

Erciyes Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi
1,63-70, (1985)

İLERİ TAKIM TEZGAHLARINDA ENERJİ TASARRUFU

Bekir Sami YILBAŞ

E.Ü. Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

ÖZET

Laserlerin takım tezgahı olarak uygulamaları en çok uçak ve elektronik sanayinde görülmektedir. Özellikle uçak motorlarında ve uzay araçlarında laserlerle delinmiş ve çapları 5 μm ile 1 mm arasında değişen binlerce deliği görmek mümkündür. Laserlerin verimleri çok düşüktür. Bu nedenle delme işleminde enerji tasarrufu şarttır. Çünkü, her delik için tasarruf edilecek bir iki joule'lik laser çıkış enerjisi laser giriş enerjisi olarak yüzlerce joule değerindedir. Bu binlerce sayıdaki delikler için toplam olarak büyük bir enerji tasarrufu demektir. Laser delme işleminde enerji tasarrufu laser parametrelerinin en iyi bir şekilde seçilmesi mümkündür. Böylece neticede % 30 kadar bir enerji tasarrufunda sağlanmaktadır.

SAVING OF ENERGY IN ADVANCED MACHINE TOOLS

SUMMARY

The application of laser as a machine tool can be seen widely in electronic industry. Especially, one can see the holes drilled by lasers as small as 5 μm to 1 mm in aeroplanes and space ships. The efficiency of lasers are very low and the saving in laser machining is essential. If a few Joules of laser output energy for one hole, this will be equivalent to hundered of Joules in terms of laser input energy. When thousands of holes are concerned this saving becomes of the order of Mega Joules. The saving of energy in laser machining can be achieved with proper selection of laser parameters. Therefore, 30 % of laser input energy can be saved.

1- GİRİŞ

Laserin takım tezgahı olarak tatbikatı ençok elektronik ve uçak sanayiinde görülmür. Laserle delik çap-derinlik oranları 1/1 ile 1/20 arasında değişen delikleri delmek mümkündür. Delik çapları ise bir kaç μm den 1 mm ye kadar değişmektedir. Laserle delik delme işleminde daha çok darbe esaslı katı laserler kullanılmaktadır. Bunun iki sebebi vardır. (i) Katı laserlerin dalga boyu küçük olduğu için malzeme yüzeyinden yansıyan laser ışını yok denecek kadar azdır. Halbuki dalga boyu büyük olan ışınımaların büyük bir kısmı malzeme yüzeyinden, özellikle metalik yüzeylerden yansıyacaktı. (ii) Kısa dalga boyuna sahip laser ışınları malzeme tarafından daha çok soğurulacaktır. Çünkü soğurma katsayısı küçük dalga boylarında daha büyüktür [1]. Dalga boyu büyüdükçe soğurma katsayısı azalacak ve sadece malzeme yüzeyi ısıl işleme maruz kalacaktır.

Darbe esaslı katı laserlerle delme işlemi için çıkış gücü yaklaşık olarak 10^{12} W/m^2 civarında ve darbe aralığı 1.7 msn - 13 msn arasında olmalıdır. Katı laserlerin genelde verimleri % 1 ile % 6 arasında değişmektedir [2]. Bu katı laserlerde eşik enerjisinin (threshold energy) büyük olmasındandır.

Laserlerle delme işlemi sırasında, malzeme sırası ile ısınır, ergir ve buharlaşır. Bu buhar tabakasına plazma denir. Plazma nötr ve yüklü parçacıklardan meydana gelmiş ve kompleks bir yapıya sahiptir [3]. Plazma davranışının kontrol edilmesi ile daha düzenli delik geometrisi elde etmek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada laser parametreleri incelenmiş ve en az enerji sarfedilerek en iyi delik geometrisinin meydana geldiği şartlar araştırılmıştır. Bu amaçla Nikel ve çelik (EN58) malzemeleri çeşitli seviyelerdeki laser çıkış enerjilerinde ve farklı odak pozisyonlarında delinmiştir. Delme işlemi sırasında meydana gelen plazma karakteristikleride incelenmiştir.

Tatbikatta, uçak motorlarının filtre elemanları laserlerle delinmiş metalik plakalar olduğu görülmür. Bu plakalardaki delik çapı 5 μm ve delik sayısında binleri geçmektedir. Bu deliklerin delinmesi sırasında laser parametrelerinin iyi bir şekilde düzenlenmesi şarttır. Böylece % 30 kadar delme enerjisinden tasarruf yapmak mümkündür. Laser veriminin % 1 olduğu düşünülürse her bir delik için yaklaşık 500 Joule lik

Bir enerji tasarrufu yapılmaktadır. Binlerce sayıdaki delik için bu büyük bir enerji tasarrufu olacaktır.

2- LASER ENERJİ TASARRUFUNA İLİŞKİN PARAMETRELER VE BAZI TANIMLAR

2.1- LASER ÇIKIŞ ENERJİSİ VE VERİMİ

Laser çıkış enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanır [4] .

$$E_{out} = \frac{V_2}{V_3} \cdot \eta \cdot [E_{in} - E_{cr}] \quad 1 \text{ dir.}$$

E_{cr} eşik enerjisi (threshold energy) olup 0.1 - 1.0 J/m³ arasında değişmektedir [3] . Katı laserlerde, bu daha çok flaş tüpü ile laser rodunun eliptik yansıtıcı içerisindeki konumuna bağlıdır [4] . 1 nolu denklem yeniden düzenlenirse,

$$\frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{V_2}{V_3} \cdot \eta \cdot \left(1 - \frac{E_{cr}}{E_{in}}\right) \quad 2 \text{ olur.}$$

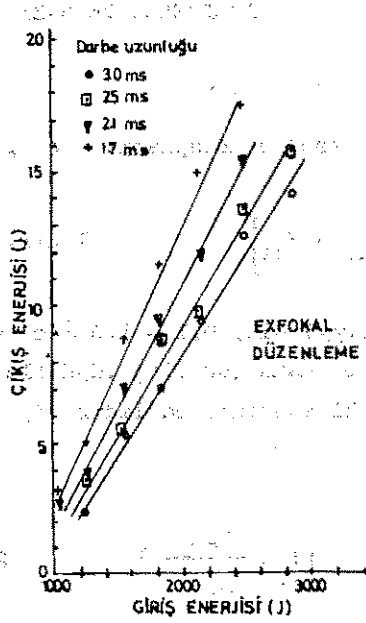
Bu laser verimini tarif etmektedir. Nd⁺³ laser rodu için teorik olarak $\frac{E_{out}}{E_{in}}$ (verim)'nin E_{out} (çıkış enerjisi) ile değişimi lineer bir formundadır. Deneysel olarak Nd⁺³ laser rodu kalibre edilmiş [5] ve laser çıkış enerjisinin laser giriş enerjisi ile değişimi Şekil 1'de verilmiştir.

Görüldüğü gibi, verim çok düşüktür (% 1). Böylece 30 joule çıkış enerjisi için 3000 joule lik bir giriş enerjisine ihtiyaç vardır. Delme işleminde kullanılan her fazla bir joule için yaklaşık 100 joulelik bir giriş enerjisi fazladan kullanılmış demektir. Bu ise delik sayısının binleri geçtiği durumlarda büyük bir enerjinin israfı demektir.

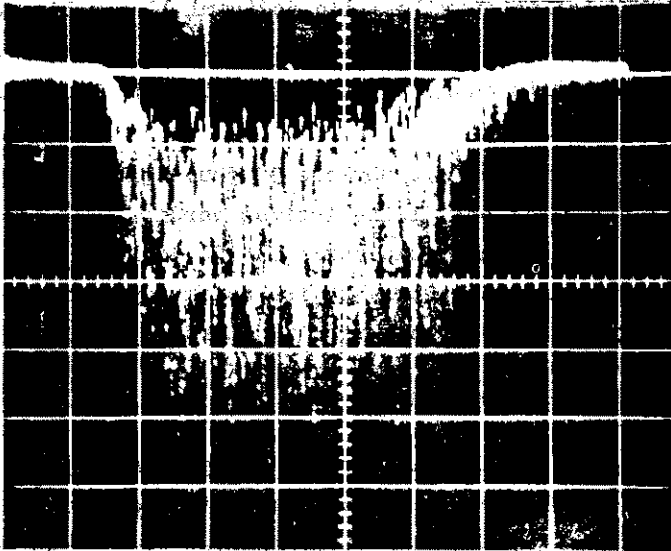
2.2- LASER ÇIKIŞ GÜCÜ VE ODAK DÜZLEMİ

Laser çıkış gücü 1 µsn aralıklarla görülen çıkışlardan (spike) meydana gelmiştir. Tipik bir laser çıkış gücü Şekil 2'de verilmiştir. Laser çıkış gücünün odak düzleminde dağılımı Shayler tarafından incelenmiştir [6] ve laser çıkış gücünün Gauss dağılımı yaptığı bildirilmiştir. Laser ışınlarını odaklayan merceğin kalitesinin düşük olması yani dairesel aberasyonun (spherical aberation) büyük olması halinde

odak düzleminde çıkış gücü dağılımının 1/e noktası merkezden dışarıya doğru kaymaktadır [6] .



Şekil.1- Laser çıkış enerjisinin giriş enerjisi ile değişimi.



0.2 msn/Div.

Şekil.2- Laser Çıkış gücü. (Çizgiler çıkışları göstermektedir)

Bu ise radyal yönde bir ısı transferinin meydana gelmesine neden olur. Böylece radyal yöndeki ısı transferinden dolayı hem delik geometrisi düzensiz olmakta ve hemde faydalı enerjinin bir kısmı delme işleminde kullanılmamaktadır.

2.3- PLAZMA

Laser delme işlemini kontrol eden diğer bir parametrede delme işlemi sırasında üretilen metal buharıdır. Buna plazma denir. Plazma davranışı daha önce incelenmiş ve laser parametrelerince kontrol edilebileceği bildirilmiştir [7]. Plazma malzeme yüzeyine gelen laser ışınlarının bir kısmını soğurur böylece malzeme yüzeyine daha az laser enerjisi gelir. Plazma sıcak olduğu için malzeme yüzeyinde hareketli bir ısı kaynağı gibi davranarak delme işlemine yardımcı olur. Görülürki, plazma soğurma özelliğinden dolayı arzu edilmeyen, fakat ısı kaynağı davranışından dolayı da arzu edilen bir ara tabakadır. Bu arzu edilen ve edilmeyen özelliklerin optimum olması halinde delme işlemi en iyidir [8].

2.4- TANIMLAR

Delme zamanı: Laser darbe süresi içerisinde delmenin başladığı zamandır. Bu yüksek devirli kameralarla tesbit edilebilir [9].

Odak Pozisyonu: Odaklama merceğinin nominal odak düzleminde daha aşağıdaki odaklama düzlemlerini içeren odak pozisyonudur. Örneğin, F.0.30" odak pozisyonu; nominal odak düzleminde 0.30" aşağıdaki odaklama düzlemdir.

3- İRDELEME

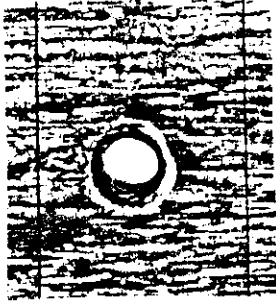
Tablo 1 de Nikel ve Çelik (EN58) malzemelerin delinmesi sırasında delme zamanının laser çıkış enerjisi ile değişimi farklı odak pozisyonları için verilmiştir. 18.9 Joule ve F.0.30" odak pozisyonundan delme zamanı daha kısadır. Fakat 24.5 Joule ve F.100" odak pozisyonunda delme zamanı daha kısadır. Delme zamanı gözetüne alınırsa odak pozisyonu ile çıkış enerjisi arasında ters bir orantının bulunduğu tesbit edilebilir. Delme zamanının kısa olması geri kalan laser darbesi süresince laser enerjisinin delme işleminde kullanılacağından dolayı delik geometrisinin daha iyi olmasına neden olur.

		Enerji (j)		Odak Pozisyonu
		18.9	24.5	
Nikel	Delme	0.47	0.35	F.030"
	Zamanı	0.62	0.30	F.100"
EN 58	Delme	0.61	0.48	F.030"
	Zamanı	0.78	0.40	F.100"

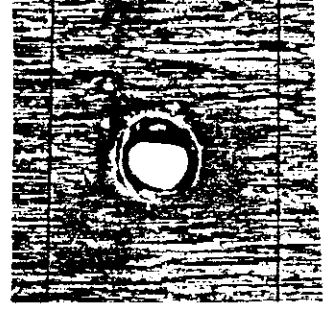
Tablo: 1

Şekil : 3 de Nikel malzemeye ait delik geometrilerini gösteren fotoğraflar verilmiştir. F.030" odak pozisyonunda 24.5 Joule enerjide delik geometrisi iyidir. Enerji seviyesi 24.5 joule ve F.100" şartlarında elde edilen delik ile 18.9 joule ve F.030" şartlarında meydana gelen delik geometrisi arasında büyük bir fark yoktur. Açıkça görüldürki odak pozisyonu ile çıkış enerjisi arasında bir bağlantı vardır. Bu bağlantı daha önce bildirilmiş fakat bu bağlantıyı tanımlayan bir matematik fonksiyon verilmemiştir [10] .

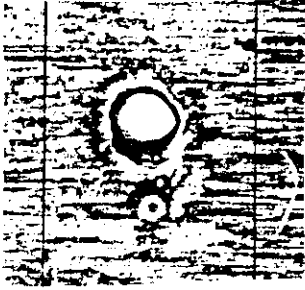
Odaklama düzleminin değişmesi ile dahaaz enerji harcanarak arzu edilen delik geometrisini elde etmek mümkün olmaktadır. Böylece her bir delik için tasarruf edilen laser çıkış enerjisi 5.6 joule civarındadır. Bu tasarruf edilen enerji laser giriş enerjisi olarak 560 joule kadardır. Bu ise % 30 kadar bir enerji tasarrufu demektir.



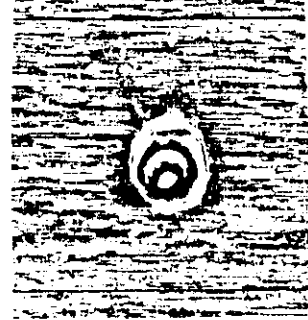
Nikel F.030"
24.5 Joule



Nikel F.100"
24.5 Joule



Nikel F.100"
18.9 Joule



Nikel F.030"
18.9 Joule

Şekil 3 - Değişik odak pozisyonlarında ve enerji seviyelerinde Nikel içerisine delinmiş delikler görülmektedir.

4. NETİCELER

1- Odak düzleminde laser çıkış gücü Gauss dağılımı yapmaktadır. Odaklama düzleminin değişmesi ile bu dağılımın $1/e$ noktası merkezden dışarıya doğru kaymakta ve böylece malzeme içerisinde radyal yönde bir ısı transferi meydana gelmektedir. Bu ise faydalı enerjinin bir kısmının israfına neden olmaktadır.

KAYNAKLAR :

- 1- Charles,D. et al., Handbook of Chemistry and Physics, The Chemical rubber publishing company. 44th ed. 1963.
- 2- Yılbaş,B.S., Heat transfer mechanisms initiating the laser drilling of metals., Ph.D. Thesis Mech. Eng. Dept. University of Birmingham , 1982.
- 3- Patek,K., Glass Lasers, London ILIFFE Books, 1970.
- 4- Rykalin,N. et al., Laser Machining and welding, Pergamon Press, 1975.
- 5- Yılbaş, B.S., Yıldız, M.E., Darbe Esaslı katı laserlerin çıkış güçlerinin konik kalorimetre ile ölçülmesi., Doğa Dergisi (Yayınlanacak)
- 6- Shayler P.J., Laser Drilling phenomena including beam/vaporised material interactions., Ph.D. Mech.Eng.Dept. University of Birmingham, 1975.
- 7- Yılbaş, B.S., Darbe esaslı laserlerle delme sırasında meydana gelen plazma davranışının değişik delme ortamı basınçlarında incelenmesi., Doğa Dergisi (Yayınlanacak)
- 8- Yılbaş, B.S., The study of absorption of incident beam during laser drilling of metals., Postdoctoral report Mech.Eng.Dept.University of Birmingham, 1984.
- 9- Yılbaş, B.S., Optical Method for measurement of the temporal variation of the surface of a metal heated by a laser., Japanese Journal of Applied Physics To be Published.
- 10- Yılbaş, B.S., The best hole drilling of metals with lasers., M.Sc. Thesis Mech.Eng.Dept. University of Birmingham, 1978.