitesini ve endüstriyel makinaların performansını arttırmak, yeterli seviyede hassas işlenmiş yüzeyleri gerektirmektedir. Aynı malzemenin farklı cins metotlarla aynı yüzey pürüzlülük değerinde işlendiği, bazen bunların korozyon, sürtünme, aşınma ve yorulma dayanımı olarak farklı davranışlar gösterdikleri bilinmektedir. Yüzeylerin pürüzlülüğünden başka yüzeydeki işleme izlerinin yönü ve dağılımları da malzemenin performansını önemli derecede etkilemektedir [8,9].

İşleme sırasında, kesici takımlardaki hatalar, titreşimler, kesici kenarındaki malzeme sıvanması gibi faktörlerin olumsuz etkisi en aza indirilerek kullanılan kesici türüne, geometrisine ve ilerlemeye bağlı olarak en iyi bitirme değeri elde edilmesi amaçlanmaktadır.

1.1. Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Yüzey pürüzlülüğüne birden fazla faktörün etkisi bulunmaktadır. En önemlileri aşağıda listelenmiştir

- İşlenen malzemede bağlamadan dolayı oluşan deformasyon,
- İlerleme mekanizmasındaki düzensizlikler,
- İşlenen malzemedeki yapı bozuklukları,
- Kırılgan malzemelerin işlenmesi sırasında düzensiz talaş akışı,
- Kolay şekillendirilebilir malzemeler düşük kesme hızlarında işlendiği zaman, işlenen malzeme yüzeyindeki yırtılmalar,
- Talaş akışının sebep olduğu bozukluk,
- Kesme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- İlerleme hızında meydana gelen düzensizlikler,
- Kesme esnasındaki talaş derinliği,
- Kesici takımın soğutulma ve yağlanma koşulları,
- İşlenen malzemenin kimyasal bileşimi ve metalurjik (atomik) yapısı,
- Kesicinin tasarımı, geometrisi ve kesme kapasitesi,
- Takım tezgahının tipi, rijitliği ve çalışma şartları,
- Kalıp ve bağlama aparatları,
- İşlenen malzemeden talaş kaldırma şekli,
- Yatak ve takımlarda oluşacak geometrik bozukluklar, vb.

1.2. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Yüzey kalitesinin sayısal değerlerinin belirlenebileceği “ortalama çizgi” (M) ve “zarf sistemi” olarak adlandırılan iki yöntem kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerin büyük bir çoğunluğu M yöntemini benimsemekte, bu ülkelerin bir kısmı ortalama pürüzlülüğü (Ra) bir kısmı da en büyük pürüzlülüğü (Rmax), yüzey pürüzlülük ölçme kriteri olarak kullanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve “değerlendirme uzunluğu” olarak tanımlanan standard bir aralıkta ölçülmektedir [10,11,12].
Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan bakımından eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafe Ra olarak, orta eksenin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeri Rq (RMS) olarak, değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması Rz, değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe Rmax (Ry), filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafe de Rt olarak adlandırılmaktadır. Bunların dışında pürüzlülükle ilgili daha onlarca parametre tanımlanmaktadır [13,14,15].

2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇME YÖNTEMLARI

2.1. Dokunma Yöntemi

En eski ve hala kullanılabilen bir metottur. Bir iğne, kalem ve hatta tırnak ucunun bir yüzey üzerine işleme yönüne dik olarak sürülmesiyle, yüzeyin pürüzlülüğü hakkında bilgi edinilebilmektedir [16].

2.2. Mekanik Çalışma Yöntemi

En az 500 gram ağırlığında çelik bilye kullanılarak; yüzeyin içine doğru 1 μm lik yer değiştirmesi yüzey pürüzlülüğünün bir ölçümüdür [17].

2.3. Hidrolik Yöntem

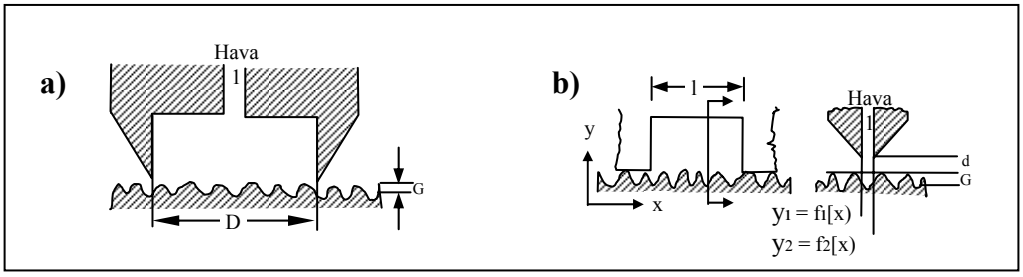
200 mm boyunda eğik bir düzlemde 0.25 cm^3'lük yağ damlasının geçiş zamanı (t) ve 10 nokta yükseklik parametresi (Rz) ilişkisi neticesinde aşağıda verilen eşitlik elde edilmiştir. Bu metotla 2~50 μm aralığında Rz değerleri tespit edilebilmektedir [18].

$$Rz = 0.13 \cdot t^{3.7} \qquad (1)$$

2.4. Pnömatik Yöntem

Düz yüzeylerin pürüzlülüğünün ölçülmesi için pnömatik ölçme yöntemi geliştirilmiş ve pürüzlülük ölçümlerinde yaklaşık 5 mm çapında ölçme başlığı kullanılmıştır (Şekil 1). Eğer bu başlık ucunun dairesel yüzey alanı y=f(x) eşitliği ile tanımlanırsa, hava için alan göstergesi prensibine göre pürüzlülük (G) aşağıdaki eşitlikle bulunmaktadır [19].

$$G = \frac{1}{\pi . D}\int_0^{\pi D} y.dx \qquad G = d\left(\int_0^{l} y_1.dx + \int_0^{l} y_2.dx - 1\right) \qquad (2)$$



Şekil 1. (a) Düz yüzeyler için çanak biçimli dairesel başlık (b) İnce uzun kanallı başlık

Yüksek basınçlı hava kullanımıyla yüksek hassasiyetli, hızlı cevap özellikli ve 0.05~3.7 μm Ra değerleri için lineer bölüntülü bir cihaz geliştirilmiştir. Bu cihaz düz yüzeyler gibi silindirik yüzeylerde de kullanılabilmektedir. Cihazın ölçme başlığında, hava göndermek için 125 μm çaplı ve ölçüm yapılacak yüzeyden 46 μm yukarıda bir delik yer almaktadır. Bu başlığın ağız açıklığı 2.54 mm olarak tavsiye edilmektedir. Delik ağzının her bir bölgesindeki yüzey eşitliği $y_1=f_1(x)$ ve $y_2=f_2(x)$ ise, yüzey pürüzlülüğü eşitliği yukarıdaki gibi verilmektedir [20].

2.5. Yüzey Dinamometresi Yöntemi

İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısının, sürtünen parçaların yüzey pürüzlülüğüne bağlı olmasından hareketle, sürtünme katsayısının dinamometre ile ölçülmesi sırasında, elde edilen F kuvveti yüzey pürüzlülüğü ile doğru orantılı olarak elde edilmektedir [21].

2.6. Kapasitans Yöntemi

Ortalama pürüzlülük yüksekliğinin ölçümü (Rc) bir paralel plakalı kondansatörün kapasite değişimine dayanılarak yapılabilmektedir. Plakalardan birisi referans alınacak olan kondansatörün düzgün yüzeyi, diğeri ise test edilecek yüzey olarak dikkate alınmaktadır. Her iki yüzey birbirlerinden katı bir yalıtkan ile ayrılmış olmalıdır. Yalıtkana temas eden pürüzlülüğü ölçülecek yüzey arasındaki boşluklara havanın dolmasıyla ikinci bir yalıtkanlık oluşmaktadır. Bu metot ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü, aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir [22, 23].

$$Rc = \left[\frac{A}{\pi.4C} - \frac{t}{D} \right].Da \qquad (3)$$

A : Levhaların anma alanı,
C : Sistemin kapasitansı,
t : Yalıtkanın kalınlığı,
D : Yalıtkanın geçirgenlik katsayısı,
Da : Havanın geçirgenlik katsayısı

2.7. X Işını Yöntemi

Mikroskop altında yüzey üzerine küçük açılarla gönderilen X ışınları 0.00254 μm ile 0.0508 μm arasındaki yüzey pürüzlülük yüksekliklerinin ölçümünü sağlamaktadır [24].

2.8. Elektron Mikroskobu Yöntemi

Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme hassasiyetine sahip olmasına rağmen, ölçüm yapılacak yüzeyin boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve yüzey pürüzlülüğü görüntüsünü kopyalama sırasında oluşabilecek zorluklar bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır [25].

2.9. Optik Mikroskop Yöntemi

Herhangi bir parçanın yüzeyi bir büyüteç veya mikroskopla gözlenebilmektedir. İncelenecek numunenin yüzeyine yoğunlaştırılmış ışın gönderilerek aydınlatılmakta ve ışınların etkisi ile (mercek vasıtasıyla) meydana gelen şeklin görüntüsüne bakılarak, yüzeydeki boşluklar ve onların meydana getirdiği en büyük açı ve yüzey yapısı hakkında değerlendirme yapılmaktadır [26, 27, 28].

2.10. Kesit Alma Yöntemi

Numunenin ince kesitinin alınmasından sonra koruyucu bir metal tabaka ile yüzey kaplanmakta ve yüzeyin dik kesitinden optik yansıtma yapılarak yüzey düzensizliklerinin büyütülmüş hali görülmektedir. Gerekirse şeklin optik olarak daha da büyütülmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemin olumsuz yönü numunenin tahrip edilmesi mecburiyeti ve ölçme yavaşlığıdır [29, 30].

2.11. Karşılaştırma Mikroskobu Yöntemi

Cihazın çıplak gözle bakılan ekranında; hem kontrolü yapılacak yüzeyin büyütülmüş kesitini, hem de arka planda kıyaslamaya esas alınan referans yüzeyin büyütülmüş kesitini birlikte görmek esasına dayalı bir metottur. Bu kıyaslamada; aynı malzemeden yapılan, aynı işleme yöntemiyle en iyi sonucu veren iş parçasının görünüşü referans alındığında, aynı grubu oluşturan diğer iş parçalarının uygunluk kontrolü kolayca yapılabilmektedir [31].

Karşılaştırma hassasiyeti, özel mikroskoplar yardımıyla 15x-200x kat arasında yükseltilebilmektedir. Kontrol edilecek parça yüzeyi ile standard örnek yüzeyi karşılaştırma mikroskobu altında aynı ışık konumu ve aynı oranda büyütme ile aynı zamanda yan yana getirilerek mukayese edilmektedir. Lambalardan gelen ışık demeti kondansatörden geçerek, demetleri ikiye bölen tüp aracılığıyla standard örnek yüzeye sevk edilmekte, demetin diğer yarısı ise objektif ve diyaframdan geçerek kontrol edilecek yüzeye sevk edilmektedir. Diyafram, görüş sahasının biri solda, diğeri de sağda olmak üzere yan yana oluşacak şekilde yerleştirilmiştir.

2.12. Optik Yansıtma Yöntemi

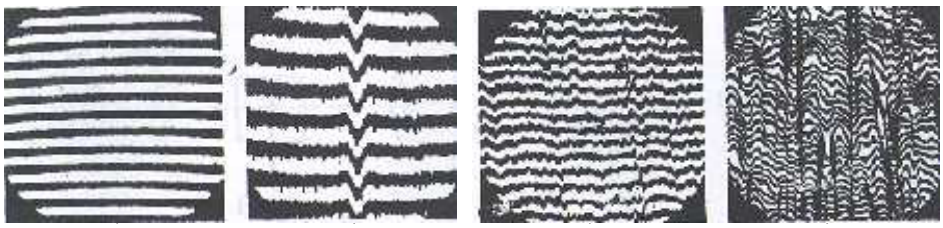
Bir yüzeyin ışığı yansıtma gücü, pürüzlülüğün bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Eğer ışığın dalga (λ) boyu Rq değerinden çok büyükse yansıtma gücü sadece yüzey pürüzlülüğüne bağlı olmamakta, düzensizliklerin eğimi dikkate alınmamaktadır. Bu şartlarda ρ_0'ın (pürüzsüz yüzeyin yansıtma katsayısı) ρ'ya (pürüzlü yüzeyin yansıtma katsayısı) oranı aşağıdaki eşitlikle bulunmaktadır.

$$\log_{10}\frac{\rho_0}{\rho} = (4\pi Rq)^2 / (2{,}303)\lambda^2 \qquad (4)$$

Yüzeyin iki ayrı dalga boyunda ölçülmesi, yüzey pürüzlülüğünün ve pürüzlülük eğimlerinin Rq değerlerinin hesaplanmasına imkan vermektedir [32,33].

2.13. Optik Parazit Aletleri Yöntemi

Çok düzgün yüzeyler parazitlenme bakımından test edildiklerinde, yüzeyler optik olarak parlatılmadıkları sürece, yüzey izleri testere dişi görüntüsünde olmaktadır. Bu görüntü yüzey üzerinde mevcut olan yüzey bozukluklarından kaynaklanmaktadır. Parazit mikroskobu, bir optik yüzeyin yardımıyla oluşturulan yüzey izlerinin büyütülmesini sağlamaktadır.



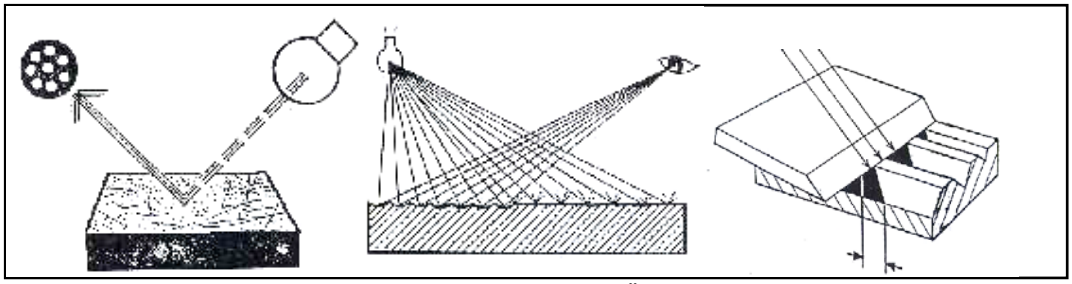
Şekil 2. Taşlanmış ve leplenmiş çelik yüzeyler

Şekil 2 a ve b'de bu yöntemi esas alan bir ölçme aleti tarafından çekilmiş taşlanmış çeliğin bir yüzey fotoğrafı görülmektedir. İki veya üç yüzey izi boşluğu arasındaki tepeden çukura olan yükseklik 20~30 μinç olarak tespit edilmiştir [13,34]. Şekil 2 c ve d'de görülen leplenmiş çeliğin yüzey fotoğrafı beklendiği gibi düzgün yüzeyindeki düzensizlikler genellikle yüzey izi boşluklarının bir çeyreğini aşmayacak şekilde elde edilmiştir (örneğin 2 ila 3 μinç). Şekil 2 d'de yaklaşık 8 μinç derinliğinde olan merkezdeki bozulma dikkat çekicidir.

2.14. Işık Yansıması (İnterferometri) Yöntemi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ışık yansıması yöntemi, yüzeye açılı olarak yansıtılan ışınkların bağıl miktarının gözlenmesi esnasına dayanmaktadır. Yüzey pürüzlülüklerinin büyüklüğünden ziyade malzemenin şekli, yansıyan ışın miktarını belirlemektedir.

Bu metotda, ışın huzmesi bölünüp iki ayrı uzunluktaki yoldan gönderildikten sonra birleştirilmekte ve bu ışığın yoğunluğu, en büyük veya en küçük değerde elde edilmektedir. Bu durum; ışınların aynı fazda ya da 180 derece faz farkında bulunmalarına bağlı olmaktadır. Demetlerden birinin küçük bir alana yansıtılmasıyla elde edilen büyütülmüş ışın kırılma modeli yoluyla yüzey pürüzlülüğü incelenebilmektedir [26].



Şekil 3. Işık Yansıtma Yöntemiyle Ölçme Prensibi

Işık yansıması yönteminin bir çeşidi mikrointerferometre yöntemi ile yüzey pürüzlülüklerinin veya düzgünlüklerinin ölçülmesidir. Mikrointerferometre yöntemi, üst üste gelen ışınlarda birbirine göre yarım dalga boyu büyüklükte olanların yok olacağı prensibine dayanmaktadır. İşlenmiş yüzeylerde işleme esnasındaki eğrilerin hassas bir şekilde derinliğini hesaplamak mümkün olabilmektedir.

Düz olduğu varsayılan kenarın açılı olarak yüzeye izdüşümünü sağlamak veya düz bir kenarın yüzeye çaprazlama yerleştirilmesi esasına dayanan bir diğer ışın yansıması yöntemi, optik kesme yöntemidir. Bu metot, ışın demetlerinin boylarındaki sapmaların ölçümlerinin mikroskop ile alınması esasına dayandırılmıştır. Bu metot kaba işlemeden sonraki yüzeylerin hatta hiç işlenmemiş yüzeylerin pürüzlülük ölçümünde çok daha kullanışlı olmaktadır [27].

2.15. Replika (Mask) Yöntemi

Yüzey kalitesi ölçümünün gerektiği bazı şartlarda ve yüzeyin parça üzerindeki yeri nedeniyle pürüzlülük ölçümü yapmak mümkün olmadığında, ölçüm yapılacak yüzeyin önce bir maskının çıkarılması gerekmektedir. Sellüloz-asetat filmi asetonla yumuşatılmakta ve sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırıldığında elde edilen mask yüzeyin karakterini yaklaşık %80 oranında temsil etmektedir. Çağdaş teknolojide bugün epoxy ve diğer reçine türlerinden yararlanarak %100'e yakın sonuçlar elde edilmektedir [35].

2.16. Standard Örnek Yüzeyler Yöntemi

Standard yüzeylere göre, iş parçasının yüzey kalitesi mukayese edilmektedir. Üretim atelyelerinde çok yaygın olarak kullanılan bu uygulamada çeşitli firmalar tarafından üretilen standard örnek yüzeyler, siyah plastikten yapılmış bir gövde üzerine yerleştirilmiş ve yüzeylerin üzerine, talaş kaldırma yöntemiyle beraber Ra ve Rt pürüzlülük değeri yazılmıştır. Örnek yüzeyler Ra ve Rt değerlerine göre düz veya silindirik olarak değişik talaş kaldırma yöntemleri ile belirli hızlar ve ilerlemelerle işlenmekte ve işlenen bir parçanın yüzey pürüzlülüğü, aynı malzemeden yapılmış ve aynı metotla işlenmiş uygun bir örnekle mukayese edilerek kontrol edilmektedir [36].

2.17. Işık Bantlı Mikroskop Yöntemi

Yaklaşık 1 µm yüksekliğindeki yüzey pürüzlülüğünün kontrol edilmesinde kullanılabilen ışık bantlı mikroskoplar ile kontrol edilecek yüzeye dokunmadan ve zarar vermeden, büyük bir hassasiyetle ve basit bir işlem ile ölçme yapılabilmektedir. Burada uygulanan metotda, kontrol edilecek yüzeye eğimli olarak gönderilen düz ışık huzmeleri, yüzey üzerinde dar bir ışık bandı oluşturmaktadır. Bu ışık bandı, yüzey ile ışık huzmesi düzleminin ara kesit izini belirtmekte ve kontrol edilen yüzey üzerindeki pürüzlülüğü oluşturan girinti ve çıkıntılar arakesit izi üzerinde kertikli çizgi olarak görülmektedir. Işık bandı, belirli bir açı altında gözlenerek yüzey pürüzlülük değerleri oküler içinde görünen doğru çizgilere göre belirlenmektedir.

2.18. Elektro- Fiber Optik Sistem Yöntemi

Bu metotda, yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme x ve y yönünde hareket edebilen ayarlanabilir bir tablaya bağlanmakta ve malzeme yüzeyi yatay konuma getirilmektedir. Malzeme, sabit ve dik konumda olan fiber-optik algılayıcı altından x,y tablası hareketi ile sabit bir hızla geçmektedir. Algılayıcıdan malzeme yüzeyine dik olarak gönderilen ve malzeme yüzeyine odaklanmış olan ışın bu yüzeyden yansımaktadır. Malzeme yüzeyi ile 45 derece açı yapacak ve yüzeyle arasında 1 mm açıklık olacak şekilde yerleştirilen fiber optik kablo yüzeyden yansıyan ışının bir kısmını diğer ucuna yerleştirilen foto algılayıcıya taşımaktadır.

Malzeme yüzeyine gelen ışınlar, yüzeyin pürüzlü olması nedeni ile dağılıma uğramakta ve yansıma açıları farklı olacak şekilde yansımaktadır. Malzeme yüzeyindeki pürüzlülüğe neden olan mekanik çizgiler arasındaki mesafe ışık dalga boyu mertebesinde ise, yüzey bir ışık kırıcı gibi davranış göstemektedir [37]. Malzeme yüzeyine gelen ışınların farklı ışıma fazında yansıması (spektruma ayrılması) ve malzeme yüzeyindeki çizgilerin düzensiz oluşuyla, yansıyan farklı fazdaki ışıma, ışık şiddetinde dağılmaya neden olmaktadır. Işık şiddetindeki dağılma miktarı ile yüzey pürüzlülüğü arasında kurulan doğrudan ilişkiyle yüzey pürüzlülüğü tespit edilmektedir [38].

2.19. İnterferans Mikroskop Yöntemi

Son yıllarda süper bitirme işlemi görmüş yüzeyleri ölçmek ve kontrol etmek bakımından büyük önem kazanan interferans ölçme yönteminde, yüzeye temas olmadığı için ölçülen numunenin zarar görmesi söz konusu değildir. Ölçme lâboratuarlarında ve üretim atölyelerinde kullanılmak üzere imal edilen mikroskoplarla, yüzey pürüzlülüğü 0.03 μm ile 2 μm arasında olan numuneler ölçülmektedir. Kontrol edilen yüzeyin pürüzlülük durumu, mikroskobun büyütülmüş görüntüsü içinde birbirine paralel parlak siyah bantlar halinde görülmektedir. Düz yüzeylerde bu bantların aralıkları birbirine eşit, küresel ve silindirik yüzeylerde ise, muntazam bir şekilde azalarak dağılmaktadır. Gözlenen yüzeyin yükseklik değişimleri siyah bandın çevre sınırıyla temsil edilmekte ve yükseklikler bant birimleri veya kısımlarıyla ölçümlendirilmektedir [39].

2.20. Kisilev Profilometresi Yöntemi

Kisilev tarafından tasarlanan KB-7 modeli profilometre 0.01 μm ile 10 μm arasında olan yüzey pürüzlülüklerinin mikro düzensizliklerini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu profilometre, iğnenin incelenen yüzey üzerindeki hareketi sırasında yaptığı salınıma bağlı olarak bir elektro motif kuvvetin meydana getirilmesi esasına göre çalışmaktadır (Şekil 4). 12 μm yarıçapında bir elmas uç taşımakta ve 2 nolu yassı yaya asılan 1 nolu iğne ucu yüzey düzensizlikleri üzerinde gezindiğinde iğnenin üst kısmı, 5 nolu mıknatısın 4 ve 6 nolu kutupları tarafından oluşturulan magnetik alan içerisinde salınım yapan 3 nolu endüksiyon bobinini tahrik etmektedir. Bobin hareketiyle elde edilen küçük akımlar yükselticiden geçirilerek bir galvanometreden okunmaktadır.



Şekil 4. Kisilev Profilometresi'nin Çalışma Şeması

İğne, bir motordan alınan hareketle incelenen yüzey üzerinde, 0.5 ile 2.5 gr arasında bir basınç ile ve 10 veya 50 mm/sn hızla hareket etmektedir. Ayrıca, profilometreye bir osilograf (salınım kaydedici) bağlandığında, yüzeyin profilografisi çıkartılabilmektedir.

2.21. Yaylı Tip Profilometreler Yöntemi

Endikatör prensibine göre yapılmış mekanik olarak çalışan bir yüzey pürüzlülüğü ölçme profilometresidir. Hafif ağırlıkta ve küçük ölçüler içinde yapılmış olan alet üzerinde üç adet küresel sert metal destek yer almaktadır. Elmas uçlu iğne, desteklerden birine açılan delik içine yerleştirilmiştir. Alet, kontrol edilecek yüzey üzerinden çapraz olarak yavaşça geçirildiğinde, yüzey pürüzlülüğü saat üzerindeki göstergeden Ra ve Rt pürüzlülük değerleri olarak okunmaktadır. Küçük, hafif ve sağlam bir yapıya sahip olduğu için bu alet genellikle üretim atelyelerinde, ölçme odaları ve lâboratuarlarında değişik biçim ve boyutlardaki iş parçalarının kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Bu aletlere takılan elmas uçlu iğnenin uç açısı 60º ve uç kavis yarıçapı 0.01 mm veya 0.005 mm'dir. Ölçme baskısı yüzeye dik doğrultuda 1 gramdır [40,41].

2.22. Elektrikle Çalışan Profilometreler Yöntemi

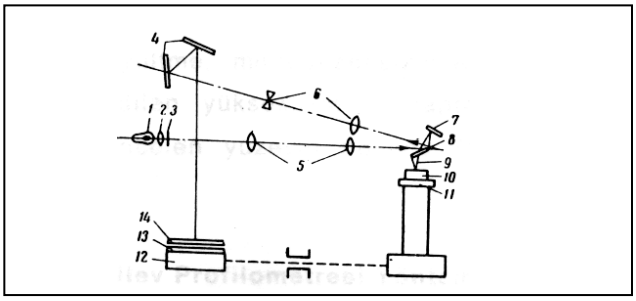
Bu aletlerin çalışma prensibi, yüzey üzerindeki pürüzlülüğe göre düşey olarak hareket eden ve bu hareketleri elektrik sinyaline dönüştüren elmas uçlu iğnelere dayanmaktadır. İğne uç, bir başlığa bağlıdır ve başlık iş parçası yüzeyine kontrol edilebilir bir seviyede tutularak iğne ucun fiziksel olarak yüzeyi yakından izlemesi sağlanır. İğne ucun parça yüzeyi boyunca tarama hareketi esnasında oluşan mekanik sapmalar, başlık tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller, elektronik olarak yükseltilir ve ibreli gösterge veya sayısal okuma ünitelerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde aktarılır veya kaydetme ünitelerinde yüzey pürüzlülüğü büyütülmüş olarak milimetrik kağıtlara kaydedilmektedir. İzleyici uç; yüzey

pürüzlülüğünü belirleyecek özellikte, uç kısım sert metalden 60º ve 90º'lik koni biçiminde ve tepesi küresel olarak yapılmıştır. Küre yarıçapı genellikle 0.01 mm'dir. İnce işlenmiş yüzeyin kontrolü için bu değer 0.002 mm'ye kadar küçültülebilmektedir. İğnenin yüzeye devamlı temasını sağlamak için 2.5 gramı geçmeyen bir baskı kuvveti uygulanmaktadır. Başlık; piezoelektrik, elekro-magnetik vb. gibi sistemlerden biriyle çalışabilmektedir. Günümüzde yapılan pek çok profilometrede, iğne ucun gezintisi ile orantılı elektrik sinyalleri üreten duyarlı başlıklar kullanılmaktadır. Başlık, bir destek elemanına bağlı olmakta ve bu elemanın yaptığı doğrusal ileri - geri hareket içinde iş yüzeyi boyunca devamlı temas ederek kaymaktadır. Başlık, iş yüzeyine bir destek üzerine dayanmaktadır. Destek, kavis yarıçapı pürüzlülük dalga boyundan çok büyük olan bir dayanma elemanı olup, başlığın alt tarafında ve izleyici ucun önünde ve yanlarında bulunur.

Bünyesinde bir elektrik motoru, bir dişli kutusu, bir hareket vidası ve bir sürgü bulunan. hareket ünitesi; başlığın iş yüzeyine paralel bir düzlem boyunca hareket etmesini sağlamaktadır. İleri-geri hareketin, 2.5 ila 30 mm/sn arasında olan hızı ve 1.5 ila 25 mm arasında olan kursu ayarlanarak kontrol edilebilmektedir. Elle kullanılan başlıklarda hız ayarı operatörün becerisine bağlıdır. İnce işlenmiş yüzeylerde küçük yarıçaplı iğne kullanarak hassas ölçme yapmak gerektiğinde 0.125 ile 1 mm/sn'lik düşük hızlar tercih edilir.

2.23. Levin Profilografi Yöntemi

Levin profilografi yöntemi, yüzeydeki düzensizliklerin mikroskop yöntemi ile ölçülmesi esasına dayanmaktadır. İncelenecek yüzey büyütülerek pürüzlülük ölçümü yapılmaktadır (Şekil 5). 1 nolu lambadan çıkan ışın demeti 2 nolu mercekten, 3 nolu diyaframdan ve 5 nolu optik sistemden geçtikten sonra 7 ve 8 nolu aynaların üzerine düşürülmektedir. 8 nolu ayna 9 nolu iğne ucuna bağlanmıştır. 7 ve 8 nolu aynalardan yansıyan ışın demeti, 6 nolu optik sistemden geçmekte ve 4 nolu aynalar tarafından yansıtılarak 14 nolu silindirik merceğe ulaşmaktadır. Böylece, 3 nolu diyaframda geçen görüntünün 12 nolu tambur üzerine sarılmış 13 nolu hassas fotoğraf filmi üzerine düşmesi sağlanmakta ve diyframın izdüşüm halindeki görüntüsü, burada bir ışık noktası şeklinde elde edilmektedir. Yüzeyi ölçülecek 10 nolu makina parçası, 11 nolu tablanın üst diski üzerine yerleştirilmekte ve 11 nolu tabla, 12 nolu tamburun dönüşüne uygun olarak 9 nolu iğne ucuna göre çapraz hareket yapmaktadır. Profilografın çıkarılma hızı, tamburun dönüş hızının değişmesine bağlı olarak değişmektedir. Tabla hareketinin hızı sabit kaldığından, yatay ölçekler, 25 ve 50 kez büyütülmüş olarak elde edilebilmektedir. 6 nolu objektifi değiştirip 9 nolu iğne ucunu da manivelası üzerindeki çeşitli deliklere yerleştirilerek, dikey büyütme 250 ile 5000 arasında değiştirilebilmektedir. Dikey büyütme, mikro düzensizliklerin 12 nolu tambur üzerine kaydedilen yüksekliklerini tayin etmektedir. Yatay büyütme ise incelenen yüzeyin boyunu (1.75~7 mm) belirlemektedir.



Şekil 5. Levin profilografi sistemin çalışma prensibi

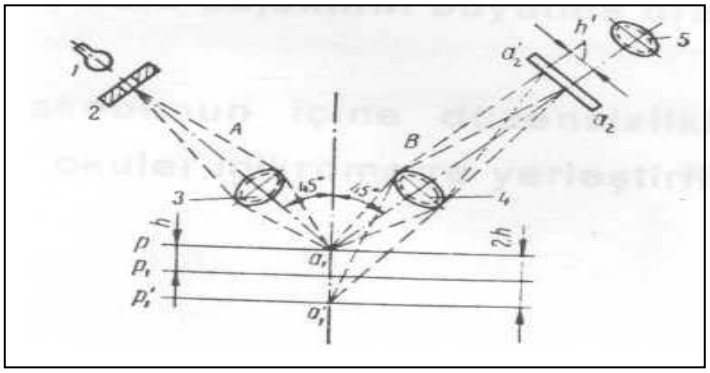
2.24. Linnik İkili Mikroskobu Yöntemi

Linnik ikili mikroskobu, ışık kesiti esasına göre çalışmakta ve 0.32 μm ile 20 μm arasındaki yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılmaktadır. İncelenen yüzeyi aydınlatan A mikroskobu ve yüzeyi inceleyen B mikroskobu olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir (Şekil 6). Her iki mikroskobun eksenleri, incelenen yüzeyle 45º'lik açı yapacak şekilde yerleştirilir. Eksenlerinin kesişme noktası, objektifin cisim tarafındaki odak noktalarına rastlamaktadır.

A ve B mikroskopları aynı pozisyonlarda ve yüzey düzensizlikleri h ise, ışık demetinin P_1 yüzeyinden yansıtılan kısmı, a_1 noktasından veya P düzleminden 2h mesafesinde aşağıda bulunan P'_1 düzleminin a'_1 noktasından geliyormuş gibi görünür. Bu durumda 5 nolu oküler sistemin üzerine yansıyan iz görüntüsü B mikroskobunun ekseninden h uzaklığında olacaktır. Bu uzaklık:

h = 2.*x*.h.sin 45º'dir. Burada *x*, 4 nolu objektifin büyütme oranıdır.

B mikroskobunun içine, düzensizliklerin yüksekliklerini ölçmek için bir oküler mikrometre yerleştirilmiştir. Linnik'in ikili mikroskop düzenine kamera eklendiğinde, 0.9 μm'den 60 μm yüksekliğine kadar düzensizliklere sahip yüzeylerin fotoğrafik kayıtları elde edilebilmektedir. Linnik tarafından geliştirilen bir diğer cihaz mikroenterferometre ile 0.1 μm'den 6 μm' ye kadar olan düzensizlikler, 400 ile 500 kat kadar büyütülerek ölçülebilmektedir. Mikroenterferometre, ışık kırınım ve verilen kesitteki yüzey mikro düzensizlikleri yüzünden kırınım bantlarının bozulması, çarpıtılması esasına dayanmaktadır.



Şekil 6. Linnik İkili Mikroskobu Çalışma Prensibi

Mikro düzensizliklerin yüksekliğini gösteren a değerini ve yan yana olan bantların uzunluklarını gösteren b değerini ölçecek şekilde bir oküler sistem kullanılmıştır. Bu ölçümler sonunda mikro düzensizliklerin gerçek yüksekliği;

h= 0.25 a/b olarak elde edilmektedir.

2.25. Hava Mastarı Yöntemi

Bu yöntem genellikle dökümden çıkmış olan parçaların yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılmakla birlikte işlenmiş yüzeylerin prüzlülüğünün tespitinde de kullanılabilmektedir. Sisteme gönderilen hava basıncı, mastarın memesinden geri tepen basınç değeri veya sistemden sızan havanın fonksiyonları, pürüzlülük değerini belirlemektedir. Yüzey pürüzlülüğünün hava mastarı yöntemi ile ölçülmesinin bir değerlendirilmesi yapılırsa aşağıdaki özellikler sıralanabilir:

- Bu metot işleme izlerinin rasgele oluştuğu yüzeylere uygulanabilir.
- Cihazın tekrarlanabilirlik kararlılığı oldukça iyidir.
- Herhangi bir değerdeki pürüzlülük ölçülebilir.

2.26. Fotoğraf Yöntemi

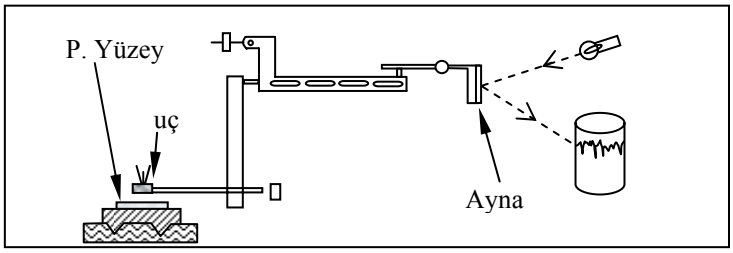
Yüzey pürüzlülüklerinin kıyaslanarak yorumlanabileceği bu yöntem, yüzey fotoğraflarının büyütülmesiyle yapılmaktadır. Yüzeylerde çalışma ve mukayese yapıldığında elde edilen bilgilerin dosyalanması, gruplar arasında tartışılması ve spesifik mukayesenin yapılması açısından önemli ve tercih edilen bir yöntem olduğu görülmektedir. Net görüntülü fotoğraflarda, yüzeyler arasındaki küçük sapmaları ayırt etmek mümkündür. Yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalaması için gerekli olan sayısal değer bu yöntemle elde edilememektedir. Derinliği yansıtan gölgelerin görünümü pürüzlülüğün yorumlanmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

2.27. Görsel Komparatörler Yöntemi

Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için görsel komperatörler, önceden değerlendirilmiş bir seri örnek yüzeyin üretimi tamamlanmış yüzeylerle mukayesesi esasına dayanmaktadır. Belirlenen yüzey pürüzlülüğünün, fonksiyonel olarak müsaade edilir değerlerde olduğu ve numunede belirlenmiş yüzey değerlerinden daha pürüzlü olmadığı kararının verilmesi için kullanılır. Görsel komperatörler yönteminin işlenmiş yüzeylerde başarılı olmasından dolayı benzer komperatörler dökümcüler tarafından kendi üretimlerinin yüzeylerine uygun tanımlamayı sağlayacak şekilde geliştirilmiş ve yüzeylerin kontrolünde bu komparatörler hassasiyetle kullanılmıştır. NAS 823 komperatör mastar farklı döküm üreticilerinin ürünleri arasında meydana gelen yüzey farklılıklarını tespit etmek için geliştirilmiş ve uçak parçaları için üretilen hafif metal döküm yüzeylerinin değerlendirmesinde kullanılmaktadır.

2.28. Çok Sayıda Yüksekliğin Mastarla Okunması Yöntemi

Çeşitli yükseklik ölçme cihazları, hassas yükseklik sapmalarını okumak için ideal indikatörler kullanılarak geliştirilmiştir. Her bir alet spesifik problemin çözümü için geliştirilmiştir (Şekil 7). Bu cihazlar, döküm yüzeylerin ölçülmesinde kullanıldığında bazı olumsuz yönler tespit edilmiştir.



Şekil 7.Yükseklik Ölçme ve Kaydetme Prensibi

- Rasgele izler için uygun olduğu görülmüştür.
- Ölçme yöntemlerinin önemli bir göstergesi olan tekrarlanabilirlik standard sapması iyi değildir [1-6]
- Ölçülebilecek pürüzlülük değerlerinin alt ve üst sınırları yoktur.
- Mastarlar hızlı ölçme yapmak için uygun ve kolaydır. Bu yöntemdeki çok sayıda ölçme gerekliliği ve ortalama değerin hesaplanması çalışmayı zorlaşmaktadır.
- Seçilen alanın uygunluğu ve neticenin yüzeyin tipini belirlediği hususların tespiti için insan kararına ihtiyaç duyulmaktadır.

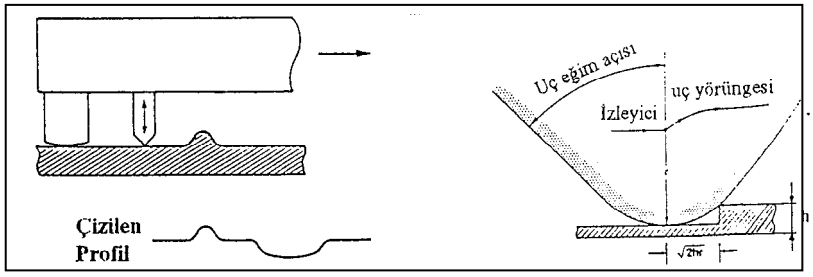
2.29. Kaydedici İndikatör Yöntemi

Kaydedici indikatör olarak tanımlanan yüzey pürüzlülüğü indikatörü yöntemi, yüzey izinin büyültülüp değerlendirme ve çalışma için kaydedildiği bir indikatör tipidir. Kullanılan elektrik toplayıcı (veri toplayıcı) oransal olarak genişletilmiş iz üzerinde kaydedici iğnenin hareketinin güçlendirilmesi ile düşey hareketli izleyici uç tarafından üretilen elektrik darbesiyle ölçme yapan bir sistemdir. Düşey ve yatay büyültme ölçekleri eşit olmadığından düşey büyültmenin çok büyük değerine erişilerek hassas sapmaların belirlenmesi ile ayrıntılı bir izi tanımlamak mümkündür.

- Çok sayıda okuma sonucunun ortalaması alındığı için rasgele iz seçimi mümkündür.
- Uygun ölçme yapıldığında tekrarlanabilme özelliği oldukça iyidir.
- Değişik ölçülerin mevcut olması herhangi bir pürüzlülük oranını belirlemektedir.
- Değişik şekilli ve büyük parçaların ölçme donanımına göre ayarlanması zor olmaktadır.
- Ayarlama ve yeterli sayıda okuma gibi insan kararları gerektiren durumlar içerir.
- Donanımlar kullanılmadığında değerlendirme için gerekli hesaplamalar, oldukça fazla zaman kayıbına yol açmaktadır.

2.30. İzleyici Uçlu (Stylus) Cihazlar Yöntemi

İzleyici uçlu cihazlar, çok sivri bir izleme ucu kullanılarak ölçüm yapılan yüzey üzerinde, yüzey düzensizliklerine çapraz yönde ve değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilirken meydana gelen titreşimlerin büyütülerek, hareketli bir şerit üzerine kaydedilmesi veya göstergeden okunması esasına dayanmaktadır [42]. Mekanik, pnömatik, elektronik veya optik destekli imal edilen cihazlarda izleyici ucun yüzey üzerindeki baskısı çok az, pürüzlülük büyütme oranı 100.000 kata kadar olabilmektedir. İzleyici ucun mekanik yer değiştirmelerini kolayca elektrik sinyallerine dönüştürebilen elektrik donanımlarda kullanılan iki çeşit transdüser tercih edilmektedir.



Şekil 8. İzleyici Uç Prensibi

Pikap iğnesi gibi yüzeyde doğrusal bir hat boyunca kayıt yapan araçlar (Stylus tipi araçlar) işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde basit bir yöntem olarak yaygınlık göstermiştir. İğnenin uç yarıçapı, yüzeyin pürüzlülüğünü değerlendirmeye imkan verecek ölçüde küçük olarak seçilmelidir [43,44].

Ucun geometrisinin mükemmel olmayacağı ve elmas ucun dahi zamanla aşınacağı dikkate alınırsa, uç yarıçapına bağlı olarak sonuçların okunmasına ilişkin hataların çıkacağı belirtilmiştir. İşlenmiş yüzeylerde oluşan pürüzün şekli ve uç yarıçapından kaynaklanan hataya örnek olarak, 60º açılı konik izleyici bir ucun, hipotetik bir yüzeyde enine hareketi ile elde edilen temsili izinin şekli, Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. İzleyici Uçtan Kaynaklanan Ölçme Hatası

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Litaretür taramasından elde edilen yüzey pürüzlülük ölçme yöntemleri, ölçme hızı dikkate alınarak, (a) uygulama şekli bakımından tahribatlı veya tahribatsız, temaslı veya temassız (b) ölçme hassasiyeti bakımından ise kaba, orta veya hassas olarak gruplandırılmıştır. Uygulamalara bakıldığında derlenmiş olan bu 30 metottan bazıları genel kullanım açısından tatmin edici netice vermemekle birlikte kabul edilebilir durumlarda olumlu sonuçlar vermektedir. Bu metotlar genellikle "kaba" olarak gruplanan bölümde yer almaktadır. Bu yöntemler parçanın fonksiyonuna bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Üretimde kullanıldığı, şartlardan doğan problemler için tatmin edici sonuçlar vermişler ve parçanın kabul işlemleri için kullanılmışlardır. Bu metotlar, ortalama bir yüzey pürüzlülük değeri ölçmemekte ve son kararı kullanıcının vermesi bu gruba giren pürüzlülük ölçme alet ve cihazlarının güvenilirliğini azaltmaktadır.

Ulaşılması zor olan yerlerdeki yüzey pürüzlülüğü, incelenen yüzeyin bir kopyasının hazırlanması ve kopya yüzeyin üzerindeki mikro düzensizliklerin, daha önce anlatılan yöntemlerden uygun olan biri kullanılarak ölçülmesiyle elde edilebilmektedir. Kopya çıkarılırken incelenen yüzeyin profilinin % 2-3'ten fazla bozulmaması gerektiği ayrıca vurgulanmıştır.

Pürüzlülüğü 0.05 μm ve daha küçük olan değerlerin elde edildiği yöntemler "hassas" olarak değerlendirilmiştir. Diğer yöntemlerin ise, "orta" grubu teşkil ettiği kabul edilmiştir.

Temaslı grubu oluşturan yöntemlerin çoğunun ölçme hassasiyeti bakımından kaba veya orta grupta olduğuna dikkat edilmelidir (Tablo 1). Temastan kaynaklanan ölçme hatalarının yöntemin tabii yapısından kaynaklandığı ve ölçme sonuçlarında oluşan toplam sistematik hatanın büyük olduğu unutulmamalıdır.

Temassız gurubu oluşturan yöntemlerin çoğunun ise hassas olarak değerlendirilen kısımda yer aldığı görülmektedir.

Yöntemlerin sadece üç tanesi tahribatlı olarak değerlendirilebilir. Diğer yöntemlerin tahribatsız olmaları tercih için geniş bir yelpaze oluşturmaktadır.

Tablo 1. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Yöntemleri ve Özellikleri

	ÖLÇME YÖNTEMİ	UYGULAMA ŞEKLİ				ÖLÇME HASSASİYETİ		
		Tahribatlı	Tahribatsız	Temasli	Temassız	Kaba	Orta	Hassas
1.	Dokunma Yöntemi		●	●		●		
2.	Mekanik Çalışma Yöntemi	●		●		●		
3.	Hidrolik Metot		●	●		●		
4.	Pnömatik Metot		●		●			●
5.	Yüzey Dinamometresi	●		●		●		
6.	Kapasitans Yöntemi		●		●		●	
7.	X Işını Yöntemi		●		●			●
8.	Elektron Mikroskobu Yöntemi		●		●			●
9.	Optik Mikroskop Yöntemi		●		●	●		
10.	Kesit Alma Yöntemi	●		●		●		
11.	Karşılaştırma Mikroskobu Yöntemi		●		●	●		
12.	Optik Yansıtma Yöntemi		●		●			●
13.	Optik Parazit Aletleri Yöntemi		●	●			●	
14.	Işık Yansıması (İnterferometri) Yöntemi		●		●			●
15.	Replika (Mask) Yöntemi		●	●		●		
16.	Standart Örnek Yüzeyler Yöntemi		●		●	●		
17.	Işık Bantlı Mikroskop Yöntemi		●		●			●
18.	Elektro-Fiber Optik Sistem Yöntemi		●		●			●
19.	İnterferans Mikroskop Yöntemi		●		●			●
20.	Kisilev Profilometresi Yöntemi		●	●				●
21.	Yaylı Tip Profilometreler Yöntemi		●	●				●
22.	Elektrikle Çalışan Profilometreler Yöntemi		●	●				●
23.	Levin Profilografi Yöntemi		●		●		●	
24.	Linnik İkili Mikroskobu Yöntemi		●		●	●		
25.	Hava Mastarı Yöntemi		●		●	●		
26.	Fotoğraf Yöntemi		●		●		●	
27.	Görsel Komperatörler Yöntemi		●		●	●		
28.	Çok Sayıda yüksekliğin Mastarla Okunması Yöntemi		●	●		●		
29.	Kaydedici İndikatör Yöntemi		●	●			●	
30.	İzleyici Uçlu (Stylus) Cihazlar Yöntemi		●	●				●

Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde, pürüzlülük aralığı, pürüz tepelerinin ve yanaklarının yaptığı açılar, pürüzlülük dağılım eğrisi gibi önemli kriterler etkili olmaktadır. Bu kriterlerin gözle tespitine ve değerlendirilmesine imkan veren pürüzlülük grafiklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Grafik alma özelliği olan cihazlar pürüzlerin kaydedilmesi yönüyle daha somut ve kapsamlı bilgilenme ve karar vermeye yardımcı olması bakımından tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. **ISO 5725-1,** Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results, Part 1 : General Principals and Definitions, 1994.
2. **ISO 5725-2,** Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results, Part 2 : Basic Method for the Determination of Repeatability and Reproductability Of Standard Measurement Method, 1994.
3. **ISO 5725-3,**Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods And Results, Part 3 : Intermediate Measure of The Precision of a Standard Measurement Method, 1994.
4. **ISO 5725-4,** Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods And Results, Part 4 : Basic Method For The Determination of The Trueness of a Standard Measurement Method, 1994.
5. **ISO 5725-5,** Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods And Results, Part 5 : Alternative Methods for the Determination of the Precision of a Standard Measurement Method, 1998.
6. **ISO 5725-6,** Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results, Part 6 : Use In Practice of Accuracy Values, 1994.
7. Güllü, A., "Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu", **Doktora Tezi,** Ankara, Eylül - 1995.
8. Sherington, I and Smith, E.H., "Parameters for Characterizing The Surface Topography of Engineering Components". **Proc. Instn Mech. Engrs**, Part C, 201 (c4), 297-306, 1987.
9. Thomas, T. R., Characterizing of Suface Roughness. Precision Engng, 1 3 (2), 97-104, 981.
10. Thomas, T. R. and Charton, G., "Variation of Roughness Parameters On Same Typical Manufactured Surfaces". **Precision Engng,** 3 (2), 91-96, 1981.
11. King, T. G. and Spedding, T.A., On The Relationships Between Surface Profile Height Parameters. Wear, 83, 91-108, 1982.
12. Reason, R. E., The Measurement Of Surface Texture, 1970 (RTH).
13. A. J. T. Scar, "Metrology and Precision Engineering", **Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited**, New York, 1991.
14. ISO 4287 / 1 - 1984 (E / F / R).
15. Dagnall, H., Exploring Surface Texture, 1980 (RTH).
16. Barash, M., "Shop Built Instrument Checks Surface Finishes", **Machinery** 72, 177, 1966.
17. Törnebohm, H., "Modern Tolerance Requirements and Their Scientific Determination", **Mechanical Engineering**, 411, July 1936.
18. Kamnev, V. V., "Integral Evaluation of Surfaces Roughness", **Measmt. Tech.**, no:2 February 1966.
19. Nicolau, M., "Aplication du Micromètre Solex à la Mesure de l'ètat des Surfaces", **Mecanique** 1937.
20. Graneek, M., Lee, A. M. and Wunsch, H. L., "Application of Pneumatic Gagging to the Measurement of Surface Finish", **Machinery,** 81 September, 1952.
21. A. M. Swigert, "Story of Superfinish", p. 91 ff, Lynn Publishing Company, Detroit, Mich., 1940: Surface Finish, American Society of Mechanical Engineers, 1942.
22. Perthen, J., "Ein Neues Verfahren Zum Messen Der OberfläChengüte Durch Die KapazitäT Eines Kondensators", **Maschinengüte,** 15 (no: 23/24), 669, 1936.
23. Gabe, D. R., "Methods of Measuring Surface Roughness", **Metallurgy** 72 (no: 429), 1965.
24. Guentert, O. J., "Development of Surface of Measurement System", **Raytheon Co., Research Div., Waltham, Mass., U.S.A. Interim Engineering Progress Repor**t No. S-860 (1 st January - 31 st March), 1966.
25. Anderson, W. A., Griffin, G. L., Mooney, C. F. and Wiley, R. S., "Electron Microscope Method for Measuring Diffraction Gratin Groove Geometry", **Appl. Optic**, 4 (no: 8), 999, 1965.
26. Tolansky, S., "Multiple Beam Interferometry of Surfaces and Films", (Oxford University Press), 1966.
27. Wada, H., "On the Oblique Incidence Type Microinterferometry", **Bull, Japan S. C. Prec. Engrs.** 1 (no: 4) 1966.
28. Sprague, R. A., "Suface Roughness Measurement Using White Light Speckle". **Applied Optics**, Vol 11, No 12, December, 1972, pp. 2811-2816.
29. Nelson, H. R., "Taper Sectioning as a Means of Describing the Surface Contour of Metals", **M. I. T. Proc. Special Summer Conf. on Friction and Surface Finish** 1940.
30. Schlesinger, G.,"Report on Surface Finish", 1942.
31. Green, E., "Review of Surface Texture Measurement and the Associated Meteorological Problem", 1967.

32. Bennett, H. E. and Porteus, J. O., "Relation Between Surface Roughness and Specula Reflectance at Normal Incidence", **J. Opt.** Soc. Am. 51 (no: 2), 1961.
33. Speckle in Optics. J. Opt. Soc. Am., Vol 66, No 11, December, 1976.
34. Leger, D., Mathiev, E. And Perrin, J. C., "Optical Suface Roughness Determination Using Speckle Correlation Techniqe". **Applied Optics**, Vol 14, No 4, 1975, pp. 872-877.
35. Karabay, M., Makina Mühendisliği El Kitabı, Ankara, 1987.
36. Küçükkağnıcı, A. S., "Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri", **Lisans Tezi**, . G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Ankara, 1997.
37. Ulaş, B. S. ve Danışman, K., "Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümünde ileri Fiber-Optik Sistemin Tasarımı ve Uygulaması", **2. Ulusal Makina Tasarım ve imalat Kongresi,** ODTÜ, Ankara, 17 - 19 Eylül 1996.
38. Hecht, E. and Zajac, A., Optics, "Addison - Wesley Publishing Company", U.S.A., 1974.
39. Stewart, Way, "Surface Roughness Methods of Measurment", **Product Engineering**, p 124.
40. Reason, R. E., "The Measurement of Surface Texture**", In Modern Workshop Technology** (Pt 2) (Cleaver-Hume Press Ltd.), 1960.
41. Snaith, B., Edmands, M. J. And Probert, S. D., "Use of a Profilometer for Surface Mapping. Precision Engng", 1981, 3 (2), 87-90.
42. Garratt, J. D., "A New Stylus Instrument With a Wide Dynamic Range For Use in Surface Metrology", **Precision Engng,** 1982, 4 (3), 145-151.
43. Whitehouse, D. J. "The Digital Mesurement of Peak Parameters on Surface Profiles". **J. Mech. Engng Sci.,** 1978, 20 84), 221-227.
44. Garlenko, O. A., "Assessment of Suface Roughness Parameters and Their Interdependence". **Precision Eng,** 1981, 3 (2), 105-108.

Copyright of Teknoloji is the property of Teknoloji and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.