



MANYETİK AŞINDIRICI TOZLAR YARDIMIYLA METAL YÜZEYLERİN PARLAKLIğINI OPTİMİZE ETMEDE İŞLEM PARAMETRELERİN ETKİSİ

Tuba Demirel^{1,a,*}

¹ Hasan Kalyoncu Üniversitesi, MF, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye.

^a tuba.demirel@hku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5760-3705

ÖZET

Günümüzün en önemli sorunlarından birisi metal yüzeylerinin pürüzlülüklerinin giderilmesidir. Çalışan bir mekanizmada, pürüzlü yüzey kullanılırsa eğer orada sürtünmeden dolayı aşınmalar oluşur buda parçanın daha fazla hasar görmesine neden olacaktır. Bu gibi durumların önüne geçebilmek için imalat sektöründe çeşitli yöntemler ile metal yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü giderilmektedir. Metal yüzeylerde düzgün ve pürüzsüz bir görünüm elde edildiğinde daha parlak yüzeyler oluşarak, yüzeydeki ışığın yansımaları daha fazla olacaktır. Manyetik aşındırıcılarla işleme yöntemi (MAİ) manyetik alan yardımıyla yüzeyden talaş kaldıran bir geleneksel olmayan imalat yöntemidir. Yüzey pürüzlülük değerinin azaltılarak istenilen kalitede olması için aşındırmayı yapan aşındırıcı toz malzemelerinin ve işlem parametrelerinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, özellikle çelik gibi metalik malzemelerin malzeme karakterizasyona başlamadan önce ön işlemler, metal yüzeyini parlatma, taşlama ve MAİ ile işleme üzerine yazılmıştır. Metal yüzeylerin pürüzlülüğünün en aza indirgenmesinde, aşındırıcı tozlar ile kullanılan işlem parametrelerinin yüzeyde daha az deforme yapması için gerekli koşullar ve aşındırıcı toz ile yüzey aşındırma teknikleri incelenmiştir. Literatürdeki yüzey işlem uygulamaları da incelenerek, aşındırıcı tozlar ile yüzey işleme konusunda çeşitli öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey pürüzlülüğü, Aşındırma yöntemi, Yüzey parlaklığı, Aşındırıcı toz çeşitleri.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Demirel, T., "Manyetik Aşındırıcı Tozlar Yardımıyla Metal Yüzeylerin Parlaklığını Optimize Etmede İşlem Parametrelerin Etkisi", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 95-126, 2023.

Geliş (Received): 09.06.2023

Kabul (Accepted): 17.11.2023

Yayın (Published): 31.12.2023

THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON THE OPTIMIZATION OF THE BRIGHTNESS OF METAL SURFACES WITH MAGNETIC ABRASIVE POWDERS

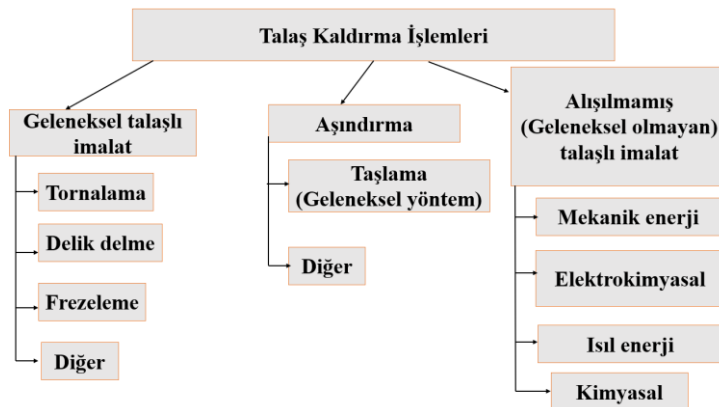
ABSTRACT

One of the most important challenges in today's world is the elimination of roughness on metal surfaces. When a rough surface is used in a working mechanism, friction can lead to wear. As a result, the component can be damaged. In order to prevent such situations, various methods of surface roughness reduction are being used in the manufacturing sector. When metal surfaces are smooth and uniform, they become shinier, resulting in increased light reflection from the surface. Magnetic Abrasive Finishing (MAF), a non-conventional manufacturing technique that uses a magnetic field to remove burrs from the surface, is one such manufacturing process. The selection of appropriate abrasive powder materials and process parameters is essential to achieve the desired quality by reducing surface roughness. The purpose of the study is to characterize, polish, grind, and process metallic materials, especially materials such as steel. In order to minimize the roughness of metal surfaces, the necessary conditions for abrasive powders and their process parameters to cause minimal deformation on the surface have been studied. In addition, the surface treatment applications in the literature were studied and various recommendations were given for the surface treatment using abrasive powder.

Keywords: Surface roughness, Abrasive method, Surface polishing, Types of abrasive dust.

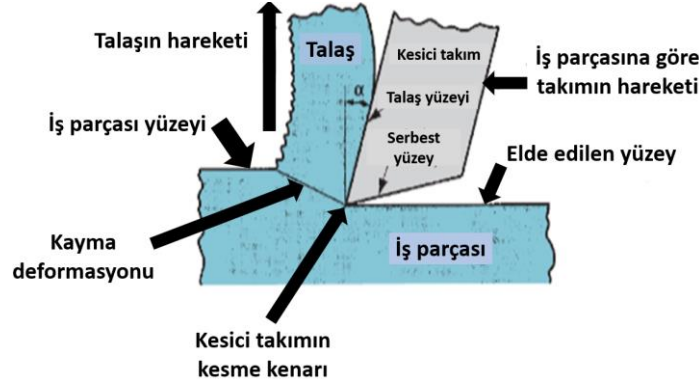
1. GİRİŞ

Talaşlı imalat ile metal iş parçaları şekillendirilmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde üç temel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, kesici takımın kullanılmasına göre değişmektedir (Şekil 1) [1-3].



Şekil 1. Talaş kaldırma işlem çeşitleri [1-3]

Talaş alma işleminde, iş parçasına temas eden kesici takım ile iş parçası arasında plastik-kayma deformasyonları görülmektedir. Malzeme kalkarken ısı oluşmaktadır. Şekil 2’de talaşın oluşum mekanizması verilmiştir [1, 4].

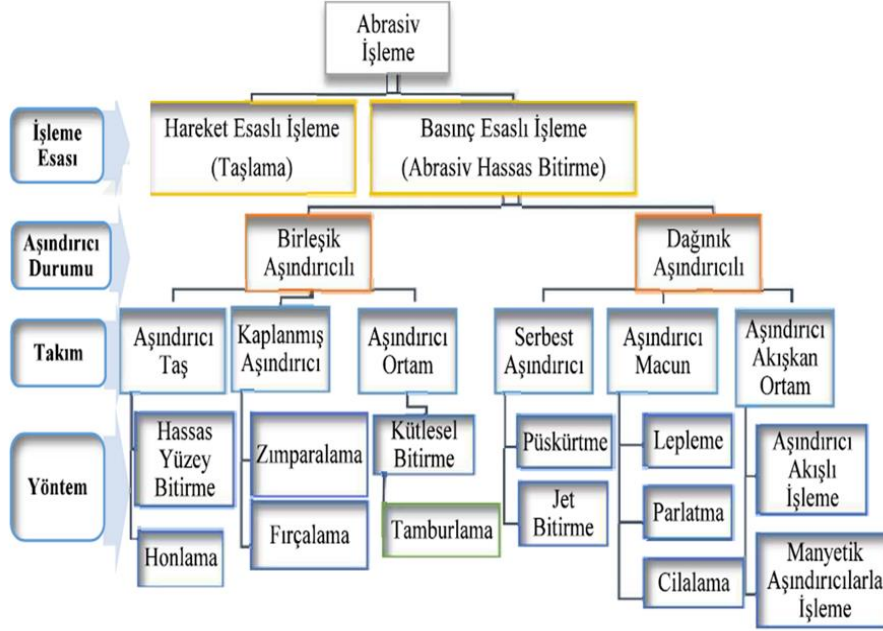


Şekil 2. Talaş oluşumunda kesici takım durumu [1, 4]

Talaş alma işlemi sonrasında yüzeyin kalitesi düştüğü için pürüzlenme meydana gelmektedir. Yüzey kalitesini arttırmak için de yüzey pürüzlülük değerini azaltıp yüzeyin parlak bir görünüme sahip olması sağlanmıştır. [5-9]. Talaşlı imalatta; kesme kuvvetlerinin yüksek olmasına bağlı olarak, işlenmiş yüzeylerde çatlak ve yırtılmalardan dolayı oluşan kalıcı artık gerilmeler oluşmaktadır. Havacılık ve uzay alanında abrasiv işleme yöntemleri geliştirilmiştir. Abrasiv işleme yöntemleri, işleme parçası üzerinde hasarsız yüzeyler oluşturarak yüzey kalitesini iyileştirme avantajına sahiptir [10, 11].

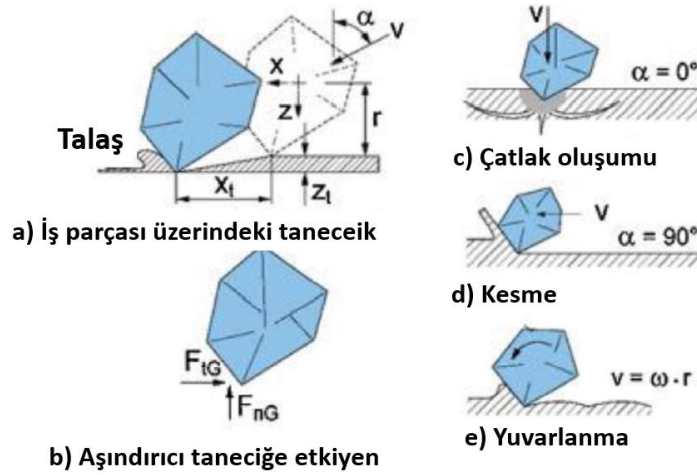
Abrazyon, abrazif veya abrasiv aşınma; “abrasive wear” şeklinde çizilme aşınması terimi ile literatürde geçmektedir. Birbiri ile temas eden iki farklı yüzeyin arasına sert küçük tozların girmesi sonucunda, aşınma meydana gelerek yüzeyde çizik hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Geleneksel imalat yönteminde bulunan taşlama işlemi ile plaka yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülük değerleri düşürücü işlemler yapılmaktadır. Küçük boyuttaki katı toz taneler, yüzey sertliği daha düşük olan yüzeye gömülerek sert yüzey üzerinden malzeme kaldırır. Bu aşınma mekanizması uzun süre gerçekleşirse eğer aşınan yüzey üzerinde tahribat oluşmaktadır [12-14]. Genel olarak ,hareket esaslı ve basınç esaslı abrasiv işleme yöntemleri ikiye ayrılmıştır. Hareket esaslı işleme yönteminde; yüzeyden belirlenen derinlikte talaş kaldırılmaktadır. Basınç esaslı işleme yönteminde ise kesme derinliği önemli değildir. Aşındırıcı tanelerin iş parçasına uyguladığı basınç sonucunda yüzeyden talaş kaldırılmaktadır. Her iki yöntem karşılaştırıldığında ise; hareket esaslı işlemede ölçüsel toleranslar kontrol edilebilmektedir. Basınç esaslı işleme yönteminde ölçüsel toleransların kontrolü mümkün

değildir. Basınç esaslı işleme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajı ise yüzey bütünlüğünü ve kalitesini iyileştirmektir (Şekil 3) [11, 15].



Şekil 3. Abrasiv yönteminin sınıflandırılması [11, 15]

Hashimoto ve ark., iş parçası (Şekil 4 (a)) ile tek bir aşındırıcı taneciğin (Şekil 4 (b)) talaş kaldırma mekanizmasını şekilsel olarak tanımlanmıştır. Abrasiv işleme yöntemlerinin tamamı incelendiğinde ise talaş kaldırma mekanizmalarının aynı olduğu belirtilmiştir. Aşındırıcı taneciklerde kinetik enerji oluşturularak iş parçası üzerindeki düzlem yüzeyden talaş kaldırılmıştır [11]. Sünek ve gevrek metallerin aşındırma mekanizma şekillerinin farklılığından dolayı aşındırıcı tanecikler yüzeye değişik çarpma açıları oluşturmaktadır. Düşük çarpma açılarında (taneciğin çarpma açısı $(\alpha) = 0^\circ$) tanecikler yüzeye dik kalacak şekilde aşındırmaktadır (Şekil (4c)). Yüksek çarpma açılarında (taneciğin çarpma açısı $(\alpha) = 90^\circ$ olduğunda) iş parçası yüzeyine aşındırıcı taneciğin teğet yöndeki momentum enerjisi aktarılarak yüzeydeki pürüzleri temizleme işlemi oluşmaktadır (Şekil 4 (d)). Aşındırıcı taneciğin iş parçası yüzeyine çarpma açısı daha da büyüdükçe aşındırıcı taneciğin açisal hızı (ω) oluşmaktadır. Açisal hız sonucunda yüzey üzerinde yuvarlanma hareketi oluşarak yüzeydeki pürüzleri yok etmektedir (Şekil 4 (e)). Sünek malzemelerde daha kolay talaş kaldırılmaktadır ama gevrek malzemelerden talaş kaldırılırken yüzeyin sert ve kırılğan olmasından dolayı çatlamlar meydana gelmiştir [11, 15-18].

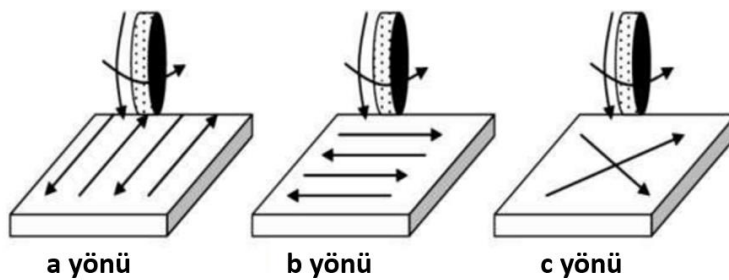


Şekil 4. a) Aşındırıcı tanecik kinematiği, b) Aşındırıcı tanecikteki kuvvetler, c) Taneciğin çarpma açısı (α) = 0° , tanecik ilerleme hızı (v) = 90° , d) Taneciğin çarpma açısı (α) = 90° , tanecik ilerleme hızı (v) = 45° , e) Taneciğin yuvarlanmadaki açısal hızı (ω) [11, 15-18]

2. METAL YÜZEYİ AŞINDIRMA YÖNTEMLERİ

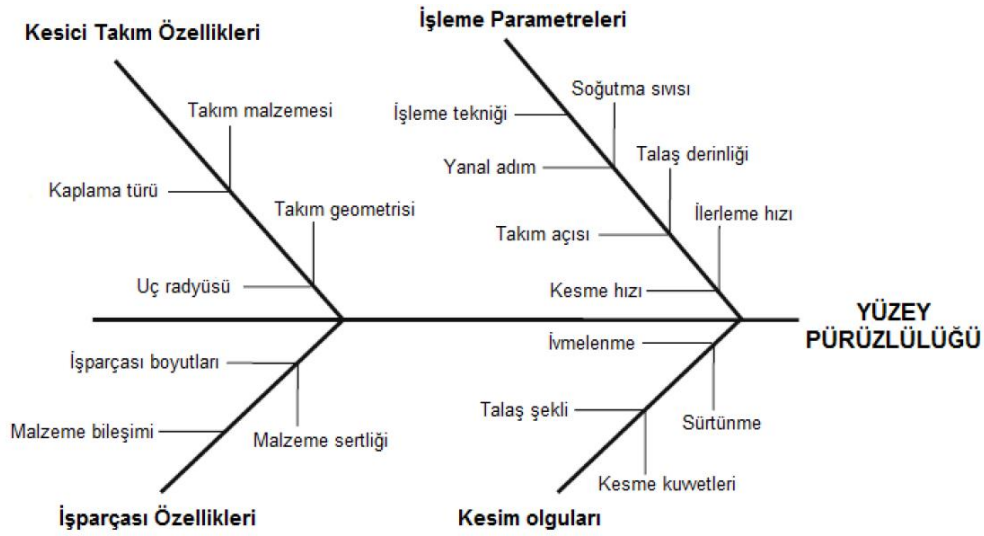
İş parçasının imalatı süresinde; maliyeti az tutarak üretim veriminin daha fazla olabilmesi için kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, aşınma değerleri, kesme parametreleri gibi işlem parametrelerinin belirlenmesi yüzeyin kalitesini arttırmada önemli olmaktadır [19-21].

Adıyaman ve Savaş çalışmasındaki taşlama işleminde; taşın ilerleme yönünde (Şekil 5 (a)), ilerleme yönüne dik yönde (Şekil 5 (b)) ve ilerleme yönüne 45° (Şekil 5 (c))'lik açılı yön doğrultusunda yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin üç yönde yapılması gerekmektedir. Metal yüzeye dikey (a yönü), paralel (b yönü) ve çapraz (c yönü) olacak şekilde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmalıdır [22]. Bu nedenle iş parçası üzerinde ilerleme yönleri tespit edilerek yüzey pürüzlülüğü ölçümleri dikkatlice alınmalıdır ve en az yapılan bu üç ölçümlerin aritmetik ortalaması ise yüzey pürüzlülüğünü vermektedir [9, 22].



Şekil 5. R_a değeri alınma yönleri [9, 22]

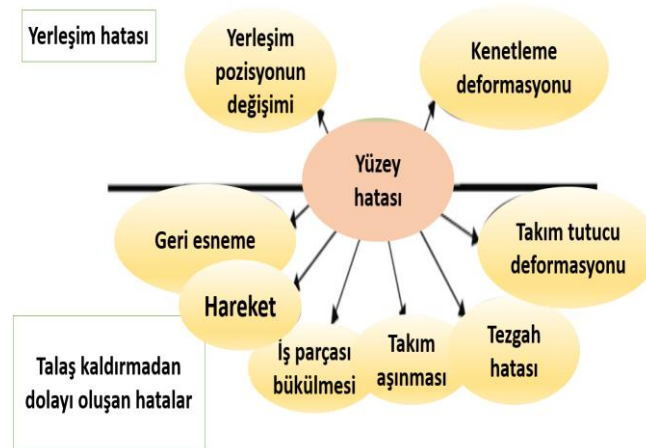
Talaşlı imalatta, metal yüzeyindeki pürüzlülüklerin yok edilmesi için çeşitli parametreler mevcuttur. Bu parametreler; iş parçasının malzemesi, talaş kaldırmada kullanılan kesici takım çeşidi, talaş kesme hızı, kalemin ilerleme hızı, talaş derinliği, oluşan ısı, soğutma sıvısı ve tezgah konstrüksiyonu gibi değişkenlerdir. Yüzey pürüzlülüklerinin hangi yöntemle giderileceği ve yüzeyin parlatılmasının sağlanacağı ise ilk önemli parametredir. İşleme sırasında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler ise Şekil 6'da gösterilmiştir [23].



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [23]

2.1. Yüzey İşleme Yönteminin Belirlenmesi

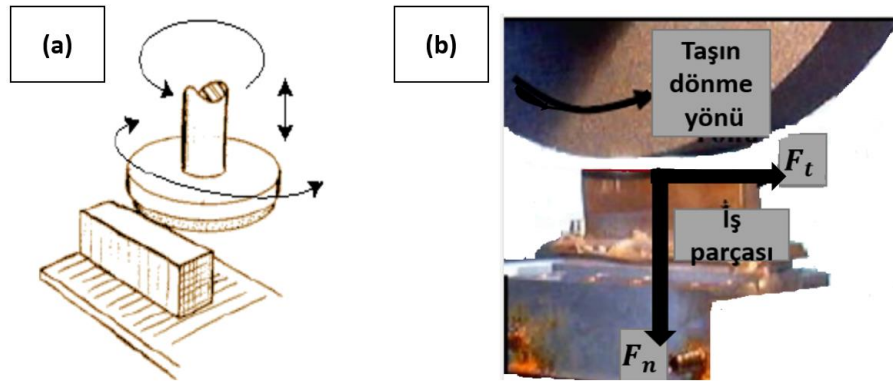
Yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi aşınma ile olmaktadır. Aşınmadan dolayı da yüzey hataları en azdan en fazlaya doğru oluşmaktadır. Şekil 7'de yüzey hataları tespit edilmiştir [24-26].



Şekil 7. Yüzey hata çeşitleri [24-26]

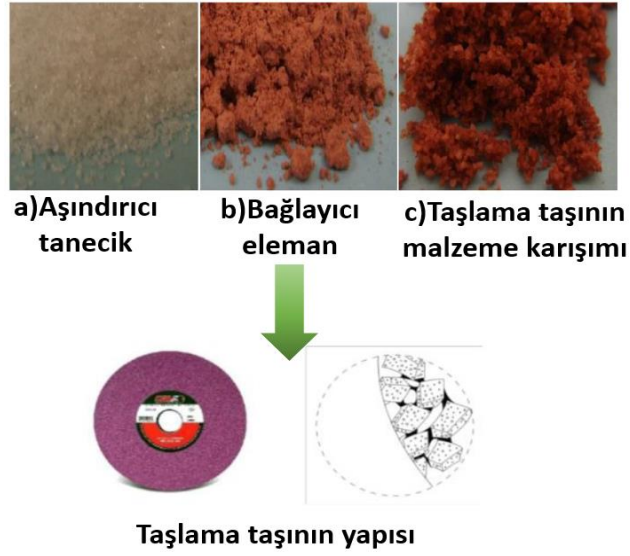
Sanayide en fazla düşey düzlem yüzey taşlama tezgahları kullanılmaktadır (Şekil 8 (a)). Tabla hızının düşmesi sonucunda da taşlama kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir [21, 27, 28].

Demir ve ark., düzlem taşlama işleminde yüzey parlaklığı oluşturmada yatay ve dikey kesme kuvvet bileşenlerinin (F_t) değerleri Normal kuvvetin (F_n) yaklaşık olarak 2~2.2 katı olduğu görülmüştür. Normal (F_n) kuvvet, esas kesme kuvvetinden (F_t) daha büyük olduğundan dolayı 2~2.2 katı değeri bulunmuştur (Şekil 8 (b)) [28].



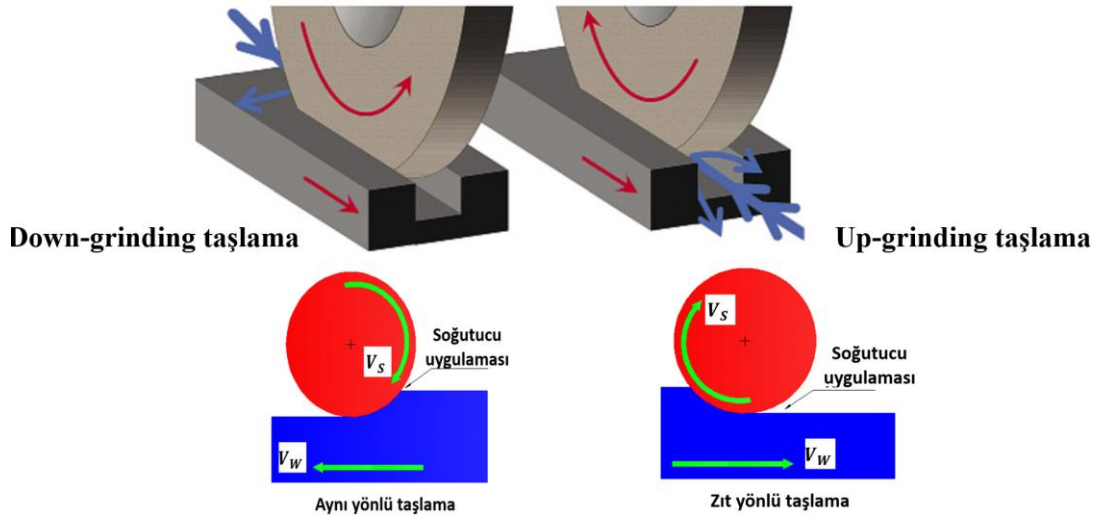
Şekil 8. Düzlem taşlama tezgahı; (a) Düşey düzlem yüzey taşlama, (b) Düzey düzlem taşlamadaki kuvvet bileşenlerinin gösterimi [21, 27, 28]

Taşlama yönteminde; talaş kaldırma işlemi aşındırıcı taşın yüzeyinde bulunan taneler ile iş parçası arasındaki sürtünme sonucunda olmaktadır. Aşındırıcı tanecikler taş yüzeyine iyice bağlanılmazsa zamanla dökülmektedir. Bir zımpara taşının sertliğini bağlayıcı malzeme tayin eder. Bağlama maddesinin yapıştırma kuvveti ise zımpara taşının sertlik ve yumuşaklığını belirtir. Taşlama taşlarında; % 54 aşındırıcı toz taneler (Şekil 9 (a)), % 26 bağlayıcı eleman (Şekil 9 (b)), ve taşlama taşının yapısında malzeme karışımı içinde (Şekil 9 (c)) % 20 boşluk bulunmaktadır. Taşlamada bulunan boşluk, talaş kırma ve aynı zamanda talaşın uzaklaştırılmasını sağlamaktadır [20, 21, 29-31].



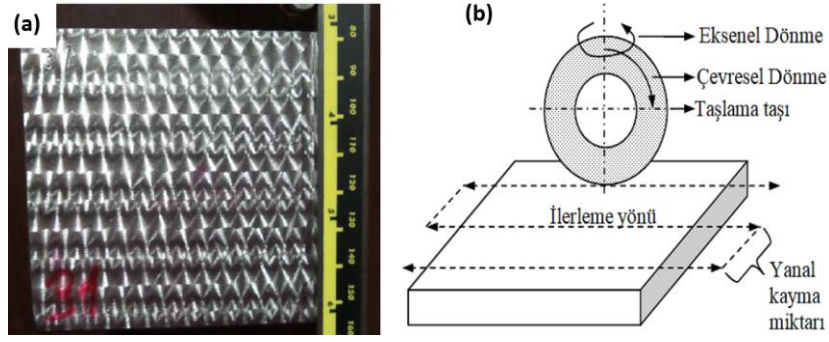
Şekil 9. Taşlama taşı malzemeleri [20, 21, 29-31]

Taşlamanın mekanizması; zımpara taşının teğetsel hızı ve iş parçasının hızı aynı yönlü olursa eğer zıt yönlü (up-grinding) taşlama, taşın teğetsel ve iş parçasının hızı ters yönlü olursa aynı yönlü (down-grinding) taşlama olmaktadır (Şekil 10). Up-grinding taşlama, iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, keskin kenarları düzeltmek veya belirli toleranslara ulaşmak gibi belirli iş parçası gereksinimlerini karşılamak için tercih edilebilir. Bu terim aynı zamanda yüzey taşlama veya ters-zıt yönlü taşlama olarak da adlandırılabilir. İş parçasının üzerinde daha ince kesimlerin yapılmasına izin vererek yüzey kalitesini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Down-grinding taşlama, iş parçasının taşlama tekerleği ile temas ettiği yüzeyin işleme işlemi sırasında iş parçasının üzerinden aşağı doğru indirilerek gerçekleştirildiği bir taşlama yöntemini ifade eder. Bu yöntemde, iş parçasının yüzeyini düzeltmek veya belirli toleranslara ulaşmak amaçlanır. Taşlama işleminin yüzey kalitesini iyileştirmek ve iş parçasının istenilen boyutlara ve toleranslara gelmesini sağlamak için kullanılmaktadır (Şekil 10) [26, 32, 33].



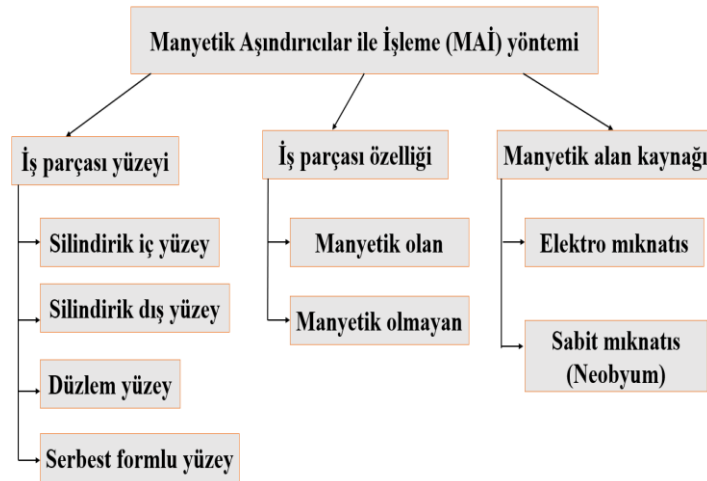
Şekil 10. Taşlama işleminde talaş oluşumu: (a) Zıt yönlü (up-grinding) taşlama, (b) Aynı yönlü (down-grinding) taşlama [26, 32, 33]

Adıyaman ve Sönmez, 75 mm çapında, iç delik çapı 20 mm ve 20 mm taş genişliği olan iki adet, farklı tane büyüklüğündeki taşlama taşını iş parçalarının taşlanması için kullanmışlardır. Taş tane büyüklüğü 46 olan (EKR46K6V) (Şekil 11 (a)) taş ile düşük R_a değerine ($0,494 \mu\text{m}$) ulaşılmıştır. Taş tane büyüklüğü 60 olduğunda (EKR60K6V) (Şekil 11 (b)), yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık % 25-30 oranında ($0,690 \mu\text{m}$) artmıştır. Taşlama taşlarındaki tane büyüklüğü, taş üzerindeki taneciklerin boyutları ile ilgilidir. Büyük tane boyutu ve daha sert sınıf taşlama taşları yumuşak malzemelerde kullanılmaktadır. Küçük tane boyutu ve yumuşak sınıf taşlama taşı sert malzemelerin taşlanmasında tercih edilmektedir [9]. Yanal kayma ve fener mili devri değerlerinin artması R_a değerlerini azaltırken talaş derinliğinin azalması R_a değerlerini azaltmaktadır. Bununla birlikte talaş derinliği parametresi de % 2 oranında bir değişim oluşturmaktadır. Çelik plakalar öncelikle 100 mm x 80 mm x 10 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarına getirilmiş ardından 4 mm ve 8 mm'lik yanıl kayma miktarları ile taşlanmıştır (Şekil 11 (b)). Taşlanmış iş parçalarının yüzeylerinin, zımpara taşının olduğu fener mili işleme hızına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. İşleme hızındaki devrin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azalarak yansımanın arttığını gözlemlemişlerdir [9, 34].



Şekil 11. Taşlama işlemi: (a) Taşlanmış yüzey, (b) Taşlama işlemi [9, 34]

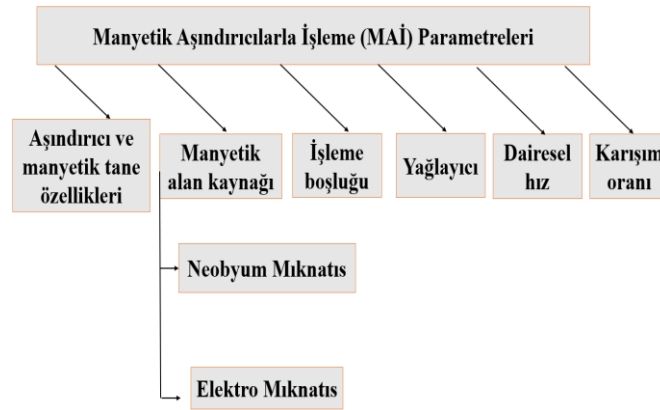
Manyetik Aşındırıcılar ile İşleme (MAİ) yöntemi, iş parçası yüzeyinden talaş kaldırılmasının manyetik kuvvet ile kontrol edildiği bir teknik olup geleneksel olmayan imalat çeşitleri içerisinde yer almaktadır, Uluslararası literatür incelendiğinde ise “Magnetic Abrasive Finishing (MAF)” veya “Magnetic Abrasive Polishing (MAP)” yöntemi olarak kısaltılmış durumları bulunmaktadır [10, 11, 15, 35, 36]. Bu yöntem, ilk olarak 1938'de Sovyetler birliğinde bulunmuştur. Daha sonra 1980'den beridir MAİ yöntemi konusunda Bulgaristan, Almanya, ABD ve Japonya'da bu konu üzerinde daha kapsamlı araştırmalar endüstriyel düzeyde devam etmektedir [26, 32, 37]. Bu yöntemde aşındırma yüzeyleri olarak metalik veya metalik olmayan iş parçaları seçilmektedir. Manyetik aşındırıcılar ile işleme yönteminde, zehirli kimyasalların kullanılmaması bu yöntemin bir çevre dostu olduğunu da göstermektedir [38]. MAİ yöntemine etki eden parametreler belirtilmiştir (Şekil 12) [36, 38].



Şekil 12. MAİ yönteminin sınıflandırılması [36, 38]

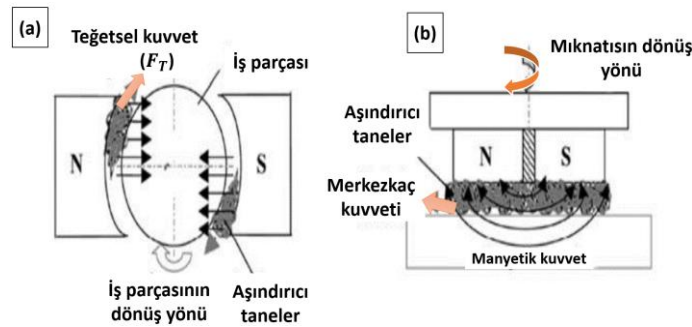
Manyetik aşındırıcılı fırça takımı (MAFT), iş parçasının yüzeyi üzerinden aşındırıcı tozlar farklı noktalardan manyetik alanın etkisi ile değişik açılarda kesme yaparak talaş

kaldırıldığı için yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmektedir. Mikro düzeyde kaldırılan talaş sonucunda ise yüzeyin gerilimi etki edecek kadar oluşmamaktadır. Bu nedenle mikro düzeydeki talaşlar yüzeye zarar vermeden pürüzlülüğü azaltarak yüzey kalitesini arttırmaktadır. Yüzey işleme parametreleri MAİ yönteminde standarttır. Şekil 13' te MAİ yöntemini etkileyen parametreler verilmiştir. Genellikle yüzey kalitesi ve iyileşme oranındaki etkiler önemlidir [36, 39, 40].



Şekil 13. MAİ etkileyen parametreler [36, 39, 40]

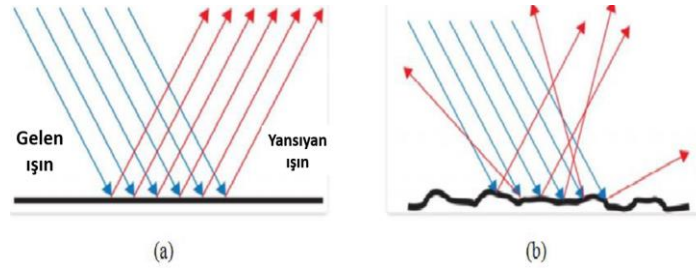
Aşındırıcı tane manyetik kuvveti işleme kuvveti olarak görev yapmaktadır. Manyetik alan oluşturan kutup uçları (N, S) arasında yüksek hızda dönen silindirik iş parçası yerleştirildiğinde manyetik aşındırıcı toz karışımı iş parçası yüzeyinden aşındırma işlemi yapmaktadır (Şekil 14 (a)). Düzlem yüzeyin MAİ yönteminde teğetsel kuvvetin yerine merkezkaç kuvvet yer almaktadır (Şekil 14 (b)) [10, 37, 41, 42].



Şekil 14. Yüzeyde MAİ yöntemi; (a) Silindirikte teğetsel kuvvet, (b) Düzlemde merkezkaç kuvvet [10, 37, 41, 42]

Şekil 15'te yüzey şekline göre yansıma ışınlarının dağılımları gösterilmiştir. Yüzeyi yansıtarak parlak görünen yüzeyin pürüzlülüğü azdır (Şekil 15 (a)). Çoğu yüzey mikroskopik

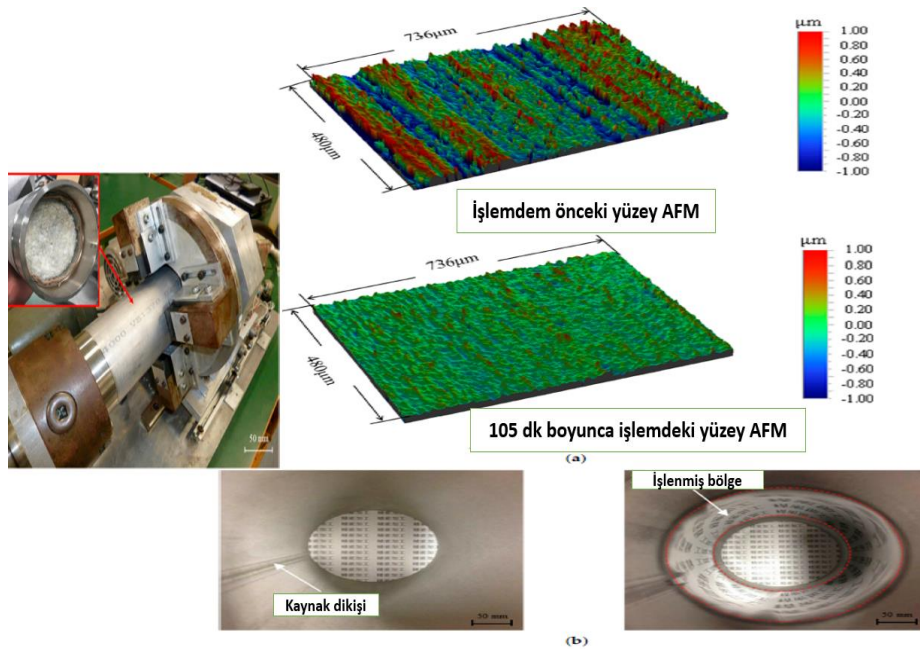
bir seviyede görüntülediğinde pürüzlüdür (Şekil 15 (b)). Yüzey pürüzlülüğü makine sektöründe önemlidir çünkü iş parçalarının sürtünme değerlerini artırarak parçanın ömrünü azaltan bir unsurdur [42, 43].



Şekil 15. Yüzeğe göre yansıma; (a) Düzde yansıma, (b) Pürüzlüde dağınık yansıma [42, 43]

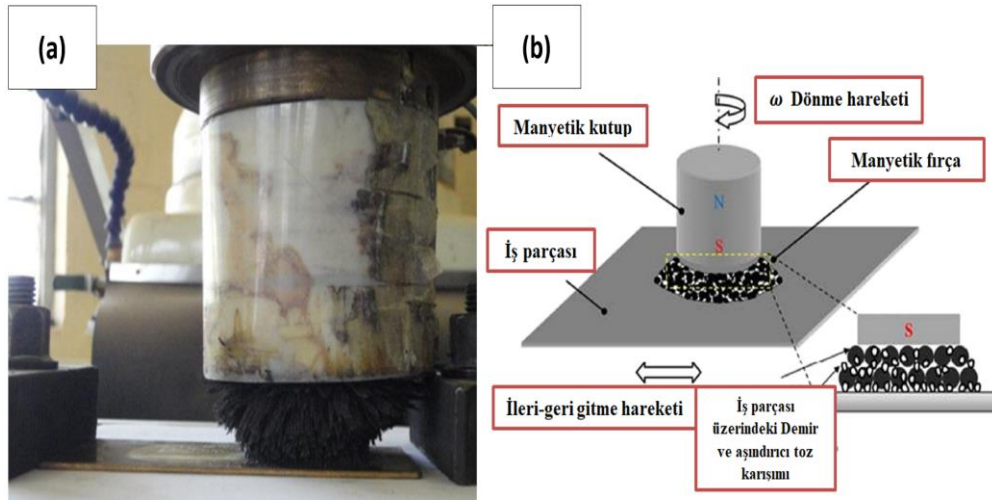
2.2. Manyetik Aşındırıcılar ile İşleme (MAİ) Kullanım Alanları

Yang ve ark., kalın duvarlı bir SUS 304 çelik uçları kaynak yapılmış Ø89 x Ø79,1 x Ø200 mm tüpün iç yüzeyini işlemek için MAİ yöntemi kullanılmıştır. 120 dk boyunca 1280 mm/dk devrinde yüzeyin parlatılması gerçekleştirmişlerdir. İşlemden önce ve sonra yüzey parlaklık görüntüleri ve bu görüntülerin yüzey pürüzlülüklerini daha net anlamak için atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri verilmiştir. Burada yüzey üzerindeki pürüzlülükler giderilerek yüzeyin daha parlak olması sağlanmıştır (Şekil 16) [44]. Literatürde demir esaslı tozlar (demir oksit (Fe_2O_3)) manyetik toz olarak kullanılmaktadır [45-48].



Şekil 16. MAİ yöntemi; (a) AFM (b) Boru içi yüzey işleme [44]

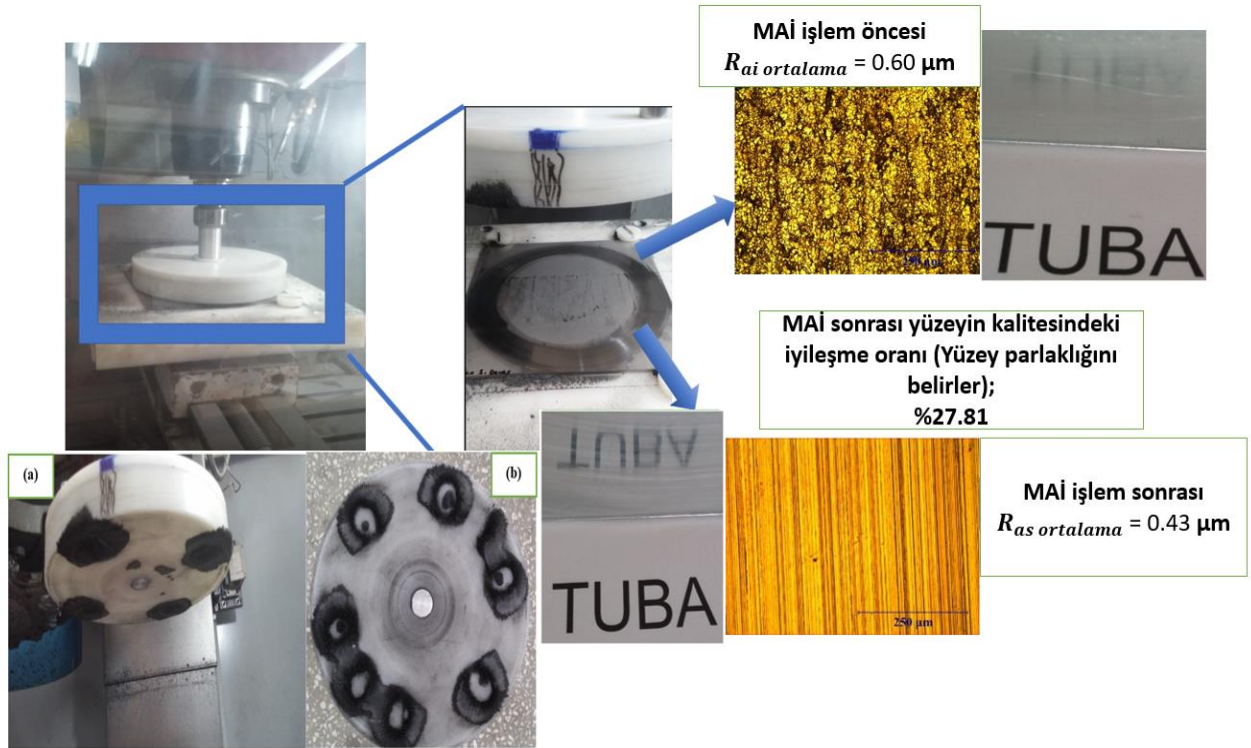
Alkarkhi ve Naif, bir mıknatısın iki kutbu arasına iş parçası konulduğunda manyetik bir alana maruz kalmaktadır. MAİ yönteminde kullanılan takım, esnek bir özelliğe sahip olmaktadır. Mıknatıslar tarafından oluşturulan manyetik alanın oluşabilmesi için aşındırıcı tozlarla birlikte Fe (demir) tozları da kullanılmalıdır. Böylelikle manyetik alanın şiddeti ile esnek bir manyetik aşındırıcı fırça takımı (MAFT) oluşmaktadır. MAFT, farklı noktalardan kesme etkisi olduğundan dolayı çok noktadan kesme yapan bir kesici gibi davranmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesinde ağırlıkça % 40 demir tozu ve % 60 kuvars malzeme karışımı kullanılmıştır. İşlemin dönme hızı 525 dev/dk, işleme boşluğu 2 mm ile manyetik alan oluşturulup mıknatıs ile tozlar çekilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü giderici işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında, iş parçası yüzeyinin daha parlak ve yüzey pürüzlülüğünün 1.046'den 0.131 μm 'ye kadar azaltmıştır (Şekil 17 (a)) [45]. MAİ yönteminde aşındırıcı tozlarda genellikle elmas, silisyum karbür (SiC), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve kübik bor nitrür (BN), bor karbür (B_4C) tercih edilmektedir (Şekil 17 (b)) [48].



Şekil 17. MAİ ile talaş kaldırılması; (a) Deneysel işlemi [45], (b) Teorik gösterimi [48]

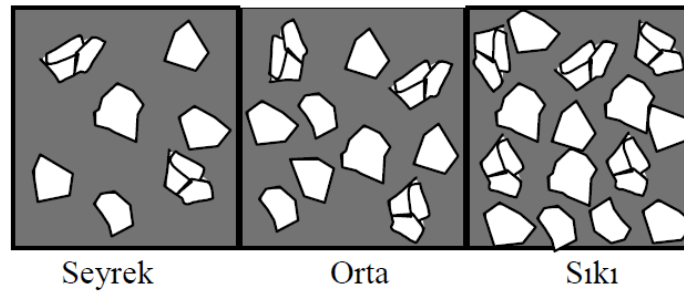
Demirel ve Çaydaş, MAİ yöntemi ile düzlem yüzeylerin işlenmesinde 0,50 Tesla kuvvetinde ve $\text{Ø}50 \times 10$ mm boyutunda mıknatısları tercih etmişlerdir. Mıknatıs tutucu aparatı iş parçası üzerinde 2 mm boşluk sabit yer ve 500 dev/dk dönme hızında kalarak 60 dk boyunca AISI 304 L plaka yüzeylerine MAİ yöntemi uygulanmıştır. Mıknatıs tutucu aparat ile olduğu yerde dönerek yüzeyin daha parlak olma işlemi gerçekleştirilmiştir. Esnek fırça şeklinde yapının oluştuğu gözlenmiştir. Işık sapmasının yansıma açısının miktarı, önemli ölçüde numunelerin yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça, yansımalar giderek daha fazla dağınık ve yüzey mat görünmektedir. % Reflektans (yansıma); deney numunesinden

yansıtılan ışığın bir referans malzemedен yansıyan ışığa oranı şeklinde ölçülmektedir. UV-3600 Spektrofotometre cihaz ışının geliş açısı 8 derece olacak şekilde, 200 nm dalga boyunda reflektans (yansıtma) ölçüm sonucuna bakıldığında ise aşındırma tozlar ile işleme öncesinde % 3 yansıtma değeri olurken MAİ işlem sonrasında ise % 15,22 oranında yansıtma değeri olmuştur. Parlaklıktan ziyade yansıtma değerleri değerlendirilmede esas alınmıştır. MAİ sonrası yüzey pürüzlülük (R_a) değerinin azaldıkça yansıtma değerinin arttığını belirlemişlerdir (Şekil 18) [38, 49].



Şekil 18. Numunelerin yansıtma görüntüleri [38, 49]

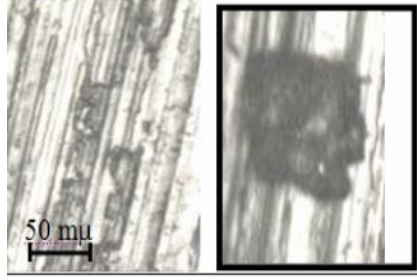
Aşındırıcı tane; seyrek, orta ve sıkı olarak literatürde geçmektedir (Şekil 19) [50-52].



Şekil 19. Aşındırıcı tanelerin durumu [50-52]

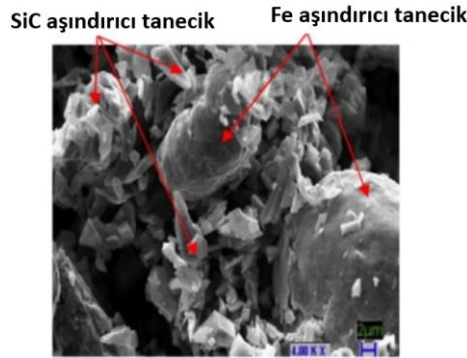
Demir ve Güllü çalışmasında, taşlama işlemi sonucunda ise iş parçası üzerine saplanan

taş tanelerinin $50 \mu\text{m}$ yüzeyin SEM görüntüsüne yer vermişlerdir. Burada aşındırıcı taneler, iş parçasına 2 mm 'den daha yakın bulunursa Şekil 20'de görüldüğü gibi metal yüzeyine batık görüntüler ortaya çıkmaktadır. Aşındırıcı tozun üzerine gelen kuvvet sonucunda toz tanesi ile iş parçası yüzeyi bütünleşik halde görünmektedir [53].



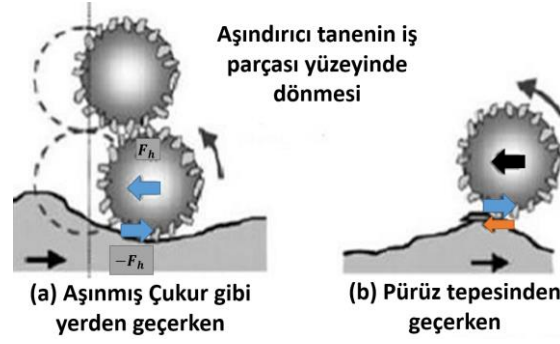
Şekil 20. Yüzeydeki aşındırıcı toz tanesi (Kesme derinliği: $0,02 \text{ mm}$ - $50 \mu\text{m}$) [53]

Mulik ve Pandey çalışmasında, SiC (silisyum karbür) ve Fe (demir) tozu mekaniksel olarak karışımı Şekil 21'de $2 \mu\text{m}$ boyutundaki taramalı elektron mikroskopta (SEM) bir arada olduğu fotoğrafı yayınlamışlardır. MAİ yöntemi kullanıldığında, manyetik alan oluşturması için Fe toz taneleri gereklidir. Aşındırıcı toz olarak da SiC kullanılmıştır. Manyetik alanda SiC tozları tutulmaktadır [54].



Şekil 21. Ferro-aşındırıcı kompozit toz içerikleri SEM (X4.00 K) [54]

Mori, Hikota ve Kawashima çalışmasında, demir ve aşındırıcı toz ile oluşturulan karışım bağıl olarak hareket ettiklerinde aşındırıcı tozlar birbirini iterek dengeleme noktasından uzaklaşınca geri dönüş kuvveti (F_h) üreterek pürüzlülüğü azaltmışlardır. Aşındırıcı tane, pürüzlü olmayan alanda talaş kaldıramayarak $-F_h$ kuvvetini oluşturmaktadır (Şekil 22 (a)). Aşındırıcı taneler, pürüzlü tepelerden geçerken sürtünmeler meydana gelir bu durumda tepeleri aşındırarak pürüzlülüğü azaltırlar (Şekil 22 (b)) [46].



Şekil 22. MAİ yöntemi mekanizması [46]

Chang ve ark., SKD11 silindirik soğuk iş çeliğinde elektro-mıknatis yardımıyla aşındırıcı toz tanelerini kullanarak yüzeyin pürüzlülüğünü gidermiştir. Aşındırıcı tanecik olarak SiC kullanılmıştır. R_a değerleri de $0,25 \mu\text{m}$ 'den $0,042 \mu\text{m}$ 'ye düşmüştür [55]. Aşındırıcı toz taneler yardımıyla yüzeyin pürüzlülüğü giderilerek önemli değişkenin işleme boşluğu olduğunu tespit etmiştir. Diğer önemli parametreler ise aşındırıcıların tane boyutu ve devir sayısı olmuştur [56].

MAİ yöntemi ile işlemede aşındırıcı (Al_2O_3 , SiC, CBN) toz karışımı kullanılmıştır, Karışımdaki tozların birbirini tutabilmesini sağlamak için yağlayıcı sıvı kullanılmıştır, Aşındırıcı tozların boyutları ve karışımdaki oranları önemlidir [10, 57].

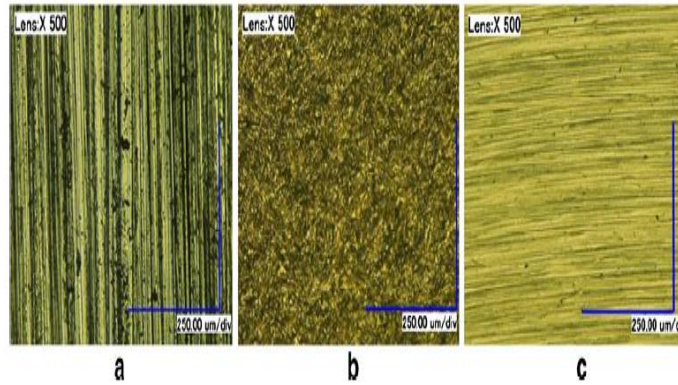
Baron ve Park, alüminyum oksit manyetik tozlarına % 50 oranında hidro-karbon ilave ederek aşındırıcı şeklinde kullanmışlardır ve MAİ işlemi sonucunda daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir [58].

Lin ve ark., SUS 304 paslanmaz çelik malzemesine kaba işleme gerçekleştirmişler daha sonrasında önceki işleme ek olarak ince işleme gerçekleştirmişlerdir. MAİ yönteminden önce SUS 304 çeliğinin R_{max} değeri $2,670 \mu\text{m}$ iken MAİ yöntemi ile birinci aşama işlem sonrası $0,158 \mu\text{m}$ değerine düşerken ikinci aşama işlem sonrasında $0,102 \mu\text{m}$ 'a düşmüştür. Yüzey kalitesini MAİ yöntemi kullanılarak yapılan abrasiv aşınmanın arttırdığı gözlenmiştir [59].

Kang ve ark., $\emptyset 1,27 \times \emptyset 1,06 \times 100$ mm boyutlarında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği 20 dk boyunca işlemişlerdir. İki kutuplu sistemde, 30000 dev/dk merkezkaç kuvvetinde derin çizikler oluşmuştur. 304 çeliği ise kolay işlenebilme özelliğine sahiptir [60].

Wu ve ark., C5210P pirince MAİ yönteminde, yüzey hassasiyetini artırmak amacıyla elektromıknatisler kullanılarak yüzey pürüzlülüğü $0,55$ 'ten $0,18 \mu\text{m}$ 'a düşmüştür [61].

Liu ve ark., SUS 304 çeliği daha yumuşak çelik olduğu için yüzey üzerinden talaş kaldırmak daha kolay olmuştur. SUS 304 plakası MAİ yönteminin sinterleme ve mekanik karışım yöntemi kullanılarak düzlem yüzey üzerinde aşınma şekilleri SUS 304 düzlem yüzeyinin $\times 500$ büyütme görüntüsü verilmiştir (Şekil 23 (a-c)). Orijinal iş parçasının yüzey dokusunun daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Buradaki karartı kısımlar bize pürüzlü yüzeyleri vermektedir (Şekli 23 (a)). İş parçası yüzeyinde karartı (siyah lekeler) yoğunlaşmıştır. Bunun nedeni, mekanik yolla karıştırılan aşındırıcı tozlar manyetik alan içerisinde dönme hızının da etkisi ile birbirine tam olarak tutunamayarak yüzey üzerinde batma oluşturmuştur (Şekli 23 (b)). MAİ için gerekli Fe toz boyutu $175 \mu\text{m}$ ile aşındırıcı olarak kullanılan Al_2O_3 toz boyutu $50 \mu\text{m}$ seçilerek (4:1, Fe/ Al_2O_3) Polivinil alkol yapıştırıcı desteği ile 3 sa ve 1200°C sıcaklığında sinterlenmiştir. Sinterlenen tozlar 800 dev/dk, 2 mm kalınlıktaki iş parçası ve 60 dk işleme süresinde $\varnothing 20 \times 40$ mm Nd-B-Fe mıknatısları yardımıyla MAİ yöntemi plakalara hem sinterlenmiş tozlar hem de sinterlenmemiş sadece mekanik yollar ile karıştırılmış tozlar uygulanmıştır. Deney sonucunda sinterlenmiş tozların yüzey pürüzlülük değerlerini düşürdüğü gözlenerek taneler arasında boşluk kalmadığı için daha iyi hareket ettikleri görülmüştür (Şekil 23 (c)). Yüzey üzerindeki siyah lekelerin giderilmesi ile Yüzey pürüzlülüğü (R_a) azalmıştır. Şekil 23 (c)' te görüldüğü gibi iş parçası yüzeyinin daha parlak yüzey elde edilmesi MAİ yöntemi ile sağlanmıştır [62].



Şekil 23. $\times 500$ büyütmede SUS 304 çeliğin yüzey dokusu; a. Orijinal iş parçası yüzey dokusu, b. El ile karıştırılan toz kullanılarak MAİ yöntemi ile 70 dk'da işlenmiş yüzey dokusu, c. Sinterleme toz kullanılarak MAİ yöntemi ile 70 dk işlenmiş yüzey dokusu [62]

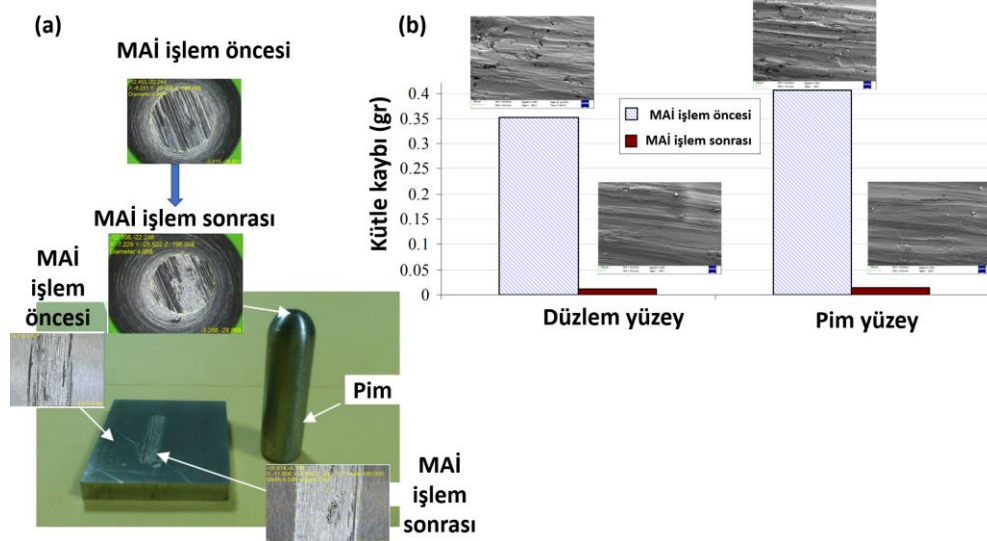
Li ve ark., $\varnothing 30 \times \varnothing 26 \times 50$ mm boyutlarındaki Al 6061 boruların iç yüzeyleri MAİ yöntemiyle işleme sonucunda % 96,67 iyileşme oranı tespit edilmiştir. Elmas aşındırıcı tane boyutu ve elektromıknatıslardaki akım miktarının düşük olduğunda pürüzsüz yüzey tespit

edilmiştir [63].

Kanish ve ark., SS 316L östenitik paslanmaz çelik malzemesinden üretilmiş düzlem ve yuvarlak iş parçalarına geleneksel yöntem olmayan MAİ yöntemi ile yüzey temizleme işlemi uygulanmıştır (Tablo 1). MAİ işlem ve sonrasında tamamlanmış yüzeylerdeki aşınma davranışını yorumlamak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak mikro yapılar gözlemlenmiştir. Düzlem ve yuvarlatılmış yüzeye olan yüzeyi parlak gösterme etkileri daha detaylı incelendiğinde her iki yüzeyde de aşınmanın etkili olduğu yalnız pim yüzeyinde etki sonucunun daha fazla olduğu gözlenmiştir. İş parçası yüzeyi üzerindeki aşınma sonucunda yüzeyin parlaklığına bakıldığında MAİ yöntemi ile eski haline göre yaklaşık 3 kat üstün olduğu görülmüştür (Şekil 24 (a-b)). Burada, perno denilen yuvarlak iş parçasında aşınma oranı miktarının düz yüzeye göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yuvarlak malzemelerin daha kolay işlenebileceğini bu tabloya göre söyleyebiliriz [64].

Tablo 1. Aşınma testi analizinden önce ve sonra kütle ölçümü [64]

Deney eleman	Deney elemanı tipi	İş parçasının başlangıç kütlesi (gr)	İş parçasının son kütlesi (gr)	Aşınan toz miktarı (gr)	Kütle kaybı (%)	Aşınma oranı (mm ² /N-m)
1.	Düz yüzey (30x30x6)	28.286	28.275	0.012	0.04	2.73x10 ⁻¹¹
2.	Perno (Ø10x25)	17.592	17.578	0.014	0.08	3.26x10 ⁻¹¹

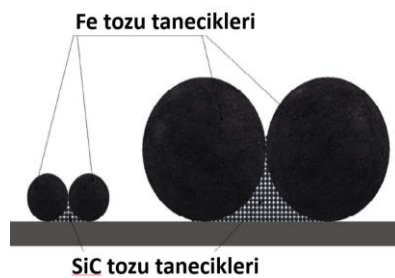


Şekil 24. Aşınma test numuneleri (Pim ve düzlem yüzey) [64]

Kajal ve ark., tabanca namlusunun iç yüzeyi 600-900 nm ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine sahipken MAİ yöntemi kullanılarak 150 nm değerine kadar yüzey pürüzlülük değeri düşürülmüştür [65].

Çelik ve ark., MAİ yönteminde kullanılan toz boyutları ve tozlara etki eden manyetik alan akısı iş parçası yüzeyinden talaşa kaldırmada etkileyen önemli parametrelerdir. Talaş kaldırma işleminde mikron veya nano boyuttaki taneler yüzeye batma işlemi yapmaktadır. Manyetik alan miktarı artmasıyla aşındırıcı tozların iş parçası yüzeyinde belirli bir derinliğe kadar saplanabildiği görülmüştür. Manyetik alan miktarının artması sonucunda yüzey üzerinde de derin çizikler oluşmaktadır. Diğer önemli husus ise aşındırıcı tane boyutunun artması ile iş parçası-aşındırıcı toz temas açısı artmaktadır. İş parçası yüzeyinde daha derin çizikler oluşturmaktadır. Yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme oranı (% YPIÖ) azalması, aşındırıcı tane boyutunun artmasına bağlı olduğu görülmüştür [66].

Bazı çalışmalarda mıknatıslanma ortamı sağlayan çelik tozları kullanılmasına rağmen genellikle demir tozlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Taneciklerin büyüklükleri manyetik kuvveti doğrudan etkilediğinden dolayı toz seçimi önemli bir parametre olmaktadır. Demir tozu ile kullanılan aşındırıcı tozlarda vardır. Literatürde genellikle silisyum karbür ve alüminyum oksit tozlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Aşındırıcı tanecikler, manyetik demir tozu tanecikleri arasında sıkışacakları için biraz daha küçük boyutlu seçilmelidirler. Şekil 25'te demir (Fe) ve silisyum karbür (SiC) toz karışımı gösterilmiştir [15, 67].

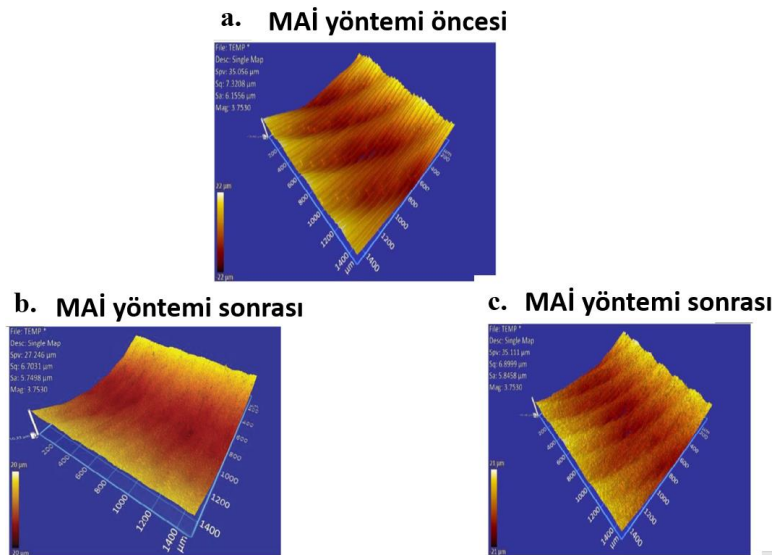


Şekil 25. Toz tanelerinin etkileşimi [15, 67]

Singh ve ark., 1100°C sıcaklığında 50 dk boyunca sinterlenmiş abraziv aşındırıcı tozu (% 20 Al₂O₃ + % 80 Fe) MAİ yöntemi kullanılarak pirinç tüplerin yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi amaçlanmıştır. Dönme hızı 600 dev/dk, 50 dk işleme süresi ve 2 mm iş parçası ile tutucu arasındaki boşluk parametrelerinde tüp içinde sinterlenmiş aşındırıcı tozlar ile MAİ yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğünü azaltma işlemi uygulanmıştır [38]. Pirinç

malzemesinin yüzey pürüzlülük değeri standart olarak 2,5-3,5 μm arasındadır [68]. MAİ yöntemi sonucunda pirinç malzemesinin yüzey pürüzlülük değeri 0,15 μm olarak elde edilmiştir. Aşındırıcı tane boyutlarının artması ile yüzey pürüzlülük değerinde düşme gözlenmiştir. Manyetik kutup ve pirinç tüp yüzeyi arasındaki boşluğun artması sonucunda yüzey pürüzlülük değerinde azalmaya neden olmuştur. Devir sayısı arttıkça abrasiv aşındırma taneleri yüzey ile teması daha da arttığı için yüzey pürüzlülüğünde azalmalar gözlenmiştir [38].

Çaydaş, U., Çelik, M., çalışmalarında; AISI 304L östenitik paslanmaz boruların iç yüzeylerini aşındırmada Fe ve SiC tozları kullanılmıştır. İşleme zamanı 45 dk, dönüş devri 1200 dev/dk seçilmiştir. Tane boyutları değişkenlik göstermiştir. MAİ öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülük (AFM) görüntüleri Şekil 26'da verilmiştir. MAİ öncesi işlenmemiş yüzeyin yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 2,22 μm 'dir (Şekil 26 (a)). Fe (200 μm) + SiC (58 μm) toz karışımı kullanılarak MAİ sonrası işlenmiş yüzeyin R_a değeri 0,72 μm olmuştur. Yüzeyin kalitesinde % 52,75 iyileşme olmuştur (Şekil 26 (b)). Fe (710 μm) + SiC (106 μm) toz karışımı kullanıldığında ise MAİ sonrası işlenmiş yüzeyin R_a 'sı 1,73 μm ve yüzeyde % 21,96 bir iyileşme olmuştur (Şekil 26 (c)). Şekil (26 (b ve c))'de Fe ve SiC aşındırıcı tozların tanecik boyutu büyüdüğünde R_a değerinde artış olurken yüzey kalitesi değerinde ise azalma meydana gelmiştir [15, 40]. MAİ yönteminin yüzey pürüzlülüğünü her iki durumda da iyileştirdiği sonucuna varılmıştır [15, 40, 67].

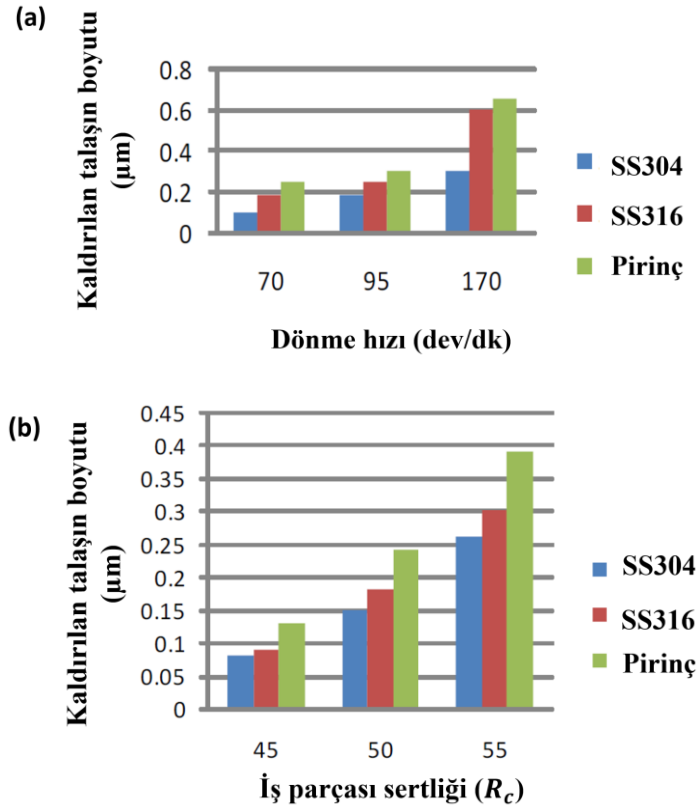


Şekil 26. AFM; (a) MAİ öncesi yüzey topoğrafyası ($R_a = 2,22 \mu\text{m}$), (b) Fe (200 μm) + SiC (58 μm) toz karışımında MAİ sonrası $R_a = 0,72 \mu\text{m}$, (c) Fe (710 μm) + SiC (106 μm) toz karışımında MAİ sonrası $R_a = 1,73 \mu\text{m}$ [15, 40, 67]

Kheelan ve Patel MAİ yönteminde, iş parçasındaki mikro-çatlak yüzey hasarını en aza indirerek neredeyse nanometre aralığına düşürmüştür. Aşındırıcı tozlarındaki küçük boyutlarının yüzey kalitesi daha iyi olmuştur. Taşlamadaki yüzey kalitesinin daha iyi olması için yumuşak yüzeylerde, toz boyutu büyük ve sert sınıf grubundaki en yüksek değerli aşındırıcı tozlar kullanılmalıdır. Sert yüzeylerde ise tane boyutları küçük olmalı ve sert sınıf grubundaki en düşük değerli aşındırıcı tozlar kullanılmalıdır [69].

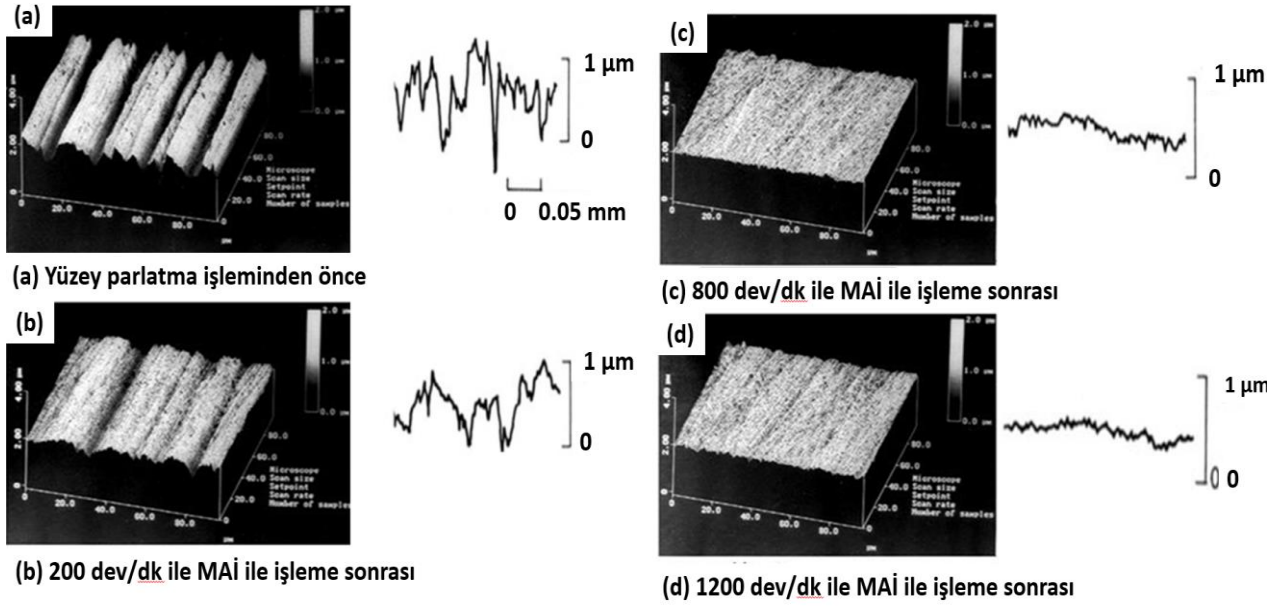
Yüzeyin parlaklığını arttırmak için aşındırıcı tozların aşınma direncinin iyi olması istenmektedir. Taşlama işlemlerinde genellikle çelik ve dökme demirlerde aşındırıcı olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılmaktadır. Demir dışı metallere aşındırıcı olarak silisyum karbür (SiC) tercih edilmektedir. Bu aşındırıcı tanesi kırılmaya karşı dirençlidir. Geleneksel aşındırıcı malzemeler SiC, Al_2O_3 'ten daha sert ama onun kadar tok değildir [69, 70].

Sharma ve Pal Singh Al_2O_3 'in, yüksek ısı dayanımı, yüksek modül özellikleri nedeni ile malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık $2050^{\circ}C$ 'ye kadar çalışma sıcaklığına sahiptirler. SiC daha düşük modül ve dayanıma sahiptir. $1400^{\circ}C$ sıcaklığa kadar mekanik özelliklerini muhafaza edebilmektedirler. Toz halinde SiC; ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekil verme talaşlı işlemlerinin uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Bu iki aşındırıcı tozun da manyetiklik alan etkisi yoktur. Silindirik SS 305, SS 316 ve pirinç iş parçası borularının ($\varnothing 18 \times 60$ mm) iç kısımlarını MAİ yöntemi ile işlemek için alümina (Al_2O_3) esaslı sinterlenmiş ferro-manyetik aşındırıcılar kullanılmıştır. $74 \mu m$ tane boyutunda alümina tozundan % 10 ve $51,4 \mu m$ tane boyutunda demir tozundan % 90 oranında katılarak $1100^{\circ}C$ 'de sinterlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. İş parçası haricinde, iş parçası sertliği ($45; 50; 55 R_c$) ve işleme hızı ($70; 95; 170$ dev/dk) farklı parametreler seçilerek yüzey pürüzlülüğüne ve kaldırılan talaşın boyutunun etkilerine bakılmıştır. İş parçası olarak belirlenen SS304, SS316 ve pirinç malzemeleri arasındaki deney sonuçları değişkenlik gösterirken en iyi işlenebilen malzeme pirinçtir (Şekil 27 (a ve b)) [71].



Şekil 27. İş parçasına uygulanan MAİ yöntemi; (a) Malzeme çeşidine göre talaş boyları- dönme hızı (dev/dk), (b) Malzeme çeşidine göre talaş boyları-işparçası sertliği (R_c) [71]

Yamaguchi ve Shinmura, $\varnothing 80 \times 1$ mm ölçülerinde SUS 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılarak MAİ yöntemi ile işlem uygulanmıştır. Manyetik alanı oluşturan akım değeri 2 Amper olduğunda manyetik akım yoğunluğu 1,04 Tesla ve 510 μm ortalama boyutlarında 3 mm işleme boşluğu sabit değerler olacak şekilde deneysel parametreler belirlenmiştir. 200, 800 ve 1200 dev/dk işleme hızlarında 4 dk boyunca yüzey aşındırma çalışması yapılmıştır. AFM sonuçlarına bakıldığında yüzeyde yaklaşık 20 μm eğilimli bir dalga boyu bileşeni bulunmaktadır. Şekil 28 (a)'da MAİ işleminden önceki yüzey pürüzlülük grafiğinde tepelerin dalga boylarının inişli-çıkışlı olduğu gösterilmiştir. Şekil 28 (b-d)'de diskin 800 dev/dk hızından sonra (4 dk) yüzeydeki tepeler daha çok azalmaktadır. Daha kısa dalga boyu giderek küçülmüştür. Yüzeydeki derin girintilerin, aşındırıcı tanenin kesici yüzeyinden kaynaklanmış olmaktadır. Aşındırıcı kenarlar, yüzeyden içeri girdiğinde vadilerde aşındırıcı çizikler oluşturmaktadır. Böylelikle yüzeyde tepe görüntüleri kalkarak daha parlak görünmesi sağlanmaktadır. Son yüzey ise mikro çiziklerin birikiminden oluşmuştur. Sonuç olarak, iş parçası yüzeyinden talaş kaldırma ile yüzey düzleştirilmesi yapılabilir (Şekil 28) [72].

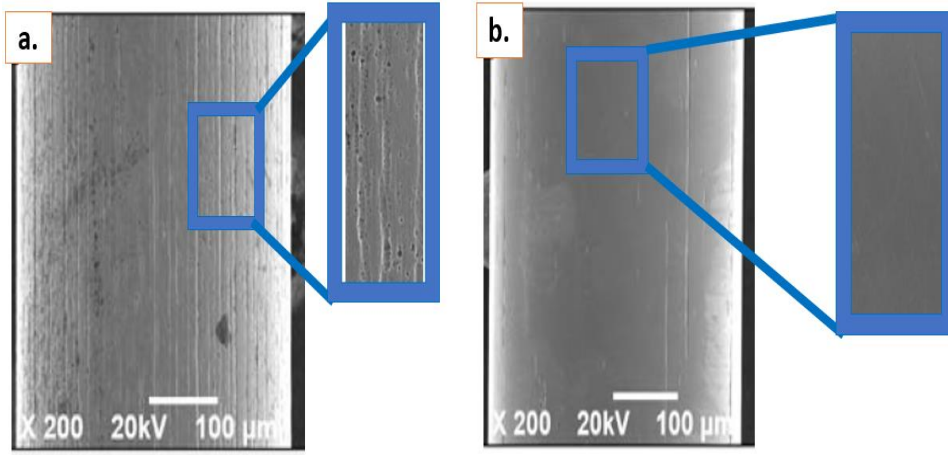


Şekil 28. Yüzey parlatılması sonrasında AFM görüntüleri [72]

Ortamın olumsuz sonuçlarından etkilenerek oluşan hatalar, işlenen malzemeden talaş kaldırma biçimi, işlenen malzemenin çeşidi, takım ucunun rijit olmamasından kaynaklanan hatalar, kolay şekillendirilebilir malzemelerin düşük kesme hızlarında işlendiği zaman malzeme yüzeyindeki yırtılmalar, ilerleme hızında meydana gelen düzensizlikler gibi nedenlerden dolayı malzemenin yüzey kalitesini etkileyerek yüzeyde pürüz meydana getirmektedir [73, 74].

Rim Jang ve ark, Nitinol (NiTi) malzemesi Nikel ve titanyum alaşımı olan diş tellerinde, stentlerde ve diğer cerrahi aletlerde kullanılan önemli bir biyomedikal malzemedir. Bu tür teller insan vücudunun içine geçici veya kalıcı olarak yerleştirildiğinden aşınma, sürtünme ve bakteri yapışmasını önlemek için yüzeylerinin düzeltilmesi ve temizlenmesi gerekir. Mikro ölçekli çaptaki ($\varnothing 400 \mu\text{m}$) NiTi tel numunelerine manyetik aşındırıcı bitirme (MAF veya MAİ) işlemi ile nano ölçekli aşındırma işlemi yapılmıştır. NiTi tellerin yüzey pürüzlülüğünün bakteri yapışması üzerindeki etkisini değerlendirmek için NiTi tellerin nihai yüzeyleri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. NiTi tel yüzeyleri, 1200 dev/dk dönüş hızında, 280 nm (Şekil 27 (a)) başlangıç yüzey pürüzlülük değerlerinden 30 nm'ye kadar düşürülmüştür (Şekil 27 (b)). 1200 dev/dk'lık bir dönüş hızı, 600 dev/dk'lık daha düşük bir dönüş hızına kıyasla daha iyi yüzey pürüzlülükte azalma sağladığını ifade etmiştir. Dönme hızının 1800 dev/dk'ya yükseltilmesiyle NiTi tel malzemelerin yüzey pürüzlülük kalitesi önemli ölçüde azalmamıştır. Sonuç olarak dönme hızındaki daha fazla artış, merkezkaç kuvvetinin artmasıyla beraber aşındırıcı tozların

tam olarak yüzey üzerine etki etmediği görüşüne varılmıştır. Ek olarak, NiTi malzemesinden imal edilmiş diş tellerin pürüzlülük değerinin bakterilerin yaşaması üzerinde nasıl etkilediğini anlamak için in vitro ortamda S. Aureus ve E. coli bakterileri kullanılmıştır. Telin yüzeyindeki pürüzlülük değeri MAİ işlem öncesinde (Şekil 29 (a)) bakterilerin yapışması yaklaşık % 83,48 civarlarında olurken MAİ işlem sonrasında (Şekil 29 (b)) S. Aureus bakterilerin ve E. coli bakterilerinin tele yapışması yaklaşık olarak % 70,67 civarlarında olmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün azalması, bakteri popülasyonunda da azalma sağlamıştır (Şekil 29) [75].



Şekil 29. MAİ işlem öncesi (a) ve işlem sonrasında (b) X200 büyütme [75]

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Talaşlı imalat gibi geleneksel yöntemlerle imalatı mümkün olmayan karmaşık geometrili parçaların imalatından sonra yüzeyinin parlatılmasında kolaylık sağlamada aşındırıcı tozlarla yüzeyinin parlatılması yöntemi son yıllarda oldukça popüler hale gelmiştir. Yüzey kalitesini arttırmada işlem parametreleri önemli olmaktadır. Bu derleme çalışmasında, metal iş parçalarının yüzey kalitelerini arttıran yüzey bitirme işlemlerinin yüzeye olan etkileri incelenmiştir. Talaşlı imalat gibi daha geleneksel yöntemlerin dışında, taşlama ve MAİ yöntemiyle yüzey aşındırma işlemlerinin varlığına da değinilmiştir. Taşlama yöntemi ise karmaşık şekilli iş parçalarının yüzey parlatılmasında etkili bir sonuç çıkaramadığı için MAİ yöntemi daha etkili olmaktadır. Taşlamada kullanılan sert taş yüzeyi olduğundan dolayı yüzey deformasyonlarının MAİ yöntemine göre daha fazla olacağı literatürden görülmüştür. Her iki yöntemde de kullanılan aşındırıcı toz çeşitleri aynıdır. Sadece aralarındaki tek fark, MAİ yönteminde manyetik alan kullanılmaktadır. Aşındırıcı toz olarak SiC ve alümina (Al_2O_3)

tozlarının literatürde en fazla kullanıldığı görülmüştür. Toz boyutlarının küçük olması yüzeyin parlak görülmesini doğrudan etkilemiştir. İş parçasının metal malzemesi de yüzey parlatılmasında etkili olmuştur.

Literatürden yola çıkılarak MAİ yöntemi için uygun optimum parametreler şöyle olabilir; yüzey ile aşındırıcı toz arasındaki iş parçası boşluğu 2 mm'yi geçmemelidir. Devir sayısı çok fazla olursa merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yüzeyde fazla parlaklık etkisi görülmeyecektir. Literatürde 500 ile 1400 dev/dk arasında kullanılmıştır. Aynı zamanda literatürde sert iş parçası yüzeylerinin, 800 ile 1000 dev/dk dönme hızı ile yüzey parlatılmasında uygun olduğu görülmüştür. Aşındırıcı toz kullanımı, insan sağlığını ve çevre kirliliğini tehdit etmediğinden dolayı tercih edilmektedir. İşlem parametreleri kadar işlemi yaparken uygulanacak yöntemin deney sonuçlarının da etki edeceği görülmüştür. İşleme yöntemlerine bakıldığında MAİ yönteminin, endüstride geniş kullanım alanına sahip olduğu görülmüştür. Düzlemsel ve silindirik şekilli parçaların işlenerek önemli ölçüde iyileşmesi gözlemlenmiştir. Güncel araştırmalar yapılarak imalatın önemli konusuna değinilmiştir. İleride bu konu üzerinde çalışma yapacak bilim insanlarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Talaşlı İmalat, <https://docplayer.biz.tr/4688114-Talasli-imalat-talas-kaldirma-yontemlerinin-siniflandirilmesi-1-geleneksek-talasli-imalat-1a-tornalama-ve-iliskili-operasyonlar.html> Erişim Tarihi: 11.04.2023
- [2] Talaşlı İmalat, <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/eminerdin@hititedutr110520185B2N4W5Y.pdf> Erişim Tarihi: 11.04.2023
- [3] Jain, V.K., Sidpara, V., Sankar, M.R., Das, M., (2011). Nano-Finishing Techniques: A Review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 226(1), 327-346.
- [4] Groover, M.P., 21. Chapter; (2020). Theory of Metal Machining, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 7th ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons, pp. 816.

- [5] Tonshoff, H.K., Karpuschewski, B., Mandrysch, T., (1998). Grinding Process Achievements and Their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities. *Annals of CIRP*, 47(2), 651-668.
- [6] Jha, S., Jain, V.K., (2006). 8. Chapter; Nano-Finishing Techniques, *Micro-manufacturing and Nanotechnology*, Springer Publishing, Berlin, Heidelberg, 171-195.
- [7] Malkin, S., Gao, C., (2008). *Grinding Technology-Theory and Applications of Machining with abrasives*, Industrial Press – 1th ed., USA, South Norwalk, pp. 250-275.
- [8] Gopan, V., Wins, K.L.D., Surendran, A., (2018). Integrated ANN-GA Approach for Predictive Modeling and Optimization of Grinding Parameters with Surface Roughness as the Response. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12133-12141.
- [9] Adıyaman, O., Sönmez, F., (2020). Yeni Tip Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Deneysel Tasarım Yöntemi ile Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 215-225.
- [10] Salman Ö., (2014). Magnetic Abrasives Assisted Finishing. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 11(1), 1-10.
- [11] Hashimoto, F., Yamaguchi, H., Krajnik, P., Wegener, K., Chaudhari, R., Hoffmeister, H.W., Kuster, F., (2016). Abrasive Fine-Finishing Technology. *CIRP Ann.-Manufacturing Technology*, 65(2), 597-620. David Schrank, Bill Eisele, Tim Lomax, “Urban Mobility Report”, The Texas A&M Transportation Institute, Texas Department of Transportation, 2019.
- [12] Askeland, D.R., Çeviri: Erdoğan M., (2002). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri - Cilt 2*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN 975-591-106-5.
- [13] Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S., Varol, R., (2008). Borlama ve Bilyalı Dövmenin Demir Esaslı T/M Malzemelerde Aşınma ve Mikro Yapı Özelliklerine Etkisi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1 – 8.
- [14] Akkurt, M., (2012). *Makina Elemanları-Cilt 3*, Birsen Yayınevi, Ankara, ISBN975-511-179-4.

- [15] Çelik, M., (2017). Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yönteminde İç Yüzeylerin İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] Yamamoto, A., Matsumori, N., (1977). Critical Stone Pressure as a Characteristics Concerned with Finishing Ability in Superfinishing and Its Utilization. Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, 11(3), 115–120.
- [17] Evans, C.J., Parks, R.E., Roderick, D.J., McGlaufflin, M.L., (1998). Rapidly Renewable Lap: Theory and Practice, Annals of the CIRP, 47(1), 239–244.
- [18] Yaman, K., Başaltın, M., (June 21-23, 2019). Tornalama Operasyonunda Takım Ucu Yığıntı Kenar Oluşumunun Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yığıntı Kenarın Talaş Şekline Etkisi, Presented at the The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automation Engineerings and Technology (IMSMATEC), Cappadocia, 147-153, Nevşehir-Turkey.
- [19] Gondi, P., Mattogno, G., Sili, A., Foderaro, G., (1993). Structural Characteristics at Surface and Barkhausen Noise in AISI 4340 Steel After Grinding. Nondestructive Testing and Evaluation, 10(1), 255-267.
- [20] Zhong, Z.W., Venkatesh, V.C., (2009). Recent Developments in Grinding of Advanced Materials, Int J Adv Manuf Technol, 41(1), 468–480.
- [21] Adıyaman, O., (2015). Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Mekanizması ile Düzlem Yüzey Taşlama İşleminde Kesme Parametrelerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- [22] Adıyaman, O., Savaş, V., (2014). İkincil Dönel Eksenli ile Klasik Düzlem Yüzey Taşlama Mekanizmalarının Deneysel Araştırılması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 11(4), 21-36.
- [23] Hamamcı, M., Topal, E.S., (November 2021). Yüksek Hızlı Talaşlı İşlemede Yüzey Kalitesinin İyileştirilmesi, 1st International Symposium on Innovative Technologies In Engineering and Science, Sakarya – Turkey.
- [24] Wang, Y., Chen, X., Gindy, N., (2007). Surface Error Decomposition for Fixture Development, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 31(9), 948–956.

- [25] Anderson, D., (2006). Thermal Modeling and Temperature Measurement of Dry Grinding, MSC Thesis, Dalhousie University, Canada.
- [26] Köklü, U., (2009). Değişik Şekillerde Aralıklı (Kesikli) Yüzeylerin Taşlanması Oluşan Şekil Hatalarının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü, İstanbul.
- [27] Salmon, S.C., (1992). Modern Grinding Process Technology, McGraw-Hill, New York, 103-109.
- [28] Demir, H., Güllü, A., Şeker, U., (2006). Düzlem Taşlama İşleminde Taşlama Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Dinamometre Tasarımı ve İmalatı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi, 9(2), 111-118.
- [29] Akkurt, M., (1996). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayıncılık, ss. 23-90.
- [30] Dilipak, H., Gülesin, M, (1997). Torna Operasyonları için Uzman Sistem Tekniklerine Dayalı Kesici Seçimi, Mamkon'97, İ.T.Ü. Makine Fakültesi 1. Makina Mühendisliği Kongresi, 349-357, İstanbul - Türkiye.
- [31] Demir, H., (1998). Alüminyum Oksit Zımpara Taşlarıyla Silindirik Taşlamada Çeşitli Çelikler için Taşlama Oranlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [32] Heo, J.S., Koo, Y., Choi, S.S., (2004). Grinding Characteristics of Conventional and ELID Methods in Difficult-to-Cut and Hardened Brittle Materials. Journal of Materials Processing Technology, 155–156(1), 1196–1200.
- [33] Dressing with PCD, <https://www.ctemag.com/news/articles/dressing-pcd> Erişim Tarihi: 26.02.2023
- [34] Adıyaman, O, Sönmez, F., Savaş, V., 2023. Geliştirilen İkincil Dönel Eksenli Taşlama Yönteminde Taşlama Parametrelerinin Yüzey Yanıt Yöntemi İle Analizi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11 (1), 21-40.
- [35] Demirel, T., (2017). Manyetik Aşındırıcılarla Düzlem Yüzeylerin İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

- [36] Çelik, M., (2021). Elektro-Erozyon Yöntemiyle İşlenmiş Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Kalitesinin Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemiyle İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [37] Singh, P., Samra, P.S., Singh, L., (2011). Internal Finishing of Cylindrical Pipes Using Sintered Magnetic Abrasives. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 3(7), 5747-5753.
- [38] Singh, B., Kalra Singh, C., (2015). Optimization of Magnetic Abrasive Finishing Parameters During Finishing of Brass Tube. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2(4), 1810-1817.
- [39] Kang, J., (2012), Development of High-Speed Internal Finishing and Cleaning of Flexible Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing, PhD Thesis, University of Florida, Florida.
- [40] Çaydaş, U., Çelik, M., Köklü, U., (2019). Manyetik Aşındırıcılarla AISI 304L Östenitik Paslanmaz Çelik Boruların İç Yüzeylerinin Bitirme İşleminde Talaş Kaldırma Oranı ve Yüzey Pürüzlülüğünün Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, 34 (3), 1214-1225.
- [41] Girma, B., Joshi, S., Raghuram, M.V.G.S., (2006). An Experimental Analysis of Magnetic Abrasives Finishing of Plane Surfaces. Machining Science and Technology, 10(3), 323–340.
- [42] Singh, D.K., Jain, V.K., Raghuram, V., (2004). Parametric Study of Magnetic Abrasive Finishing Process, Journal of Materials Processing Technology, 149 (1), 22-29.
- [43] Sampling Accessories for Reflection, <https://oceanoptics.com/sampling-accessories-for-reflection> Erişim Tarihi: 11.04.2023
- [44] Yang, Y., Xue, Y., Li, B., (2022). A Magnetic Abrasive Finishing Process with an Auxiliary Magnetic Machining Tool for the Internal Surface Finishing of a Thick-Walled Tube. Machines, 10 (7), 529-549.
- [45] Alkarkhi, N. K., Naif, M., (2012), Study on The Parameter Optimization in Magnetic Abrasive Polishing for Brass CUZN₃₃ Plate Using Taguchi Method, The Iraqi Journal for Mechanical and Materials Engineering, 12 (3), 596-615.

- [46] Mori, T., Hikota, K., Kawashima, Y., (2003). Clarification of Magnetic Abrasive Finishing Mechanism. *Journal of Material Processing Technology*, 143-144 (20), 682-686.
- [47] Yamaguchi, H., Shinmura, T., Takenaga, M., (2003). Development of a New Precision Internal Machining Process Using an Alternating Magnetic Field. *Precision Engineering*, 27(1), 51-58.
- [48] Sun, X., Zou, Y., (2017). Development of Magnetic Abrasive Finishing Combined with Electrolytic Process for Finishing SUS304 Stainless Steel Plane. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1), 3373–3384.
- [49] Demirel, T., Çaydaş, U., (19-22 October 2017). Investigation of Flat Surfaces with Magnetic Abrasive Assisted Finishing Process, 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS), 3899-3909, Elazig Turkey.
- [50] Anonim, (1977). TS 291. Taşlama Taşları, Türk Standartları, Ankara.
- [51] Shaw, M.C., (1994). A Production Engineering Approach to Grinding Temperatures, *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, 44(3-4), 59-169.
- [52] Demir, H., Güllü, A., (2001). Taşlamada Parametrelerin Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 189-198.
- [53] Demir, H., Güllü, A. (2008). Taş Dokusunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(1), 77-83.
- [54] Mulik, S.R., Pandey, P. M., (2011). Ultrasonic Assisted Magnetic Abrasive Finishing of Hardened AISI 52100 Steel Using Unbonded SiC Abrasives, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29(1), 68-77.
- [55] Chang, G.W., Yan, B.H., Hsu, R.T., (2002). Study on Cylindrical Magnetic Abrasive Finishing Using Unbonded Magnetic Abrasives, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42(5), 575-583.
- [56] Singh, D.K., Jain, V.K., Raghuram, V., (2004). Parametric Study of Magnetic Abrasive Finishing Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 149 (1), 22-29.

- [57] Yamaguchi, H., Shinmura, T., Ikeda, R., (2007). Study of Internal Finishing of Austenitic Stainless Steel Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 129 (5), 885-892.
- [58] Baron, Yu M., Park, J.L., (2007). Micro Deburring for Precision Parts Using Magnetic Abrasive Finishing Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188 (1), 19-25.
- [59] Lin, C.T., Yang, L.D., Chow, H.M., (2007). Study of Magnetic Abrasive Finishing in Free-form Surface Operations Using the Taguchi Method, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34(1-2), 122-130.
- [60] Kang, J., George, A., Yamaguchi, H., (2012). High-Speed Internal Finishing of Capillary Tubes by Magnetic Abrasive Finishing. *Procedia CIRP*, 1(1), 414-418.
- [61] Wu J., Zou Y., Sugiyama H., (2013). Study on An Ultra-Precision Plane Magnetic Abrasive Finishing Process by Use of Alternating Magnetic Field, *Applied Mechanics and Materials* 395-396, 985-989.
- [62] Liu, Z.Q., Chen, Y., Li, Y.J., Zhang, X., (2013). Comprehensive Performance Evaluation of The Magnetic Abrasive Particles. *Int J Adv Manuf Technol.*, 68(1-4), 631-640.
- [63] Li, W., Li, X., Yang, S., Li, W. (2018). A Newly Developed Media for Magnetic Abrasive Finishing Process: Material Removal Behavior and Finishing Performance, *Journal of Materials Processing Technology*, 260(1), 20-29.
- [64] Kanish, T.C., Narayanan, S., Kuppan, P., Denis Ashok, S., (2018). Investigations on Wear Behavior of Magnetic Field Assisted Abrasive Finished SS316L Material. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12734-12743.
- [65] Kajal, S., Jain, V.K., Ramkumar, J., Nagdeve, L., (2019). Experimental and Theoretical Investigations Into Internal Magnetic Abrasive Finishing of A Revolver Barrel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100 (5-8), 1105-1122.
- [66] Çelik, M., Gürün, H., Çaydaş, U., (2021). Tel Erezyon Yöntemiyle İşlenmiş Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Kalitesinin Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemiyle İyileştirilmesi, *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33(1), 347-357.

- [67] Çaydaş, U., Çelik, M., (16 - 18 Kasım 2017). Manyetik Aşındırıcılarla İşleme Yöntemi, International Advanced Researches Engineering Congress, Osmaniye, Türkiye, 214-219.
- [68] Minimum Yüzey Pürüzsüzlük Değeri, <http://www.yamato.com.tr/minimum-yuzey-puruzluluk-degeri> Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- [69] Kheelan, B.P., Patel, K.M., (2014). Magnetic Abrasive Finishing of AISI52100. International Journal of Trend in Research and Development, 1(1), 1-8.
- [70] Aşındırıcı Performans ve Kalite Hususları, <http://stmcoatech.com/asindirici-secimi-performans-ve-kalite-hususlari> Erişim Tarihi: 26.02.2023.
- [71] Sharma, M., Pal Singh, D., (2013). To Study the Effect of Various Parameters on Magnetic Abrasive Finishing. International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology, 3(2), 213-215.
- [72] Yamaguchi, H., Shinmura, T., (1999). Study of The Surface Modification Resulting from an Internal Magnetic Abrasive Finishing Process. Wear, 225–229(1), 246–255.
- [73] Akkuş, H., (2010). Tornalama İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel ve Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [74] Özcan, A.E., (2019). Minimum Miktarda Yağlama Sistemine Katılan Aşındırıcı Toz Miktarının Kesme İşlemine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [75] Rim Jang, S., Suh, W., Heng, L., (2023). Nanoscale Polishing Technique of Biomedical Grade NiTi Wire by Advanced MAF Process: Relationship between Surface Roughness and Bacterial Adhesion, Journal of Functional Biomaterials, 14(4), 2-18.