

Lazerle Malzeme İşleme

Lazerler 50 yıllık tarihiyle hem teknolojinin gelişimine katkı sağlayan hem de teknolojinin gelişimi ile kullanım alanı genişleyen önemli aletlerdir. Lazerin sağlık sektöründen savunma endüstrisine, uzay teknolojilerinden eğlence sektörüne çok farklı alanlarda kullanılır hale gelmesini sağlayan; yüksek yoğunluklu, odaklanabilir ve kontrol edilebilir bir enerji kaynağı olmasıdır. Lazerler bu özellikleri sayesinde kimi zaman keskin bir bıçak kimi zaman da yüksek enerjili bir ısıtıcı olarak kullanılmaktadır. Bu yazıda, lazer ile malzeme işleme teknikleri ve bu teknikler sonucu elde edilen ürünler hakkında genel bilgiler verilecektir.



Lazer ile malzeme işleme teknikleri delme, kesme, kaynak, yüzey işleme ve kaplama olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, gerçekleşen işlemin boyutlarına (santimetre, mikrometre, nanometre), kullanılan lazerin özelliklerine (enerjisi, dalgaboyu, darbe süresi, tekrarlama oranı) ve malzemenin özelliklerine (iletkenler, yarı iletkenler, yalıtkanlar) göre alt sınıflara ayrılabilir. Lazer ile işlenen malzemeler kullandığımız aletler abildiği gibi canlı vücudunun herhangi bir organı da (göz, diş, kemik, kas) olabilir.

Lazer ile Malzeme İşleme

Lazer ile malzeme işleme; yüksek hız, yerel ısınma, otomasyon olanakları, farklı malzemelerin kolayca işlenebilmesi nedeniyle hızla yaygınlaşmaktadır. Lazer, odaklandığı noktaya yüksek enerji trans-

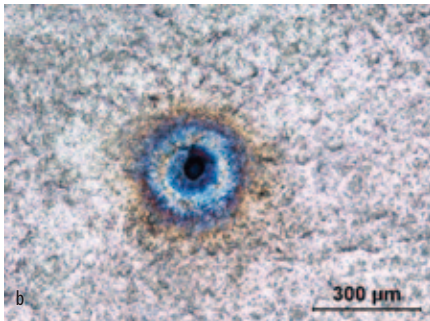
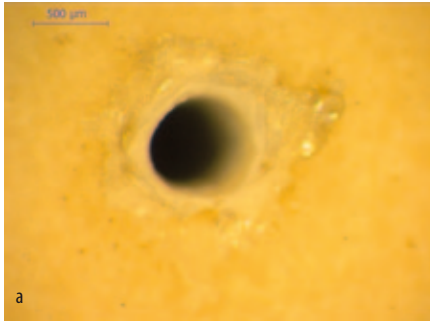
fer ederek o bölgedeki malzemeyi eritir, ardından da hızla buharlaştırarak malzemeleri kesebilir, delebilir ve malzeme yüzeylerini işleyebilir.

Son yıllarda lazer teknolojilerindeki hızlı gelişim, lazerlerin dalgaboyu, darbe süresi, enerjisi ve darbe frekansı gibi parametrelerini kontrol etme olanağı verir. Lazer ile malzeme işlemede en önemli parametre lazer darbesinin hedef ile etkileşme süresidir. Günümüzde darbe sürelerine göre milisaniye (10^{-3} s), nanosaniye (10^{-9} s), femtosaniye (10^{-15} s) attosaniye (10^{-18} s) lazerler üretilmiştir. Bir lazer darbesi katı bir hedefle etkileştiğinde, elektronlar lazer demetini soğurarak yüksek sıcaklıklara kadar ısınır. Elektron-fonon etkileşmesiyle sıcak elektronlar enerjilerini birkaç pikosaniyede malzemenin örgü yapılarına aktarır. Ancak femtosaniye darbe süreli lazerler ile yapılan işlemlerde

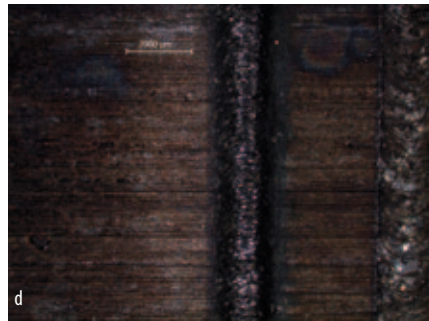
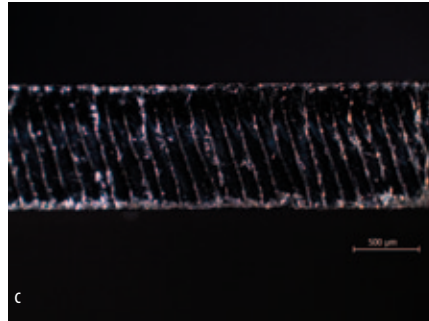
darbe enerjisinin elektronlara aktarılması, enerjinin elektronlardan örgü yapısına aktarılma süresinden çok daha kısadır. Bu özelliğiyle femtosaniye darbelerle sahip lazerler; yüksek hassasiyette ve çok az ısıl zarar oluşturarak işlem görürler.

Lazerler işlem boyutlarına göre farklı sektörlerde tercih edilmektedir. Milisaniye lazerler özellikle sanayide gereksinim duyulan delme, kesme, kaynak süreçlerinde klasik tekniklere göre hızlı, temiz, hassas olması ve temas etmeden işlem görebilmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

Lazer ile mikro düzeyde malzeme işleme yöntemi yarıiletkenler, elektronik, medikal, otomotiv, uçak ve haberleşme endüstrilerinde kullanılmaktadır. Lazer ile metallerin, seramiklerin, silikon ve polimerlerin kesip çıkartılma işlemi karmaşık bir işlemdir ve etkileşimin kalitesini malzeme ve lazere ait işlem parametreleri



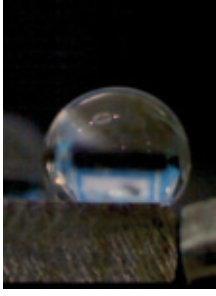
a) Darbeli Nd:YAG lazeri kullanılarak 10 mm kalınlığındaki seramik malzemelerde açılan delik,
b) 3 mm kalınlığındaki Ti6Al4V alaşımında açılan delik.



c) Darbeli Nd:YAG lazeri kullanılarak 0,5 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik malzemelerin kesme işlemine ait kesit görüntüsü,
d) kesme işleminin üstten görüntüsü,
e) Ti6Al4V titanyum alaşımların darbeli Nd:YAG lazer ile alın kaynak işlemi ve
f) kesit görüntüsü.



Optik sistemlerde kullanılmak amacı ile femtosaniye darbe uzunluklu lazer kullanılarak 200µm kalınlığındaki bakır levhaya açılmış 70 µm genişliğindeki yarık.



Femtosaniye darbe uzunluklu lazer kullanılarak paslanmaz çelik yüzeylerin işlenmesi sonucu oluşan su tutmazlık özelliği.

belirler. Kesip çıkartma işlemi, genellikle, buharlaşma ve eriyik atılması olaylarının birleşimidir. Lazer ile malzeme işlemede temel parametre darbe enerjisinin darbe süresine oranı olan darbe tepe gücüdür. Bu nedenle, mikro-boyutlu malzeme işlemede kısa darbeli lazer kullanımı en önemli gerekliliktir. Mili-saniye lazerlere göre daha kısa darbe süresine sahip olan nanosaniye lazerler, hard-disk işlemleri, silikon tabaka işleme, IC tamiri, mikro-elektronik kesimleri, DRAM için UV baskı, delme yoluyla PCB, mürekkep püskürtmeli yazıcılar için delme, tıbbi cihaz üretimi, yakıt enjeksiyon ve filtre delikleri üretimi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Yüksek frekans ve darbe başına yüksek enerjiye sahip femtosaniye lazer darbeleriyle malzemenin işlenmesi sırasında, anlık olarak çok yüksek güçler oluşturulur. Femtosaniye lazerlerle yapılan malzeme işlemede darbe süresinin kısa olması nedeniyle çok ince katmanların malzeme yüzeyinden kaldırılması mümkün olmaktadır. Günümüzde femtosaniye lazerlerin malzeme işlemede kullanılmasıyla üretilen malzemelerin boyutları nanometre (10^{-9} m) mertebelerine kadar indirilmiştir.

Femtosaniye lazerler çok geniş bir spektrumda farklı malzemeye yüzeyde herhangi bir ısısal zarar yaratmadan uygulanabilmekte ve darbe başına yaklaşık 20 nm derinlikte yapılar elde edilebilmektedir. Bu yapılardan biri de su-tutmaz yüzeylerdir. Su-tutmaz özellik, malzeme biliminde Lotus Etkisi ile açıklanır. Lotus etkisi nilüfer çiçeğinde gözlenen kendi kendini temizleme özelliğidir.

Lazer ile yüzey işleme su-tutmaz yüzeyler elde etme çalışmalarında gelecek vadeden bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Temas olmadan işlem yapabilmesi, hızlı ve kısa zamanlarda işlemi tamamlayabilmesi, çevreye uyumlu ve yüzeyler üzerine yapılan mikro-yapıları maksimum düzeyde kontrol edebilmesi bu işlemi endüstri için çok çekici bir hale getirmiştir.

Lazerler malzeme işleminin yanı sıra sağlık alanında da kullanılmaktadır. Lazer ile malzeme etkileşimi sırasında mekanik bir alette olduğu gibi temas

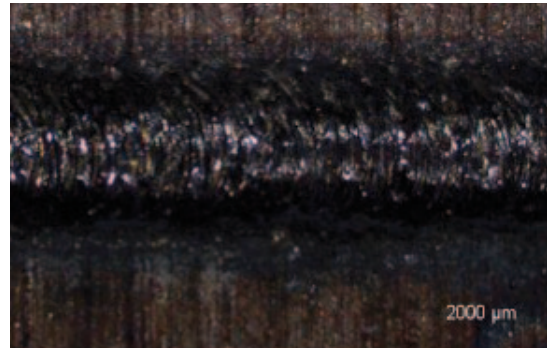
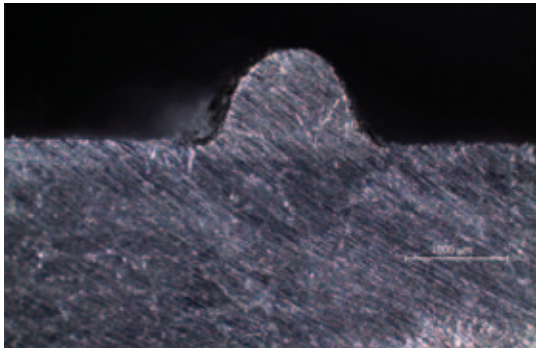
yoktur. Mekanik etkilerin yol açtığı olumsuz etkileri içermemesi nedeniyle lazer cerrahi uygulamalarda da tercih edilir. Lazerler çok küçük bir noktaya odaklanabildiği için istenen nokta dışındaki bölgelere zarar vermez. Enfeksiyon oluşturmaz, sterilizasyon sağlar. Bu özelliklerinden dolayı cerrahi uygulamaların yanında diş hekimliğinde, göz tedavilerinde, kanserli dokuların yok edilmesinde, böbrek taşlarının kırılmasında kullanılır.

Son yıllarda tıp uygulamalarında vücut içerisine yerleştirilen metallerin (vücuda uyumlu olması nedeniyle özellikle titanyum), vücutta kaldığı sürece kemik oluşumunu hızlandırmak ve iyileştirmek üzere lazer ile yüzeyleri işlenmektedir. Lazer ile yüzeylerin pürüzlendirilmesi ile bu metaller yerleştirildiği bölgede kemik yüzeyine kolaylıkla tutunabilmektedir. Ayrıca yüzeyde bulunabilecek oksit tabakası ve organik kalıntılar da lazer ile işleme sırasında temizlenmiş olur.

Lazer ile 3 Boyutlu Malzeme Üretimi

Lazer ile üç boyutlu malzemelerin üretimi (lazer ile sinterleme) 2000'li yıllarda gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Seramik, paslanmaz çelik, titanyum ve alaşımları gibi malzemeler kullanılarak, 3 boyutlu yapıların üretimini sağlayan bir tekniktir. Bu teknoloji kullanılarak yazıcının kâğıt üzerinde satır satır bir metin oluşturması gibi, lazer ışınları ile katılaştırılan sıvı polimer veya özel metalik tozlar sayesinde üç boyutlu bir nesne tabaka tabaka inşa edilebilir. Kalıba ihtiyaç duyulmaksızın bilgisayar ortamında tasarlanan üç boyutlu nesnelere, toz malzemelerin lazer ışınları ile tabaka tabaka katılaştırılmasıyla üç boyutlu ürünlere dönüştürülebilmektedir. Bu teknik ile prototip ürünler elde edilebildiği gibi, sanayide kırılan, çatlayan aletlerin onarımı için de kullanılmaktadır. Özellikle mekanik aşınmalar sonucu malzemelerde meydana gelen kayıplar, lazer kullanılarak gerekli noktalara yapılan dolgular ile giderilebilmektedir.

Kobalt ve nikel katkı tozlarının lazerin demet yolu boyunca eritilerek malzeme yüzeyine yapıştırılması sonucu elde edilen dolgu.

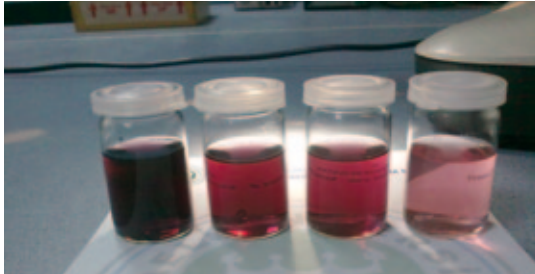


Diş hekimliğinde lazer ile üç boyutlu malzeme üretim tekniğinin uygulandığı cihazların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Dişlerin kaplanması sırasında kalıp alma, kalıbı kullanarak seramik yapı üretme süreçlerini değiştiren bu teknik sayesinde kaplamaların dişe uyumu artmıştır ve işlem süresi kısalmıştır. Gelecekte bu sistem, fotokopi makinelerinin veya yazıcıların geliştiği gibi bilgisayarda tasarlanan formların doğrudan evlerde veya ofislerde üretilebilmesini öngörüyor.

Darbeli Lazer ile Yığma

Malzeme yüzeyine odaklanan lazer, malzemeyi buharlaştırır. Buharlaşan malzeme hedef malzeme üzerine yapışarak ince bir film oluşturur. Bu teknik ile kısa sürede istenen kalınlıkta yüksek kalitede kaplamalar elde edilir.

Darbeli lazer ile yığma tekniği kullanılarak optik elemanlar (ayna, mercek) istenen özelliklerde ve kalınlıklarda kaplanabilir. Benzer şekilde bu teknik ile katkılı foto-katalitik film büyütme gerçekleştirilebilir. Güneş ve yapay UV ışınlarını en verimli şekilde kullanan foto-katalitik yapılar 2000'li yıllarda arındırma sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu arındırma sistemlerinin en başında gelen foto-katalitik yapılar, havadaki ve sudaki zararlı tanecikleri ayrıştırıcı, koku giderici, kendi kendini temizleyici ve anti-bakteriyel olarak kullanılabilirler.

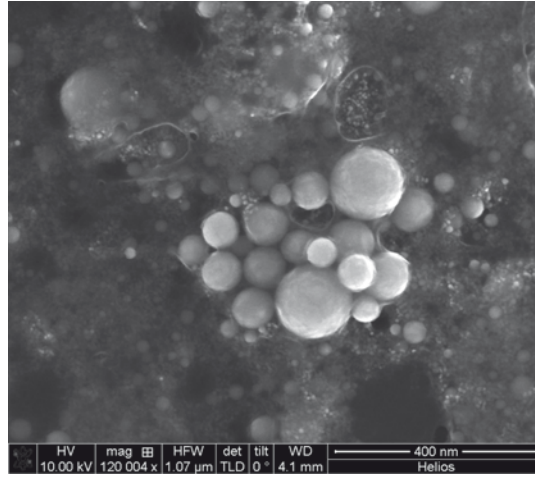


Farklı enerjilerde femtosaniye lazer darbeleri kullanılarak sıvı içinde üretilen altın nano-parçacıklar, parçacıkların boyutları 20-250 nm aralığında değişmektedir.

Lazer ile Nanoparçacık Üretimi

Lazer enerjisi kullanılarak nanoparçacık üretimi, lazer ile malzeme etkileşimi sırasında oluşan buharın tekrar yoğunlaşarak nano-boyutlu yapıların elde edilmesi işlemidir. Lazer aşındırma ile üretilen parçacıkların boyutları nanometre mertebelerinden mikrometre mertebelerine kadar değişebilir. Üretilen parçacıkların şekilleri ise tek küresel yapı halinde olabildiği gibi toplanmanın etkisi ile oluşan düzensiz şekilli yapılar halinde de olabilmektedir.

Lazer aşındırma işlemi farklı birçok doğrusal olmayan mekanizma ile kontrol edilir. İlk olarak malzeme lazer ışını ile aydınlatılır. Malzeme yüzeyinden kütle elektronlar, iyonlar, atomlar, moleküller ve parçacıklar olarak koparılır. Tüm bu süreçler belli zaman ve konumda gerçekleşir. Lazer aşındırma işlemi 3 temel sürece ayrılabilir: bağların kırılması ve plazma yanması, plazma genişlemesi ve soğuma, parçacık çıkarılması ve yoğunlaşması.



Sıvı ortamında üretilen altın nano-parçacıkların Taramalı Elektron Mikroskop görüntüsü.

Darbeli lazer aşındırma tekniği ile geniş bir malzeme spektrumunda yüksek saflıkta nano-parçacık üretimi gerçekleştirilebilir. Femtosaniye darbe uzunluğuna sahip lazerler kullanılarak gaz ve sıvı ortamlarında nanoparçacık üretilmektedir.

Ülkemiz sanayi kuruluşlarında ve üniversitelerinde de lazerle malzeme işleme uygulamaları ve araştırmaları gerçekleştirilmektedir. Kocaeli Üniversitesi Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (LATARUM) bu araştırma kurumlarından biridir. LATARUM'da lazer ile malzeme işleme çalışmaları, lazer ile oluşturulan plazmalardan yayılan ışınların spektroskopisi ve simülasyonu çalışmaları yürütülmektedir.

Kaynaklar

E. Akman, "Ti6Al4V Titanium Alaşımlarının Atımlı Nd:Yag Lazeri Kullanılarak Kaynak Edilmesi ve Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi" Y.L Tezi Kocaeli Üniversitesi 2006.
http://latarum.kocaeli.edu.tr/
C.Y. Chien, M.C. Gupta, "Pulse Width Effect in Ultrafast Laser Processing of Materials", *Appl. Phys. A* 81, (2005) 1257-1263.
B.C. Stuart, P.S. Banks, M.D. Perry, M. D. Feit, R.S. Lee, F. Roeske, J.P. Armstrong, H.T. Hguyen, J.A. Sefcik, "Femtosecond laser Materials Processing", *Lawrence Livermore National Laboratory*, UCRL-JC-126901 Rev 1 PREPRINT.
M.N.W. Groenendijk, J. Meijer, "Surface Microstructures Obtained by Femtosecond Laser Pulses", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol 55, Issue 1 (2006) 183-186.
C.S. Lim, M.H. Hong, A.S. Kumar, M. Rahman, X.D. Liu, "Sub-micron surface patterning by laser irradiation through microlens arrays" *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 46 (2006) 552.

M.F. Chen, Y.P. Chen, W.T. Hsiao, Z.P. Gu, *Thin Solid Films* 515 (2007) 8515.
G.R.B.E. Romer, A.J. Huis in't Veld, J. Meijer, M.N.W. Groenendijk, "On the formation of laser induced self-organizing nanostructures", *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* 58 (2009) 201.
H.E. Gotz, M. M. Uller, A. Emmel, U. Holzwarth, R.G. Erben, R. Stangl, "Effect of surface finish on the osseointegration of laser-treated titanium alloy implants", *Biomaterials* 25 (2004) 4057-4064.
D. Starikov, C. Boney, R. Pillai, A. Bensaoula, G.A. Shafeev, A.V. Simakin, "Spectral and surface analysis of heated micro-column arrays fabricated by laser-assisted surface modification", *Infrared Physics & Technology* 45 (2004) 159.
M. Bereznoi, I. Pels, Z. Toth, K. Turzo, M. Radnai, Z. Bor, A. Fazekas, "Surface modifications induced by ns and sub-ps excimer laser pulses on titanium implant material", *Biomaterials* 24 (2003) 4197-4203.



Prof. Arif Demir 1968'de Yozgat'ta doğdu. ODTÜ Fizik Bölümü'nden 1991'de mezun oldu. "X-ışını lazer ortamlarının spektroskopik yöntemle araştırılması" konusunda 1994-1997 yılları arasında Essex Üniversitesi Fizik Bölümü'nde (İngiltere) çalıştı. Essex Üniversitesi'nden 1997'de Ph.D unvanı aldı. Halen, 1997 yılında göreve başladığı Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümü'nde ve 2004'ten beri de Kocaeli Üniversitesi Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde çalışıyor. Temel araştırma alanları lazer ile malzeme işleme, spektroskopi, lazer ile ince film kaplama ve nano-parçacık üretimi.