

Lazer İle Kesme İşlemlerinde Kesim Kalitesine Etki Eden Parametreler

Mustafa ÜRGÜPLÜ¹ ve Sakıp KÖKSAL²

¹Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Sakarya/Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Türkiye

Özet

Lazer teknolojisindeki gelişmeler, bu teknolojinin, alternatiflerini geride bırakarak, birçok endüstriyel alana uygulanabilmesine imkan tanımıştır. Lazer teknolojisinin sanayideki en büyük uygulama alanlarından birisi metal ve metal olmayan malzemeleri kesme işlemleridir. Lazerle kesim işleminde mekanik kesme kuvvetleri oluşmadığı için titreşimsiz ve hızlı bir operasyon yapılabilmektedir. Lazer teknolojisi ile yapılan metal kesim işlemleri geleneksel yöntemlere kıyasla bir çok açıdan daha başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Geleneksel yöntemlerde olduğu gibi, lazerle kesim teknolojisinde de üretim verimliliğini arttıran ve ürün kalitesine doğrudan etki eden bir takım işlem parametreleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel malzeme kesme işlemlerinde kullanılan lazer sistemleri ve işlem parametrelerinin kesme ve ürün kalitesine etkileri incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: lazer ışını, lazerle kesme, metal kesim kalitesi, lazer kesim izi

The Effect of Laser Cutting Process Parameters on The Quality of Metallic Component

Abstract

Developments in laser technology have expanded its area of utilization in several industrial sectors, by virtue of important advantages over alternative methods. The most common application of laser technology in industry is material cutting processes including metallic and non-metallic materials. Since the mechanical forces are eliminated in this technology, no vibration is generated during cutting and a faster operation is carried out. The laser cutting technology inherently possesses some advantages over traditional methods. As with traditional methods, laser cutting technology has operational parameters affecting process efficiency and product quality. In this article, the effect of laser cutting parameters has been discussed to an appreciable extent by giving particular emphasis on quality and productivity.

Keywords: laser beam, laser cutting process, the quality of cutting process, kerf width

1. Giriş

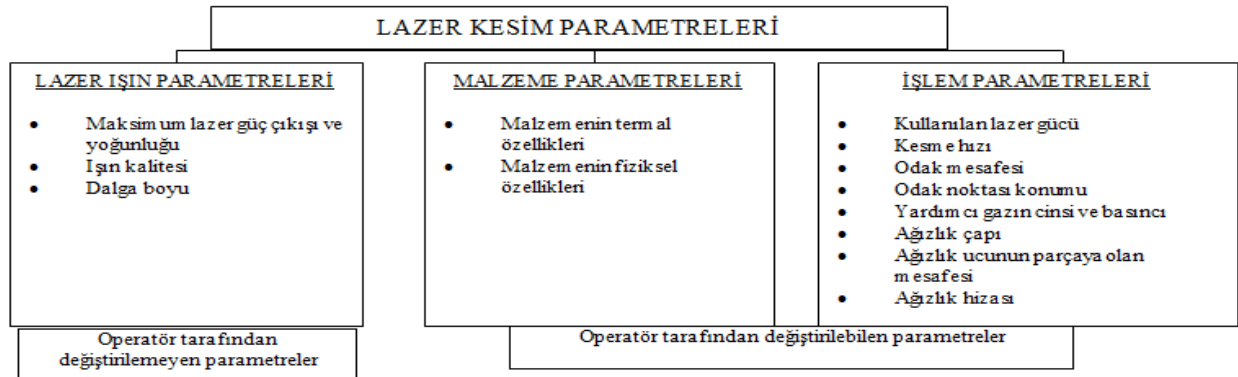
İleri mühendislik malzemelerinin ortaya çıkması, zorlu tasarım gereksinimleri, karmaşık geometriler ve hassas boyutsal ölçüler, geleneksel işleme metotlarının kullanımını sınırlandırmaktadır. [1]. Modern işleme yöntemleri arasında, lazer ışınıyla kesme (LBM) bu teknolojinin en yaygın uygulama alanlarından biridir. Metal ağırlıklı olsa da, çok farklı türden malzemelerin (kumaş, kauçuk, kağıt vb.) kesilmesinde kullanılan lazer kesim teknolojisi en hızlı yaygınlaşan gelişmiş metotlardandır [5].

Lazerle işleminin geleneksel metotlara (plazma, oksijen ile kesim, testere) kıyasla pek çok üstünlüğü vardır. Öncelikle temassız işleme özelliğiyle kesilmesi zor olan kırılğan, iletken veya

yalıtkan, yumuşak ve ince, kesimi zor olan ileri mühendislik malzemelerinde hızlı ve hassas bir işleme kabiliyeti sunmaktadır. [7]. İkinci olarak, LBM termal bir işlemdir ve termal çalışmaya duyarlı malzemelerde termal etkiler çok sınırlı bir bölgede tutulabilmektedir. Üçüncüsü, LBM daha esnek bir işlem oluşudur [6]. Diğer avantajları ise minimum malzeme kaybı veren dar kesim izi (kerf), oldukça düz kesme kenarı, minimum metalürjik ve yüzeysel bozukluklar, yüksek kesme hızı, karmaşık kesimler için bilgisayar destekli nümerik kontrollü tezgahlara kolay entegrasyon edilebilmesidir. [4, 9]. Lazerle saç metal kesiminde, CO₂ lazerler yüksek güç ve ışın kalitesi sundukları için bu alanda egemendirler [3]. Saç metal kesimi, endüstrideki lazer uygulamaları içerisinde en büyük paya sahiptir. İşlem temelde odaklanmış lazer ışını ile düzlem bir tabaka kesme işlemidir. Lazer ışınının malzeme üzerine mercekler yardımıyla odaklanması sonucunda, küçük ve hassas olarak konumlanmış bir bölgede ergitme ve buharlaştırma ile kesme gerçekleştirilir [8]. Böylesine kullanışlı ve yaygın bir teknolojiyi en uygun şekilde kullanabilmek için, kesme işlemini etkileyen parametrelerin iyi bilinmesi ve bu parametrelere bağılı olarak kalitesi yüksek ürünlerin elde edilmesi sağlanabilir.

2. LAZER İLE KESME İŞLEMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER (THE PARAMETERS WHICH AFFECT THE CUTTING QUALITY)

Lazer kesme işleminin kalitesi, genel olarak malzeme, lazer sistemi ve operasyon parametreleri tarafından belirlenir [12]. Lazer sistemi parametreleri, ışın dalga boyu, maksimum lazer güç çıkışı, lazer ışın kalitesi, kesilen malzemenin özellikleri ve kalınlığını içermektedir. Operasyon parametreleri ise lazer gücü, kesme hızı, merceğin odaklama mesafesi, odak noktasının iş parçası üst yüzeyini takibi, yardımcı gazın basıncı ve türü, ağızlık çapı ve ağızlığın iş parçası üst yüzeyine olan mesafe ayarını kapsamaktadır. Malzeme cinsi ve kalınlığına bağılı olarak bu parametreler değiştirilir. Bununla birlikte lazer sistemine ait bazı karakteristik parametreler operatör tarafından değiştirilemezler. [13].



Şekil 2. Lazer kesim parametreleri (Laser cutting parameters) [13]

2.1. Lazer Işın Parametreleri (Laser Beam Parameters)

Işın parametreleri, lazer ışınının özelliklerini karakterize eder ve lazer güç çıkışını, ışın kalitesini, ışın dalga boyu ve polarizasyonunu ihtiva eder. Lazer ışını, ışının dalga boyunun, polarizasyon durumunun, yüzeyin optik özelliklerinin ve ışığın geliş açısına bağılı olarak belirli oranda iş parçası yüzeyine yansıtılır ve emilir. [14].

2.1.1. Lazer Çıkış Gücü ve Yoğunluğu (Laser Output Power and Intensity)

Lazer gücü, birim zamanda (saniyede) lazer ışığı formunda yayılan toplam enerjidir. Lazer ışın yoğunluğu ise, gücün lazerin yoğunlaştırıldığı alana bölünmesiyle elde edilen bir parametredir. Yüksek ışın yoğunluğu kesme uygulamaları için istenilen bir özelliktir. Çünkü bu özellik kerf aralığının çok kısa zamanda hızlı bir şekilde ısınmasını sağlar ve böylece yüksek kesme hızları ve mükemmel kesme kalitesi elde edilmiş olur. Çoğu metalin yansıtma özelliği, düşük ışık yoğunluğunda yüksektir ve yüksek ışık yoğunluğunda düşüktür. Malzeme kalınlığı arttıkça yoğunluğunda artması gerekir. İşlem geliştirme sırasında optimum güç değerleri belirlenir. Çünkü aşırı güç, geniş bir kerf aralığı ve artık malzemenin artışı ile sonuçlanırken, yetersiz güç ile ise kesme işlemi başlatılamaz. [11,15].

2.1.2. Işın kalitesi (Beam Quality)

Lazer ışın kalitesi, ışın kesit düzlemindeki enerji dağılımını temsil eden bir lazer ışın modu ile karakterize edilir. Tekdüze bir enerji dağılımına sahip iyi bir ışın modu, lazer kesme için son derece önemlidir. Çünkü hassasiyeti ve kesme hızını arttıran yüksek güç yoğunluğunu ancak böyle bir ışığın küçük bir noktaya odaklanması ile mümkün olur. Yüksek düzensizliğe sahip modlar malzemenin kerf dışında ısınmasından dolayı zayıf kesme kalitesi ile sonuçlanmaktadır. [15].

Işın kalitesi lazer sistemlerinin çıkışında elde edilen ışının; fiber kuplajını, ışın yönlendirmesini ve ışını odaklamayı kolaylaştırmak için en önemli parametredir. Bir diğer lazer ışın kalite faktörü ise “ışın parametre ürünü” (beam parameter product, BPP) olarak ifade edilir. BPP, ışının en dar noktadaki yarıçapı ve ışının uzak mesafedeki ayrışma açısının çarpımıyla bulunur. BPP, uygulamada bir lazer ışınının ne kadar küçük noktaya odaklanabileceğini gösterir; ışın kalitesi BPP değeri ile ters orantılıdır. Optik olarak tek modlu lazer uygulamalarında, ışın kalite faktörü (M^2) 1 değerine ne kadar yakın ise lazer ışını o oranda kalitelidir. Çok modlu uygulamalarda ışın kalitesi 1 değerinden büyük değerler alır. Ancak “ışın parametre ürünü” belli bir değere kadar sınırlandırılabilir. Bu da malzeme üzerine odaklanan lazer ışığının minimum bir çapa kadar daralabileceği ve çaptan sonra ışığın tekrar dağılacığını gösterir. [16].

2.1.3. Dalga boyu (Wavelength)

Metal malzemelerin ışığı yansıtılma özelliği lazerlerin dalga boyunun bir fonksiyonudur. Metaller uzun kızılötesi dalga boylarını (CO_2 lazer dalga boyu), kısa kızılötesi dalga boylarından (Nd:YAG lazer dalga boyu) daha iyi yansıtır [15,17]. Bir Nd:YAG ışını daha iyi hassasiyet, daha dar bir kerf genişliği ve daha kaliteli bir kesme yüzeyi sağlamak amacıyla, CO_2 lazer ışımına kıyasla, daha küçük çaplara odaklanabilir [11]. Şekil 3’te sıkça kullanılan metallerin bu iki lazer ışınını soğurma oranları gösterilmiştir.

Kızıl ötesi dalga boyu $10.6 \mu m$ olan CO_2 lazer ışınının soğurulma oranı malzemelerin elektrik iletkenlikleri tarafından belirlenir. Oda sıcaklığında altın, gümüş, bakır, alüminyum gibi iletkenliği yüksek metaller çok az miktarda CO_2 lazer ışını soğururlar ve bunun büyük çoğunluğunu yansıtırlar. Çelik gibi orta düzey iletken malzemeler %10 civarında bir soğurma gösterirler. Plastik ve ahşap esaslı yalıtkan malzemeler mükemmel soğurma kabiliyeti gösterirler. Diğer yandan Nd:YAG türü lazerlerin metaller tarafından soğurulma kabiliyeti daha yüksektir. Fakat yalıtkanlar yalnızca ihmal edilebilir bir soğurma gösterir. Bunun sebebi yalıtkanların ışını

soğurabilmesi amacıyla iyonize olması için çok büyük enerjiye ihtiyaç duyulmasıdır. Belirli bir uygulama için uygun lazer türü darbe süresi, gücü, odaklanabilirliği ve dalga boyu değerlerine göre belirlenir [15,17].

Oda sıcaklığında CO₂ lazer ışığını iyi derecede yansıtan metallere, ısıtıldıklarında iyi bir soğurucu haline gelirler. Kesme işlemi başladıktan sonra, kesim sanki siyah bir gövdeymiş gibi hareket eder ve lazer ışığı ergimiş ince tabaka tarafından güçlü bir şekilde soğurur. Erimiş yüzeyle temas eden lazer ışınının yansıma kabiliyeti, lazer ışığının yüzeye yaptığı açığa, lazer ışığının polarizasyon tabakasına ve ergimiş malzemenin optik özelliklerine bağlıdır. Bakır ve alüminyum gibi demir dışı metallerde soğurma özelliğini arttıran ısıtma işlemini gerçekleştirmek zordur. Bunun nedeni bu metallerde kesme işleminin etkinliğini azaltan yüksek yansıtma kabiliyetinin yüksek termal iletkenlik özelliğiyle birlikte bulunmasıdır [18,22,23].

2.2. Malzeme Parametreleri (Material Parameters)

Lazer ışını çok farklı termal ve fiziksel özelliğe sahip malzemelerin kesilmesinde kullanılır. Metal malzemelerinin ergime sıcaklıkları yüksek olduğundan kesme işlemi için yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulur. Metal dışı malzemelerin kesimi düşük güç yoğunluklarında gerçekleştirilebilir. Metal yüzeyine karşı odaklanmış lazer ışını metal yüzeyi tarafından kısmen soğurur, kısmen yansıtılır. Malzemenin lazer gücünü soğurma kabiliyeti, metal yüzeyinin yansıtma özelliğine bağlıdır. Malzemenin optik özelliği sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden soğurma kabiliyeti de değişiklik gösterir. Bunların yanında az da olsa yüzey görünümü, metalürjik faz ve yüzeye yakın yerlerdeki gazların ve parçacıkların lazer ışını ile etkileşimine bağlı olarak değişir. Malzemenin termal ve fiziksel özellikleri, işlem parametrelerinin yanı sıra doğru lazer-malzeme kombinasyonunu oluşturmak için önemlidir. [15,26].

2.2.1. Termal ve Fiziksel Özellikler (Thermal and Physical Properties)

Lazer kesimin etkinliği, lazer enerjisinin malzemeye nüfuz etme miktarına bağlıdır. Bu yüzden malzemenin termal özellikleri lazerin kesme kabiliyeti ve kesme işleminin kalitesinde büyük rol oynamaktadır. [22].

Bazı metallere kızıl ötesi lazer ışını yansıtma kabiliyetinin yüksek olması, kesme işleminin başlamasını zorlaştırabilir. Yüksek termal iletkenliğe sahip bir metalin kesilme işlemi esnasında, ısı kesim bölgesinden malzemeye doğru hızla yayılmaya başlar. Bu yüzden esas kesme bölgesinde yüksek güç seviyeleri ya da düşük kesme hızları gerekmektedir. Fakat azalan kesme hızı anormal erime bölgeleri ve zayıf kenar kalitesi ile sonuçlanan düzensizliklere sebep olur. Isıl kapasitesi yüksek, ergime ve buharlaşma sıcaklıkları belli olmayan malzemeleri kesmek için yüksek miktarda enerji gerekmektedir. [19].

Boyalı ve yağlı yüzey şartları kesme işleminde beklenmedik performanslara sebep olabilir. Yüzeydeki yükseklik değişimleri, haddeme kusurları, oluklar kenar kalitesini düşürür. İnce ve uniform bir oksit tabakası ise lazer ışınının soğurulmasına katkıda bulunur ve kesme performansını geliştirir. Yüksek yüzeysel gerilmeye ve düşük viskoziteye sahip ergimiş malzemelerin yardımcı gazlar ile kesme yüzeyinde uzaklaştırılmaları zordur ve bunlar kesme kenarının altına yapışırlar. Kesilen plakanın kalınlığı işlemin gerçekleştirilebilmesi için gereken lazer gücünü belirler. [11].

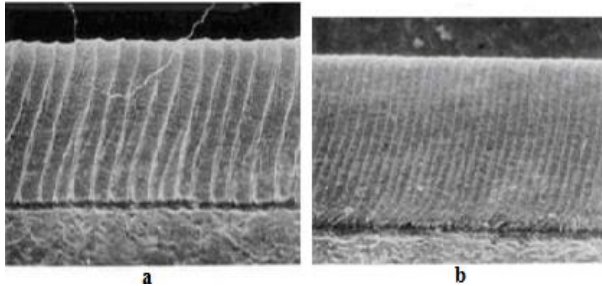
2.3. İşlem Parametreleri (Process Parameters)

İşlem parametreleri kesme işleminin kalitesinin geliştirilmesi ve başarılı bir kesim sonucu elde etmek için değiştirilebilen karakteristikleri ihtiva eder. Ama bazı işlem parametreleri operatör tarafından değiştirilemez. [19].

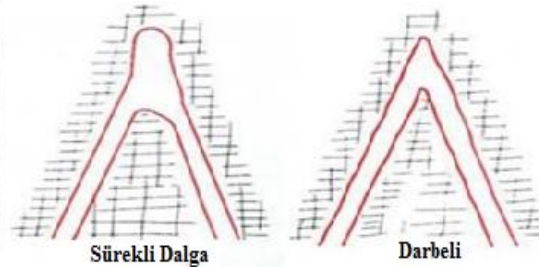
2.3.1. Sürekli Dalga (CW) ve Darbeli Lazer Gücü (Continuous Wave (CW) or Pulsed (P) Laser Power)

Yüksek gerilim darbeleri veya sürekli ışınla sağlanabilir. Darbeli kesimde en yüksek darbe gücü ve sürekli kesimde ortalama güç, ışının nüfuziyet derinliğini belirler. Yüksek bir sürekli dalga lazer ışını özellikle daha kalın kesitli malzemelerde, yüksek kesme oranlarına sahip uygulamalarda düz bir kesim için kullanılır. Çünkü en yüksek kesme hızları yüksek ortalama güç seviyelerinde elde edilir. Fakat kesme kalitesinin bozulması ve iş parçasının ısınmasına sebep olan, kerf çeperinden iş parçasının diğer kısımlarına transfer edilen ısıyı önlemede yetersizdir. Daha düşük enerjili darbeleri ışın ince parçaların hassas kesimi için, yüksek güçlü sürekli dalga lazerine tercih edilir. Çünkü düşük ortalama güce sahip lazer ile işleme, kerf boşluğunda cüruf oluşumunu düşürür ve kerf boşluğundan sıcak malzemenin atılmasını sağlayan bir kesim gerçekleştirirken, kısa darbeleri yüksek güce sahip lazerler etkili bir ısınmayı garanti eder. Ayrıca yüksek zirve gücüne sahip darbeleri bir lazer, yüksek ısı iletkenliğe sahip malzeme işlemlerinde ve aşırı ısınma probleminin meydana geldiği karmaşık ve dar geometrilerin kesiminde avantajlıdır. [11,15].

Darbeleri kesimlerde oluşan şeritler, sürekli dalgalı lazer ile kesimlerde oluşanlara göre daha iyidir.(Şekil 4). Ek olarak keskin köşelerin kesimi, darbeleri kesimde sürekli dalga lazerine göre daha başarılı bir şekilde gerçekleşmektedir. [15,23].



Şekil 4. (a) Sürekli dalga lazeri ve (b) dalgalı lazer kesimi karşılaştırması (A comparison of (a) continuous wave laser cutting and (b) pulsed laser cutting) [23]



Şekil 5. Keskin bir köşede darbeleri kesim etkisi (Effect of pulsing at a sharp corner) [15]

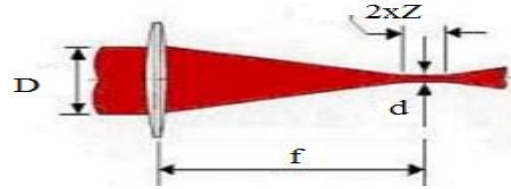
2.3.2. Merceğin Odaklama Mesafesi (Focal Length of the Lens)

Katı hal lazerinde ışını yönlendirmek için genellikle fiber optik kablolardan yararlanır. Işık kablosunda paralel demet halinde yayımlanan lazer ışınıni biçimlendirmek için ise kolimatörler kullanılır. Lazer ışını ışın kablosundan ve kolimatörden geçtikten sonra, bir odaklama merceği paralel ışın demetini iş parçası yüzeyine odaklar. CO₂ lazerlerin dağıtımı için fiber optik kablo kullanılmaz. Bu yüzden lazer kaynağından yayılan ışın doğrudan mercek ile malzeme yüzeyine odaklanır. Lazer kesme işleminin gerçekleşmesi, yüksek güçlü lazer ışığının malzemeyi kesmek için oluşturulması gereken güç yoğunluğunun sağlanabileceği küçük bir noktaya odaklanmasını

gerektirir. Merceğin odaklama mesafesi odak noktasının boyutunu ve ayrıca tatmin edici bir kesme için odak derinliğini belirler. [11,15].

Lazer ışığının odak yeteneği şekil 6’da resmedilmiştir. “Z” odak derinliğini (Rayleigh uzunluğu) ifade eder. Denklem 4 ise odak noktası boyutunu (d_f) belirleyen parametreleri göstermektedir. Burada, “f” mercekle en küçük odak noktası arasındaki mesafeyi, “D” odaklanmamış ham lazer ışın çapını, “ λ ” lazer ışını dalga boyunu belirtir. Odak mesafesi ayrıca odak noktası boyutu gibi benzer parametrelere bağlıdır. Genellikle küçük bir odak çapı, kısa bir odak mesafesi ile bağdaştırılır.

$$d_f = \frac{4\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{D} \cdot \frac{1}{K} = \frac{4\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{D} \cdot M^2 \quad (4)$$



Şekil 6. Lazer ışığının odaklanması (Focusing of laser beam) [15]

63 mm “f” değerine sahip mercekler, kalınlığı 4 mm’den az olan malzemelerin kesimi için, küçük odak boyutu, paralel ve dar bir kerf aralığı sağladıkları için tercih edilmektedirler. Daha uzun odak mesafesi daha kalın malzemelerin kesilmesinde kullanılır. [11]. Uzun odak mesafesine sahip mercekler, çalışma alanını genişletir, merceğin kirlenmesini minimuma indirir ve odak derinliğini arttırlar. Yüksek kalitede bir lazer ışını, odak noktası boyutundan taviz vermeden, ancak daha uzun mesafeli bir mercek kullanılarak mümkün olur. Kesme uygulamalarında mercek seçimi için kritik faktörler, odak noktası boyutu ve odak derinliğidir. Bu yüzden odak mesafesi, kesilecek malzemenin kalınlığına göre optimize edilmelidir. [15,20].

2.3.3. Malzeme Yüzeyine Bağlı Odak Pozisyonu (Focal Position Relative to the Material Surface)

Odak pozisyonu optimum kesme kalitesini sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Malzeme kalınlığındaki farklılıklar, odak değişikliği ve lazer ışın yoğunluğunda çeşitlenmelere yol açar [15].

Oksijen destekli kesimde maksimum kesme hızları, ışının odak yüzeyi ince levhalar için düzlem yüzeyi ve kalın levhalar için tabandan levha kalınlığının üçte biri kadar yüksekte ayarlandığında başarılı olmaktadır. Fakat asal (inert) bir gazın kullanıldığı kesimlerde optimum pozisyonlar alt yüzeye yakın yerlerdir. Çünkü gaz akışının kerf aralığına ve ergimiş metalde daha geniş bir alana nüfuz etmesi, daha geniş bir kerf meydana getirir. Asal gaz kullanılarak yapılan kesimlerde daha geniş bir ağızlık çapı kullanılır. Eğer odak düzlemi malzemeye çok yüksek veya çok alçak pozisyonlandırılırsa, kerf genişliği ve cüruf tabakası büyür ve kesme için gerekli güç yoğunluğu sağlanamaz hale gelir [11].

2.3.4. Kesme Hızı (Cutting Speed)

Lazer kesme işlemlerindeki enerji dengesi iki parçaya ayrılmaktadır. Bir kesme meydana getirmek için enerji kullanılır ve kullanılan enerji kesme bölgesinden uzaklaşır. Bu da göstermektedir ki kesmede kullanılan enerji, kesmeyi gerçekleştirmek için gereken zamandan bağımsızdır. Fakat kesme bölgesinde olan enerji kaybı harcanan zamanla orantılıdır. Kesme bölgesinden olan enerji kaybı kesme hızının artmasıyla azalır. Kalın malzeme kesiminde kesme hızındaki azalma, kayıp enerjide artmaya ve işlemin etkinliğinin düşmesine yol açar. Çoğu metalde meydana gelen termal iletkenliğe bağlı ısı kayıpları, malzeme kalınlıklarındaki artma ve kesme hızlarındaki azalma ile hızlıca artar. [20].

Kesme hızı, lazer gücü ve gaz akış oranı ile dengelenmelidir. Kesme hızının artmasıyla kesme kenarında oluşan şeritler daha da belirginleşir, kesme kenarı altında cüruf biriktirme artar ve nüfuziyet azalır. Yumuşak çelik keserken oksijen kullanıldığında, düşük kesme hızlarında, kesme kenarlarında aşırı yanmalar meydana gelir. Bu da kenar kalitesini düşürür ve ısıdan etkilenen bölgeyi (ITAP) genişletir. Genellikle malzemeler için kesme hızları malzemenin kalınlığı ile ters orantılıdır. Hız, keskin köşe kesimlerindeki yanmalardan kaçınmak için azaltılmalıdır [11].

2.3.5. İşlem Gazı ve Gaz Basıncı (Process Gas and Gas Pressure)

İşlem gazının lazer kesimde 5 beş temel ilkesi vardır. Nitrojen gazı cürufu kesme bölgesinin altında yeniden katılaşmadan uzaklaştırır. Oksijen gibi bir aktif gaz malzeme ile ekzotermik bir reaksiyonda yer alır. Gaz ayrıca yüksek ışın gücü ile, kalın malzemelerin kesiminde plazmanın oluşumunu destekleyen bir rol oynar ve odaklama merceği gaz akışı tarafından kirlenmekten korunur. Kesme kenarı gaz akışı tarafından soğutulur ve böylece ısı tesiri altındaki bölgenin genişlemesi kısıtlanır. [11].

İşlem gazının seçimi, lazer kesim işleminin kalitesi ve üretimde çok önemli bir etkiye sahiptir. Yaygın olarak kullanılan gazlar, avantaj ve dezavantajları ile birlikte oksijen (aktif gaz) ve nitrojendir. Tamamen asal olmamasına rağmen, nitrojen ucuz olması sebebiyle yaygın bir şekilde işlem gazı olarak kullanılır. Soy gazlardan argon ve helyum titanyum kesiminde kullanılır. Çünkü bu gazlar oksitlenmeyi ve kırılğan titanyum nitrürlerinin oluşumunu önler. [11,22,25]. Nitrojen gazı, kerf aralıklarından cürufu uzaklaştırmak için daha yüksek basınç gerektirdikleri için paslanmaz çelik, alaşımlı çelik, alüminyum ve nikel alaşımlarının kesiminde kullanılırlar. Yüksek gaz basıncı ergimiş malzemeyi kerf aralığından uzaklaştırmak için ekstra mekanik bir kuvvet sağlar. Yüksek basınçlı nitrojenli kesim paslanmaz çelik kesmede kullanılır. Bunun nedeni parlak ve oksitsiz bir kesme kenarı ortaya koymasındır. Fakat oksijen kullanılarak yapılan kesimden daha düşük kesme hızları ile işleme gerçekleştirilir. Soy gaz ile yapılan kesimlerde asıl problem, yeniden katılaşan ergimiş metalin kerf aralığında çapaklar oluşturmasıdır. Çapaksız ve pürüzsüz kesim bazı işleme parametrelerinin optimize edilmesiyle başarılı; ağızlık çapı, odak pozisyonu ve gaz basıncı. Nitrojen 10-20 bar civarında bir basınç ortaya koyar ve basınç gereksinimi malzeme kalınlıklarının artmasıyla artar. Nitrojen gazının saflığı %99.8 civarlarında olmalıdır. [11,15,18,22,25].

Oksijen genellikle düşük alaşımlı çelik yumuşak çeliklerin kesilmesinde kullanılır. Oksijen kullanımı, kesit kalınlıklarının 12 mm'nin üzerinde olduğu ve yüksek kesme hızları için yüksek kesme gücü gerektiren işlemlerde ekzotermik bir reaksiyona sebep olur. Fakat oksijenli kesim, kesim kenarlarında oksitlenmeye sebep olur. Kenar pürüzlülüğü ve cüruf yapışmasını minimuma

indirmek için işlem parametrelerinin çok dikkatli kontrol edilmesi gerekmektedir. Oksijen gazı ağızlık basıncı genellikle 0.5-5 bar arası bir basınçta tutulur. Oksijen basıncı levha kalınlıkları arttığında yanma olayından kaçınmak için azaltılır ve ağızlık çapı artırılır. [15].

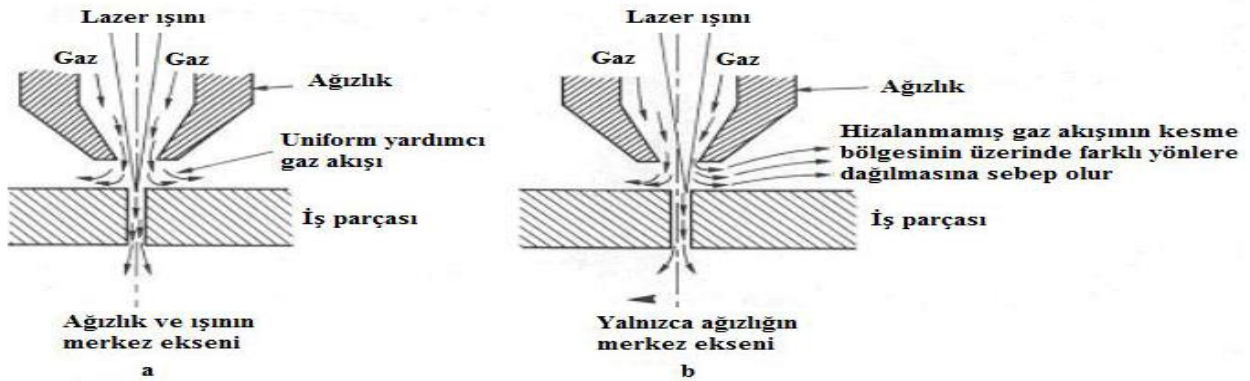
2.3.6. Ağızlık Çapı ve Dikine Mesafesi (Nozzle Diameter and Standoff Distance)

Ağızlık, kesme gazının kesme bölgesine lazer ışını ile birlikte eş eksenli bir biçimde taşınmasını sağlar ve ergime havuzundaki türbülansı minimuma indirmek için gaz basıncını ayarlar. Ağızlık tasarımı, özellikle de ağız kısmı tasarımı kesme gazı jetinin biçimini ve böylece kesme kalitesini belirler. 0.8mm ve 3mm arasında değişen ağız çapı, malzeme ve levha kalınlığına göre seçilir. [11]. Odaklanmış lazer ışınının boyutu çok küçük olduğundan, kesme işlemi boyunca kesme kerf aralığı, genellikle ağızlık çapından daha küçük olur. Sonuç olarak gazın yalnızca bir kısmı kerf boşluğuna nüfuz eder ve bu yüzden yüksek bir gaz basıncına ihtiyaç duyulur [15]. Eksen dışı ağızlıklar ek olarak ayna odaklama uygulamalarında kullanılmaktadır. Fakat kesme basıncı 200 kPa ile sınırlıdır. [27].

Dik mesafe ağızlık ve iş parçası arasındaki mesafedir. Bu mesafe, kesme kalitesini ve kesme performansını doğrudan etkileyen gazın akış modeline etki eder. Dik mesafenin fazla olduğu durumlarda gaz basıncı düşer. Dik mesafenin ağızlık çapından daha küçük olması önerilir. Çünkü geniş mesafeler, iş parçası ve ağızlık arasındaki boşlukta büyük basınç değişimlerine ve türbülansa sebep olur. Kısa dik mesafeye sahip sistemde kerf, bir ağızlık gibi davranır ve ağızlık geometrisinin hassasiyeti önemini kaybeder. [11,15]. Kai Chen ve ark. gaz basıncı ve dik ağızlık mesafesinin kesme kalitesine etkisini inceledikleri çalışmada, işleme esnasındaki basınç değişikliğinden doğan dalgalanma, gaz jetinin uzaklaştırma kabiliyetini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Bu durum kesme kalitesinin düşmesine yol açmaktadır [28].

2.3.7. Ağızlık Hizası (Nozzle Alignment)

Lazer ışını ile kesme gazı jeti eksenleri arasındaki uyumsuzluk düşük kesme kalitesine sebep olur. Ağızlıktan çıkan ve ağızlık ile eş eksenli gaz akışı, malzeme yüzeyinde bir basınç meydana getirir. Eğer ağızlık ve odaklanmış lazer ışını eş eksenli ise gaz jeti tam ağızlık merkezinden geçerek düzgün (üniform) bir akışa sahip olacaktır [11,23].



Şekil 9. (a) Lazer ışını ve gaz jetinin dengeli konumlandırılması durumu (b) Ağızlık ve lazer ışını kayık eksenli olma durumu (a) The equilibrium set up when the gas jet and laser beam are coaxial (b) Nozzle-laser beam misalignment.[23]

Eş eksenli gaz-ağızlık sistemlerinde, ağızlık çapı kerf aralığından daha büyüktür. Bu yüzden kerf boşluğundaki basınç kayıpları, ağızlıktakinden daha fazladır. Çünkü tercih edilen ağızlık dikine mesafesi 0.3mm ve üzeridir. Gazın çoğu iş parçasıyla ağızlık arasından dışarı çıkar. Gazın radyal hızı simetri ekseninde sıfırdır ve gaz dağıldıkça artar. Radyal akış kerf aralığının tabanına doğru gaz akışını etkiler. Böylece kerf tabanına doğru akış, eğer lazer ışını merkez eksenin önünde ise en büyük, arkasında ise en küçük değerini alır. Bu da gösteriyor ki eş eksenli sistemle karşılaştırıldığında kaçık eksenli sistemde kaliteli bir kesimin meydana geldiği kesme aralığı daha geniştir [29].

3. SONUÇLAR

Son yıllarda, lazer teknolojisi otomotiv ve uçak sanayisi, tekstil, tıp gibi birçok alanda kullanımını arttırmaktadır. Pek çok imalat sanayisinde lazer teknolojisini malzeme kesimi amaçlı kullanılmaktadır. Lazer ile kesimde istenilen yüksek hassasiyet, minimum pürüzlük, dar kesim izi aralığı gibi özelliklerin sağlanabilmesi için parametrelerim optimum değerlere ayarlanması gerekmektedir. Üretim esnasında oluşabilecek sorunlar, geri dönüşü mümkün olmayan ürün zayıfına sebep olur. Yüksek adetli seri imalat ürünleri için, kesme işlemine başlamadan önce bu parametrelerin belirlenmesi çok büyük önem taşır. Aksi takdirde enerji kayıpları, üretimde aksamalar ve ürün kalitesinde düşmeler kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] DUBEY A., YADAVA V., Laser beam machining—A review, Int. Journal of Machine Tools & Manufacture 48 (2008) Syf. 609–628
- [2] W.M. Steen, J.N. Kamalu, in: M. Bass (Ed.), Laser Cutting, Laser Materials Processing, vol. 3, North Holland, New York, 1983, Syf. 17–111.
- [3] RIVEIRO A., QUINTERO F., LUSQUINOS F., COMESANA R., POU J., Parametric investigation of CO₂ laser cutting of 2024-T3 alloy, Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) Syf. 1138.
- [4] CAYDAS U., HASCALIK A., Use of the grey relational analysis to determine optimum laser cutting parameters with multiperformance characteristics, Optics & Laser Technology 40 (2008) Syf. 987–994
- [5] RIVEIRO A., QUINTERO F., LUSQUINOS F., COMESANA R., POU J., Study of melt flow dynamics and influence on quality for CO₂ laser fusion cutting, J. Phys. D: Appl. Phys. 44 (2011) 135501
- [6] PRASAD G., SIORES E., WONG W., Laser cutting of metallic coated sheet steels, Journal of Materials Processing Technology 74 (1998) Syf. 234–242
- [7] CHEN M., HO Y., HSIAO W., WU T., TSENG S., HUANG K., Optimized laser cutting on light guide plates using grey relational analysis, Optics and Lasers in Engineering, 49 (2011) Syf. 222–228
- [8] RADOVANOVIC M., MADIC M., Experimental investigations of CO₂ laser cut quality, Nonconventional Technologies Review 4/2011
- [9] RAO T., KAUL R., TIWARI P., NATH A., Inert gas cutting of titanium sheet with pulsed mode CO₂ laser, Optics and Lasers in Engineering 43 (2005) Syf. 1330–1348

- [10] KINCADE K., ANDERSON S., Laser marketplace 2008: Innovation opens the door for next wave of success. Laser Focus World, 2008, Syf. 44
- [11] John C. Ion, "Laser Processing of Engineering materials", ISBN 0 7506 6079 1, Syf. 347-365
- [12] Hügel H., New solid-state lasers and their application potentials, Optics and Lasers in Engineering, 2000, 34, Syf. 213-229
- [13] Wandera C., Performance of high power fibre laser cutting of thick-section steel and medium-section aluminium, (2010), Syf. 33-44
- [14] Yilbas B. S., Davies R. and Yilbas Z., "Study into penetration speed during CO2 laser cutting of stainless steel", Optics and Lasers in Engineering, Volume 17, Issue 2, 1992, Syf. 69-82
- [15] Anon., "Facts about: Laser cutting techniques", AGA Group Ltd, Syf. 4-12
- [16] Süle P., Düşük güçlü fiber lazer diyoitlu kesme sistemlerinde ışın kalite faktörünün iyileştirilmesi , Y.L Tezi, 2013, Syf. 24-25
- [17] http://info.tuwien.ac.at/iflt/safety/misc/ba_3_1.htm, referenced 29/09/2005
- [18] Dirk Petring, "Laser Cutting", LIA Handbook of Laser Materials Processing, 1st edition, 2001, Laser Institute of America, ISBN 0-912035-15-3, Syf. 425-433
- [19] Wandera C., Laser cutting of austenitic stainless steel with a high quality laser beam, 2006, Syf. 33-34
- [20] Ivarson Anders, PhD Thesis: "On the physics and chemical thermodynamics of laser cutting," Luleå University of Technology, Sweden. 1993: 114D, ISSN 0348-8373, Syf. 7, 35-37, 73-74, 105-124
- [21] http://www.laserinstitute.org/publications/lia_today/archive/articles/newfiberlaser/index.php3, referenced 24/09/2005
- [22] Rajendran Natarajan, Ph.D. Dissertation: "An experimental and theoretical study of heat transfer effects during a laser-cutting process", Iowa State University, 1990, U.M.I Dissertation Information Service, Order Number 9100495, Syf. 1, 10-12, 69
- [23] John Powell, "CO2 Laser Cutting", 1993, Springer Verlag, ISBN 3-540-19786-9, Syf. 1, 6, 183-184
- [24] <http://www.nuvonyx.com/overview/index.html>, referenced 22/09/2005
- [25] Gabzdyl J. T., "Effects of gases on laser cutting of stainless steels", In Laser Materials Processing: Proceedings of the International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics ICALEO '96 held in Detroit, Michigan, USA; 14-17 October 1996, Syf. C39-C44
- [26] Yilbas B. S., Davies R. and Yilbas Z., "Study into penetration speed during CO2 laser cutting of stainless steel", Optics and Lasers in Engineering, Volume 17, Issue 2, 1992, Syf. 69-82
- [27] Fieret J., Terry M. J. and Ward B. A., "Overview of flow dynamics in gas assisted laser cutting", Presented in the fourth International Symposium on optical and Optoelectronic Applied Science and Engineering, Topical Meeting on High Power Lasers: Sources, Laser-Material interactions, High Excitations, and Fast Dynamics in Laser Processing and Industrial Applications, 30 March – 3 April 1987, The Hague, The Netherlands, (Culham laboratories) report CLM-P 818
- [28] Chen Kai, Yao Lawrence Y. and Modi Vijay, "Gas jet – Work piece interactions in laser machining", Journal of Manufacturing Science and Engineering, August 2000, Volume 122, Syf. 429 – 438
- [29] Ketting, H.-O. & Olsen, F.O., "High pressure off-axis laser cutting of stainless steel and aluminum", Proceedings of International Conference on Laser Advanced Materials Processing (Science and Applications), LAMP' 92, 7-12 June 1992, Nagaoka, Japan, ISSN 0918-2993, Syf. 607-612