



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

LAZER KESİM

İÇİNDEKİLER

1. LAZER SİSTEMLERİ	2
1.1 Lazer Kesim'in Tarihçesi	2
1.2 Lazer Kesim'de İlk Uygulamalar.....	4
1.3 Günümüzde Lazer Kesim.....	5
2. LAZER IŞINI	6
2.1 Laserin Çalışma Prensibi	6
2.2 Laser Işınının Özellikleri	7
2.3 Laser Türleri	8
2.3.1 Katı Laserler	8
2.3.2 Yarı İletken Laserler	8
2.3.3 Gaz Laserleri	9
2.3.4 Kimyasal Laserler	10
2.3.5 Sıvı Laserler	10
2.4 Laserin Araç Olarak Kullanılması.....	11
3. LAZER ile KESME	14
3.1 Kesme İşlemi.....	17
3.1.1 CO2 Lazeri	17
3.1.2 Nd-YAG Lazeri	20
3.1.3 Çalıştırma Türleri	21
3.1.3.1 Sürekli Çizgi (cw-çalıştırma)	21
3.1.3.2 Darbeli Çalıştırma	21
3.1.4.1 Lazer Işını ile Yakarak Kesme	23
3.1.4.2 Lazer ile Ergiterek Kesme	26
3.1.4.3 Lazer Işını ile Buharlaştırarak Kesme	27
3.2 Işın Dağıtımı	28



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.3 Kesme Kalitesi	30
3.4 İşlem Parametreleri	31
3.4.1 Güç	31
3.4.2 Kararlılık	33
3.4.3 Hız	33
3.4.4 Kesme Yardımcı Gazı	34
3.4.4.1 Oksijen	35
3.4.4.2 Azot ve Argon	35
3.4.4.3 Basınçlı Hava	36
3.4.4.4 Kesme Gazı Türü ve Kalitesi	36
3.4.4.5 Kesme Gazı Basıncı	36
3.4.5 Odak Pozisyonu	39
3.4.5.1 Işın Profili	40
3.4.5.2 Uzaklaşma Açısı	41
3.4.5.3 Bükme Aynaları	43
3.4.5.4 Odaklama merceği	43
3.5 Laserle Kesmenin Diğer Kesme İşlemleri ile Karşılaştırılması	43
3.6 Nozül Ayarı	44
3.6.1 Nozul Ağızı	44
3.7 İş Parçası Yüzeyi	45
3.8 Laserle Kesim Kriterleri	45
3.9 Laserle Kesim İşleminin Avantajları	47
3.10 Laserin Kullanıldığı Yerler	48
3.11 Lazer Kesim İçin Parça Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler	49
3.11.1 Lazer Kesim Malzemeyi Değiştirir	49
3.11.2 Kesimdeki Koniklik	49
3.11.3 Kenar Bükümleri	49
3.11.4 Parça Üzerindeki Delik Konumları	50
3.11.5 Boyalı Parçalar	50
3.11.6 Malzeme Kalınlığı	51
3.11.7 Parça Şekli Kesme Verimliliğini	51
4. LAZER KESİM MAKİNELERİ	52



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

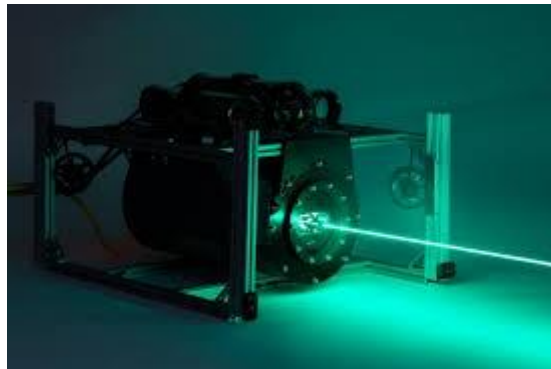
4.1 CNC Laser Kesme Tezgahları.....	52
4.2 Lazer Kesim Makinesi Nasıl Çalışır?	54
4.3 CNC Lazer Tezgahı Bileşenleri	55
4.3.1 Lazer Tüpü	56
4.3.2 Lazer Güç Kaynağı	57
4.3.3 Hareket Sistemleri (Step&Servo Motor ve Sürücüler)	58
4.3.4 Lazer Su Soğutucu Ünite	60
4.4 CNC Lazer Kontrol Programları	62
Kaynaklar	64

1. LAZER SİSTEMLERİ

1.1 Lazer Kesim'in Tarihiçesi

Lazer kesim günümüzde pek çok sektörde, üretim tesislerinde, tıpta ve hatta sanat eserlerinin yapımında yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. Tüm bu yaygın kullanıma rağmen lazer kesim diğer yöntemlere kıyasla nispeten yeni bir teknolojidir.

Lazer İngilizce; Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (uyarılmış ışın yoluyla ışık kuvvetlendirilmesi) cümlesindeki kelimelerin baş harflerinin alınmasından türetilmiş bir kelimedir.



Şekil 1.1 Lazer ışını



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Ŗu an alışık olduğumuz lazer teknolojileri çoklu işlem yapabilen sistemlerdir. Örneğin hem lazer kesim hem de lazer kazıma işlemini aynı makine yapabilmektedir.

Lazer ışını pek çok söylentiye ve de bilimsel gerçeklere rağmen, gerçek popülaritesini Star Wars (Yıldız Savaşları) film serisiyle yakalamıştır. Lazer ışınının günlük hayatta kullanımları ise 1960'lardan sonra yavaş yavaş kendini göstermeye başlamıştır.

1960 senesinde ABD'de Theodore H. Maiman tarafından keşfedilmiştir. Normal ışık, değişik dalga boylarında, rengarenk, yani farklı faz ve frekansa sahip dalgalardan meydana gelir. Lazer yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı dalgalardan ibarettir.

Mühendislik açısından incelendiğinde lazer ışınımı kaynak, kesme ve delme işlemlerinde önemli bir uygulama alanına sahiptir. Lazer ile kesme işlemi lazer ışınımının, kesilecek olan metal yüzeyinin kesim bölgesine yoğunlaşması şeklinde gerçekleşir. Kesme için en yaygın kullanılan lazer türü karbondioksit lazeridir. Bu kesme yöntemini ince ve kalın saclarda uygulamak mümkün olup, kalıp maliyetleri ortadan kaldırılıp, minimum fire oranı ile maliyetler aşağı çekilir.

Malzemelerin lazerle kesimi sırasında çeşitli teknikler kullanılır. Bu teknikler buharlaştırma yöntemi ile kesme, ergiterek kesme ve yakarak kesme şeklinde sıralanabilir. Lazer ışınıyla buharlaştırarak kesme yönteminde malzeme kesme hattı boyunca buharlaştırılır.

Bu işlem için gerekli olan enerji yoğunluğu, lazer ışınının malzeme üzerine düzgün bir şekilde

odaklanması ile sağlanabilir. Kesme hattının oksitlenmemesi için kesim sırasında argon veya azot kullanılır. Buharlaştırarak kesme yöntemi ile ahşap, kağıt, plastik türleri ve seramik gibi sıvı fazı olmayan birçok malzeme işlenebilir .

Lazer ile ergiterek kesme yönteminde malzeme erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Ergimiş kısım ve cüruf, bölgeye püskürtülen bir gaz akışı ile kesme ağzından dışarı atılır. Yanabilir malzemelerin kesilmesinde ve metallerin paslanmaksızın kesilmesinde reaksiyona girmeyen, koruyucu bir gaz kullanılır. Ergiterek kesme yöntemi, buharlaştırarak kesme yöntemine göre

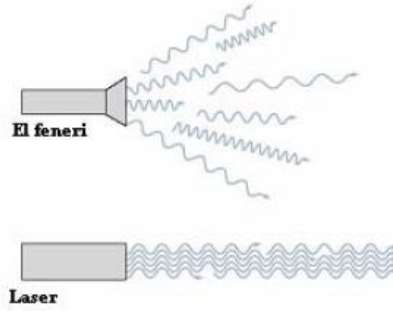


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

daha düşük güçlü lazerlere ihtiyaç duyar.

Lazer ile yakarak kesme yönteminde metalik malzeme, yanma sıcaklığına kadar ısıtılır ve bölgeye püskürtülen oksijen ile yakılır. Yanma sonucu oluşan ince ve akıcı cüruf oksijen huzmesi ile kesme ağzından dışarı atılır. Ekzotermik tepkime ek bir enerjinin açığa çıkmasına neden olur. Bu ek enerji sayesinde kesme hızı daha da artar.

Laserin önemi uygulamasının yaygın olmasında ve onun daha da genişlemesinin beklenmesinde yatmaktadır. Özellikle uygulamanın genişliği, ışınların frekansların hassas bir şekilde kontrolünden, yayılan ışının yayılma düzeninden veya ışınların olağanüstü yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.2 Normal ışıkla lazer ışını arasındaki fark

1.2 Lazer Kesim’de İlk Uygulamalar

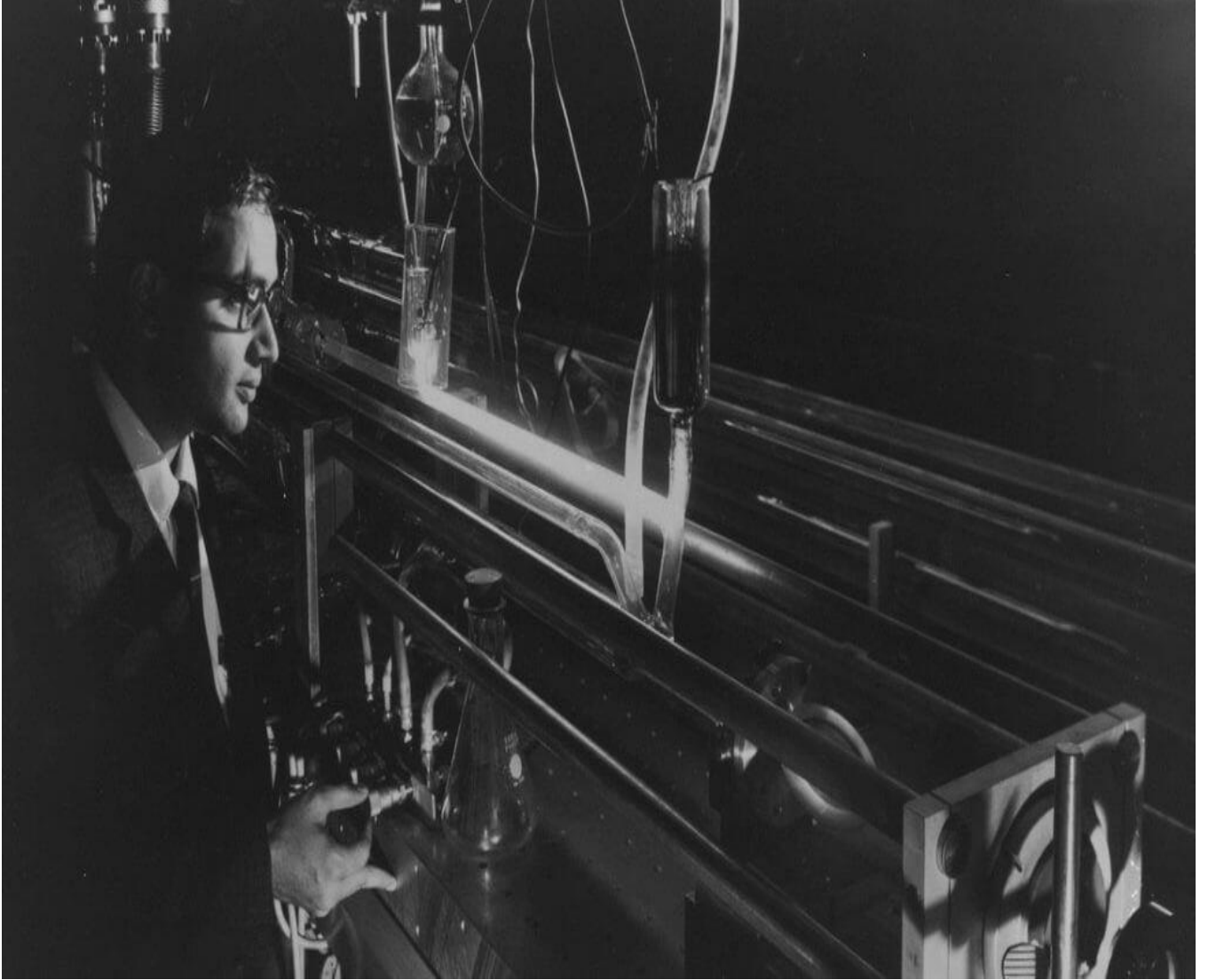
1960’larda, lazer kesim teknolojisinin avantajlarının kesin bir şekilde ortaya konmasından sonra, birçok uygulama için onlarca endüstride benimsemesi uzun sürmedi. 1965 yılında elmas madenlerinde kesme ve delme gibi iki benzer işlem kullanılıyordu ve 1967’de İngilizler tarafından lazerle kesme işlemi çok daha geniş bir ölçekte uygulanmaya başlandı.

Western Electric, lazerli kesme makinelerini hızlı bir şekilde ürettiyordu ve 1970’lerde bu işlem havacılık endüstrisine girmeyi başardı. Aynı zamanda, 1970’lerin başında, metal de dahil olmak üzere çeşitli malzemeleri kesmek için gaz lazerle kesme işlemi yapıldı.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1980'lerde, dünya çapında çeşitli endüstrilerde toplam 7.5 milyar dolar değerinde 20.000 ticari lazer kesim makinesi kuruldu. Profesör Bill Steen, Lazer Materials Processing adlı kitabında, lazerin icadından bu yana, yeni bir sanayi devrimine girdiğimizi yazdı. Lazer tabanlı teknolojinin önümüzdeki yıllarda gelişmeye devam edeceğini görmemiz muhtemeldir ve bu sürecin gelecekte bizi nereye götürebileceğini düşünmek heyecan verici.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

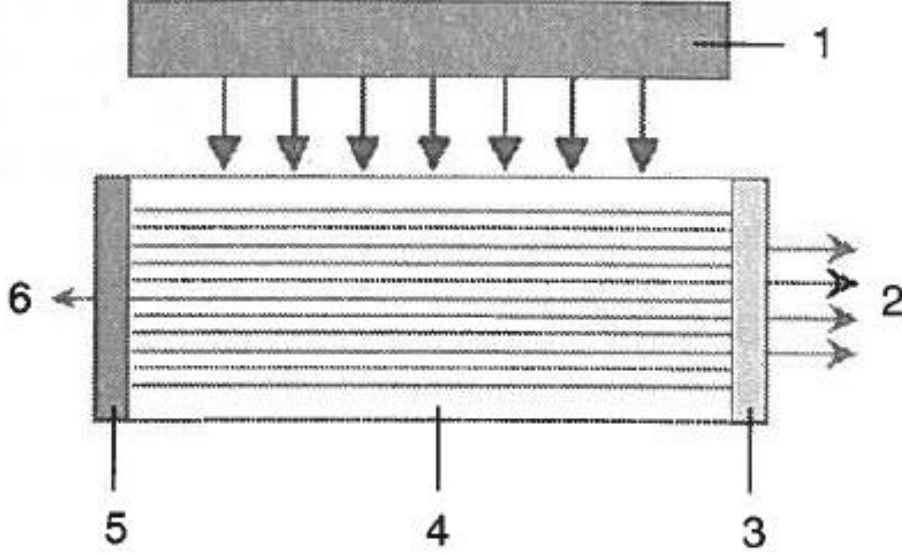
2. LAZER IŞINI

2.1 Lazerin Çalışma Prensibi

Optik bakımdan saydam, bir ucunda tam sırlı ve yansıtıcı, diğer ucunda yarı sırlı kısmen yansıtıcı iki ayna bulunan bir tp alınır. Buna gaz, sıvı ve katı bir madde doldurulur. Dışarıdan ışık verme, elektrik akımı geçirmek suretiyle veya kimyasal bir yolla elde edilen enerji, ortamdaki atomlara ulaşır. Bunların bazıları bu enerjiyi emerler. Fazla enerji, atomları kararsız hale getirir. Kendisine bir foton çarpan, uyarılmış ve kararsız atom, fazla enerjiyi foton yayarak verir. Fotonlar, benzer şekilde diğer fotonların yayılmasını sağlar. Ulara ulaşan fotonlar, aynalardan yansıyarak geri dönerler ve olay devam eder. Uyarma ve tahriklerle ortamdaki fotonlar artar. Atomların hemen hemen hepsi, foton yaymaya başlayınca kuvvetlenen ışık, yarı sırlı uçtan dışarı çıkar. Bu, lazer ışınıdır. Normal ışıkta dalgalar, birbirini zayıflatıcı karakterde olmasına rağmen, lazerde birbirini kuvvetlendirici olurlar. Lazer ışınları yüksek frekanslı olduklarından güneş ışını özelliklerine sahiptir. Ancak lazer ışınları tek frekanslı olduğu için kayıpları azdır. Ayrıca lazer ışınları aynı fazda yapılan ışık dalgaları olduğu için şiddeti büyük olur. Bu yüzden lazer ışınlarının şiddeti güneş ışınlarının şiddetinin bir milyon katıdır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



1 Pompalama Kaynağı

4 Gaz karışımı

2 Laser Işını

5 Tam yansıtıcı ayna

3 Kısmen yansıtıcı ayna

6 Güç ölçer laser ışını

Şekil 2.1 Şematik lazer yapısı

2.2 Lazer Işınının Özellikleri

- En büyük özelliği dağılmaz olması ve yön verilebilmesidir.
- Ayrıca lazer ışınları, aynı fazda üretilen ışık dalgaları olduğu için şiddetleri büyük olur.
- Ergitme kaynağında, örneğin yaygın olarak kullanılan ark kaynağında, metaller ergitilerek kaynak dikişü oluşturulurken, lazer ışın kaynağında bu işlem, çok küçük boyutlarda ve kısa sürede malzemeler buharlaştırılarak gerçekleştirilir.
- Son derece düzgün bir ışıktır ve çok az sapar. Yoğun bir şekilde hedefe yönlendirilebilir.
- Lazer ışını küçük bir noktaya yüksek enerji verebilir ve böylece çok hassas işler yapılabilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Lazer ışını, dalga boyu tek olduğundan monokromatik özellik taşır. Frekans dağılım aralığı, frekansının bir milyonda biri civarındadır. Bu nedenle istenilen frekansta çok sayıda dalga, lazer dalgası üzerine bindirilmek suretiyle haberleşmede *iyi* bir sinyal jeneratörü olarak iş görür. Aynı anda birçok bilgi bir yerden başka yere gönderilebilir.
- Lazer ışını dağılmaz olduğundan kısa darbeler halinde yayılabilmesi mümkündür.
- Bu özellik sayesinde kayıpsız yüksek enerji naklinin yapılması sağlanabilir.
- Lazer, kendisinde bulunan yüksek enerji sayesinde imalat endüstrisinde, kesme, kaynak ve delme işlerinde kullanılır.
- Lazer ışını tek dalga boyuna sahip olduğu için lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde etmek mümkündür.

2.3 Lazer Türleri

2.3.1 Katı Lazerler

İlk bulunan lazer yakut lazeridir. Yakut, az miktarda krom ihtiva eden alüminyum oksit kristalidir. Kırmızı lazer ışınları yayan, bu kristal içindeki krom atomlarıdır. Krom atomları optik olarak yeşil ve mor ışıkla uyarılır. Bu tür lazer ile saniyenin milyarda biri gibi kısa bir sürede birkaç milyon wattlık güç nakledilebilir. İlk yakut lazer sadece bir darbe ile çalıştırılmıştır. Daha sonra bunun oda sıcaklığında ve sürekli biçimde çalıştırılması mümkün olmuştur. Darbenin gücünün yükseltildiği ikincil lazerlerle birlikte kullanılan q-anahtarlı lazer moduyla saniyenin birkaç milyarda biri kadar devam eden birkaç milyar wattlık güç üretilebilir. Günümüzde kullanılan lazer, sert şeffaf kristalden meydana gelir. Kristalde küçük miktarda genellikle nadir toprak elementleri mevcuttur. Bu kristalin işlem için oda sıcaklığının çok altına indirilmesi gerekir. Bu lazerler optik pompalama gerektirirler ve darbeli olarak çalışarak ısınmayı önlerler. Sıcaklık ve manyetik alanda yapılacak değişikliklerle çalışma frekansı ayarlanabilir.

Neodimium çeşitli kristallerde kullanılan nadir toprak elementlerinden biridir. Enerji düzeyi sebebiyle fazla optik pompalamaya ihtiyaç göstermez ve bu sebepten dolayı tercih edilir.

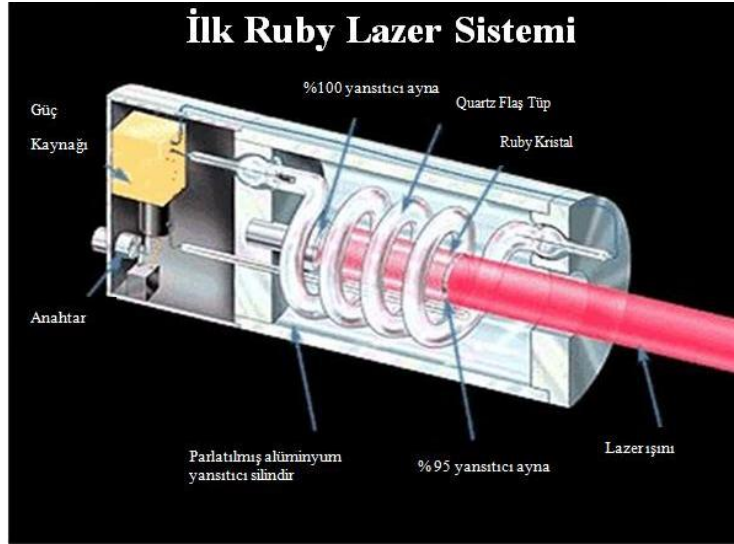
2.3.2 Yarı İletken Lazerler

Yarı iletken malzemelerden elde edilen kristallerle de lazer yapılmıştır. Galyum arsenik kristali yarı iletken lazere örnektir. Yarı iletken diod gibi p-n malzemenin birleşmesinden



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

meydana gelmiş olup, p-n malzemenin birleştiği yüzey yakut lazerindeki aynalar görevini yapar. Birleşim yüzeyinde pozitif voltaj p tarafına ve negatif voltaj n tarafına verildiği zaman elektronlar n malzemesinden p malzemesine geçerken enerjilerini kaybeder ve foton yayarlar. Bu fotonlar tekrar elektronlara çarparak bu elektronların daha çok foton üretmesine sebep olurlar. Neticede yeterli seviyeye ulaşan foton oluşumu, lazer ışınını meydana getirmiş olur. Bu tür lazerler verimli ışık kaynaklarıdır. Genellikle boyları bir milimetreden büyük değildir. Ancak çok verimli çalışma için ortam sıcaklığı oda sıcaklığının çok altına düşürülmelidir.



Şekil 2.2 Katı cisim lazer sistemi

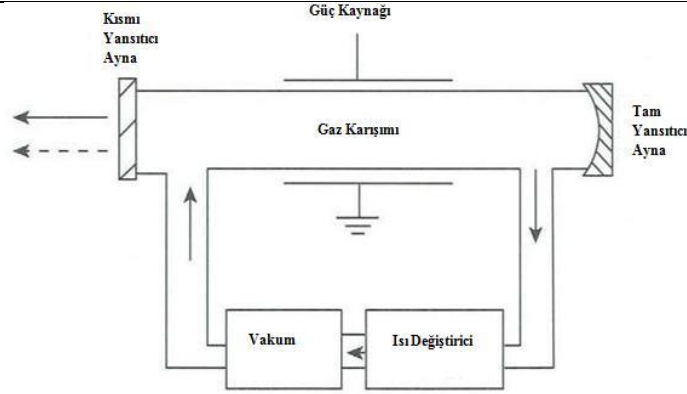
2.3.3 Gaz Lazerleri

İlk gaz lazer helyum ve neon karışımı şeklinde kullanılmıştır. Bu karışım uzun bir tüpe ve iki küresel ayna arasına yerleştirilmiştir.

Helyum ve neon gazı ile çalışan lazerde bu gazlar yüksek voltaj altında iyonize hale gelir. Helyum atomları elektrik deşarjı esnasında elektronların çarpması ile uyarılarak yüksek enerji seviyelerine çıkar. Bunlar, kazandıkları enerjilerini neon atomlarındaki eş enerji seviyelerine aktarırlar. Bu enerji aktarma işlemi fotonun yayılmasına sebep olur. Aynalar vasıtasıyla yeterli seviyeye ulaştıktan sonra lazer ışını elde edilmiş olur. Bu tür lazer ışınının dalga boyu 1,15 mikrondur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



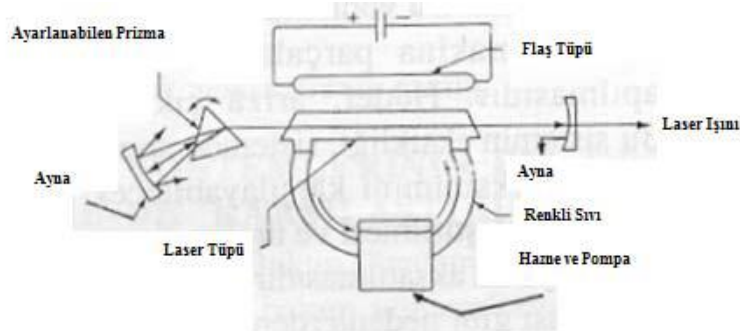
şekil 2.5 Gaz lazer sistemi yapısı

2.3.4 Kimyasal Lazerler

Kimyasal lazerlerde bir gaz meydana getirilir ve kimyasal reaksiyon yoluyla pompalanır. Kimyasal pompalama bir ekzotermik reaksiyonun ağığa çıkmasıyla olur. Buna bir örnek hidrojen ve flor elementleri hidrojen florür meydana getirmek üzere reaksiyona girdiklerinde lazer etkisi ortaya çıkar.

2.3.5 Sıvı Lazerler

En çok kullanılan sıvı lazer türü, organik bir çözücü içindeki organik boyanın seyreltik bir çözeltisidir. Bunlara mor ötesine yakın ve kızılötesine yakın arasında lazer türleri elde edilebilir. Genellikle pompalama optik olarak cereyan eder. Birkaç lazer paralel olarak çalıştırılabilir. Böylece saniyenin birkaç trilyonda biri devam eden lazer darbeleri elde edilebilir. Boya lazerlerinin en önemli özelliği dalga boyunun geniş bir alanda hassas bir şekilde ayarlanabilmesidir.



şekil 2.4 Sıvı lazer sistemi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.4 Lazerin Araç Olarak Kullanılması

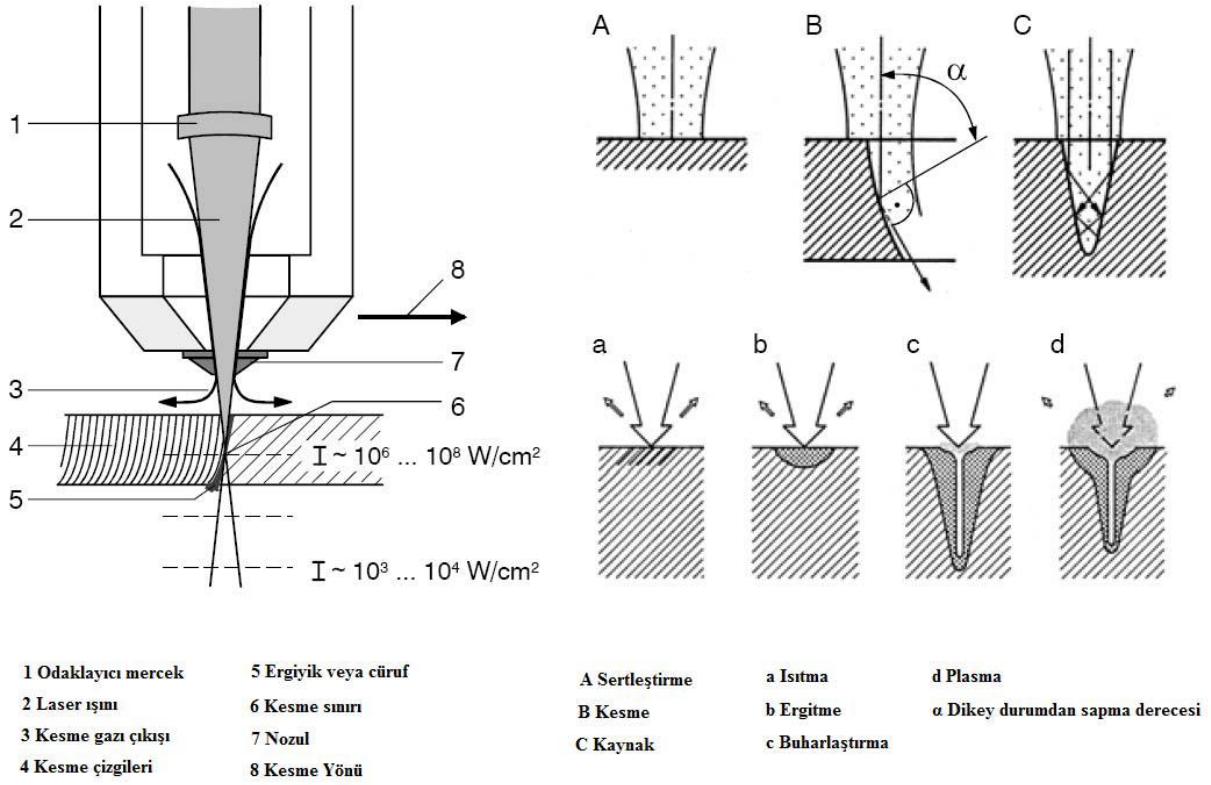
Lazer ışınının bir araç olarak kullanılması için bazı zel Şartları sağlaması gereklidir. Bu Şartlar ;

- Uzun mesafelerde bile paralelliğini mümkün olduğunca korumalı
- Kullanılacağı alanda (kesme, delme, kaynak gibi) tutarlı sonuçlar vermeli ve sürekliliği bulunmalı
- İŞ parçasına tam olarak ynlendirilebilmeli
- İŞ parçasına odaklanabilirliği sağlanmalı

Bu zellikler lazer ışınının oluŐtuđu kısımdan sonra gelen bileŐenlerle birlikte, lazerin bir araç olarak kullanılması için önem arz etmektedir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.6 Lazer ışın yoğunluğuna bağlı olarak lazerin kullanım şekilleri



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Laser İşlemi	Güç yoğunluğu (W/cm ²)	İşlem hızı (m/dk)	Etkileşim zamanı (sn)	Uygulama derinliği (mm)
Kesme	10 ⁶ -10 ⁷	3-4,20-30	10 ¹ -10 ²	15 mm' ye kadar
Kaynak	10 ⁵ -5.10 ⁶	1-3,20-30	10 ¹ -10 ²	15 mm' ye kadar
Yüzey Sertleştirme	10 ³ -5.10 ⁴	3'e kadar	1-10 ⁴	15 mm' ye kadar
Alaşımlama	10 ⁵ -5.10 ⁵	1,5	10 ² -10 ⁴	0,25-1,25
Delik Delme	10 ⁷ -10 ⁸		10 ² -10 ⁵	50
Yüzey Kaplama	10 ⁶ -10 ⁷		10 ⁵ -10 ⁷	~0,5
Sertleştirme	10 ⁸ -10 ¹⁰		10 ⁶ -10 ⁸	~0,5

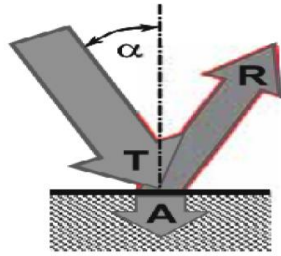
Tablo 2.1 Genel olarak lazerlerin kesme, kaynak, yüzey sertleştirme, alaşımlama, delme, kaplama ve sertleştirmede kullanılan özellikleri



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3. LAZER ile KESME

Lazer kesim işlemi termik kesme işlemidir, temassız, titreşimsiz ve esnek bir işlemdir. Kesme işleminde lazer ışını, su ile soğutulmuş bir mercekle vasıtasıyla odaklanır. Kesme yarığına giren odaklanmış elektromanyetik ışınım, kesme yüzeyinin normali ve ışın eksenini arasındaki açıya, malzeme yüzeyine ve kesme yarığının sıcaklığına bağlı olarak absorbe edilir, ışının absorbe edilmeyen kısmı yansır. Bu odaklama neticesinde oluşan yüksek yoğunluktaki enerji sayesinde malzemenin tutuşma, ergime ve/veya buharlaştırma sıcaklığı için gerekli yüksek enerji yoğunluğuna erişmek mümkün olur.



T; Lazer ışığı
A; Absorbe edilen ışık
R; Yansıyan ışık
 α ; diklikten sapma oranı (açı)

Şekil 3.1 Lazer ışının absorbesi ve yansıması

Lazer ışının absorpsiyon derecesi aşağıdaki etkilere bağlıdır;

- Dalga boyuna,
- Polarizasyona,
- Lazer ışığının geliş açısına
- Malzemeye ve sıcaklığına
- Maddenin hallerine (katı, sıvı, gaz)
- İş parçasının geometrisine,
- İş parçasının yüzeyine

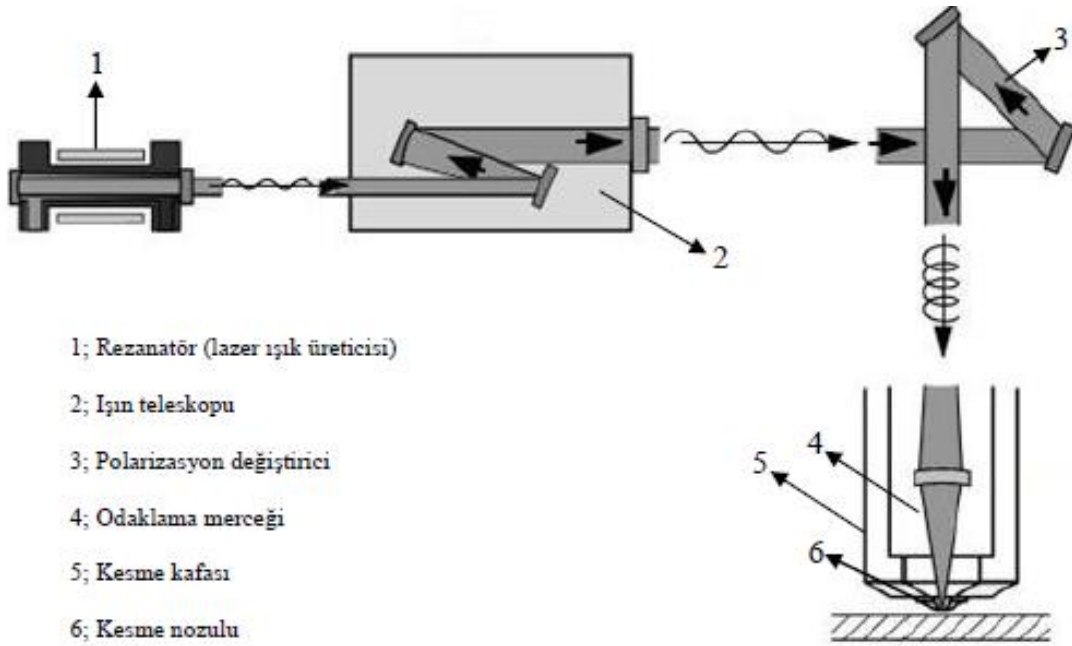
Lazer ışını ile buharlaştırarak, ergiterek ve yakarak kesme işlemlerinin verimliliğinin yüksek olması ya da kesme kalitesinin yüksek olması; lazer dalga boyuna (dalga boyu $\lambda=c.f$, foton enerjisi; $E=h.f$) (" λ " dalga boyu, " c " ışık hızı, " f " ışığın frekansı, " h " Planck sabiti), lazer darbe sistemine (nano-, micro- or milliseconds) ve malzeme tipine (optik ve termoplastik



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

(ısıtıldıklarında yumuşayan soğutulduklarında tekrar sertleşen plastikler özelliklerine) bağlıdır.

Kesme işlemi esnasında, malzemenin kesilen yüzeylerinde devamlı olarak ergiyik malzeme bulunur ve bu ergiyik, kesme gazı huzmesiyle üflenip püskürtülür. Düşük karbonlu ve alaşım elementleri oranı az olan çeliklerde kesme gazı olarak oksijen tercih edilir. Kesme esnasında oksijen yanma (oksitlenme) sürecini başlatır ve yanan (oksitlenen) demirin çıkardığı ilave ısı (ekzotermik reaksiyon sonucu çıkan ısı, demir oksit oluşumu ve ısı; $2Fe(k) + 3/2O_2(g) \rightarrow Fe_2O_3 + ısı$) kesmeyi kolaylaştırır. Eğer yanıcı malzemelerin (tekstil gibi) kesilmesi söz konusu ise, kesme gazı olarak soy gaz (Helyum "He", neon "Ne", argon "Ar", kripton "Kr") veya ucuzluk açısından azot gazı kullanılması daha uygun olur. Optik hatalardan dolayı (bu hatalar; optik parçanın yapımından, bu parçaların dizaynından ya da her ikisinden kaynaklanır) lazer ışınının cihazı terk ettiği nozul ile kesilecek malzeme arasındaki uzaklığın hep sabit tutulması gerekir.



Şekil 3.2 Lazer Kesme Sistemi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Şekil 3.2 de görüldüğü gibi; Lazer üreticinde yüksek paralellikte bir lazer ışını üretilir. Teleskopta aynalara zarar vermesin diye genişletilir. Gerekli sayıda ayna ile ışın kesme kafasına yönlendirilir ve kafadaki mercek sayesinde ışın meme ucuna odaklanır. Şekil 3.3'de lazer ışının malzeme üzerine odaklanması ve nozul konumu gösterilmiştir. Odak noktasının konumu kesimi yapılacak malzeme cinsine göre kesimin düzgün yapılabilmesi için ayarlanmalıdır (malzeme yüzeyinde, malzeme yüzeyinden belirli mesafede (+ veya -) gibi).



Şekil 3.3 Lazerle kesilmiş parça örnekleri



Tablo 3.1 Lazer kesme çeşitleri

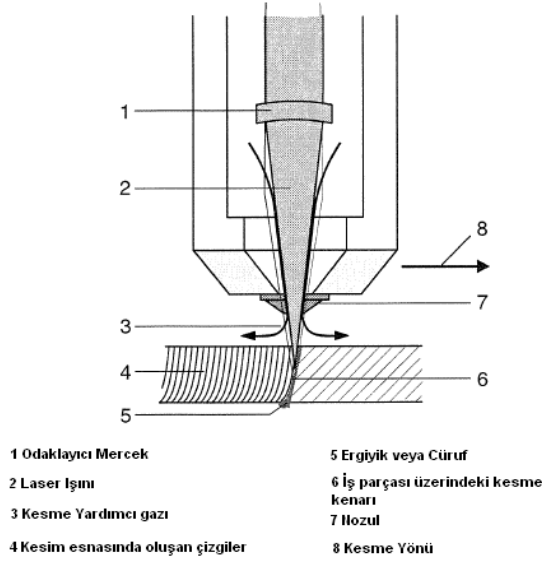


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.1 Kesme İşlemi

Kesme için lazer kullanımında yoğun ısı enerjisi ışın ile malzemeye odaklanır. Eğer verilen ısı yeterli büyüklükte ise ışının değdiği bölgede malzeme buharlaşması ile delik oluşur. Bunun devamında yoğun ısı kaynağının malzemedeki hareketi ile kesme işleminin sağlanmasıdır.

Ham (Raw) ışın enerjisi tipik olarak 0.1-0.3 mm çapındaki spota toplayacak odaklama merceğine yönlendirilir. Bu odaklama hemen hemen bütün malzemeleri buharlaştırabilecek yüksek güç yoğunluklarını üretir.



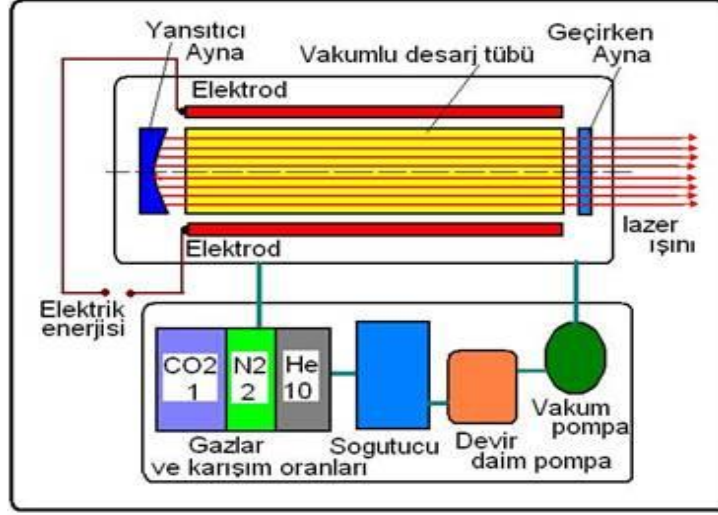
Şekil 3.4 Kesme işleminin şematik görünümü

3.1.1 CO2 Lazeri

Karbondioksit lazerleri madde işleme uygulamalarında gittikçe yaygınlaşmaktadır. Kesme, ergitme, zımparalama, delme ve madde üzerindeki birçok diğer fiziksel modifikasyonlar daha geleneksel aletler yerine CO2 lazerler kullanılarak daha ekonomik olarak yapılabilmektedir. Bu tür lazerler kompakt, güvenilir, güçlü aletlerdir, bu nedenle kullanıcıya yeni ve zor uygulamalar için kullanım kolaylığı sağlarlar. Ağırlık, boyut ve servis ömrü nedeniyle geçmişte kullanılmayan alanlarda dahi günümüzde kullanılabilirlerdir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.5 CO2 lazer sistemi şematik gösterimi

Şekil 3.5 'de CO2 lazer sisteminin şematik gösterimi verilmiştir, burada lazer aktif madde için CO2, N2 ve He gaz karışımı, (karışım oranı, genellikle %4,5 CO2, %13,5 N2, % 82 He) kullanılmaktadır. Bu gaz karışımının bir pompa sistemi ile deşarj tüpü içinde devridaimi sağlanmaktadır. Vakum tüpü içerisinde bulunan elektrotlar doğru akım veya yüksek frekanslı alternatif akıma, (13,56 MHz) bağlanarak sağlanan elektrikli deşarj ile gaz molekülleri uyarılmaktadır, bu suretle CO2-gaz molekülleri üst enerji seviyelerine (E2,E3, ...) pompalanmaktadır. N2 ve He gazları karışımında lazer ışını üretimi işleminde katkı, destek amaçlı bulundurulmaktadır. N2- gazı CO2-moleküllerin üst enerji seviyelerine tahrikini kuvvetlendirmektedir, daha fazla yoğunlaşmalarına katkı sağlamaktadır. Yüksek ısıl iletkenliğinden dolayı Hegazı karışımında soğutucu olarak devreye sokulmaktadır. Bilindiği gibi elektrikli deşarj sırasında, enerji pompalama ile vakum tüpü içerisindeki gazların sıcaklığı yükselmektedir Bu sıcaklığın lazer tipine göre 200o C ile 300o C 'i geçmemesi istenilmektedir. Bu sıcaklık aralığında CO2-lazer sistemleri en uygun randımana ulaşmaktadır. Lazer bu nedenlerle lazer işlevi süresince deşarj tüpünün soğutulma işlemi deşarj tüpü içerisindeki gaz karışımının sürekli olarak devir daimi ile gerçekleşmektedir. Deşarj tüpünün boyutları, bilhassa uzunluğu lazer gücünü belirlemektedir. Yani tüp ne kadar uzunsa lazerin gücü o nispette büyüktür. Bu nedenle çeşitli yapısal müdahalelerle örneğin, deşarj tüplerin çokgenli diziliş ile aktif madde boyu büyük tutularak lazer gücü artırılabilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

CO₂-lazeri önceleri yüksek gücü nedeniyle (P=60kW) kesme işlerinde daha sonraları ise kaynak işlerinde de kullanım alanı bulmuştur. CO₂-lazer yönteminde ışın uzak mesafelerden bir kayba uğramadan ayna sistemleri aracılığıyla parça yüzeylerine ulaştırılmaktadır. Bu yöntemde, lazer kafası, yani lazer ışın penceri veya daha kısa tanımı ile lazer kafası hareketli olabileceği gibi sabit olup parçalar genelde üç boyutlu hareketli bir tabla üzerinde hareket ettirilebilir. Kesimi yapılacak parçaların hareket ettiği cihazların, üretimlerinin karmaşık ve ağır yapısı, imalat işlemi sırasında ortaya çıkan titreşimlerin kesim kalitesine olan olumsuz etkisi gibi bazı sakıncaları bulunmaktadır. Makine ve ekipmanın pahalı oluşu nedeniyle CO₂-lazer makinelerin kullanımları sınırlı kalmıştır. Yüksek gücü ve büyük dalga boyu ($\lambda=10,6 \mu\text{m}$) nedeniyle CO₂-lazeri sanayide sac levhaların kesiminde tercih edilmektedir.

Karbondiyoksit Lazerleri çok çeşitli maddelerin işlenmesinde geleneksel aletlere kıyasla bazı avantajlar sağlar. Kesme, delme, kaynaklama, zımparalama, eritme hepsi de alet teması ya da alet eskimesi olmadan hızlı ve tam olarak yapılır. Ayrıca alet asla maddenin yakınına uğramadığından alet aşınması ile ilgili sorunlarda ortadan kalkar. Sıçrıntı izleri, maddesel sürtünme, değişen yüklerden ve termal değer ölçülerinden dolayı pozisyonel hatalar, değişik yüklemelerin gürültüsü – alet temasının engellenmesi ile ortadan kalkar.

Çelikler (kurşun, kalay, çinko ve krom kaplı), titanyum, zirkonyum, tantal, nikel ve bunların alaşımları lazer ışını ile kesilebilmektedir. Alüminyum, pirinç, bakır, gümüş ve altın gibi yüksek yansıtımlı malzemeler hiçbir şekilde CO₂-lazeri ile kesilemezler. Ayrıca organik ve anorganik malzemelerin de lazer ışını ile kesilmesi mümkündür. Bunlara örnek olarak akrilik cam, polietilen, polipropilen, deri, ahşap, lastik, yün ve pamuk gibi organik maddeler; cam, seramik, kuvars, porselen, asbest, mika gibi anorganik maddeler verilebilir.

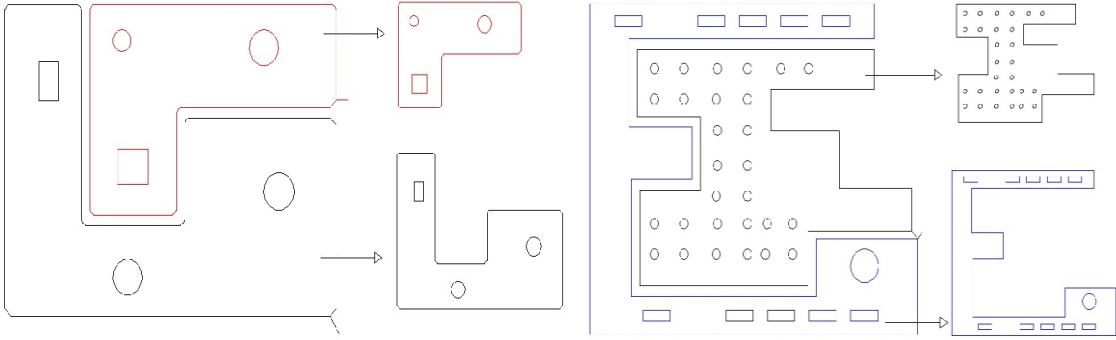
Teknik yönden CO₂ lazerlerinde görünen avantajlar şöyle sıralanabilir:

- Kesme aralığı dar tutulabilir.
- Kesme hızı diğer termik kesme işlemlerine göre yüksektir.
- Plazma ile kesmeye kıyasla kesme yüzeyleri birbirine yaklaşık paraleldir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Kesici takımında, yani lazer ışınında aşınma (mekanik kesme takımlarında görüldüğü gibi) söz konusu değil.
- Konstrüktif olarak karmaşık parçalarda lazerle kesme, mekanik kesmeye oranla daha uygundur.
- Yüksek enerji yoğunluğundan ve düşük sıcaklık etkisinden (ısıdan etkilenen bölgenin dar olması nedeniyle) dolayı kesilen parçalarda çarpılma çok az veya hiç yoktur.
- Çok ince ve esnek parçalarda çarpılma olmaksızın kesim yapılabilir (0,025 mm kalınlık gibi).
- Kesim yüzeyi düz ve genelde paraleldir, sonraki işlemler için (kaynak gibi) yeniden bir hazırlık veya temizleme işlemine çoğu kez gerek duyulmaz.
- Kesme aralığının ve ısıdan etkilenmiş bölgenin (ITAB) dar olması sayesinde üretilecek parçalar iç içe geçirilebilir (Şekil 1.22), buda malzeme kaybını önler.
- Kesimi zor malzemeler, sünger gibi çok yumuşak malzemeler dahil olmak üzere seramik gibi çok sert malzemeler kesilebilir.
- İmalathanede oluşan gürültü çok azdır.



Şekil 3.6 Malzeme kaybını önlemek için parçaların iç içe geçirilmesi

3.1.2 Nd-YAG Lazeri

YAG; Yttrium - Alüminiu - Granat'ın kısaltılmış şeklidir. Bu lazer türünde lazer yayan eleman Neodyum'dur. Bir gaze göre katı bir cismin atomları çok daha yoğun bir şekilde dizildiklerinden, birim hacimde daha çok atom bulundurlar. Bu nedenle Nd: YAG katı lazerinin çıkış yoğunluğu daha yüksektir. Aynı zamanda Nd-YAG lazer ışını, kısa dalga boyutludur (1,06 μm) ve bu özelliği de ışının metaller tarafından iyi absorbe edilmesini



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

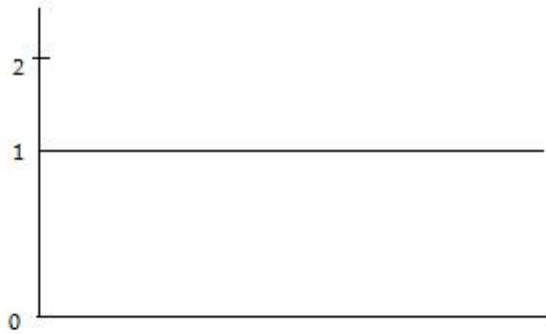
sağlar. Nd:YAG, ince et kalınlığına sahip çeliklerin kesilmesinde giderek daha çok kullanılan bir yöntem haline gelmektedir.

3.1.3 alıştırma Türleri

Lazer ışınıyla kesme işlemi için gereken enerjinin iletimi, ya bir "sürekli çizgi" yani cw-çalışma (continuous wave = sürekli dalga) veya bir darbeli alıştırma formunda yapılabilir. Her bir alıştırma türünde lazer parametrelerinin seçiminin ve ayarının kendiliğinden sağlanması için, işletme ekipmanlarının CNC komutlarının lazer komutları ile uyumlu olması gerekir.

3.1.3.1 Sürekli izgi (cw-alıştırma)

Bu alıştırma türünde lazer kapasitesi kesme işlemi sırasında sabit kalır ve her zaman diliminde yüksek bir enerji çıkışı sağlar. Bu sayede darbeli alıştırma türüne göre daha hızlı bir kesme olanağı verir. Dolayısıyla düz kesmeler cw-alıştırma türüyle, zor kesilebilen kenarlar ise darbeli alıştırma türüyle gerçekleştirilir.



şekil 3.7 sürekli dalga (CW)

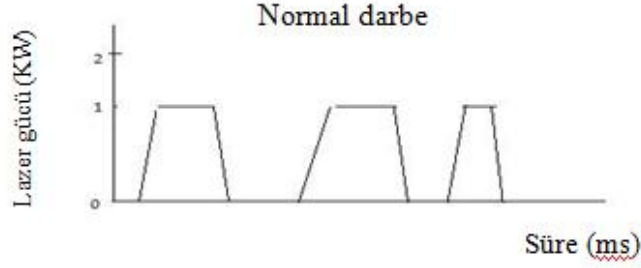
3.1.3.2 Darbeli alıştırma

Keskin köşeler, geniş aılar, ince göbekler ve dar kesimler gibi yüksek sıcaklığa duyarlı hatların kesilmesinde cw-alıştırma kullanılması halinde, bu bölgeler ergiyerek zarar görmektedir. Dolayısıyla bu tür yerlerde cw-alıştırma şekli kullanılamamaktadır. Darbeli alıştırma türünde sıcaklık dengelenebilmektedir. Darbeli çalıştırmada pratikte iki farklı darbe türü mevcuttur. Bunlar normal darbe ve yüksek darbe (süper darbe) dir. Cw-lazeriyle darbe lazerini işleme kapasitesinin optimizasyonu bakımından karşılaştırırken, darbenin etki süresi,

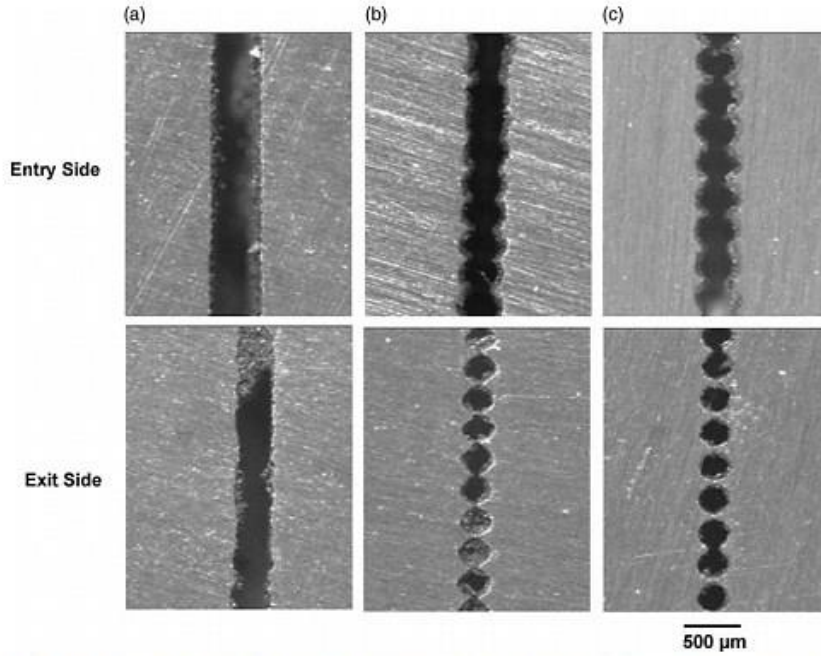
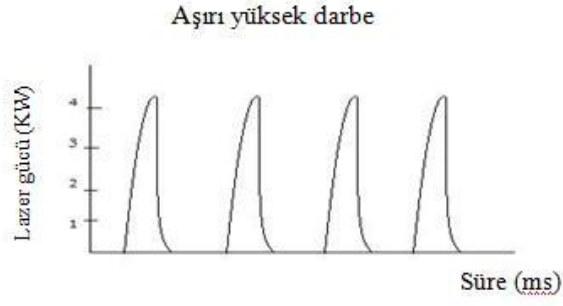


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

darbe enerjisi, darbe tepe güçleri ve soğuma etkisi faktörlerinin de göz önüne alınması gerekir.



Şekil 3.8 Normal darbeli çalışma



Darbeli lazer ile kesmede kesme kenarında darbelelerin örtüşmemesi sonucu oluşan hata.
a. %80 Örtüşme b. %55 c. %40

Şekil 3.9 Aşırı yüksek darbeli çalışma



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.1.4 Lazer Işını ile Kesme Yöntemleri

Lazer ışını ile kesmede üç ayrı yöntem mevcuttur, bunlar;

1. Lazer ışını ile yakarak kesme,
2. Lazer ışını ile ergiterek kesme,
3. Lazer ışını ile buharlaştırarak kesme.

Kesme işlemi; malzemenin kesme esnasında ergitilmesi, oksidasyon (yakarak) ürününe dönüştürülerek ergitilmesi veya buharlaştırılmasıyla yapılır. Kesme gazına bağlı olarak (inert veya oksit etkili) faz dönüşümü ortaya çıkar.

Lazer ışını ile eriterek kesmede ön koşul olarak herhangi bir kimyasal reaksiyonun oluşmaması istenir. Eriterek kesmede malzeme kesme ağzında eritilir ve oluşan eriyik, inert kesme gazıyla kesim ağzından uzaklaştırılır. Bu yöntemle metaller oksit oluşturmadan kesilir.

3.1.4.1 Lazer Işını ile Yakarak Kesme

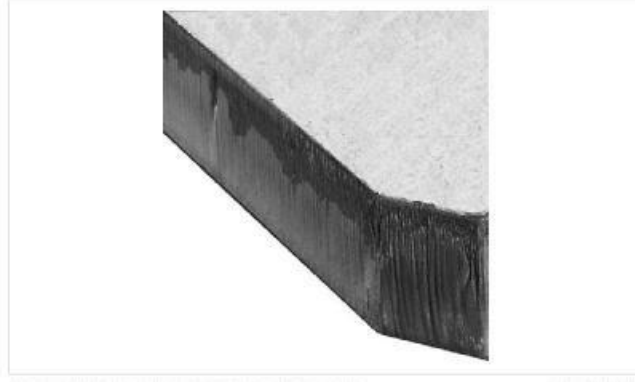
Lazer ile yakarak kesme işleminin önemi büyüktür. Kesme gazı olarak bu yöntemde oksijen (gaz saflığı %99,5) gazı kullanılır ve yumuşak çelik kesiminde kullanılan gaz basıncı maksimum 6 bar'dır. Oksijen gazı belli bir sıcaklığa erişildiğinde malzeme ile ekzotermik bir reaksiyona girer. Böylece kesme işlemine ilave bir ısı enerjisi kazandırılmış olur. Bu yöntemle inert gaz ile kesmeye göre daha yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Bu yöntemin dezavantajı ise kesim yüzeylerinde bir oksit tabakası bırakmasıdır.

Lazerle yakarak kesmede malzemenin kesilebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekir.

- Malzeme oksitlenebilmelidir.
- Yanma sonunda ekzotermik reaksiyon meydana gelmelidir,
- Malzemenin tutuşma (yanma) sıcaklığı, erime sıcaklığının altında olmalıdır,
- Malzeme, yüksek sıcaklıkta eriyen oksitler meydana getirmemelidir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.10 Oksijen kullanılan kesimde kesme yüzeyi ve oksit tabakası

Enerji katkısının yanında düşük alaşımlı çeliklerde metalin oksidi, metalin kendi eriyiğine göre daha akıcı hale getirilir, bu da çapaksız bir kesmeyi mümkün kılar. Ancak bu durum yüksek alaşımlı CrNi çeliklerinde geçerli değildir, çünkü bu metallerin oksitlerinin erime sıcaklıkları çeliğin erime sıcaklığından daha yüksek olduğundan oksit eriyikleri kesme yarığında daha zor akar. Bu nedenle 3 mm'den daha kalın CrNi çeliklerinin çapaksız kesilmesi mümkün olmaz. Ayrıca bu çelikler, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan aşırı ısı biriktirme eğilimindedir, iyi kesim sonuçları elde etmek için lazer gücünün darbeli çalıştırma şeklinde kullanılması gerekir. Darbeler arasındaki sürelerde malzeme biraz soğur böylece yanma ısısının etkisi kontrol altında tutulmuş olur.

Lazer ışını ile yakarak kesmede diğer bir sınır, çelik içerisinde bulunan karbon miktarıdır. Örneğin dökme demirlerde iyi bir kesme kalitesi elde edilemez. Bunun sebebi tutuşma sıcaklığının erime sıcaklığının üzerinde olmasıdır.

Yüksek saflıktaki oksijen ile standart kalitedeki oksijene göre daha hızlı kesme işlemi gerçekleştirmek mümkündür. Oksijenin içine yabancı bir gaz karıştığında (örneğin kesme işlemi sırasında yanma gazları) kesme hızında önemli oranda düşme ortaya çıkmaktadır.

Az alaşımlı çelikler iyi kesilebilir. Çeliğin mekanik özelliklerinin (sertlik, vb.) kesime bir etkisi yoktur. Bu çeliklerde 8 mm kalınlığa kadar kaliteli kesme yapılabilir.

Daha önce de söz edildiği gibi, paslanmaz çeliklerde çapak oluşumu ve yanma eğilimi mevcuttur. Ayrıca kesme yüzeyine yapışan sert oksit tabakasının bu çeliklerde paslanmazlık



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

özelliğini ortadan kaldırdığına dikkat etmek gerekir. Bu yüzden birçok uygulamada oksit tabakası güçlü asitlerle temizlenmelidir. Bu da çevre bakımından sakınca yaratır. 2000 W'lık bir lazerde darbeli ışınlarla kesilebilen maksimum çelik saç kalınlığı 10 mm'dir.

Alüminyum esaslı malzemeler lazerle yakarak kesmeye pek uygun değildir. Oluşan çok sert Al₂O₃ tabakası çapak olarak kesim kenarlarına yapışarak çiziklere sebep olmakta ve kesim kenarları düzgün çıkmamaktadır. Ancak 10 bar 'in üzerindeki oksijen basınçları patlama şeklinde yanarak oyuk oluşumun engellemekte, bu şekilde 2000 W'lık lazerle 6 mm (laboratuarda 10 mm) kalınlıklara kadar kesim yapmak mümkün olmaktadır.

Pirinç malzemelerde de çapak oluşumu sebebiyle lazerle yakarak kesme tavsiye edilmez. Bakırın lazerle yakarak kesilmesinde oluşan oksitlenmenin yansımayı azaltması sayesinde 2000 W'lık bir lazerle kesilebilmesi mümkün olmaktadır. Oksitlenmenin olmaması durumunda Cu (bakır) ayna gibi davranmakta ve bütün ışın gücünü ışın yoluna geri yansıtmaktadır. Bu durumun 3 – 5 sn sürmesi halinde özellikle mercek zarar görebilmektedir.

Bakırın yüksek ısı iletkenliği sebebiyle ancak 2 mm (laboratuarda 3 mm) kalınlığa kadar kesim yapmak mümkündür.

Ahşap ve termoplastik malzeme lazer ile oldukça iyi ve hızlı kesilebilmektedir. Ahşapta tek sorun kesim kenarının kararmasıdır. Plastiklerde zehirli gazların oluştuğu bilinmektedir.

Malzemeye bağlı özellikler dışında geometrik sınırlar, sadece en önemli malzeme olan yapı çeliği için incelenecektir.

Yakarak kesme karakteristiği;

- Ergiterek ve buharlaştırarak kesimden daha ince malzemelerin kesiminde kullanılır
- Kesme hızı yüksektir
- Kesme kenarında oksidasyona sebep olabilir. Paslanmaz çeliklerde kesim boyunca korozyona neden olur.
- Krom-nikeli malzemelerde kesme yarığındaki oksit tabaka uzaklaştırmaz ise daha sonra yapılacak kaynak işleminde kaynak bölgesi gözenekli olur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Kesme işleminden sonra ek işleme gerek vardır (kimyasal ya da mekanik işlemler).

3.1.4.2 Lazer ile Ergiterek Kesme

Ergiterek kesmede, kesme gazı olarak azot ya da argon gazları kullanılır. Bu metod da malzeme ilkönce ergitilir ve kesme gazı ile kesme yarığında (çoğunlukla Azot gazı ile) uzaklaştırılır. Ergimiş metalde bir reaksiyon oluşmaz. Titanyum bu konuda bir istisnadır, titanyumun reaksiyona girme eğilimi yüksek olduğundan (gaz saflığı %99,996'dır) titanyum kesiminde argon gazı kullanılması gerekmektedir. Gaz basıncı 2-20 bar arasındadır (yüksek basınçlı kesme).

	O ₂	N ₂
	1.2 mm nozzle	2.3 mm nozzle
1 - 3 mm	4 bar	20 bar
5 - 30 mm	0.3 bar	20 bar

Comparing the pressures during flame and high-pressure cutting using nitrogen

Tab. 5-6

Tablo.3.1 Azot kullanımının oksijenle karşılaştırılması (ergiterek ve yüksek basınçlı kesmede)

Metalik eriyiği oksit eriyiğine göre kesme ağızından daha zor aktığından 2 mm'nin üzerindeki kalınlıklarda sakal şeklinde çapak oluşumu oluşmaktadır. Bu çapaklar merkezlerinde metal bulundurdıklarından uzaklaştırılmaları zor olmaktadır. Bu sorunu gidermek için yüksek basınçlı kesim kullanılır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.10 Azot gazı ile kesilmiş parça

Yüksek basınçlı kesmenin gerçekleştirilebilmesi için normal oksijen ile kesmeye göre bazı modifikasyonlar gerekmektedir. 1 mm meme-saç mesafesinde gaz akışının düzgün olabilmesi için püskürtme memelerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Yüksek basınçlı (ergiterek) kesmenin avantajları;

- Paslanmaz çelikte çapaksız kesme kenarı
- 3 mm den kalın alüminyum alaşımlarında minimum çapak oluşumu Kalınlık "t"
- c- Kesme sonrası ek işlemlere gerek yoktur

Yüksek basınçlı (ergiterek) kesmenin dezavantajları;

- Yüksek gaz tüketimi
- Yakarak kesimden düşük kesme hızı

3.1.4.3 Lazer Işını ile Buharlaştırarak Kesme

Üçüncü kesme yöntemi olan buharlaştıırarak kesme yönteminde ise malzeme lazer enerjisi etkisiyle yerel olarak buharlaştırılır ve kesme bölgesinden uzaklaştırılması sağlanır. Yüksek lazer gücü yoğunluğu (10W/cm² üzerinde) altında malzeme sıcaklığı hızlı bir şekilde buharlaşma sıcaklığına yükselir ve buharlaşan metal öncelikle tepki basıncı ile uzaklaşır. Isı tesiri altındaki bölgenin darlığı ve temiz bir kesim bu yöntemin en önemli avantajıdır. Kesimin



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

kalitesi, yüzey üzerinde yanan ve değişen ergiyik miktarı ile tayin edilir. Çok kısa darbeler, çok yüksek darbe gücünü ve malzemenin kaynama süresini çok kısaltır. Sonuç olarak, buharlaştırma ile ergitmeden daha fazla malzeme kaldırılır. Buharlaştırarak kesme aynı zamanda akrilik, bazı termoplastik polimerler, kauçuklar, ahşap, kâğıt, deri, bazı seramikler ve

ince metal levhaların kesimi için kullanılır. Kesme gazı ise burada sadece bir koruyucu atmosfer oluşturur ve buharlaşan malzemeyi uzaklaştırır. Elde edilen kesme yarığı odaklama çapından genellikle çok az büyüktür. Isı iletimi ile enerjinin bir kısmı malzemeye dağılabilir. Verimli bir kesme işlemini gerçekleştirmek için yüksek güç yoğunlukları gerekmektedir.

3.2 Işın Dağıtımı

Işın bir dizi ayna kullanılarak parçaya yönlendirilir. Işın odaklanmamış ham haliyle olup, kullanılan lazere bağlı olarak 50 mm kadar bir çapa sahip olabilir. Aynalar lazer tarafından üretilen ışınının dalga boyunu yüksek oranda yansıtabilecek malzemelerden yapılırlar. Kullanılmakta olan en yaygın türler altın kaplanmış bakır ve silisyumdur. Bu aynaların yansıtıcılıkları % 98-99,5 mertebesindedir. Işınının absorbe edilen küçük bir miktarı (ısı) soğutma suyu nedeniyle hızla harcanır ki böylece ayna düzlem kalır ve olabilecek heterojen sıcaklık dağılımları nedeniyle çarpılmaya çalışması önlenir. Lazer tarafından üretilen ışın lineer olarak polarize edilir ve bu durumda kesme kalitesi bir yönden diğerine daha düzgün değişir. Bunu sağlamak için 1/8 dalga geciktirici olarak bilinen ve düzgün polarize edilmiş ışını dairesel polarize edilmiş ışına dönüştüren iki özel ayna kullanılır. Dairesel polarize edilmiş ışın kesme yönünden bağımsız kesme kalitesi özelliğini sağlar.

Kesme için yararlanılan ışın önce malzeme yüzeyine odaklanır. Bu genellikle 10,6 mikron dalga boylu ışın yayan düzlem-konveks mercekler kullanılarak sağlanır. En çok bilinen iki malzeme potasyum klörür (KCl) ve çinko selendir. (ZnSe). KCl mercekler ZnSe merceklerden daha ucuzdurlar ancak daha kısa olan ömürleri nemli atmosferlerde daha da kısalır. Buna karşılık ZnSe mercekler daha küçük boyutla üretilirler ve böylece KCl merceklerle elde edilenden daha büyük güç yoğunluğu elde edilir. Merceklerin seçiminde odak uzaklığı değişkendir ve küçük spot boyutları ile daha büyük güçlere ulaşılır. Kısa odak uzaklıklı mercekler ise küçük odak derinliğine sahiptirler. Genel olarak ince malzemelerin kesilmesinde kısa odak uzaklıklı (f: 50-75 mm) , kalın malzemelerin kesilmesinde ise uzun odak uzaklıklı (f:100-150 mm) mercekler kullanılır. Odak uzaklığı çok küçük olan merceklerin



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI

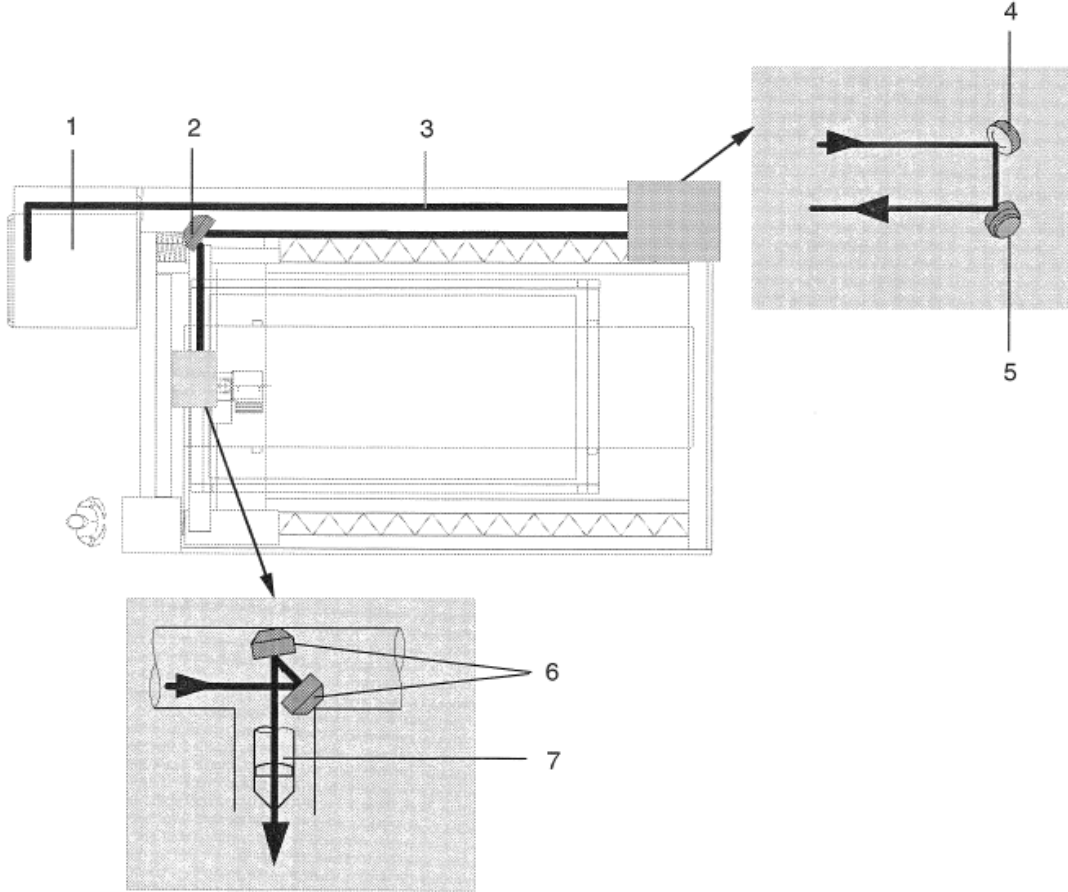


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

kullanılması tavsiye edilmez. Çünkü kesme işleminden merceklere ergimiş malzeme sıçraması ihtimali vardır ki bunun gerçekleşmesi verimi düşürür.

Genel olarak lazer ile kesmede işleme yardımcı gaz kullanılır. Gaz lazer ışını ile birlikte verilir ve aşağıda belirtilen üç fonksiyonu yerine getirir.

- Ergimiş malzemeyi kesikten uzaklaştırmak
- Kesme sırasında ekzotermik bir reaksiyon oluşturarak kesme işlemine yardımcı olmak
- Kesme bölgesinden sıçrayacak ergimiş malzemeden merceği korumak.



1 Laser oluşum ünitesi (resonator)

2 Hareketli ünite de bulunan yansıtıcı ayna

3 Laser ışını

4 Yansıtıcı ayna

5 Yansıtıcı ayna

6 Yansıtıcı aynalar

7 Kesme kafasındaki odaklayıcı mercek

Şekil 3.11 Işın dağıtımının şematik görünümü



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Metal kesmede yardımcı gaz olarak oksijen kullanmak doğaldır ama oksijenle yüksek reaktiflik gösteren malzemelerde yanma görülebileceğinden, bu durumlarda hava veya azot kullanılabilir. Sözü edilen azot ve hava sadece 1 ve 2. maddelerde belirtilen görevleri yerine getirirler. Yardımcı gazı parçaya yönlendirmek amacıyla konik kısımda, merceğın altına nozul

yerleştirilir ve kesme gazı ile lazer ışınının 1-1.5mm çaplı küçük delikten yayılması sağlanır. Bu delik, kesmeden merceğe gelebilecek ergimiş malzemeleri engelleyecek kadar küçük ancak ışının parçaya doğru hareketinde kenarları tutmayacak kadar da büyük olmalıdır.

3.3 Kesme Kalitesi

Lazer ile kesme işlemi aşağıdaki karakteristikleri beraberinde getirir.

- Açılan yarık dar ve devamlıdır. Açılan yarık “Kesme Kanalı” (Kerf genişliği) diye bilinir ve çeliklerin kesilmesinde bile 0,12 mm mertebesinde dir. (5 mm kalınlığındaki bir kesitte kesme kanalı genişliği 0.05 mm’dir.)
- Malzeme kalınlığı artıyorsa kesme bölgesinden daha fazla malzeme göç ettirilir. Bu miktar ince kesitlerde minimumdur.
- Kesme gazı kesme kenarı boyunca çiziklere sebep olur. Yüzey kalitesini optimize etmek için ilerleme hızı , gaz basıncı ve odaklama gibi işlem parametreleri kullanılabilir.
- Bazı kesme uygulamalarında kesimin arka yüzeyinde malzeme artığı görülebilir. Bu artık cüruf olarak ve ergimiş malzemenin viskozitesine bağlı olarak miktarı değişir. Yüzeyden uzaklaştırılması genellikle zorluk çıkarmaz.
- Metalde aşırı ısınma malzeme yapısında çoğu zaman özellik değişimleri meydana getirir. Örneğın çelikte kesme kenarının ana malzemedan sert olmasına neden olur. Bu bölge ısıl etkilenmiş alan (HAZ -Heat affected zone)olarak bilinir. Bu genelde lazer ile kesme işlemlerinde minimumdur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Kesme kalitesi , yukarıda belirtilen özellikler ile :

1. Işın gücü
2. Kesme hızı
3. Yardımcı gaz
4. Odak pozisyonunun dikkatli seçilmesi ile kontrol edilebilir

3.4 İşlem Parametreleri

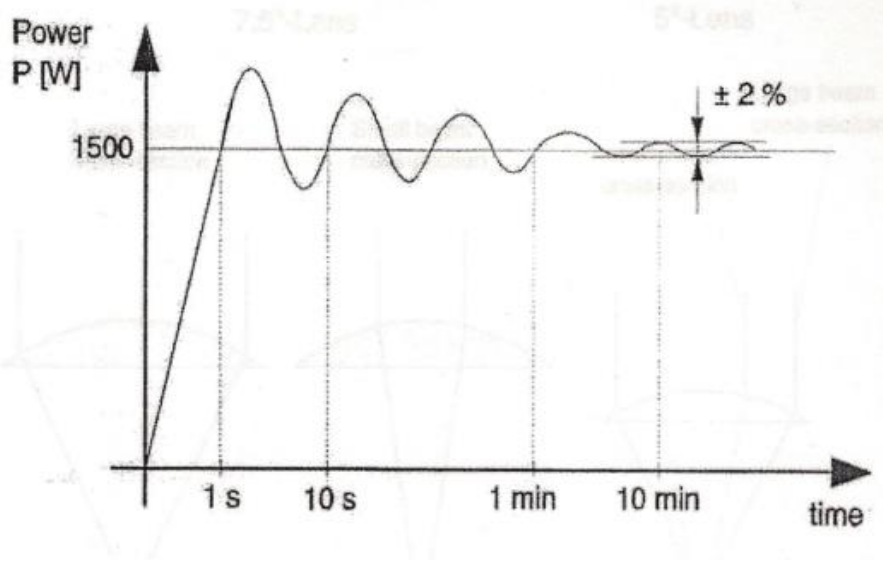
3.4.1 Güç

Lazer gücü geniş sınırlar içinde kolayca değiştirilebilir. Genel olarak , artan güç yüksek işleme hızlarına ve kalın kesitlerin kesilebilmesine olanak verir. Ancak her zaman en iyi sonuçlar en yüksek güçlerde elde edilemez. Örneğin, güç çok fazla ise ince ve yüksek reaktif malzemelerde, çoğunlukla kenarlarda aşırı yanma görülmektedir. Ayrıca, karmaşık şekilli parçalar birkaç nedenden dolayı her zaman tam hızla kesilemez ve çoğu zaman oldukça yavaş ve kenar kalitesini sağlayacak düşük hızla kesme yapmak gereklidir. Karmaşık şekilli parçaların kesilmesinde bir başka metot lazer gücünü dalgalı kullanmaktır. Bu enerjinin devamlı olmasından çok, aşırı yükselmesinde lazer gücünü dağıtarak kesme hızının bir fonksiyonu olarak lazer güç yoğunluğunu kontrol etmektedir.

Güç sabitliği makine çalışma süresince sabit güç sağlamasını ve uniform kesim kalitesinin elde edilmesini sağlar. Lazer oluşumuna başladıktan sonra sabit bir çıkış gücü elde edebilmek için 5-10 dakikaya ihtiyaç vardır. Bu olaya geçici güç değişmezliği denir, sıcaklıktan ve gaz basıncından bağımsızdır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.12 Lazer güç deđiŐimi

Kesim boyunca lazer gç düşümü olmamasına "gç sabitliği" denir. Lazer gücü düzenli olarak belirli aralıklarla kontrol edilmelidir. Gçteki düŐüŐ Şu nedenlerle olabilir.

- Jeneratör pabuçlarındaki yıpranma
- Dış ve i optik sistemlerin kirlenmesi
- Soğutma suyu niteliği



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

	Air	Oxygen	Nitrogen	Argon
1000 W				
1500 W				
2500 W				
3000 W				

Şekil 3.13 Kesme gücünün bir fonksiyonu olarak kesme gazının doğru seçilmesinin kesme kenarına etkisi

3.4.2 Kararlılık

Laserin kararlılığı tekrarlanabilir kesme ve yüksek kalite sonuçları ile üstündür. Optimum kesme verimi için ışın kalitesi sürekli (Model kararlılığı), çıkış gücü (Güç kararlılığı) ve sabit ışın yönü (Noktalama kararlılığı) gereklidir.

3.4.3 Hız

Optimum sonuçlar için hız, gaz akışı ve güçle dengeleme gerekse bile çoğu malzemelerin kesilmesinde kullanılan hızlar kabul edilebilir bir kesme için yeterlidir. Hızın artmasıyla gaz akışı belirgin hale geleceğinden kesme kenarındaki çizikler belli bir seviyeye ulaşır. Hız daha da arttırılırsa kesimin arka yüzünde cüruf oluşturulacağından sonuçta yüksek hızlarda kesme başarısız olur.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI

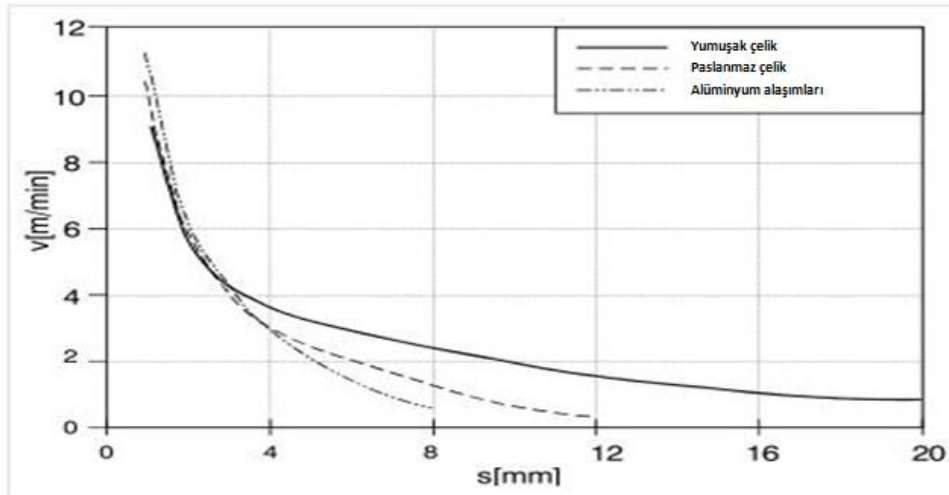


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Kesme çok yavaş yapıldığında kenarlarda aşırı yanma görülür. Düşük hızlarda bile ergimiş metalin temizlenmeden katılaşmaya eğilimi vardır.

Lazer gücü gibi lazer hızı da, malzeme cinsi ve malzeme kalınlığına bağlı olarak değiştirilmelidir. Yanlış kesim hızı kesim çizgisinde sertliğe, çapak oluşumuna ya da çukurluklara neden olabilir. Artan kesim hızıyla kesme yarığına komşu metaldeki ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) küçülür. Eğer kesme çizgisi boyunca kesim çok hızlı yapılırsa malzeme kesilemez.

Genelde, malzemenin kalınlığının artmasıyla kesimin yapılabilmesi için kesim hızının düşürülmesi gerekir. şekil 3.12 de 4000 w gücündeki lazer cihazı ile yapılan kesimde değişik malzemelerin kalınlığındaki artışla beraber kesme hızındaki düşüm görölmektedir. Paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarının belirli bir kalınlığından sonra kesiminin mümkün olmadığı şekil 3.12 de açıkça görölmektedir. Yumuşak çeliklerin kalınlığının artması kesim hızı düşük kalınlıklardaki malzemelere oranla yüksek bir hız düşümü gerçekleşmiştir.



şekil 3.14 Kesme hızının malzeme kalınlığına bağlılığı (4000 W lazer gücündeki makinenin malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme hızı)

3.4.4 Kesme Yardımcı Gazı

Lazer ile kesmede yardımcı gazın seğıimi ve parçaya gönderilme miktarı kritik parametrelerdir. Belirlenen herhangi bir hız ve güç için gaz akışı, ergimiş malzemeyi kesme



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

yüzeyinden uzaklaştıracak kadar yeterli olmalıdır. Metal kesme uygulamaları için bir reaktif gaz (genellikle oksijen) kesmenin devamı için ekzotermik reaksiyon oluşturmakta kullanılır. 1-2 mm kalınlık için lazer kontrolü mümkün olup, saf kesme gazı malzemeyi (ergimiş) uzaklaştırmak için kullanılır. Yüzeyin 2 mm altında kesme oksijen kontrollü olur ve oksijenin metalle reaksiyona girmeye başlaması kesme işleminde önemli bir bölümü oluşturur. Bu kesme mekanizmalarına göre ince malzemeleri kesmek için gaz akışı gereklidir. Daha kalın kesitlerin gaz akışlı kesilmesinde oksijen reaksiyonu kontrol edilmelidir aksi halde oksijen reaksiyonu, kesme kenar kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir.

Yüksek reaktif metaller, plastikler, tahta ve kauçuk malzemeler genellikle hava veya azot gibi bir yardımcı gazla kesilirler. Bu durumda yardımcı gaz yalnızca ergimiş malzemeyi yüzeyden uzaklaştırmak için kullanıldığından hızlı gaz akışı da kullanılabilir.

3.4.4.1 Oksijen

Lazerle yakarak kesme işleminde kullanılan oksijen, kesilen malzeme ile ekzotermik reaksiyona girer ve bu reaksiyonun ürettiği ek ısı, kesme hızını artırır. Oksijenin saflığı kesme kalitesine, cüruf birikimine ve çapak oluşumuna büyük etki yapar. Oksijenin saflığındaki örneğin % 99,97'den % 99,5'e bir azalma, lazer ışınıyla yakarak kesme işleminde kesme hızında önemli oranda bir düşüşe neden olur. Oksijen ne kadar saf ise, kesme de o derece hızlı olur. Ancak oksijenin saflığı % 99,5'tan fazla olsa bile, kesme işlemi sırasında kesme bölgesindeki havadaki azotun veya nemin difüzyonu, uygun şartlarda olmayan hortumların veya armatürlerin kullanımı nedeniyle saflık düşebilmekte bu da kesme kalitesini düşürerek cüruf birikimine neden olmaktadır.

3.4.4.2 Azot ve Argon

Lazerle eriterek veya buharlaştırarak kesmede, erimiş veya buharlaşmış malzemenin kesme yarığından uzaklaştırabilmesi için, soy veya düşük reaksiyon hızına sahip gazların kullanılması gerekir. Bu gazlar için en uygunları argon ve azottur. Bu gazlar, kesme yarığında yanma oluşumunu engellemekte ve kesme yüzeylerinin oksit içermemesini sağlamaktadır. Dolayısıyla lazerle yakarak kesmedeki gibi kesme yüzeylerinin sonradan işlenmesine gerek olmamaktadır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.4.4.3 Basınçlı Hava

İnce saç malzemelerin kesiminde basınçlı hava kullanılabilir. Kesme yarığında ergimiş metali uzaklaştırabilmesi için hava basıncının 5-6 bar olması gerekir. Hava %80 oranında azot içerdiğinden hava ile kesme işlemi ergiterek kesme işlemidir. Basınçlı havanın kuru ve yağsız olması gerekir, bu işlem pek uygun bir sonuç vermez. Kesilecek olan sacın kalınlığı, hava basıncına ve lazer gücüne bağlıdır. 5 kW lazer gücü ve 6 bar basınçta, 2 mm sac çapaksız olarak kesilebilir. En iyi kesme sonucu alüminyumda elde edilmiştir.

3.4.4.4 Kesme Gazı Türü ve Kalitesi

Yakarak kesmede oksijenin saflığı çok önemlidir. Yüksek saflıktaki oksijen ile teknik oksijene göre daha yüksek kesme hızları ve daha kaliteli kesim mümkün olmaktadır. Örneğin oksijen saflığının % 98,8 den % 99.97'ye çıkması kesme hızını % 20 - % 100 arttırmakla birlikte kesim kalitesi de artmaktadır.

Kesme noktasında reaktif gaz konsantrasyonunu azaltmak için gaz karışımlarıyla çalışılır. Bu işlem için reaktif gaza inert gaz karıştırılır. Eriyiğın süpürülmesini engelleyen reaksiyon ürünlerinin (örneğin yüksek sıcaklıklarda eriyen krom oksitleri) oluşmasını engellemek için inert gazların kullanılması zorunludur. Birçok çelik malzeme için ise daha ucuz olması bakımından azot kullanılabilir, nitrür oluşumu ile kırılğan yapıya kavuşan veya çatlaklar oluşan çelik türleri için ise Argon kullanılması tavsiye edilir.

3.4.4.5 Kesme Gazı Basıncı

Donanıma ek olarak kullanılan kesme gazının basıncı da kesme kalitesini belirleyen bir parametredir. Lazerle yakarak kesme işleminde genel olarak 6 bar basınca sahip oksijen kullanılmaktadır. Ticari olarak mevcut odaklama mercekleri, daha yüksek basınçta oksijenin kullanımına izin vermemektedir. Saç kalınlığına ve oksijenin basıncına uygun meme kullanmak gerekir. Oksijen basıncının ve meme çapının optimizasyonu ile, kesme hızını yükseltmek mümkündür. Oksijen basıncının çok yüksek olması durumunda kesme yüzeylerinde oyuklaşma meydana gelmektedir ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişliği artmaktadır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Ayarlanacak gaz basıncı malzemeye ve kesme türüne bağlıdır, inert gaz ile çelik kesildiğinde kural olarak basıncın yüksek olması gerekir. Artan malzeme kalınlığına rağmen aynı kesme kalitesinin elde edilebilmesi için daha yüksek gaz basınçları gerekmektedir.

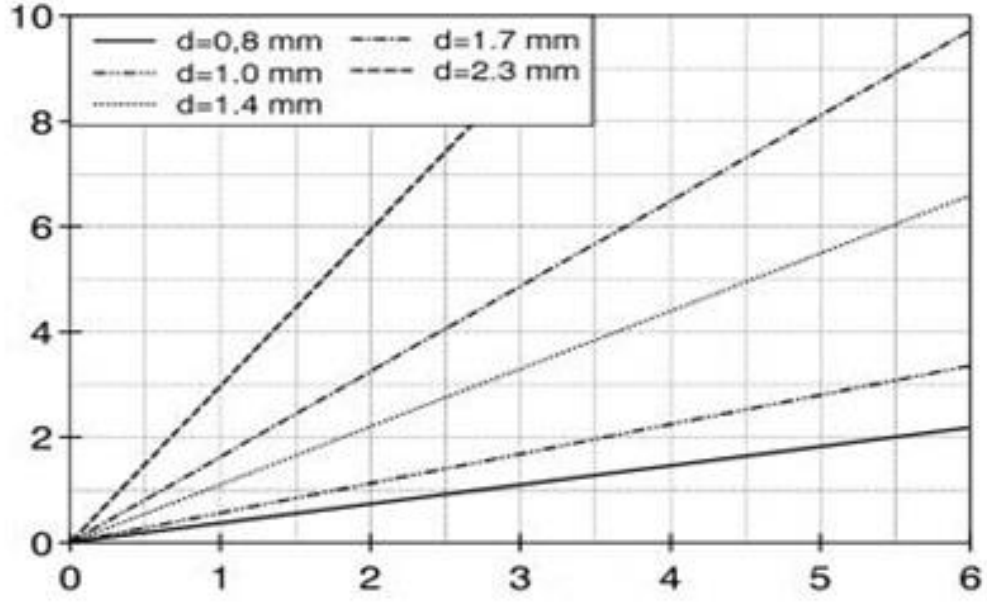
Çelik kesiminde bazı kalınlıklardan itibaren sadece oksijen ile yakarak kesme ile kesim yapılabilir. Oksijen basıncı etkisiyle hız artışı sınırlıdır, artan gaz hızı ile izoterm reaksiyon engellenmekte ve düzgün kesim mümkün olmamaktadır. Oksijen basıncı malzemeye bağlı olarak seçilir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı yapı çeliklerinde 1 bar ile kesim gerçekleştirilir. Buna karşın yüksek alaşımlı çeliklerde 10 bar ile kesim yapılır. Eğer eriyiğin kesme ağzından uzaklaştırılması için oksijene ilave olarak inert gaz kullanılırsa, bu gaz yüksek basınçta olmalıdır.

Ergiterek kesme ve yakarak kesmedeki gaz tüketimi; gaz basıncına ve nozul delik çapına bağlıdır. Esasında; yüksek gaz basıncı ve büyük nozul delik çapında, kesme gazı tüketimi yüksek olur.

Şekil 3.14 da 6 bar basınca kadar oksijenli kesimde nozul çapına bağlı olarak gaz tüketiminin değişimi verilmiştir. Nozul delik çapının artmasıyla kesme gazı oksijenin tüketim miktarı artış göstermiştir. Örneğin; 2 bar basınçta $d=0,8$ mm de gaz tüketimi yaklaşık 1 m³/h değerinde iken, aynı basınçta $d=2,3$ mm çapındaki nozul de gaz tüketimi 6 m³/h değerindedir. Nozul delik çapına bağlı olarak burada gaz tüketimi yaklaşık 6 kat fazlalaşmıştır.



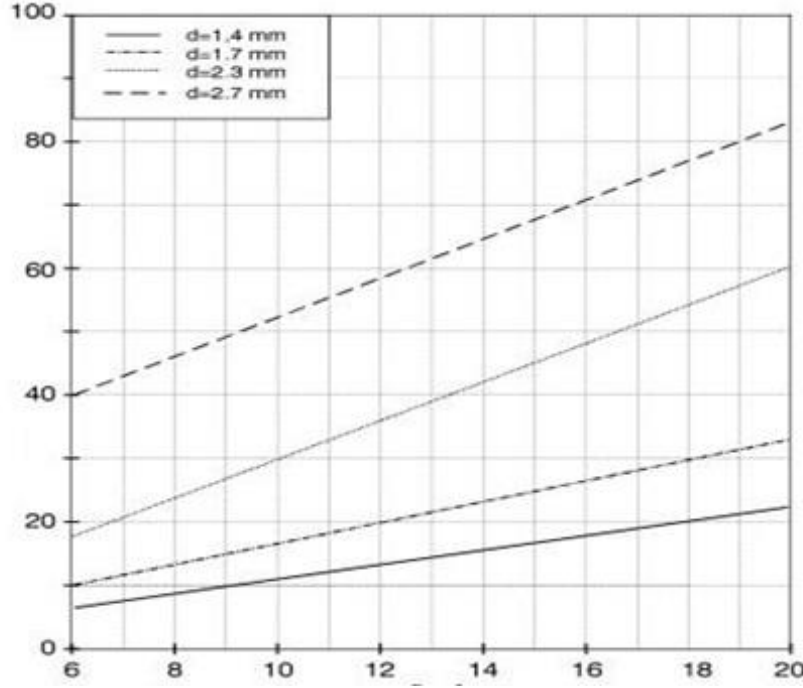
Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.15 6 bar'a kadar oksijenle kesimde kesme gazı tüketimi [d nozul çapı]



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.16 20 bar'a kadar nitrojen kullanarak lazer kesimde gaz tüketime [d nozul delik apı]

3.4.5 Odak Pozisyonu

İyi bir kesim kalitesi elde etmenin n Őartlarından biride doğru odaklama noktası tayin edebilmektir. Odak noktası çoğu zaman malzeme yüzeyinde veya yüzeyin altında olacak Şekilde ayarlanır. Bu noktaların dışında güç yoğunluğu etkili bir kesme için yetmeyecek kadar azalabilir. Bu yüzden odak pozisyonu kesme için önemli bir parametredir. En iyi pozisyon kesilecek malzemenin kalınlığı ile yakından ilgilidir. İnce malzemeler için (yaklaşık olarak 5mm) genellikle yüzeyde odaklama yapılır. Böylece en dar kesme geniŐliđine ve en ideal kesme hızına ulaşılır. Kalın malzemeler veya ergitildiğinde viskoz olan malzemeler için odak noktası genellikle malzeme yüzeyinin 2-3mm altında veya üstünde odaklanır. Bu kesme geniŐliđinin büyümesine neden olur ancak böylece uygun hızlarla ergimiş malzemenin yüzeyden kolayca uzaklaŐtırılmasını sağlar.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Odaklama noktası Şu Şekilde olmalıdır;

Siyah sağın yakarak kesiminde;

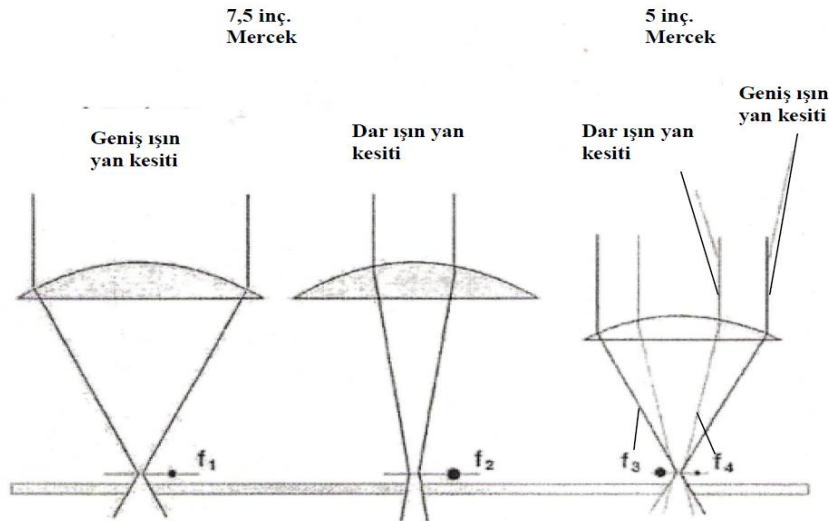
- 6 mm ye kadar olan saç kalınlıklarında uygun odaklama noktası sac yzeyde olmalı,
- 8 mm ve üzerindeki saç kalınlıklarında odaklama noktası sac yzeyinin üzerinde olmalı,

Yüksek basınçlı kesimde;

- Odaklama noktası sacın içerisinde hareket ettirilmeli
- Genel düşünce, odaklama noktasının sac kalınlığına göre değiştirilmesi, odaklama noktasının malzeme yzeyinde ya da malzeme içerisinde olması.

3.4.5.1 IŞın Profili

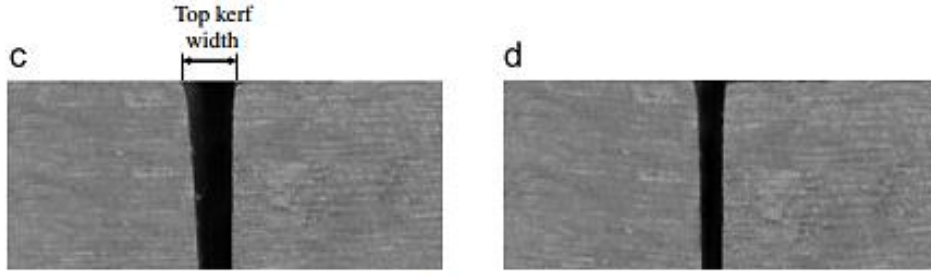
Lazer iŐınının büyük ve küçük odaklanmalarında birbirine yakın kesme boşluklarına ulaŐabilir (Şekil 3.17). Elde edilebilir odak çapı lensin odaklama mesafesine bağlıdır. Lazer iŐını için; 2,5 inç. mercekte odaklama çapı < 0,12 mm ve 5 inç. Mercekte odaklama çapı < 0,2 mm ye müsaade edilebilir.



Şekil 3.17 Odak çapı ve merceğin fonksiyonu olarak odaklanma çapları



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

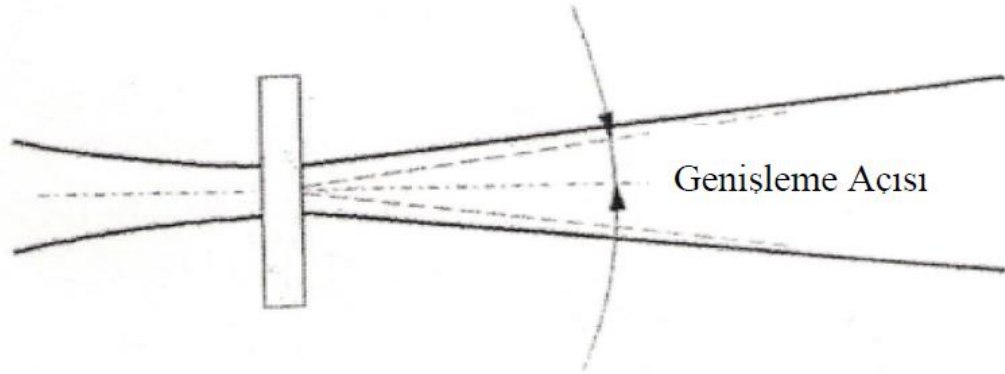


- c. Kesme parametrelerinin optimum olmadığı durum(odak mesafesi)
d. Kesme parametrelerinin optimum olduğu durum(odak mesafesi)

Şekil 3.18 odak mesafesi etkisi

3.4.5.2 Uzaklaşma Açısı

Lazer üreticisi bir birine paralel demetlerden oluşan bir ışık üreticisidir ancak bu yine de kesin bir paralellik değildir bu yüzden lazer ışını normal ışık üreticilerine oranla çok küçük olsa da genişler (Şekil 3.18). Lazer ışığının genişlemesi mili radyan olarak ölçülür. 1 mm 'lik genişleme (kırılma) bir metre uzunluğundaki ışında 1 mm 'lik genişlemeye neden olur.

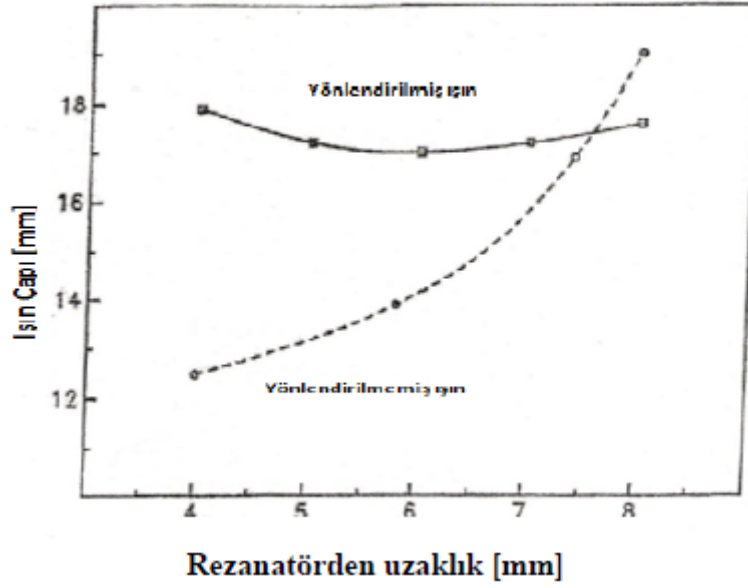


Şekil 3.18 Uzaklaşma açısı

Işığın kırılma açısı sabit bir ışın çapı ve sabit ışın özellikleri sağlayabilmek için mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır.

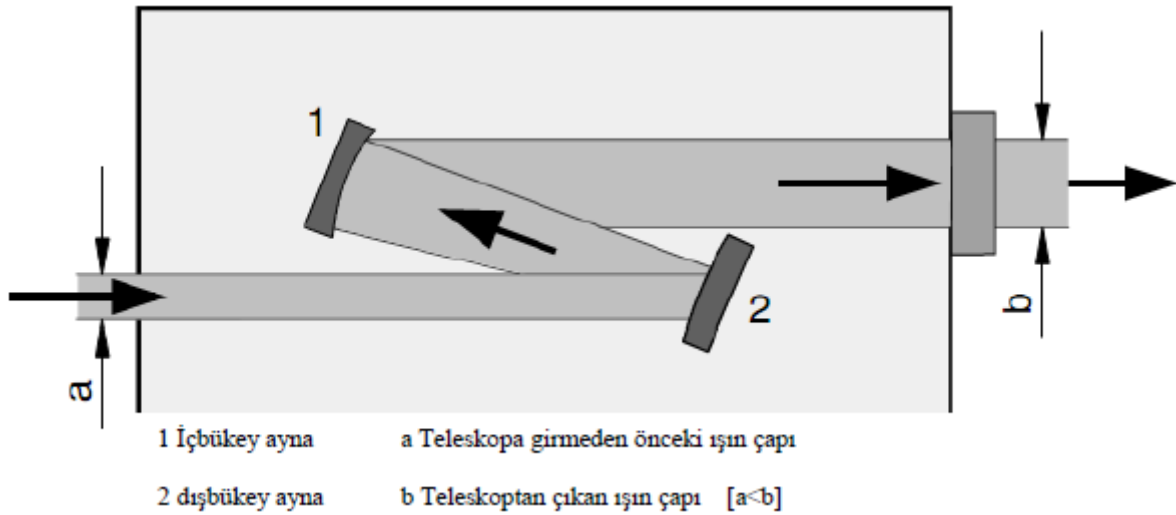


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.19 Rezanatör çıkış mesafesi ile ışın çapı ilişkisi

Rezanatör den çıkan yönlendirilmemiş lazer ışını rezanatör den uzaklaştıkça genişler (Şekil 3.19). Rezanatörde oluşturulan lazer ışını aynalar yardımıyla ve/veya mercekler yardımıyla yönlendirilebilir, bu yönlendirme sırasında lazer ışın çapı aynalar ve/veya mercekler yardımı ile değiştirilerek belli değerler arasında tutulabilir (şekil 3.20).



Şekil 3.20 ışın teleskopu içerisinde ışığın genişlemesinin şematik gösterimi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.4.5.3 Bükme Aynaları

Kirli aynalar kesim uzunluğuna bakılmaksızın zayıf kesim kalitesine neden olurlar. Etkileri;

- Yanma
- Pürüzlülüğün artması
- Siyah saç kesiminde kraterli yüzey oluşma ihtimali

3.4.5.4 Odaklama merceği

Kirli mercek, ısı absorbesini artırır deformasyon oluşur ve odaklama noktasını yukarı kaydırır. Etkileri;

- Kesim çapaklı başlar bununla birlikte kesim uzunluğu boyunca oluşan çapak miktarı fazlalaşır
- Kesme yarığı ve pürüzlülük artar
- Siyah saç kesiminde krater oluşma riski artar
- Ekstrem bir sonuç olarak; kesimde süreksizlik

3.5 Lazerle Kesmenin Diğer Kesme İşlemleri ile Karşılaştırılması

Alevle kesme birçok bakımdan lazerle kesmeye benzer ve kalın çeliklerin kesilmesinde kullanılır. Karakteristik özellikleri arasında fazla ısı gerektirmesi ve büyük kesme kanalı genişliği sayılabilir ki bu durumda distorsiyonlara sebep olacağı ve ısıl etkilenecek sahanın büyük olacağı açıktır. Kesme hızı yavaştır. 20 mm'den küçük kalınlıklar için lazerle kesme alevle kesmeye nazaran daha iyi kenar kalitesi, daha dar kesme kanalı genişliği, daha küçük ısıl etkileneş alan ve oldukça düşük ısı ihtiyacı gibi avantajlar sağlar.

Bir diğer kesme yöntemi zımbalayarak (PUNCHING) kesme diye bilinen metottur. Bu metod parçaların seri halde üretilmesinde avantaj sağlar ancak küçük ve orta boyutlu parçaların kesilmesinde lazerle kesme daha iyidir. Bu metodun ilk tesis masrafı yüksektir ve teçhizat belli zaman aralıklarında bakım gerektirir. Bunlar lazerle kesme için geçerli değildir. Lazerle kesmenin büyük avantajı çok yönlülüğüdür. Parça dizaynındaki küçük dizayn değişiklikleri ek donanım gerektirmeksizin yapılabilmektedir. Lazerle kesmede kenar kalitesi zımbalanmış parçalardan genellikle iyidir, distorsiyon ve gerilmeler daha azdır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

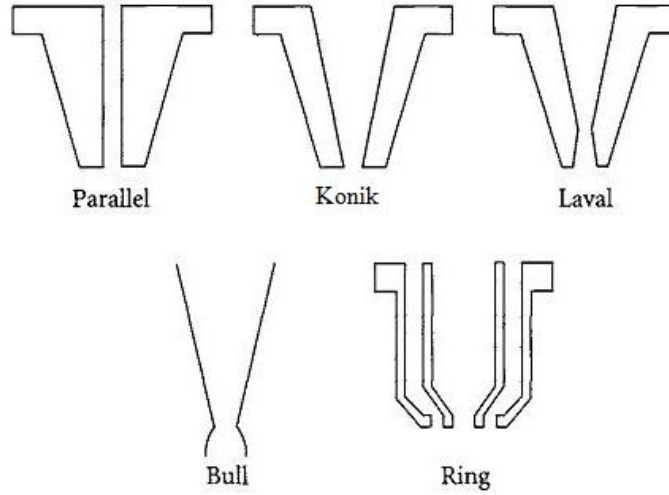
İnce malzemelerin kesilmesinde kullanılan yüksek basınçlı su püskürtmeli kesme de lazerle kesmenin rakibi olabilir. Ancak burada düşünülmesi gereken bir dizi tedbirin varlığı dezavantaj oluşturmaktadır.

3.6 Nozül Ayarı

Lens tarafından odaklanan lazer ışını tam olarak nozül merkezine denk gelmelidir. Lazer ışını 0,05 mm' den daha fazla kaçık olamaz. Kaçık merkezli ışın, yakarak kesiminde siyah sacın kesiminde yüzeyde kıvılcımlanma oluşturur.

3.6.1 Nozul Ağızı

Lazer kesimde farklı nozul çaplarından yararlanır. Saç yüzeyi ile nozul arasındaki mesafede değişkendir. Doğru nozul seçimi kaliteli kesim için çok önemlidir. Yüksek basınçlı kesimde daha büyük çaplı lüle seçilmelidir. Çarpma sonucu nozul ağzının ovallik alması gibi durumlarda hatalı kesim sonuçlarına neden olur.



Şekil 3.20 Nozul Çeşitleri



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.7 İş Parçası Yüzeyi

Saf alüminyum gibi parlak yüzeye sahip malzemeler büyük yansıtma potansiyeline sahiptir ve bu nedenle kötü kesim sonuçları verirler. Yüzeyin boyalı olması, cilalı olması ya da plastik malzeme ile kaplı olması ters yönde etki yapar. Kaba ve sönük yüzeyler yüksek kesim hızlarına müsaade ederler. Yüksek lazer gücüyle yapılan kesimlerde yüzeyin yağ filmiyle kaplı olması olumlu yönde katkı yapar ve bunun sonucu olarak kesme yüzeyindeki cüruf tabakası miktarı azalır.

Yüzeyin pas tabakasıyla kaplı olması yüzeyde yanmalara neden olur ve gaz tüketimi artar bu suretle enerji tüketimi de artmış olur. Aşağıdaki yüzey özelliklerine sahip saçları kesmek daha kolaydır.

- Soğuk haddelenmiş
- Yüzey yansıtıcılığının azaltılması (örneğin; rengi ağartılmış, yüzeyi plastik kaplanmış vb.)
- Kumlanmış
- 3 mm kalınlığa kadar kalınlıktaki ve yüzeyi plastik malzeme kaplı yüksek basınçla kesilen paslanmaz saç kesimlerinde, kaplı kısmın yukarı gelmesi şartıyla kesim yapılabilir.

Galvaniz kaplı 4 mm kalınlığa kadar saçlarda oksijen ya da azot kullanılarak zorda olsa kesim yapılabilir.

Elkro-galvanizli ya da sıcak galvanizli saçlarda zorluk çıkmaksızın kesim yapılır.

3.8 Lazerle Kesim Kriterleri

1. Lazer osilatörünün çıkış gücü, işlenecek malzeme kalınlığı için ana kıstas teşkil etmektedir. Bununla birlikte aranması gerekli temel kriterler; kesimde kesintisiz sürekli kalite, pürüzsüzlük ve hassasiyettir. Bunun için, tercih edilecek lazer işleme merkezinin gerçek ve görsel performansı bizzat görülmelidir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2. Vibrasyon, lazer gibi hassas bir konuda önemli belirleyici bir kriterdir. İ vibrasyonlar ve özellikle dış çevresel vibrasyonlar, toplam bileşke vibrasyonu teşkil etmektedir. İhmal edilebilir görünen bir vibrasyon, lazer'in yuvarlak aması gerekli bir deliğin oval açılmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca vibrasyon, kesintisiz sürekli kesim kalitesi, pürüzsüzlük ve hassasiyet konularında etkin bir belirleyici kriterdir.

3. Toplam kullanılan ekipman sayısı ve toplam maliyetler : Lazer işleme makinalarında, kullanılan ekipman sayısının (odaklayıcı lensler, doğrultucu ve yönlendirici aynalar, kullanılan lazer gazı, tp sayısı v.s.) olabildiğince az tutulması gereklidir. Temel olarak; Madde-1'de belirtilen kesintisiz sürekli kalite, pürüzsüzlük ve hassasiyetin olabildiğince az değişkene bağlanması gereklidir.

- Işının katedeceği yol uzadıkça işık saçılımı artmaktadır. Bunu önlemek için ise, ek odaklayıcı ve doğrultucu elemanlar kullanılmaktadır. (NC ayarlı, eksen ortasında ek aynalı isin sabitleme ya da konkavlığı NC ile ayarlanabilir özel aynalar kullanılmaktadır.) Bunlarda sonuç olarak; ek maliyet, periyodik bakım-değişim ve servis maliyeti gerektirmektedir. Bu hareketlerin, yüksek hızlı kesimlerde sürekli olarak gerçekleştirileceği göz önünde bulundurulacak olur ise; Laser işınının katedeceği yolun mümkün olduğunca kısa, lazer kesim kafasının da olabildiğince az hareketli olması önem taşımaktadır.
- Lazer gazı ve kesim için gerekli yardımcı gazların oransal kullanım performansı, ara ek ekipman kullanılıp kullanılmadığı, tp ve tüketim maliyetleri de dikkate alınması gerekli önemli bir husustur.
- Toplam elektrik tüketimi, yine toplam maliyetler ile yakından incelenmesi gerekli bir konudur.

4. Seri retim yapılan ve zamanın çok değerli olduğu sistemlerde; lazer işleme merkezinin, farklı kalınlıklardaki farklı malzemeleri, kafa değişimine, ek ayarlara ve zaman kayıplarına gerek duyulmaksızın, kesintisiz ve sürekli gerçekleştirebilme özelliğine sahip olması gereklidir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİşTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIşMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

5. Tüm bu belirleyici kriterler ile birebir örtüşen, laser işleme merkezinin tamamlayıcısı CAD CAM çizim ve kod çevirici programlarının mevcut olması yine önem verilmesi gerekli bir konudur. CAD (Computer Aided Design) Bilgisayar Destekli Çizim, CAM (Computer Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli Üretim kısaltmalarından oluşmaktadır. CAM, CAD'de yapılmış çizimleri işler ve makine kodlarına dönüştürür.

3.9 Lazerle Kesim İşleminin Avantajları

Diğer kesme yöntemleriyle kıyaslandığında lazerle kesmenin avantajları şunlardır:

- Lazer ile kesme temassız bir işlemdir. Bunun sonucu olarak kesme kuvveti ve takım aşınması yoktur ve parçanın bağlanması oldukça basittir.
- Malzeme sertliği kesme için ya da etkili kesme hızı için sınırlayıcı değildir. Bilinen kesme işlemleri sırasında sertlikleri ile güçlük çıkaran malzemeler lazer ile kesmede herhangi bir problem çıkarmazlar.
- Kesim kalitesi mükemmel yakındır. Bu mükemmelliği sağlayan kriterler ışın çapının sabit ve oldukça dar olması, bununla birlikte seri üretimde bile 0,05 mm gibi düşük tolerans değerlerine inilebilmesidir.
- Kesim hızı yüksektir. Bu üretim işlemini büyük ölçüde hızlandırır.
- Yüksek enerji yoğunluğuna bağlı olarak ısıdan etkilenen bölge çok küçük ve sınırlıdır. Isıdan etkilenen bölgenin küçük olması demek malzeme bozunumunun minimum düzeyde olması demektir.
- Kesim yüzeyi pürüzlülüğü çok azdır. (100 µm'den küçük) Kesim işleminden sonra iş parçasına ek bir işlem yapmak gerekmez.
- Yaygın şekilde kullanılan çelikler çapak oluşturulmaksızın kesilebilir. Bu nedenle çapak temizleme problemi yoktur.
- Dar kesmelerle malzemenin çok daha az miktarı göç ettirildiğinden malzemenin kayıp oldukça azdır. Böylece efektif malzeme kullanımı mümkündür.
- Lazer ve lazer kesme teknolojisindeki hızlı gelişmeler göz önünde bulundurularak, ticari olarak lazerle kesim diğer tekniklere karşı bir alternatif olarak görülmekte, uygulamalarda sınırsız esneklik sağlama yönünden geleneksel yöntemler yerine tercih edilmektedir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.10 Lazerin Kullanıldığı Yerler

Lazer, haberleşmede kullanılabilir özelliklere sahiptir. Lazer ışını da güneş ışını gibi atmosferden etkilenir. Bu sebeple atmosfer, radyo yayınlarında olduğu gibi lazer yayını için uygun bir ortam değildir. Bu bakımdan lazer ışınları, içi ayna gibi olan lifler içinden gönderilirse, lifler ne kadar uzun, kıvrıntılı olursa olsun kayıp olmadan bir yerden diğere ulaşır. Bu liflerden istifade edilerek milyonlarca değişik frekanstaki bilgi aynı anda taşınabilmektedir. Bu maksatla foto diyot kullanılmakta ve elektrik enerjisi foto diyotta ışık enerjisine çevrilmektedir. Dünyanın birçok telefon şirketleri bu tatbikata geçmişlerdir.

Lazer, uzayda mesafe ölçmede kullanılır. 25 cm hata ile ölçüm yapılabilir. Lazerle ilk mesafe ölçümü, 1962 senesinde, Aya yerleştirilen argon-iyon lazeri ile yapıldı. Lazer, inşaatlarda, boru ve tünel yapımında, yön ve doğrultu tayininde ve tespitinde klasik teodolitlerden çok daha mükemmel ve kullanışlıdır.

Lazerin askeri alanda pek çok uygulamasına rastlanmaktadır. Mesafe bulma ve yer tanıma maksadıyla kullanıldığı bilinmektedir. Hedefe gönderilen güdümlü mermiler, hedef yakalanınca lazer ışını ile infilak ettirilmektedir. Gece karanlığında gece görüş dürbünleri sayesinde gündüzmüş gibi operasyon yapılabilir. Çok başlıklı füzelerin hafızalarına yerleştirilen hedef resmi, füze hedefe yaklaşınca lazer ışını ile tanınır. ABD' nin 1984 yılında geliştirdiği füze savunma sistemi, düşman füzesini havada iken uzaydan gönderilen lazer ışını ile tahrip edebilmektedir.

Holografi ve fotoğrafçılıkta önemli bir yere sahiptir. Lazer görüntü kaydetme süresi saniyenin 10 trilyonda biri zamanda mümkün olur. Holografi, lazer ışınları ile üç boyutlu resim çekme ve görüntüleme tekniğidir.

Tıpta lazer kansız ameliyat maksatları ile kullanılır. Yırtılmış göz retinası, lazer ışını ile acısız ve süratle dikilir. Vücudun çeşitli bölgelerindeki tümörler bıçakla açılmadan yerinde kesilerek tedavi edilebilir. Damardaki dokular, lazer ışını ile kaynar ve kanama olmaz. Çürük diş çukurları dolgu yapılmak üzere acısız delinebilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.11 Lazer Kesim İçin Parça Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Lazer kesim işlemi için parça tasarımının bazı temellerini tekrar gözden geçirmek önemlidir. Bu tasarım ipuçları, lazer kesim verimini arttırmayı, hızlandırmayı ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olabilir.

3.11.1 Lazer Kesim Malzemeyi Değiştirir

Parçaları kesmek için lazer kesim makinası kullanan herkes, bir lazer işını oluşturmak için kullanılan yüksek yoğunluklu bir işık kaynağının ne kadar sıcak olduğunu fark etmelidir: bir milisaniyede metali eritir. Bu nedenle, lazerle kesilen herhangi bir parça aşırı ısıya maruz kalır ve kesim kenarları boyunca ısıdan etkilenir.

Neredeyse tüm üreticiler için bu ısıya maruz kalan kenarlar bir sorun değildir, ancak havacılık gibi bazı alanlarda ciddi sorun olabilir. Bu endüstriler için kritik parçalar genellikle lazerle kesilmez, çünkü tasarım mühendisleri, metalin gelecekte sorun yaratabilecek mikrofissures (gözle görülemeyecek kadar küçük çatlak ve hasarlar) oluşturma riskini alamazlar.

3.11.2 Kesimdeki Koniklik

Lazerle işlenmiş tüm parçaların bir dereceye kadar konikliği vardır, çünkü odaklanmış lazer işını tamamen düz değildir, aksine bir kum saati şeklinindedir. İnce malzemede, konik bir sorun olmayacak kadar azdır. Konik, 0.50 in. Ve daha kalın malzemelerde görünmeye başlar.

Konik hakkında endişeli olan imalatçıların, makine üreticilerinin daha kalın malzemede ki konik miktarını azaltırken, kesim kalitesini ve hızını artıran yeni bir teknoloji geliştirdiklerini bilmeleri gerekir. Örneğin, kesme gazının malzemenin üzerine yayılmasına izin vermek yerine kesime kendiliğinden geçmesi için yeni bir nozul teknolojisi kullanılmaktadır. Ayrıca, kesme kenarı kalitesini artırmak için kiriş modülasyonu kullanılmaktadır.

3.11.3 Kenar Bükümleri

Sac metalleri işlemek için bir lazer kullanmanın en iyi avantajlarından biri, gerekli olan herhangi bir şekli oluşturabilmesidir. Tek sınırlama parça boyutudur, ancak lazerle kesilen



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

parçaların ne kadar küçük olabileceği şaşırtıcıdır. Genellikle parça tasarım hataları, parçalara çizilen uygunsuz viraj röllyefleridir.

3.11.4 Parça Üzerindeki Delik Konumları

Malzemeyi bir lazerle delmek, ilk yıllarda nasıl kesimlere kıyasla büyük ölçüde iyileşmiştir. İmalatçılar artık parçalarını işlemek için çeşitli delme yöntemleri kullanabilirler. Bunlar arasında hızlı delme; yavaş, yumuşak delmek gibi.

Kesimin başlayabilmesi için lazerin malzemeye girdiği momenti belirlemek için optik sensörler de kullanılmaktadır. Bu özellik, parçaların üretim süresini azaltmaya yardımcı olur.

Bitmiş bir parçanın görünümü genellikle önemli olduğundan, bir lazer programcısı delme noktasını ideal bir yere yerleştirmek zorundadır. Deliğin konumu için en iyi yerlerden biri, küçük bir malzeme ortasındadır. Deliğin malzeme kenarından uzak olması, daha kalın malzemelerde delme sıçraması riskini ve ısı etkisini büyük ölçüde azaltır.

Deliğin konumu yanlış yerde olduğunda ne olur? Delme noktası kesilecek kenara yakın yerleştirilirse, delinen kısım kenarları ısı veya sıçrama ile kesimin kalitesini etkileyebilir veya kesimin kaybolmasına neden olabilir.

3.11.5 Boyalı Parçalar

Parçanın toz kaplanması gerekiyorsa, imalatçının birkaç şeyi aklında tutması gerekir. En önemli mesele, kesmek için hangi gazın kullanılması gerektiğidir. Oksijen kullanılırsa, lazerle kesim sırasında parçanın kenarında oluşan oksit tabakasını çıkarmak için polisaj veya bir asit banyosu gibi ikincil bir işlem gerekecektir. Eğer bu işlem toz kaplamadan önce yapılmazsa, kürlenmiş toz kaplama sonunda metalden oksit tabakasına tutturulduğu için pul pul dökülür. Oksit tabakanın çıkarılması ihtiyacını ortadan kaldırmak için, imalatçılar yardımcı gaz olarak azotla kesebilir, çünkü temiz bir kesim sağlar. Azot gazı kesiminde, lazer ne kadar güçlüyse, işleyebildiği malzeme o kadar kalın olur. Artan hız, artan güçle birlikte gelir. Operatör, temiz bir şekilde kesilebilecek maksimum kalınlığı bilmek için makinenin güç seviyesinin farkında olmalıdır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Lazer gücüne bağlı olarak, bir imalatçının, makineden istenen sonucu elde etmek için bir malzemeyi işleme yeteneğini de dikkate alması gerekir. Örneğin, bir şirket 0.8 mmlik temiz kesim için bir lazer almak isterse. Toz boyama yapılacak çelik için , şirket, 3 kW'lık bir lazer kesme makinesini kullanırken 4 kW'lık ekipmanın aksine bitmiş parçadaki farklılıkları analiz etmek isteyecektir. 4 kW'lık makinenin daha yüksek güç seviyesi, onlara nitrojen olmadan elde etmek istedikleri sonuçları verebilir. 3 kW'lık makine, çapaksız bir parça elde etmek için lazer yardımcı gaz olarak oksijen kullanımını gerektirebilir.

3.11.6 Malzeme Kalınlığı

Lazer kesim makineleri, malzemeleri işleme yeteneklerinde gerçekten büyük adımlar atıyorlar. Örneğin, 8 kW'lık lazer kesme makinesi, 1mm kalınlığındaki çeliği dakikada 5 cm'den fazla hızda kesebilir.

Pirinç ve bakır gibi yansıtıcı malzemeler için, bu lazerler ışın yansımaları sorunları olmadan kesim yapabilir.

Tabii ki, bunlar mümkün olan maksimum kalınlıklardan bazılarıdır. Genel olarak, lazerin güç seviyesi arttıkça veya azaldıkça, makinelerde kesilebilecek malzemelerin maksimum kalınlıkları da artar.

3.11.7 Parça Şekli Kesme Verimliliğini

Lazer kesim teknolojisi, makinelerin kesim hızlarını ve güvenilirliğini artırdı, ancak insanların parça tasarlama konusundaki düşünce tarzlarını değiştirmemiştir.

Örneğin, bir parça 90 derecelik köşelerle tasarlanmışsa, kesim süresi artabilir ve parça kalitesi düşebilir. Lazer kesim kafasının keskin köşeyi tuttururken yavaşlaması gerektiğinden, köşeleri fazla yakıp cüruf oluşmasına neden olabilir. Köşeleri bile tamamen yakabilir. Genel olarak, bir tasarım mühendisinin izin verdiği yarıçap ne kadar genişse o kadar iyidir. Bu, bir imalatçının kesim hızını ve parça kalitesini arttırmasını sağlar.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Lazer Tipi	Lazer oluşum maddesi	Dalga boyu (µm)	Uygulama alanları
Gaz lazerleri	Azot	0,3371	Boya lazerleri için optik pompalama kaynağı
	Excimer		Boya lazerleri için optik pompalama kaynağı
	ArF	0,1931	Plastik, cam ve seramik malzemelerin işlenmesi
	KrF	0,2484	Spektroskopi
	XeCl	0,308	Tıp
	XeF	0,351	Ölçme teknolojisi
	Helyum-Neon (He:Ne)	0,6328	Ölçme teknolojisi Holografi
	Argon	0,3511-0,5287	Boya lazerleri için optik pompalama kaynağı Ölçme teknolojisi Holografi Spektroskopi Tıp
	Krypton	0,3424-0,858	Boya lazerleri için optik pompalama kaynağı Spektroskopi Tıp Fotolitografi
	Karbondioksit	10,6	Malzeme işleme Spektroskopi Tıp
Katı lazerler	Yakut	0,694	Tıp Uzaklık tayini Malzeme işleme
	Neodyum cam	1,062	Malzeme işleme Plazma araştırması Fotokimya
	Neodyum YAG	1,063 1,064	Malzeme işleme Tıp
	Alexandrit	0,755	Tıp
Diod lazerler	GaAlAs / GaAs	0,635-0,910	Nd YAG lazerleri için optik pompalama kaynağı
	InGaAsP / InP	1,3	Optik haberleşme mühendisliği
	InGaAlAs	1,50	Ses teknolojisi Lazer yazıcılar Ölçüm teknolojisi Tıp Yüksek güçlerde malzeme işlemleri
Boya lazerleri	Aşırı seyreltilmiş organik boyaları 0,31-1,28 arasında değişen		

Tablo 3.2 Bazı lazerlerin dalga boyları ve kullanım alanları

4. LAZER KESİM MAKİNELERİ

4.1 CNC Lazer Kesme Tezgahları

Torna ve işleme merkezlerinden farklı olarak; lazer işleme makinaları, işlenecek malzemeyi 0.5 mm'den küçük çaplı bir lazer ışık süzmesi ile eritir ve buharlaştırır. Sertliği veya yoğunluğu ne olur ise olsun, tüm malzemeler çabuk ve pürüzsüz olarak kesilmektedir. Kesilmesi zor malzemelerden olan inconel, titanyum ve takım çeliğini kesebilir. Dokunmasız işleme gerçekleştirildiğinden dolayı sabitleme-düzeltilme gerektirmemektedir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Maksimum işlenebilecek malzeme kalınlığı lazer osilatör'ünün çıkış gücü ile belirlenmektedir. Örneğin; 4kW'lik bir lazer, 15mm lik paslanmaz çeliği, 20mm'lik takım çeliğini, 25mm'lik yumuşak çeliği kesebilmektedir. Ek olarak; üç boyutlu lazer işleme makinaları yalnız düz tabakaları değil, üç boyutlu kompleks parçaları da kesebilmektedir.



Şekil 4.1 CNC lazer kesme tezgahları

Lazer kesim makineleri kullanım alanlarının geniş bir yelpazede olmasıyla dikkat çekmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan bu cihazlar, insanların kendi gücü ile yapamayacağı birçok işlemi kolayca gerçekleştirmektedir. Özellikle kalın ve sert yapıda olan materyaller çok çabuk ve hatasız şekilde işlenebilmektedir.

Kullanımı diğer geleneksel yöntemlere nazaran çok daha avantajlı olan lazer kesim makineleri çeşitli ebat ve özelliklerde bulunmaktadır. Bu çeşitler şu şekildedir:

- Mini lazer makinesi
- Ev tipi lazer makinesi
- Orta büyüklükte lazer makinesi
- Büyük ebatlı lazer makinesi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

CNC Lazer tezgahının avantajları aşağıdaki gibi değerlendirilebilir;

- Prototip çalışmalarında kısa sürede yüksek verim
- Az sayıda parça için düşük maliyet
- Talaşlı üretime göre daha ekonomik
- Tasarımda daha esnek çalışma imkanı
- Az adetli imalatlarda kalıp gerektirmeden kısa sürede daha düşük maliyetlerde üretim
- Üretimde malzemenin en verimli şekilde kullanılması yani minimum fire
- Kalıpsız imalat yapılmasına imkan tanınması
- Kesim esnasında malzemeye temas olmadığından malzemede ezilme oluşmaz
- apaksız ve minimum przllkte kesme işlemi

CNC Lazer tezgahının dezavantajları ise;

- Lazer ile üretimde ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Lazerin verimi düşüktür. - Katı lazerde verim %1-6, -Gaz lazerde verim %35 civarındadır

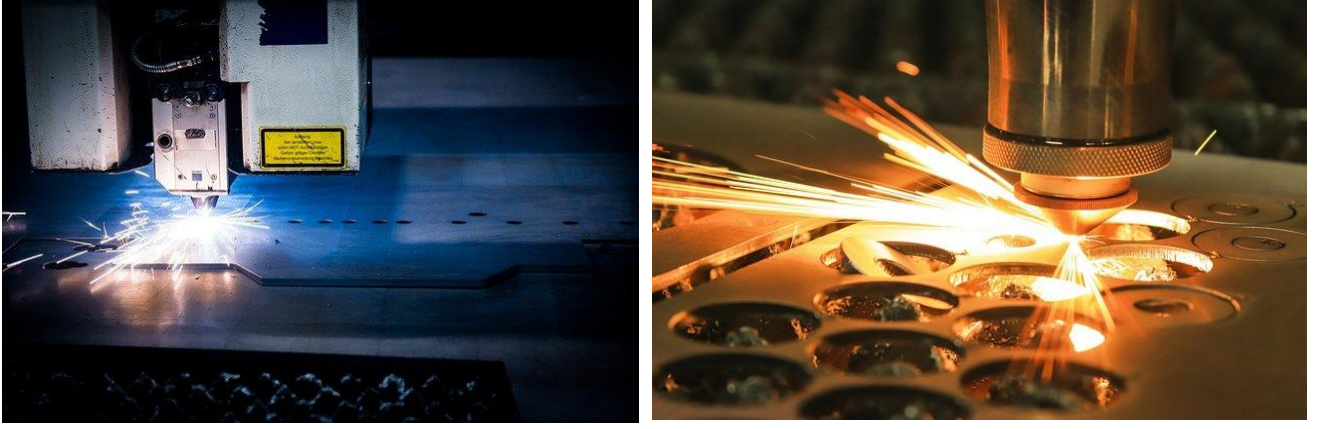
4.2 Lazer Kesim Makinesi Nasıl alışır?

Metal tp ve cam tüp biçiminde bulunan lazer kaynakları farklı alan ve materyaller üzerinde kullanılmaktadır. Metal tüplü lazer kesim makineleri ile metal ürünler kesilebilmektedir. Cam tüp lazer makineleri ile de kumaş, plastik, karton, ahşap ve pleksi gibi malzemeler kesilebilmektedir.

Lazer kesim makinesi, pek çok materyal üzerinde kullanılmaktadır. Bu materyaller elik, plastik, ahşap, cam, pleksi, kağıt, gıda, kumaş ve polyester gibi daha birçok ham maddeden oluşmaktadır. İnsan gücü ve el ile yapılması çok uzun zaman alacak işlemler rahatlıkla bu cihaz sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Cihazın yapısı ve mekaniği gereği kesme, kazıma ve yakma gibi tüm işlemler hızlı ve kusursuz olarak yapılmaktadır.

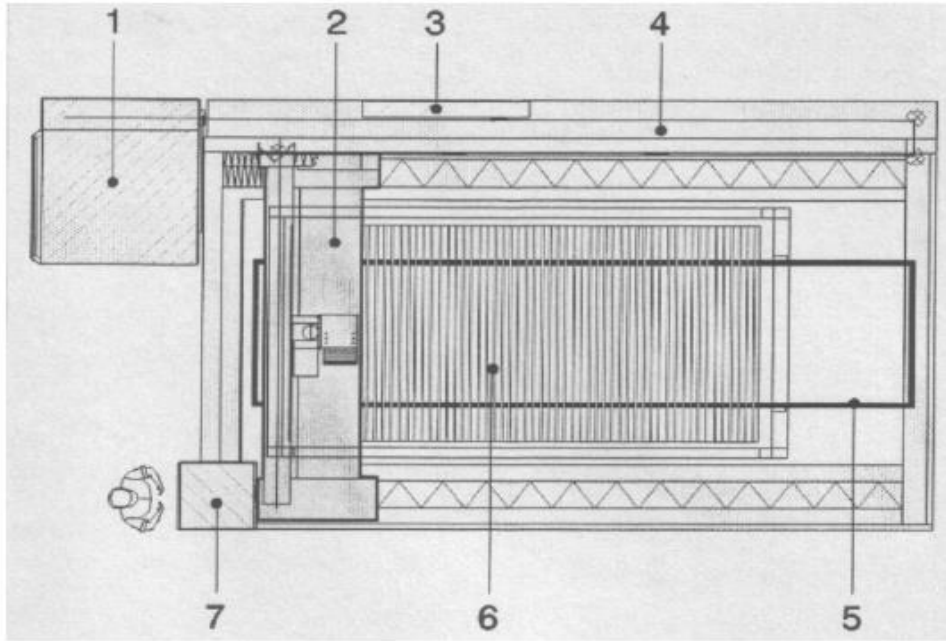


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.2 CNC lazerle kesme

4.3 CNC Lazer Tezgahı Bileşenleri



- 1) Lazer Ünitesi
- 2) Hareket Ünitesi
- 3) Makine paneli
- 4) Tezgah çerçevesi
- 5) Boylamsal taşıyıcı kayış
- 6) Palet
- 7) Kontrol Paneli

Şekil 4.3 CNC lazer kesme tezgahının şematik görünümü



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

4.3.1 Lazer Tüpü

CO2 lazer tüpler, lazer kesim makineleri ile lazer kazıma makinelerinde kullanılan parçalardır. Bu tüpler cam ya da metal malzemelerden üretilmiş olabilirler. İçerisinde karbon dioksit gazı bulunduran cam ya da metal lazer tüpleri en sık kullanılan türler arasında yer almaktadır. Metal lazer kesim makineleri ile lazer kazıyıcı makinelerde çoğunlukla fiber lazer tüpleri kullanılır.

CO2 lazer tüpler, lazer kesim makinelerinde kullanılmakta olan parçalardır. CO2 lazer tüp ömrü kısıtlıdır. Bu sebeple belli bir süre kullanıldıktan sonra yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. CO' lazer tüpler belli bir süre çalıştıktan sonra eğer tekrar doldurulmazsa lazer kesim makineleri durabilir bu da üretimin aksamasına sebep olacaktır. Lazer tüplerin cam lazer ve metal lazer olmak üzere iki ayrı çeşidi bulunur.



Lazer Cam Tüp



Fiber Lazer Tüp



Lazer Metal Tüp

Şekil 4.4 Lazer tüpü çeşitleri

Cam lazer tüpler CO2 lazer tüp ismi ile de bilinmektedir. İsminden de anlaşıldığı üzere içerisinde karbondioksit gazı bulunur ve bu gaz sayesinde çalışmaktadır. CO2 lazer tüp ömrü metal tüplere oranla çok daha azdır. Bu tüpler yaklaşık 10 bin saat etkin bir şekilde çalışabilirler. Sonrasında değiştirilmeleri gerekmektedir.

Eğer CO2 lazer tüpler tasarruflu bir şekilde kullanılırlarsa o zaman kullanma süreleri daha yüksek olabilmektedir. Ancak düzenli olarak bakımları yapılmaz ise ve sürekli bir şekilde çalışılırlarsa o zaman çalışma süreleri daha az olabilmektedir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Metal tüplerde olduğu gibi cam tüplerde değişim yapma imkanı bulunmaz. Bu nedenle de kullanım ömrünü tamamladığı zaman tekrar kullanımı söz konusu değildir. CO2 lazer tüpler kullan at kategorisine girmektedir. Ömrünü tamamladıktan sonra yerine yenisinin monte edilmesi gerekmektedir.

4.3.2 Lazer Güç Kaynağı

CO2 lazer tüpleriyle kullanılabilen ve farklı güç seviyelerine sahip tüplerle eşleştiren, lazer kesim makinelerine güç sağlayan yapılara lazer güç kaynağı denmektedir. Tamamen güvenilir ve emniyetli bir yapıya sahip olan bu güç kaynağı, pek çok farklı malzeme üzerinde özel tasarımların gerçekleştirilmesine imkan vermektedir.

- Akrilik Plastik,
- Bez,
- Farklı deri ürünleri,
- Kauçuk plaka çeşitleri,
- Gravür yapma potansiyeli,

Tüm olanakları tek bir çatı altında toplayarak lazer kesim makineleri eşliğinde gerçekleştirilen güç kaynakları, özellikle yedek parça olarak bu tasarımlar için büyük öneme sahiptir.



Şekil 4.5 Lazer güç kaynağı



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

4.3.3 Hareket Sistemleri (Step&Servo Motor ve Sürücöleri)

Step motorlar, ayrı adımlarla hareket eden bir DC motordur. 'Faz' adı verilen gruplar halinde organize edilmiş çoklu bobinleri bulunmaktadır. Her faza sırasıyla enerji verildiğinde, motor her defasında bir adım olacak şekilde dönme işlemini gerçekleştirecektir.

Genellikle kalıcı mıknatıs bir rotordan oluşan ve stator sargıları ile çevrili olan step motorlar, sargıları belirli bir sırayla adım adım harekete geçer. Statorun sargılarına akım verilmesiyle ortaya bir elektromanyetik güç çıkar ve bu güç motoru döndürür.

Step motorların tam bir tur dönmesi için belirli adım sayısına ulaşmaları gerekir. Her step motor, aynı adım sayısına sahip değildir. Step motorlar birçok farklı boyut, stil ve elektriksel özelliklerde çeşitleri bulunur.

Step motorları, yapılarına göre 3 farklı çeşitte sınıflandırabiliriz. Bunlar:

- Sabit Mıknatıslı Step Motorlar
- Değişken Relüktans Step Motorlar
- Hibrid Senkron Step Motorlar

Step motorlar, ileri seviye hassas konumlandırma ve hız kontrolü elde etme imkanı sunar. Bu sebeple birçok hassas hareket kontrol uygulamalarında tercih edilirken, endüstride ve gündelik yaşamın vazgeçilmez bir çok cihazında sıkça kullanılmaktadır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.6 Step&Servo Motor ve Sürücüleri

Servo motorlar, yapısında bulunan açısız veya doğrusal pozisyon, hız ve ivme kontrolünü eksiksiz bir şekilde yapan , hareket kontrolü sağlayan bir motor türüdür. Servo motorlar, robot teknolojilerinde en çok kullanılan motor çeşididir. Servo motorları cazip kılan en önemli özelliği, istenen pozisyonu almasıdır. Servo motorlar yeni bir elektriksel sinyal komutu gelmediği sürece mevcut pozisyonunu değiştirmez.

Servo motorların iç yapısına baktığımızda motorun hareketini sağlayan bir DC motor ile karşılaşırız. Bunun dışında bir dişli mekanizması, potansiyometre ve bir motor sürücü devresi bulunmaktadır.

Servo motor iç yapısında bulunan potansiyometre, motor milinin dönüş miktarını tespit etmektedir. Servo motor içerisindeki DC motorun hareket etmesiyle potansiyometre döner. Yine servo motor iç yapısında bulunan mikrokontrolör devresi, motorun bulunduğu pozisyon ile istenilen pozisyonu karşılaştırarak motor sürme işlemini gerçekleştirir.

Genellikle 180° derece ile sınırlı çalışma açısına sahip servo motorların 90° ve 360° derecelik çalışma açıları da mevcuttur. Geneli 4.8-6V gerilim aralığında çalışır. Üstü değerlerde çalışanları da bulunmaktadır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Servo motorlar Sinyal Genişlik Modülasyonu (PWM) sinyaliyle çalışır. PWM sinyaller mikrokontrolör devresinden gelir. Örneğin bir servo motor her 10ms içerisinde bir pals değeri okuyacak şekilde üretilir. Pals uzunluğu motorun dönüşünü belirler. Yeni bir pals gelmeden konumunu değiştirmezler. Hareket etmeleri için gereken pals genişliklerinin minimumları ve maksimumları vardır ve bu değeler değişkendir.

AC ve DC Motorları ayrı ayrı ele aldığımız yazılarımızda servo motorları bir DC motor türü olarak ele almıştık. Ancak servo motorların AC versiyonları da bulunmaktadır. Servo motorların ayrıca 0°-90°, 0°-180°, 0°-270°, 0°, 360° ya da sonsuz dönen çeşitleri de üretilmektedir.

Temel bir sınıflandırma yapmak gerekirse iki farklı servo motor çeşidinden bahsedilebilir. Bunlar;

- DC Servo Motorları
- AC Servo Motorları
- Spindle Servo Motorlar

4.3.4 Lazer Su Soğutucu Ünite

Lazer kesim makinelerinden daha yüksek performans ve kalite alabilmek, makinenin ısınmasına engel olabilmek için kullanılan parçayı lazer soğutucu denmektedir. Herhangi bir hata yaşanmaması ve arıza oluşmaması konusunda lazer su soğutucuları mutlaka düzenli olarak kullanılmalıdır. Bu sebepten özel üretim ile yedek parça açısından lazer kesim makineleri konusunda en önemli tasarımlardan biridir.

Her geçen gün daha yaygın olarak kullanılan bu makineler nedeniyle, lazer su soğutucuları yedek parça olarak çok fazla ilgi görüyor.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.7 Lazer su soğutucu ünite

Lazer soğutma cihazları pek çok farklı özellik ile büyük öneme sahip. Her türlü lazer kesim makinesi için kullanım yapısına sahip olan bu ürünleri, özellikleri ve değişik çeşitlerine bağlı olarak tercih edebilirsiniz. Etkin tasarımıyla hazırlanmış lazer soğutucuların özellikleri;

- Düşük işletme maliyeti ve düşük gürültü ile kullanım imkanı,
- Yüksek performans ile enerji tasarrufu,
- Soğutulmuş radyatör kapsamında güçlü performans,
- Kolay kurulum ile çalıştırma,
- Rahatlıkla hareket ettirebilme,
- Ekonomik soğutma potansiyeli,

Pek çok değişik malzeme üzerinden kaliteli ve verimli üretim imkanı sağlayan lazer kesim makineleri, iş dünyasının en önemli tasarımları arasında yer alıyor. Bu tasarımlar malzeme yapısına ve kalınlığına bağlı olarak ele alınacak iş kapsamında değişkenlik göstermektedir. Yani farklı teknolojik özellikleri ve boyutları ile lazer kesim makineleri arasından tercih yapmak mümkün.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Tabii bu makineleri daha üstün performans ile değerlendirmek için ise lazer su soğutucuları büyük öneme sahiptir. Bu yüzden aynı şekilde her türlü lazer kesim makinesinin özelliklerine uyum sağlayacak, etkin yapı altında üretilen lazer soğutucuları bulunmaktadır.

4.4 CNC Lazer Kontrol Programları

CAD sisteminizdeki çizimleri makinenizin lazerle keserek ürüne dönüştürmesi için kullanılan bir yazılımdır. Birkaç tıklamayla, malzeme kullanımı ve makine çalışma süresini optimize ederken makineniz için en verimli yerleşim programlarınızı üretebilirsiniz.

Kesim çözümü kafa, gaz, mercek, köşe işleme, kesme optimizasyonu ve MicroJoint'ler gibi faktörlerden etkilenebilir. Önerilen parametreleri değiştirebilir ve kesme tablolarını gerektiği gibi düzenleyebilirsiniz.

Ortak çizgi kesimini, parça parça kesimi, kesme sırası optimizasyonunu ve özel işlenecek taslaklarınızı kolayca kontrol edebilirsiniz.

CNC kesim programları çeşitli olup, program kullanırken her zaman seçilen yöntemleri, makine kapasitelerini ve sınırlamalarını hesaba katarak üretim süresini en aza indirmek için optimize edilmesi gerekmektedir.

CNC Kesme programlarının genel özellikleri arasında aşağıdakiler bulunur;

- Otomatik kesme
- Malzeme tabanlı kesme parametreleri
- Kesici kafa ile tabaka arasındaki çarpışmayı önleme
- Kiriş genişliğini ve otomatik dengelemeyi tanımlama
- Köşe düzeltmesi
- Z eksen kontrolü
- Ortak kesim için tam destek
- Geometri ve malzeme ile belirlenen kesme hızları
- TelJoint, MicroJoint ve MicroWeld desteği
- Buharlaştırma seçenekleri
- Kesmeden önce işaretleme ve / veya markalama
- Köprü kesme ve zincir kesimler
- Çok kafalı plazma, alev ve su jet makineleri için destek



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



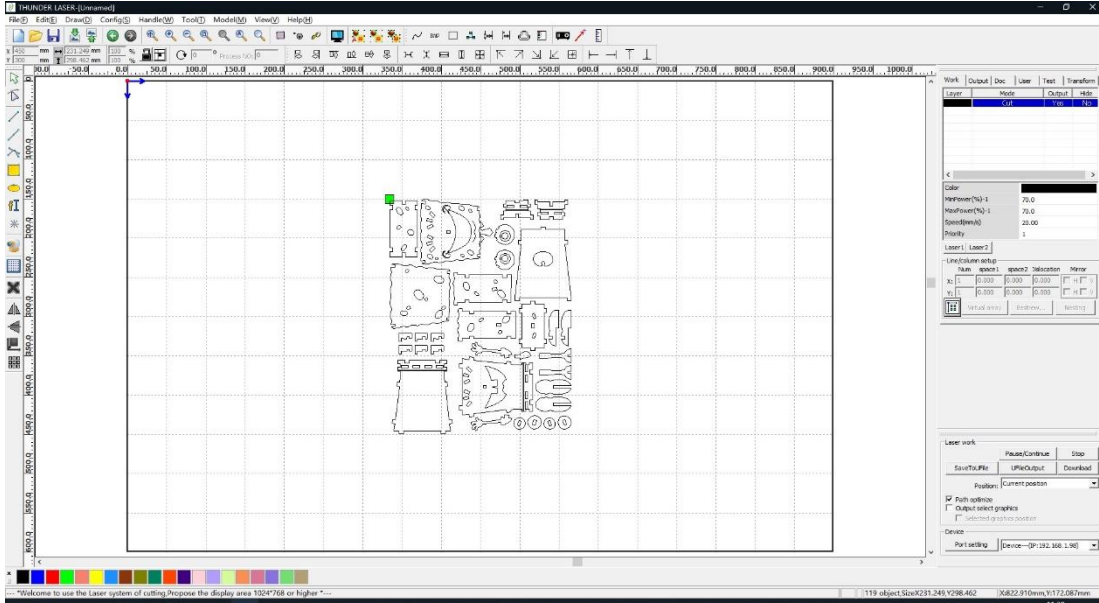
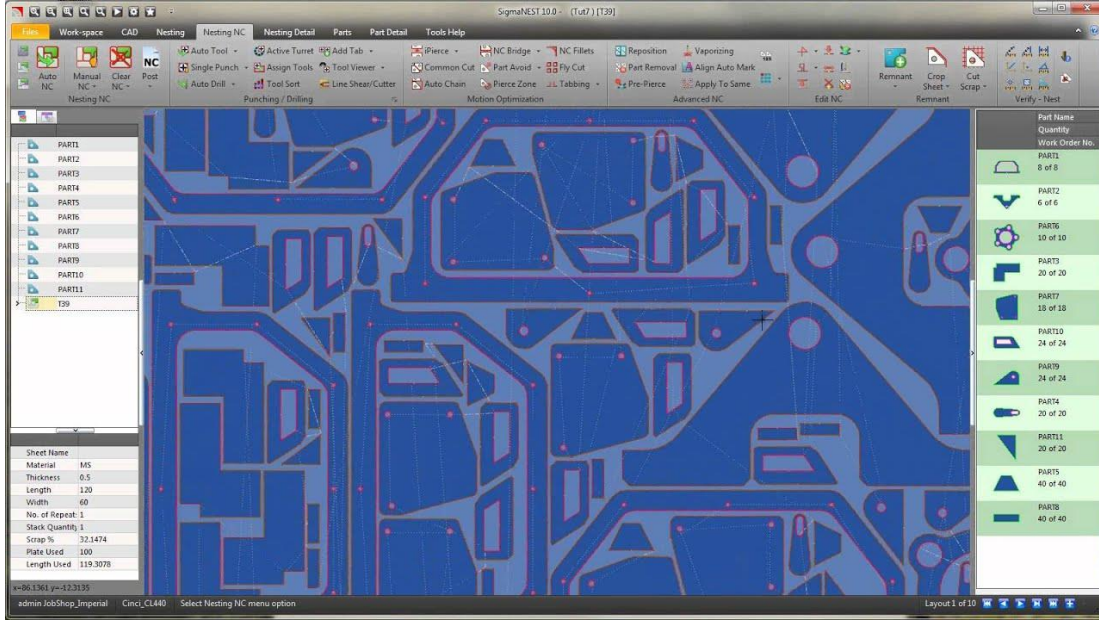
Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI

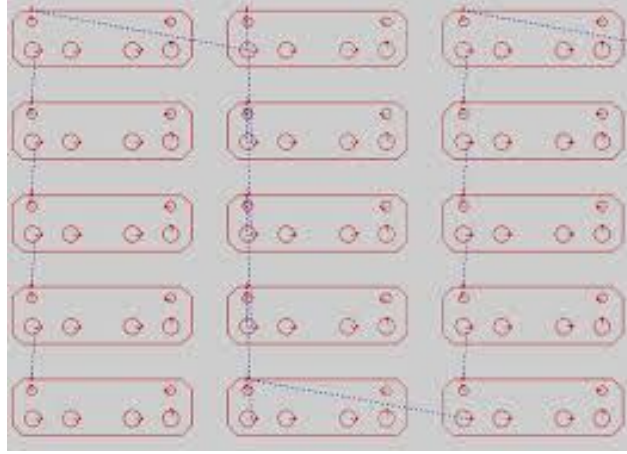


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.





Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.8 Lazer kesim programı örnekleri

Kaynaklar

1. <https://www.kalenderlazer.com/lazer-kesim-makineleri-ne-ise-yarar.html>
2. <https://muhendistan.com/lazer-kesim-makinesi-nedir-ne-ise-yarar/>
3. <https://turkmaksan.com.tr/lazer-kesim/>
4. <https://www.makinaegitimi.com/lazerle-kesim-calisma-prensibi-avantaj-ve-dezavantajlari/>
5. 316l Çelik Esaslı İmplantların Çeşitli Kesilme Yöntemleri/ Levent Öncel / 2009
6. <https://lazerpol.com/lazer-kesimin-tarihcesi/>
7. Çelik Malzemelerin Lazer Kesim Parametrelerinin Optimizasyonu / Ersan YILMAZ/ 2009
8. Lazer Işını İle Metallerin Kesilmesine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi / Akın Arcan / 2011
9. MAK 456-Alışılmamış İmalat Yöntemleri / Doç. Dr. Naci KURGAN / Ders Notları
10. Lazer Kullanılan İş Yerlerinde Risk Değerlendirmesi / DOÇ. DR. Ersin KAYAHAN
11. <https://www.kalenderlazer.com>



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1. BORU BÜKÜMÜ

1.1 Boru Bükme Nedir?

Malzemelerin doğrultularının sıcak ve soğuk olarak istenilen yönde, açıyla ve yarıçaplarda bükümü elde etmek için düz bir boruyu bükme işlemine verilen isimdir. Soğuk ve sıcak olarak yapılan bükmelerde, malzemelerin büküm yerlerinde şekil değişimleri meydana gelir.

Günümüzde boru bükme teknolojisinin giderek geliştii bu son zamanlarda birçok sektörde boru bükme makineleri artık bir ihtiyaç haline gelmiştir. Otomotiv, hidrolik sanayi, uçak sanayi, kimyasal madde üretim tesisleri, gıda tesisleri, mobilya fabrikaları, makine imalat sektörü, denizcilik sektörü ve daha birçok sektörde boru bükme makineleri günümüzde kullanılmaktadır.

Boru bükme teknikleri, boru ile yapılan şekilli bileşenlerin ve eşyaların, farklı türde uygulamalara yönelik özel boru ve boru hatlarının imalatında kullanılır. Son yıllarda boru bükme teknikleri, hassas kontroller, servo sürücüler ve güç ünitelerinin geliştirilmesi sayesinde mükemmel kaliteyle sofistike bükümler yapma yolunda büyük adımlar atılmıştır.

Tüm sektörlerin farklı özelliklerde kullandıkları malzemelerin büküm işleminde boru bükme makineleri kusursuz işlem yapmaktadır. Malzeme cinsi bakır, demir, alüminyum ve diğer malzemelerde bükme işlemi gerçekleştirilebilir. Bu sayede hem zamandan hem de maliyetten tasarruf yapılır.

Üretimde, genel olarak boru bükümünün önemi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde kaynak ile birleştirip taşıma yapmak büyük zaman almakta ve ağır bir işçilik olarak görülmektedir. Eskiden bu yöntem bir alternatif olarak görülse de artık kullanışlı değildir. Boru bükme prensipleri yalnızca yuvarlak borular için değil teller ve içi dolu çubuklar, oval, kare ve dikdörtgen profiller için de kullanılmaktadır.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Günümüzde borunun kullanıldığı tüm sektörlerde kullanılmakta olan boru bükme makineleri üretim periyodunda vazgeçilmezdir. Borunun bükme kısımlarında bu makineyi kullanmayan üreticilerin yaptıkları kaynak ve kesme işlemleri bu makinelerin yaptığı işin yerini tutmaya çalışmaktadır. Halbuki harcanan zaman ve masraf göz önüne alındığında miktarın oldukça fazla değerlerde olduğu açıkça görülmektedir.

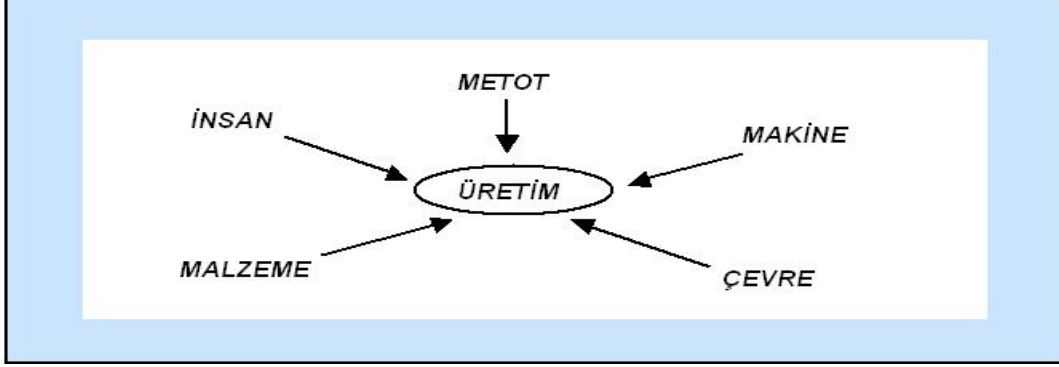


Şekil 1.1. Boru bükmenin kullanıldığı sektörler

Üretim aşamasında tehlikeli bölgelerde kullanılan boru sistemlerinde tehlikeyi minimuma indirir ve akışkanların içinden geçtiği borularda tehlikeyi minimuma indirir. Boru bükümü kalite konusunda çok çeşitli faktörlerden etkilenir. Üretim periyodunda metot, işçinin bilgi beceri ve kabiliyeti, makineye hakimiyet, malzeme cinsi ve özelliği, malzemenin makineye ve yapılacak işe uygunluğu, makinenin işe yetkinliği ve çevre faktörleri kaliteyi etkileyen unsurlardır. Bu unsurların hepsinin sağlanması üretimde kalitenin artmasını sağlar. Bir kısmının istenilen düzeyde sağlanmaması bükümde kaliteyi düşürür.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



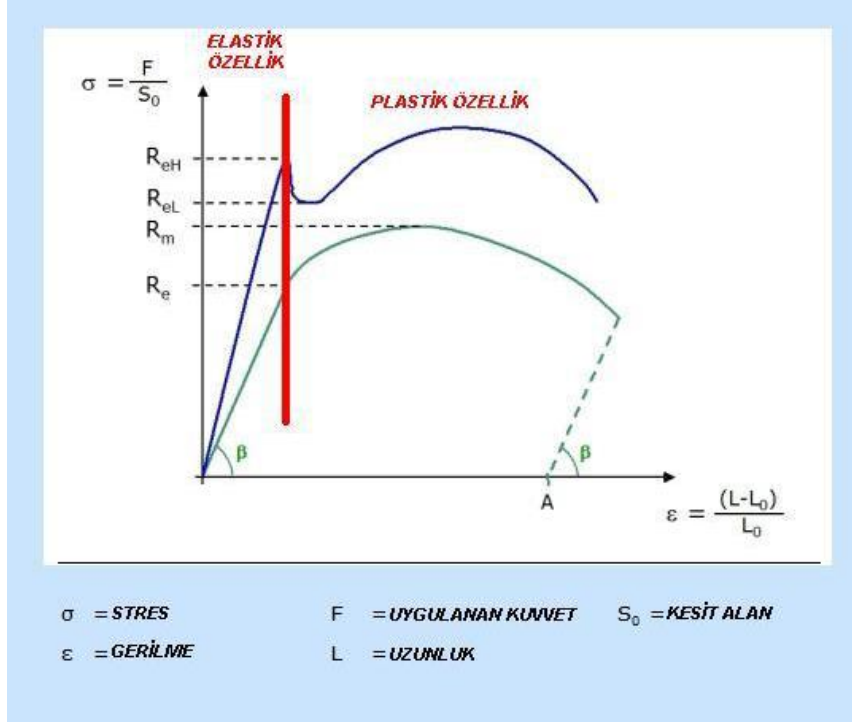
Şekil 1.2. Boru bükme kalitesini etkileyen parametreler

1.2. Büküm işleminin teorisi

Bükme işleminin uygulanırken ilk aşamada bükme işleminin yapılan soğuk malzemenin elastik özelliği göz önüne alınır. Şekil 1.3'de görüldüğü gibi Hooke kuralına (Hooke's Law) göre bükme işleminin yapılan malzeme öncelikle 2 durumda ele alınır. Bu iki durum sırasıyla elastik ve plastik hal durumudur. Bükme işleminin esnasında uygulanan kuvvet malzemenin elastiklik limitini geçtiği anda artık malzeme plastik özelliği gösterir. Bunu şöyle bir örnekle daha iyi açıklayabiliriz. Bir yayı belirli kuvvetle çektiğimizde yay tekrar uzama hareketinden sonra ilk haline geri dönüyorsa bu yayın elastik özelliğini kaybetmediğini ve kuvvetin buna uygun yani elastik diyagramı içinde uygulandığını gösterir. Bu şartlar altında uygulanan kuvveti arttırsak yayı bıraktığımızda artık eski haline geri dönmüyorsa bu durumda yay elastik özelliğini kaybetmiştir ve plastik özelliği göstermektedir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

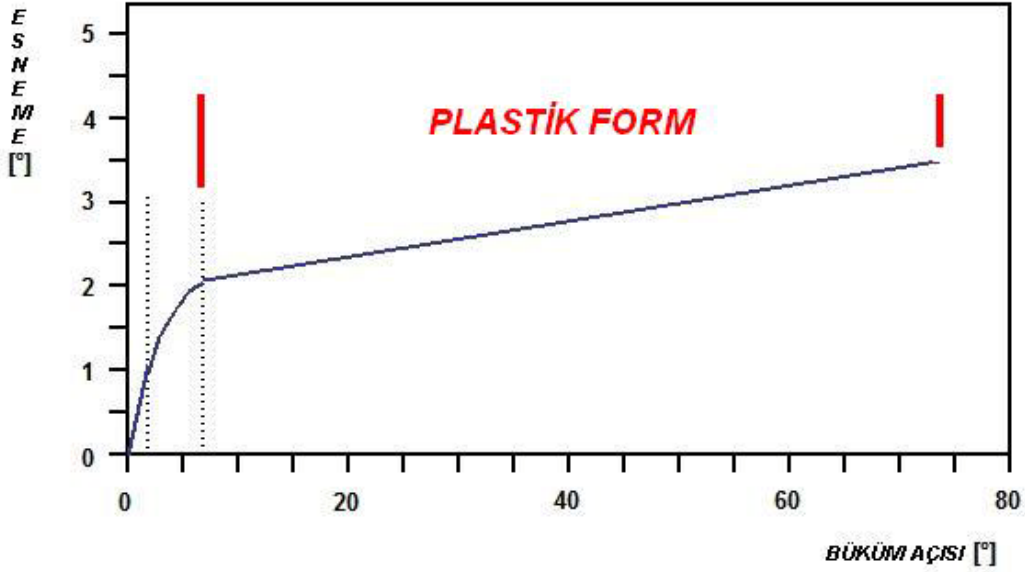


Şekil 1.3. Stres ve gerilmeler

Esneme-Açma Durumu Malzeme bükme işlemi gerçekleştikten sonra bükme işlemi eğer Hooke kuralına göre elastik bölgede gerçekleşmişse malzeme bükme sonrasında açma yapar. Bu açma elastiklik özelliğinin bir sonucudur. Malzeme üzerine bükme esnasında uygulanan kuvvetten doğan potansiyel enerji bükme tamamlandıktan sonra dış gerilme ortadan kalkar. Bu sebeple istenilen dereceden farklı olarak bir sonuç ortaya çıkar. Yaylanma / açma iki durumda incelenirse sırasıyla elastik form alanına şekil 1.4'de bakıldığında düzgün doğrusal bir artıştan söz etmek mümkün değildir. Malzeme elastik özelliğini kaybettiği durumlarda plastik forma geçtiği andan itibaren esnemede / açmada düzgün doğrusal bir artış olur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



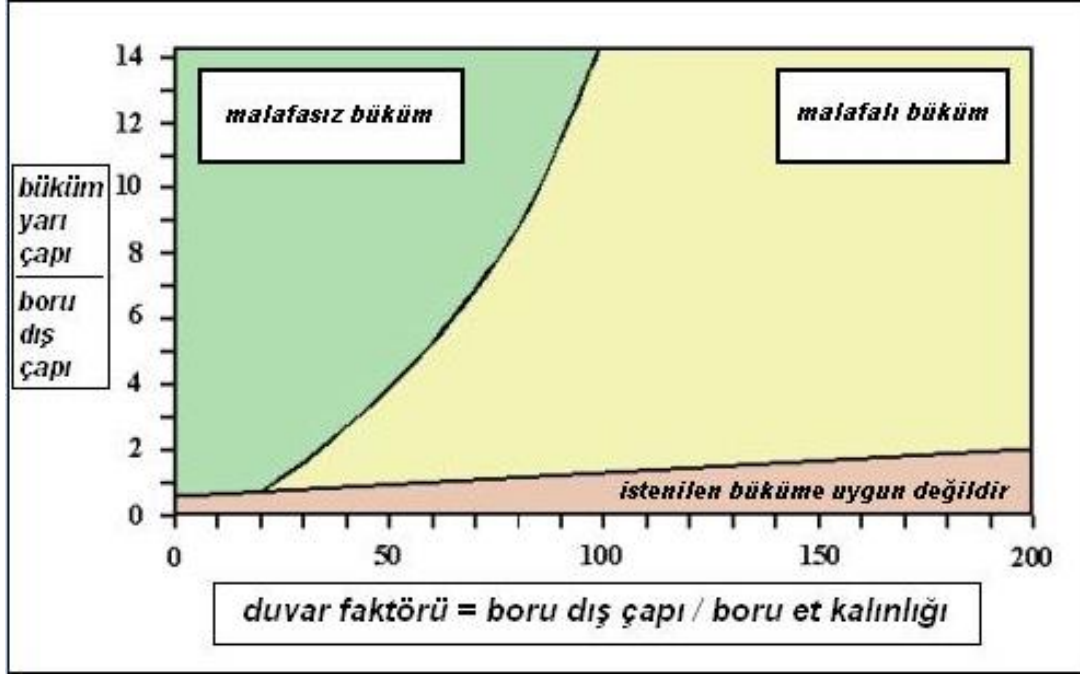
Şekil 1.4. Bükme açısı-Esneme grafiği

Eğer ince et kalınlığında ve küçük yarıçaplarda boru bükme işlemi gerçekleştirilecekse yalnız kalıp kullanılarak yapılacak olan bükümlerde malzemenin bükme iç bölgesinde eziklikler ve şekil değişiklikleri meydana gelebilir. Bunu önlemek için bükme kalıbının yanında en iyi ve kusursuz sonucu alabilmek için kaşık kullanmak gereklidir. Kaşık, bükümü yapılacak borunun bükme kalıbı ile olan iç kısmında, borunun bükülecek olan iç kısmında yer alır. Kaşık sayesinde bükme iç kısmında oluşabilecek olan eziklikler ve şekil bozuklukları minimum seviyeye indirilir. Buna rağmen büküm işlemi sonrasında eğer halen şekil bozuklukları gözlemleniyorsa bunlar bükümü yapılan borunun bu kısmında sonradan telafi edilemez. Bu durumlarda malafa kullanımı sorunu giderecektir.

Malafa kullanımını her boru için uygulamak çoğu işlemde gereksiz olabilir. Bu bakımdan istenilen en iyi sonucu optimum şartlarda elde edebilmek için yapılacak işin malzeme bilgilerinin ve büküm işlem bilgilerinin net bir şekilde işe başlanmadan önce belirlenmesi gerekir. Bundan sonrasında bir takım büküm işlem hesapları yapılarak eğer gerekliyse malafa belirlenir ve parçalar bu hesaba göre imal edilir. Kısaca büküm işlemi sırasında malafanın gerekli olup olmadığını şekil 1.5'te incelenebilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 1.5. Malafa kullanım değerleri

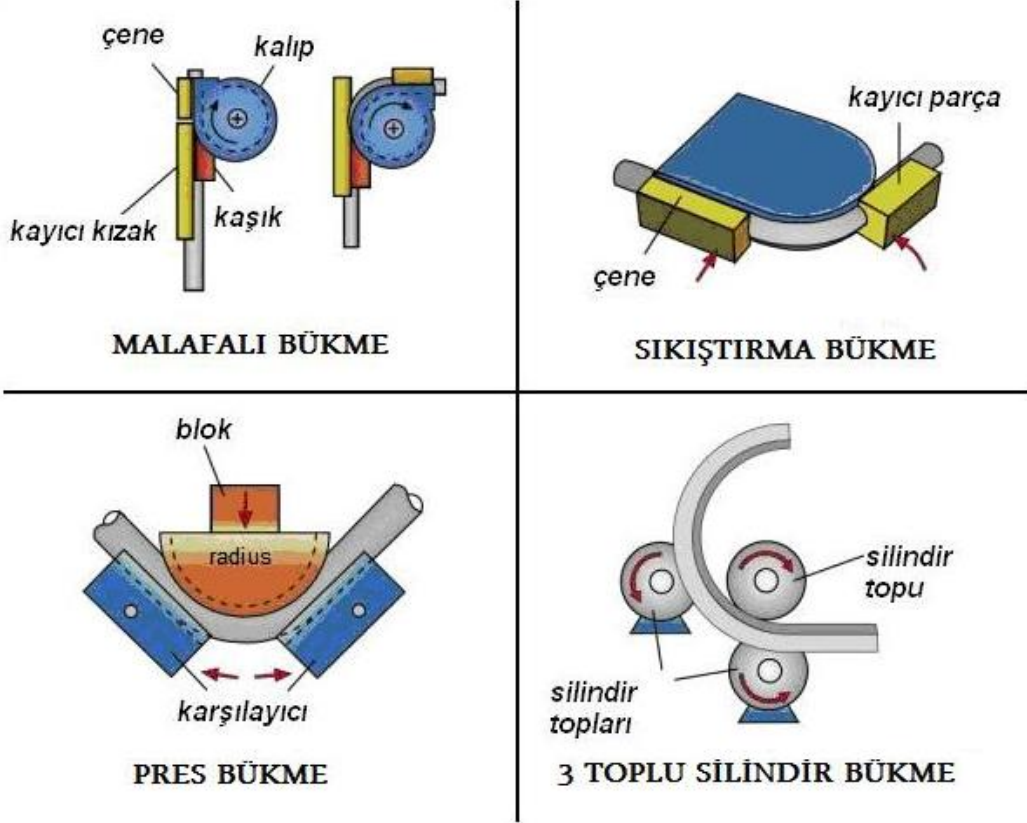
Bükme işleminde malzeme üzerindeki stres bütün bükme işlemlerinde bükme esnasında malzemede üzerine çeşitli kuvvetler etki eder. Bükümün iç tarafında bir basınç kuvveti meydana gelir. Buna paralel olarak bükümün dış tarafında gerilme kuvveti oluşur. Nötr ekseninde malzeme boyunda herhangi bir değişiklik meydana gelmez.

2. BORU BÜKME METODLARI

Çok çeşitli metotlar boru bükme işleminde kullanılabilir. Fakat bükme işlemi için en uygun bükme metodunu seçmek malzemenin cinsine ve istenilen bükme şekline bağlıdır. En çok kullanılan malafalı bükme ve bunun dışında 3 toplu silindir bükme, pres bükme ve sıkıştırma bükme çeşitleri vardır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.1. Boru bükme metotları

2.1 Pres bükme Metodu:

Pres bükme, basarak bükme veya koç bükme olarak adlandırılan bu işlem, özellikle yumuşak malzemeler ve büyük yarıçapta bir büküm yapmak için yaygın ve genel bir yöntemdir. Bu bükmede boru yerleştirildikten sonra bükme yarıçapı şekilde görülen yarıçap bloğuna karşılık gelen 2 karşılayıcının ayarlanmasıyla belirlenir. Yukarıdan gelen yarıçap bloğu manuel ya da hidrolik olarak kumanda sistemi adaptasyonu ile çalıştırılabilir.

Bu bükmede boru iç kısmından desteklenmez. Bükme kalın et kalınlığına sahip ve geniş bükme yarıçapını elde etmek için kullanılır. Diğer bükme işlemleri için uygun değildir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.2. Pres bükme metotları

2.1.1 Uygulama prensibi:

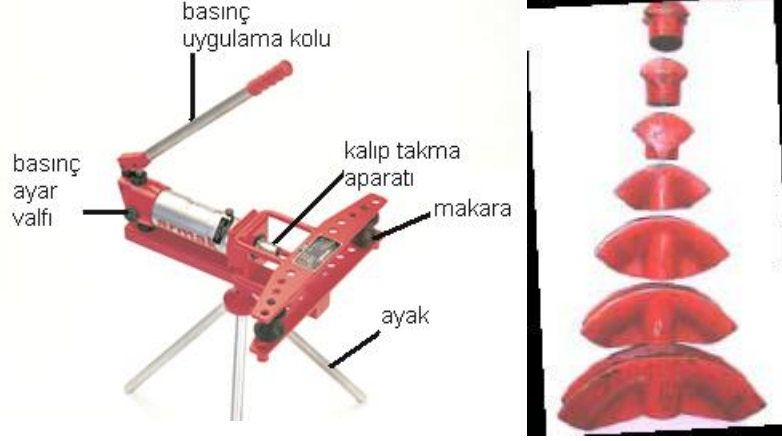
Boru serbest kelepçelerle (karşı kalıplar) her iki taraftan tutulur ve ana kalıp veya yarıçap bloğu itilerek büküm işlemleri gerçekleştirilir. Bu işlem geçmişte olduğu gibi günümüzde de, özel aletler ve hidrolik pres kuvveti ile büyük ve kalın borular içinde uygulanır. Basarak bükme, boru bükümü için en eski endüstri teknolojisidir. Kuvvet, pnömatik, hidrolik veya diğer kuvvet ünitesi kullanılarak elde edilebilir. Ayrıca aynı teknik yatay hidrolik presler ile profillerin ve dolu çubukların bükülmesi için de kullanılabilir.

Bu bükme tekniğinde; iki büküm arasındaki uzunlukları kontrol edecek herhangi bir sistem yoktur. Bu nedenle iki büküm arasındaki ölçüyü hassas çıkarmak imkânsızdır. Günümüzde bu tekniğin ana kullanım sebebi, bakır-alüminyum gibi yumuşak malzemelerle yapılan işlemlerde kullanışlı ve pratik olmasıdır. Aynı gerekçe servis ve onarım için de geçerlidir.

Pres bükme uygulamalarında hidrolik boru bükme makinesi, sıhhi tesisat işleri için gerekli olan boru bükme işlerine çok uygun olmaktadır. Özellikle hidrolik düzeneğinin insan gücüyle çalışması şantiye işlerine uygun olmaktadır. Aparat üzerinde çoğu kez parmak cinsinden boru çaplarına uygun dişi ve erkek kalıpları vardır. Bunlar aracılığıyla borular belli büküm yarıçaplarında 900 ye kadar bükülebilir. Kullanılan kalıplar Şekil 2.3'da verilmiştir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.3. Hidrolik boru bükme makinesi ve Hidrolik bükme kalıpları



Şekil 2.4. Paçanın makineye bağlanması, bükme operasyonu, paçanın makineden
Boru bükme makineleri mekanik, hidrolik ve elektrikli olarak imal edilmişlerdir. Rahatlıkla her yere taşınabilmesi ve kullanımının kolay olması nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Tesisatçının soğuk bükmelerde vazgeçemediği bir makinedir. Hidrolik boru bükme makinesi yağ basıncı ile çalışır.15 mm(1/2") ile 80 mm(3") çapları arasındaki boruları istenilen açıda bükülebilirler. Bu makinelerin bükülecek boru çaplarına uygun merkezi bükme kalıpları vardır. Bükme kalıpları dirsek ve köprü 23 bükümlerine göre yapılır. Bükümlerin tam ve doğru yapılabilmesi için boruların dış çaplarının standartlara uygun olması lazımdır.15 mm, 20mm ve 25 mm çaplarındaki boruların bükümlerinde fazla sorun yaşanmaz. 25 mm den büyük çaplardaki boruların bükümlerinin sorunsuz olması için içlerine kum doldurulması faydalı olur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Bu tip ekipmanların manüel makinelerden daha iyi olan önemli avantajları:

- Artan kapasite
- Operatör becerisine olan ihtiyacın daha az oluşu
- Büyük miktarlara uygunluk
- Zor uygulamalar için yetenekli oluşudur.
- Basit ve ucuz teknoloji
- Kelepçelerin pozisyonlarını değiştirerek çok farklı şekiller uygulanabilmesi
- Çeşitli araçlar ile geniş kullanım yelpazesi olması.

Yarı otomatik bükmenin dezavantajları:

- Operatörün kesinliğe ve üretim hızına doğrudan etkili oluşu
- Operatör uzmanlığına olan ihtiyaç
- Sınırlı parça kompleksliği
- Otomatikleştirmenin zor oluşu şeklinde sıralanabilir.
- Standart ve devamlılığı olan bükümlerde dereceleri aynı çıkaramaz.
- Genellikle bakır gibi yumuşak malzemeler için kullanılır.
- Sadece tek bükümlü işler yapmak için kullanılır.
- Bükümlerde içtenve dıştan deformasyonlar oldukça belirgindir.

2.2. Üç Toplu Bükme Metodu :



Şekil 2.4. Üç Toplu Bükme Metodu



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3 makaralı bükme tekniği, manuel veya hidrolik sistemler ile endüstride en çok kullanılan bükme tekniklerinden biridir. Boru, profil, lama, köşebent, şekilli profiller, dolualzemeler bu alanda başlıca kullanılan büküm malzemeleridir. Bu teknoloji, büyük radüsler için mükemmel bir yöntemdir. Ayrıca ısıtma olmadan soğuk büküm ile 300, 400, 500 mm çap gibi büyük çaplı boruların bükülebilmesini sağlayan tek yöntemdir. Bu, tekniğin küçük ebatlardan büyük boru hatlarına kadar, örneğin çelik konstrüksiyonlarda veya boru hatlarında kullanılabileceği anlamına gelir.

2.2.1 Uygulama prensibi: Boru makaralar arasına sokulur. İki makara altta, biri üstte tutulur. Üst makara dikey yönde aşığı-yukarı olarak hareket ettirilerek radüs oluşturulur. Makaranın aşığı yönde hareketi, yani sabit olan iki makaraya yakınlaşması radüsü daraltır. Dikey yönde yukarı hareketi ise radüsün büyümesini sağlayacaktır. Borunun silindirlere geçmesini sağlamak için silindirlerin birkaçı veya tümü tahrik edilir. Dolayısıyla bu yöntemde, makaraların konumu için kullanılan kuvvet haricinde büküm için ek bir kuvvet yoktur.

Eğilme yarıçapı makine imkânlarına, ebatlara ve silindir pozisyonlarına bağlıdır, ancak genellikle büküm büyük çapta olmaktadır.

3 Toplu bükme (proseste dördüncü top eklenebilmekle birlikte genel olarak büküm yöntemi aynıdır) büyük yarıçap uygulamaları için oldukça etkili bir yöntemdir ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal olarak manuel veya hidrolik sistemleri çok yaygın kullanılmaktadır. Ancak borunun beslenmesini kontrol etmek zor olduğundan daha hassas bükümler için CNC sistemleri de vardır.

Avantajları:

- Ekonomik teknoloji olması
- Bir takım kalıpla farklı radüsler yapılabilir
- Büyük radüslerle geniş kullanım



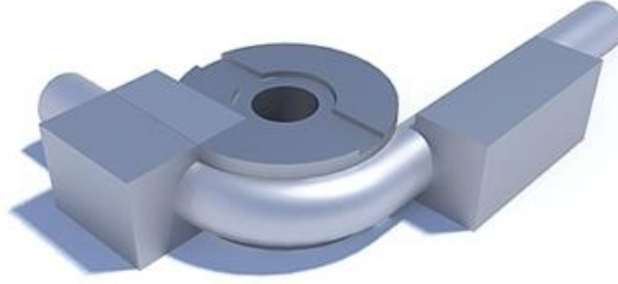
Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Dezavantajları:

- Küçük radüsler kullanılamaz
- Tek parçadaki radüs değişiklikleri kontrol edilme zorluğu
- İki büküm arasındaki mesafe kontrolünün zorluğu

2.3 Malafalı Bükme Metodu :

Endüstriyel sistemde sürekliliği olan imalatlarda çok kullanılan bir büküm tekniğidir. Geçmişi 1800'lü yıllara dayanan bu sistem, diğer tüm yollara göre, en hassas ve kontrollü eğmeyi sağladığı için günümüzde en popüler boru bükme sistemidir. Bu nedenle malafalı bükme tekniği ile üretilen ürünler günümüzde otomotiv sektörü, mobilya sektörü, tarım araç ve gereçleri, eğitim, spor, neredeyse yaşamın her alanında kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. Malafalı bükme Metodu

Malafalı bükmede boru bükme işlemi için yerleştirildikten sonra bükme kalıbı ile çeneler boruyu kavrar. Bükme kalıbı üzerinde boru, kalıbın yarıçapında bükülür. Eğer malafalı ve kaşıklı bükme kullanılırsa daha kaliteli ve ince et kalınlığına, düşük yarıçapa sahip bükümlerde daha iyi sonuç elde edilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.3.1 Malafalar

Malafa borunun büküm esnasında borunun içinde ve büküm merkezinde kalarak boruyu dış çaptan sıvayan borunun yayılmasını önleyen kalıp ekipmanıdır. Dar radüslarda büküm elde etmek için toplu(salyangoz) malafa tercih edilir. Toplu malafa büküm işlemi esnasında boruya maksimum desteklik sağlar ve bükümün sorunsuz gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Toplar pozisyon olarak serbest hareket eder. Toplar büküm işlem hesabı sonrasında eklenip çıkartılabilir.



Şekil 2.7. Toplu malafa

Malafa boyu(Standart) : 200 mm

Boru içindeki delik çapı = Boru çapı- (Boru Et kalınlığı x 2)

Boru içindeki delik çapı= 25-(2,5x2) = 20 mm

Malafa çapı borunun delik çapına eşit olursa malafa hafif sıkı geçer veya takılma yapar. Bu yüzden malafanın çapı borunun delik çapından küçük olmalıdır.

Malafa çap1: 19,5 mm

Malafa çap2: 8,5 mm

Malafanın uç kısmına atılan radius: 3 mm

Malafanın çap1 kısmının boyu 100 mm olmak zorundadır. Malafanın arka kısmının çapı ölçüden düşürülmüştür. Bunun nedeni sürtünmenin daha az olmasını sağlamaktır. Böylece makine boruyu bükerken daha az kuvvet harcar.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.3.2 Uygulama prensibi: İlk olarak boru ön çene ile kenetlenir, arka çene (kızak) boruya dayanarak büküm kalıbının dönüşüyle bükülür. Arka çene (kızak) boruya uyguladığı basınçla boruyu büküm anında takip eder ve borunun dış formunu korur.

Boru bükme sürecindeki en önemli noktalardan biri, büküm esnasında borunun içinde bulunan malafadır. Kullanıldığı büküm tekniğine adını vermesi önemini vurgular. Bir diğer tamamlayıcı parça ise kaşık olarak adlandırılan, borunun büküm esnasındaki iç radüside oluşabilecek kırışıkları(potlaşmayı) sıvama yaparak önleyen parçadır. Her büküm için kaşık gerekli değildir. Ancak gerektiği birçok durum vardır ve çözüm için vazgeçilmezdir.

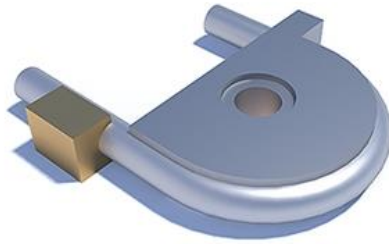
Avantajları:

- Maks. İşlemin hassasiyeti
- Dar radüslerde büküm yapabilme
- İki büküm arasını standart olarak alabilme

Dezavantajları:

- Büküm Teknikleri arasında en pahalı olanı

2.4 Sararak Bükme Tekniği:



Şekil 2.8. Üç Toplu Bükme Metodu



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Kalıba sararak bükme tekniğinde, boru sabit kalıbın etrafına sarılır. Bu sarım hareketini gerçekleştirmek için bağımsız hareketli kızak boruya ters yönde baskı uygular ve boru kalıbın formunu almak zorunda kalır.

Bu teknik bugün sıklıkla bükme makinalarında kullanılmaktadır. Bu makinelerde ilave bükme imkânı olarak malafa mevcut değildir. Malafanın olmaması işin durumuna göre boru boyu açısından bir avantaj da olabilmektedir. Bu Teknik genellikle et kalınlığı yeterli ve yarıçapı 3D veya daha büyük olan büküm radüslerini bükmek için uygundur. Sararak büküm, eğer kalite tatmin edici ise oldukça ekonomik bir çözümdür.

Avantajları:

- Malafasız büküm için ekonomik çözümler
- Sistemin kolay taşınabilir olması ile pratik çözümler sunabilir.

Dezavantajları:

- Düşük kalitede bükümler
- Aynı parça üzerinde birden fazla bükümü yapmanın çok zor olması

2.5 El ile Bükme

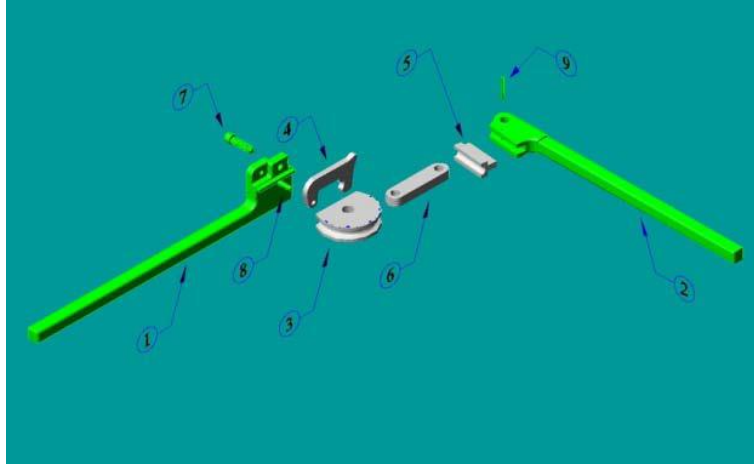
El ile bükmenin orijinal metodu insan gücüyle başlamıştır. Elle boru bükme çok ekonomik olmasına rağmen yüksek üretim hızlarına, kalitesine veya tekrarlanabilirliğe yardımcı değildir. Boruları belirli bir açıda bükülebilmek için kullanılan yöntemlerden birisi de sıcak bükümdür.

Borunun bükülebilmesi için, hesaplanan tav boyu işaretlenir. Borunun ölçü alınan tarafı mengeneyle bağlanır. İşaretlenen kısım kırmızı renk alıncaya kadar ısıtılır. Borunun boşta kalan ucuna sabit kuvvet uygulanarak boru bükülür.

Bükümlerin uygun olabilmesi için boru içerisine kum doldurulur. Bazen işlerin seri olarak yürüebilmesi için kumsuz da büküm yapılabilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.9. Manüel boru bükme tertibatının kısımları

El ile boru bükme ekipmanının avantajları:

- Düşük başlangıç yatırımı
- İşlemin basitliği
- Portatiflik
- Nispeten güvenli işlem imkanı şeklindedir.

El ile boru bükme ekipmanının dezavantajları:

- Operatör becerisine olan ihtiyaç
- Sınırlı kapasite
- Otomatikleştirilememesi
- Kompleks parça şekillerinin üretiminin zor oluşu
- Kesinlik ve tekrarlanabilirlikteki sorunlar olarak sıralanabilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

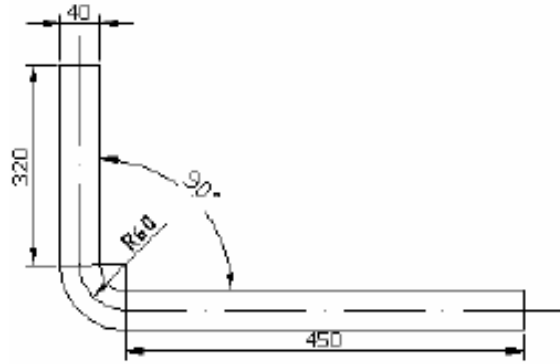
El ve aparatlarda boru eğme-bükmede aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

- Et kalınlığı az olan borularda bükümün iç kısmı dışa nazaran daha çok tavlmalıdır.
- Büküm çaplı borularda muhtelif kısımlar birbiri ardınca tavlanaarak bükülmelidir.
- Sıcak bükümlerde kumun kuru olmasına dikkat edilmelidir.
- Malafada büküm yapılacaksa malafa yağlanmalıdır.
- Borunun bir sıvı ile doldurulması gerekiyorsa doldurma işlemi bir defada yapılmalıdır.
- Kalıplarda büküm yapılacaksa kalıbın sağlamlığı kontrol edilmelidir.
- Boru bükümlerinde bükülecek çap, en az boru çapının iki katı olmalıdır.

Fazla hassasiyet gerektirmeyen ve yumuşak gereçlerden yapılmış (alüminyum, bakır ve pirinç) ince cidarlı borular soğuk ve sıcak olarak elde bükülebilir. Bükülmek istenen parların şekline uygun kalıplar hazırlanır. Daha sonra kalıp mengeneye bağlanarak, bükme işlemi esnasında, boru çeperlerinin bükülen kısmı çeşitli yerlerden tavlanaarak veya tavlanaadan bükülebilir.

Bükülecek boruların biçimlerinin bozulmaması için borunun içine soğuk ve sıcak bükümlerde, kum, bilyalar zinciri ve helisel bir yayla doldurulur. Soğuk bükümlerde ise; reçine, mastik ve kurşunla doldurulur yahut bir malafadan yararlanılır. Doldurulan boruların bükülmesi, elle yahut bir tutma parçası ile veya bir iş kalıbı yardımıyla yapılır.

2.5.1 El ile boru bükme uygulamasına örnek ve işlem basamakları:



şekil 2.10. İş parçası



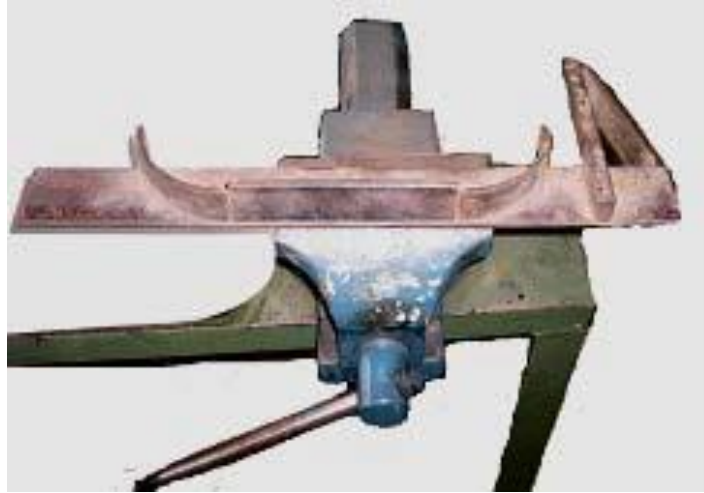
Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Bükülecek açi ve Őekle göre aınım boyu hesaplanarak parça kesilir.
- Bkmek istenen Őekle göre basit kalıp hazırlanır.



Şekil 2.11. Büküm Kalıbı

- Açınım hesaplarını dikkatli yapılmalıdır. Yanlış bulunan aınım boyu, parçanın hatalı kesilmesi ve hurdaya atılmasına sebep olabilir.
- Kalıp mengeneye bağlanır ve mengene kolu sıkılır (Şekil 2.12).

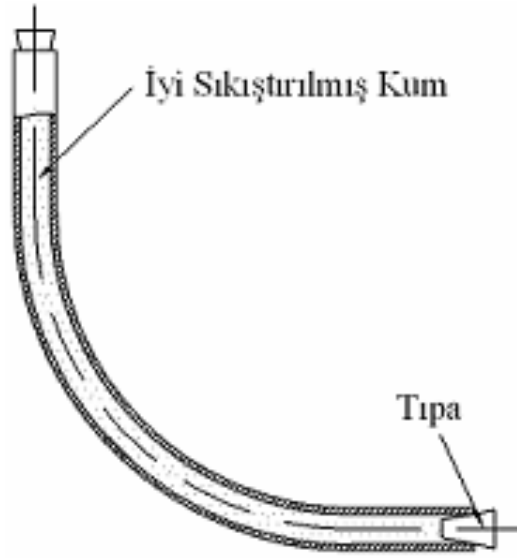


Şekil 2.12. Büküm Kalıbının mengeneye bağlanması



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Boru uçlarının sıkı bir Şekilde kapalı olup olmadığını kontrol edilmelidir. Aksi durumda uçlardan dökülecek madde borunun boŐalmasına sebep olacağından sağlıklı büküm elde edilemez.
- Eğer kum doldurulacaksa, sıcak bükümlerde kumun kuru olmasına dikkat edilmelidir.
- Sıcak ya da soğuk bükme türüne göre borunun içi uygun madde ile doldurularak malzemenin uçları kapatılır.



Şekil 2.13. Kum doldurma

Bükülecek malzemeye basit bir kalıpta el ile istenilen Şekil verilir.

Bklmek istenen ölçü ayarlanır. Bklmek istenen ölçü kırmızı kalem ile işaretlenir.

Sıcak büküm yapılacak ise, oksijen-gaz alevi ile ısıtılır (Şekil 2.15).



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.14. Kalıpta ölçü ayarlama



Şekil 2.15. Bükülecek kısmın ısıtılması



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Büküm kısmının iç tarafından dışa doğru ısıtılır. Isı 200- 500 oC arasında olmalıdır.
- Boru ısıtarak kalıp istikametinde bükülür.
- Sıcak kısma dokunmamaya dikkat edilmesi gerekir.
- Bükmeyi yavaş şekilde yapılmalıdır. Aksi durumda hatalı bükülebilir.



Şekil 2.16. Doğru büküm, Hatalı büküm, Kalıpta bükme

Bükülmüş boru kalıptan çıkarıp soğutulur ve uzunluk ve açı ölçüleri kontrol edilir.



Şekil 2.17. Açı kontrolü



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.6 Diğer Yöntem ve Yenilikler :

2.6.1 indüksiyon Bükme Yöntemi

Soğukken yapılan bükme teknikleri yerine, çok sık olmamakla birlikte, büküm sırasında ısıtma (indüksiyon) uygulanan bükme yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu teknikte boru malafasız çekerek bükülür. Büküm esnasında bükülen kısım indüksiyon sistemi ile ısıtılır. Böylece boru formu mümkün olduğunca korunurken daha dar radüslerde bükümlerin sağlanması mümkün olur. Ancak işlem süresinin uzunluğu büyük bir dezavantajdır. Bu yöntem genellikle büyük ebatlı ve et kalınlığı 5mm ve üstünde boruları bükmede kullanılmaktadır. Örnek olarak gaz veya petrol boru hatları verilebilir.

2.6.2 Sıkıştırma bükme

Sıkıştırma bükme malafalı bükmeye yakın özelliklere sahiptir. Bükme kalıbı ve çene sisteminden oluşur. Ayrıca kayan parça mevcuttur. Kalıp sistemi şekil 2.6'da görüldüğü gibi malafalı bükmeden farklıdır. Bükme yarıçapını elde etmek için kullanılır. Diğer bükme işlemleri için uygun değildir.

2.6.3 Kalıp sistemleri içinde kaşık ve malafa kullanımı

Büküm sistemleri içerisinde işlev gören kaşıklar, esas olarak borunun büküm işlemi esnasında deformasyona uğramasını engeller. Borunun iç radüsten sıvanmasını sağlayan sistemler ince et kalınlığı olan borularda kullanılmazsa borunun deforme olmasına neden olunabilir. Özellikle Ø32mm ebadından daha büyük olan boru çaplarında kullanılan sistemler malafa yardımı ile çok daha fazla işlevsel hale gelebilir. Malafa ile borunun dış radüsten sıvanması mümkün hale gelir. Tipi, top sayısı ve özelliği borunun çapına göre değişkenlik gösterdiği bu sistem sayesinde büküm işlemlerinin sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesi sağlanır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3. CNC BÜKÜM

CNC bükme makineleri diğer metotlarla benzer şekilde çalışır. Farkı servo sürücüler, eğri ve eğri yüzeyi arasındaki mesafeyi kontrol eder. Taşıyıcı sistem standart ekipmandır. Bükme aparatı hareketi ve sırası, parça data depolama ve diğer parçalar bilgisayar tarafından otomatik olarak kontrol edilir. Operatör makineye boruyu tutturur, başlama butonuna basar, makine boruyu bükerek, operatör boruyu makineden alır ve tekrar aynı işlemler gerçekleştirilir.

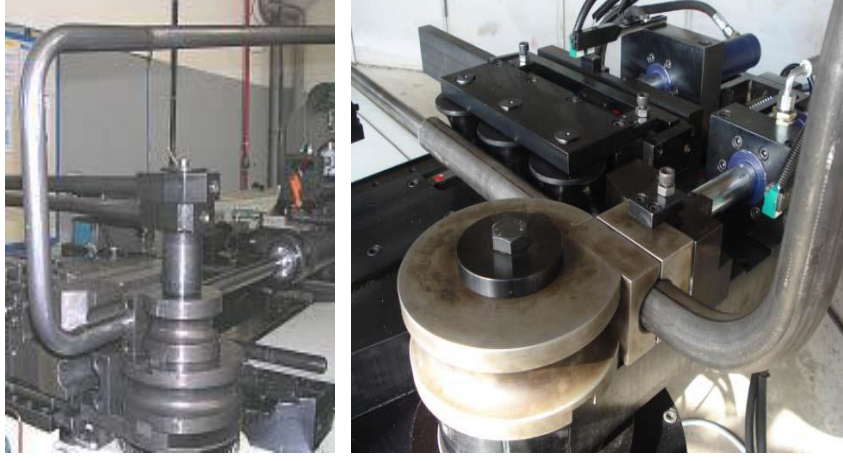


şekil 3.1. CNC boru bükme makinesi

Bükölmek istenen boruların resimleri hazırlanarak kontrol panelindeki bilgisayara yüklenir. Gerekli komutlar verilerek çalıştırılır. Hassas bükömlerin yapılmasında kullanılan CNC boru bükme makineleri aynı parçayı değişik açı ve ölçülerde bükerek. 3000mm uzunluğunda, 0-5mm et kalınlığında borular malafaya bağlanarak 00-2100 ye kadar aynı parçayı 8 değişik açı ve ölçüde büköbilir. Daha çok otomotiv sektöründe koltuk iskeleti yapımında vb seri üretimler için tercih edilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.2. Parçanın değişik açı ve ölçüde bükülmesi

CNC boru bükme işleminin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Maksimum kesinlik ve tekrarlanabilirlik,
- Üretim sırasında operatörün etkisinin azlığı,
- Yüksek derecede kontrol,
- Hızlı değiştirme,
- Çok yönlülük,
- Kompleks parça kabiliyetidir.

CNC boru bükme işleminin dezavantajları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Yüksek yatırım maliyeti
- Operatörün bilgisayarı bilmesinin gerekliliği,
- Su, hava ve uygulanabilir elektrik enerjisine olan gereksinimdir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.1 Boru Bükme Uygulama Alanları

- Büro koltuğu altlık borusu,
- Otomotiv koltuk kızak hareket borusu,
- Otobüs koltuk borusu,
- Otomotiv koltuk alt destek borusu,
- Sandalye kol ve ayakları,
- Tesisat işlerinde,
- Ev ve ofis mobilyaları (baza, sandalye, masa, yatak, kanepeler, mutfak, raf ve kapı kolları) Egzos, Isıtıcılar,
- Klima cihazlarında,
- Kazan boruları,
- Buzdolaplarında vs.



Şekil 3.3. Çeşitli boru ve profil bükme örnekler



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.2 Cnc boru bükme kalıpları

Boru büküm işlemlerinde sorunsuz üretim gerçekleştirebilmek adına tercih edilen CNC boru bükme kalıpları makara, çene, kızak, kaşık ve malafa gibi bölümlerden oluşur. Her bir bölümün kendi içerisinde belirli işlevleri vardır. Kalıp takımının diziliminin uygun bir şekilde yapılabilmesi sayesinde bükme işleminde seri üretim mümkün hale gelebilir. Kullanıcı kaynakları hataların en aza indirildiği sistemlerde aynı zamanda farklı boru tiplerine uygun seçenekler de sunulur. Boru malzeme cinsine bağlı olarak değişken özelliklere sahip olan kalıplar, boruların deforme olmadan şekil alabilmesine olanak tanır.

3.3 Cnc boru bükme kalıplarının parçaları

Kalıp parçalarının her birinin özel bir işlevi vardır. Kalıp olarak adlandırılan makaralar, borunun büküm işlemi sırasında üzerine sarıldığı araç olarak tanımlanır. Kamalı olarak, bağlı olduğu tablanın üzerine geçirilerek işlev gören bu araçlar, büküm işlemi sırasında borunun sabit olarak kalmasını sağlar. Bu sayede borunun istenilen forma kavuşturulması sağlanır. Büküm işlemi öncesi ve sonrasında oluşturulacak açının hatasız olarak hesaplanmasına olanak sağlayan bu sistem, çene ekipmanı ile desteklenir.

3.4 Çene ekipmanının kalıplardaki önemi

Kalıplarda kullanılan çene aracı, büküm işlemi sırasında borunun kalıptan bağımsız olarak hareket etmesini engeller. Borunun kalıba sarılması amacıyla işlev gören bu sistemler kalıp ile birlikte dönüş sağlar. Bir nevi mengene görevi gören sistem sayesinde borunun kayması engellenir. Kızak ile bağlantılı çalışan sistemde kızaklar ise boruya dayanarak onunla birlikte aktive olan araçlardır. Borunun etkisine tepki veren kızaklar, borunun formunun bozulmasını engelleme için boruyu kavrar. Kaşık ve malafa yardımı ile de borunun büküm işlemlerinin hızlı, güvenilir ve hatasız olması sağlanabilir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.5 Profil ve boru kıvrırma makinesi (3 toplu silindir bükme)

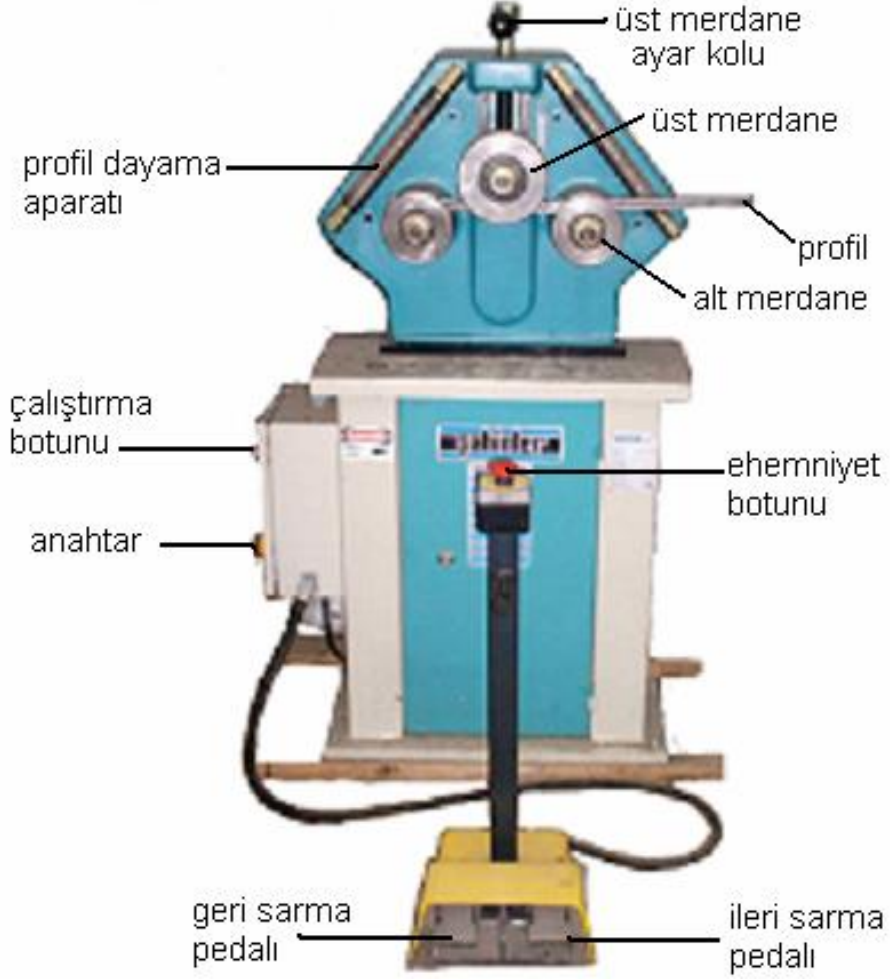


Şekil 3.4 3 Toplu silindir ile boru kıvrırma

Merdaneler piramit şeklinde dizilmiş olup, üst merdane tahriksiz, yukarı ve aşağı doğru üst merdane ayar kolu vasıtasıyla ayarlanabilir (Şekil 3.4). Alt merdaneler motor tahrikli olup ileri-geri sarma pedalları ile çalıştırılır. Profil bükme makinesi ile kavis şeklindeki bükümler yapılmaktadır (Şekil 3.5). Kıvrılabilen profil tipleri: L, T, Z, Y, vs. (Şekil 3.20)



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.5 Profil bükme makinesi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.6 İş parçasının merdaneye bağlanması.



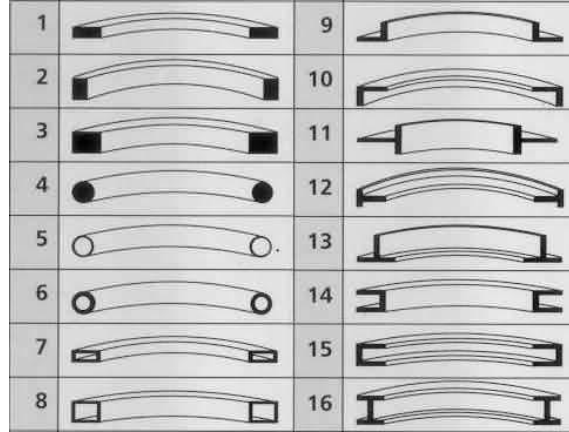
Şekil 3.7. İş parçasının bükmeye başlaması



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.8. Şekillendirilmiş iş parçası



Şekil 3.9. Kıvrılabilen profil tipleri



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.10 Tesisatlarda kullanılan boru bükme uygulamaları

3.6 Makinalarda Boru Bükmede Dikkat Edilecek Hususlar

- Malafalı boru bükme makinasında büküm yaparken büküm kalıbının çapına ve büküm açısına göre borunun boyunda kısalmalar meydana gelebilir. Sürtünmeyi azaltmak için malafa yağlanmalıdır.
- Dikişli boruların bükme işleminde dikiş yeri nötr eksen üzerine getirilmelidir.
- Hidrolik boru bükme makinesi ile çalışırken bükülecek kısım işaretlenmeli, açı şekli tebeşir ile yere çizilmeli ve birbirine paralel bükümler için boru aynı ekseninde tutulmalıdır.
- CNC mandreli bükme makinesi sadece gerekli teknik bilgiye sahip kişiler tarafından kullanılmalıdır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Büküm yapılan alanın dışında durulmalıdır, aksi durumda dönen boru çarparak iş kazaları meydana getirebilir.
- Makine bulunan yağlama tertibatları kontrol edilerek gerektiğinde yağlanmalıdır.
- Kalıp değişimi sonrasında kalıp bağlama vidaları iyice sıkılmalıdır.
- İş bittikten sonra makine temizlenmeli ve eski konumuna getirilmelidir.

3.7 Malafalı Boru Bükme Makinesi Çeşitleri

Boruların çeşitine göre farklı malafalı boru bükme makinaları mevcuttur. Borunun et kalınlığına, kıvrılması istenen radyüs derecesine, üretimin azlığına çokluğuna göre farklı makinalar tercih sebebi olabilir. Kıvrım istenen boru nasıl bir makinada kıvrılabilir sorusunun yanıtını bulmak için malafalı boru bükme makinalarının bazı çeşitleri ve kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

3.7.1. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası



TEKNİK BİLGİLER

MAX. Boru çapı	32
MAX. Boru Et Kalınlığı (mm)	2
MAX. Boru Yarıçapı (mm)	300
MAX. Büküm Derecesi	190
Boru Büküm Hızlı (°sn)	68
Motor Gücü (kw)	2.2
Makina Ağırlığı (kg)	260
Makina Uzunluğu (mm)	1950
Makina Genişliği (mm)	850
Makina Yüksekliği (mm)	950

şekil 3.11. Manuel Yarı Otomatik Boru- Profil Bükme Makinası



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Eğer günde az sayıda boru kıvrılacaksa (günde 25-50 arası) tercih edilebilir. Yarı otomatik bir makinadır. Borunun kıvrılması motor ile sağlanıyor fakat kullanımı sırasında operatör yardımı gerekiyor (eksen değiştirilmesinde vs.). Çok fazla maliyetli bir makine değildir. En basit malafalı boru bükme makinasıdır.

3.7.2. Hidrolik Sıkma Boru- Profil Bükme Makinası



TEKNİK BİLGİLER

MAX. Boru apı	32
MAX. Boru Et Kalınlığı (mm)	2
MAX. Boru Yarıçapı (mm)	275
MAX. Büküm Derecesi	190
Boru Büküm Hızlı (°sn)	70
Motor Gücü(kw)	2.2
Makina Ağırlığı (kg)	340
Makina Uzunluğu (mm)	2400
Makina Genişliği (mm)	1000
Makina Yüksekliği (mm)	1050

şekil 3.12. Hidrolik Sıkma Boru- Profil Bükme Makinası



şekil 3.13. Kalıba bağlı hidrolik sistem



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Manuel yarı otomatik boru- profil bükme makinasından farklı olarak tek pistonlu hidrolik sistem ilave olmuştur ve otomasyon sistemi değişmiştir. Maliyeti biraz daha fazladır.Çok fazla boru üretimi olan yerlerde (örneğin 24 saat çalışan fabrikalarda) tercih sebebidir.Boruyu bükmek için operatöre ihtiyaç yoktur.Boruyu hidrolik sıkıp kıvrır.

3.7.3. PLC Kontrol Dijital Dereceli Boru- Profil Bükme Makinası



Şekil 3.14 PLC Kontrol Dijital Dereceli Boru- Profil Bükme Makinası

Çift pistonlu makinadır. Hidrolik sıkmanın dışında arkada hidrolik malafa mevcuttur. İnce etli borular kıvrılacağı zaman sabit (hareketsiz) malafayla kıvrırma zorlaşır. Bazı durumlarda malafa boruya sıkışabilir. Böyle durumda arkadaki hidrolik sistem devreye girer ve bükümden hemen sonra malafa kendini borunun içinden geri çıkartır yani malzemeyi serbest bırakır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.7.4. CNC Kontrol Boru- Profil Bükme Makinası

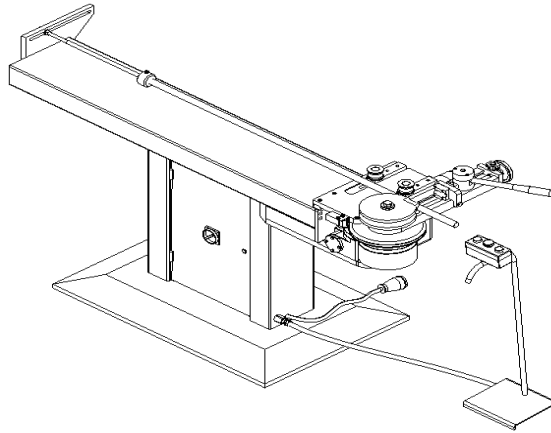


Şekil 3.15. CNC Kontrol Boru- Profil Bükme Makinası

CNC Kontrollü Boru- Profil Bükme Makinası bükme işlemini otomatik olarak yapar. Kendine ait bir yazılımı vardır. Koordinat ve dereceler girilir ve bükme işlemi üç boyutlu olarak otomatik olarak gerçekleşir.

3.8 Manuel Yarı Otomatik Boru-Profil Bükme Makinesi Tanıtımı ve Kullanımı

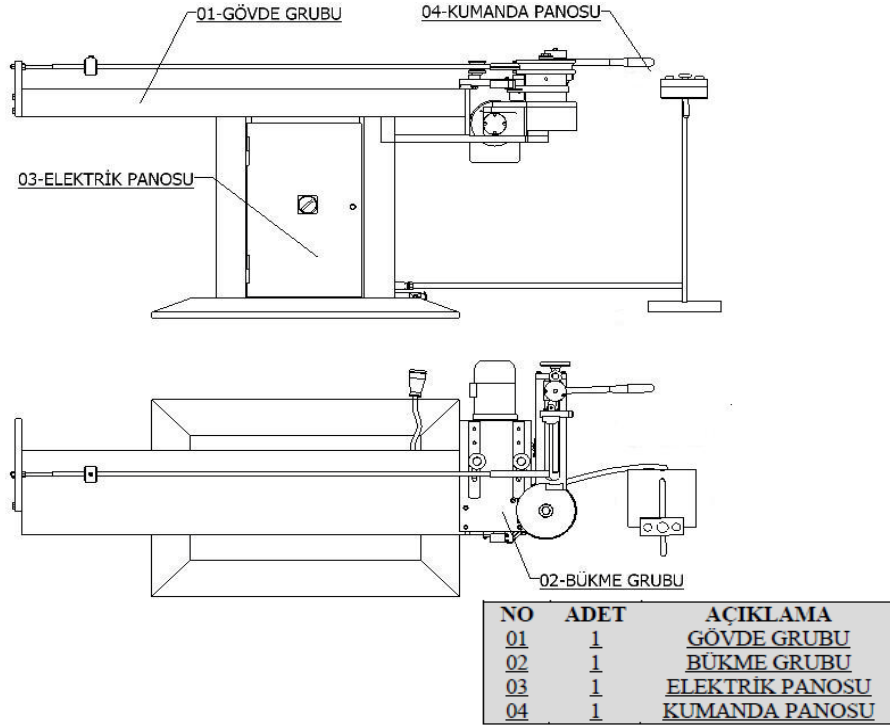
Aşağıda profil bükme makinesine ait parçanın yapısını ve komponentleri hakkında bilgileri bulabilirsiniz.



Şekil 3.15 Manuel Yarı Otomatik Boru Profil Bükme Makinesi

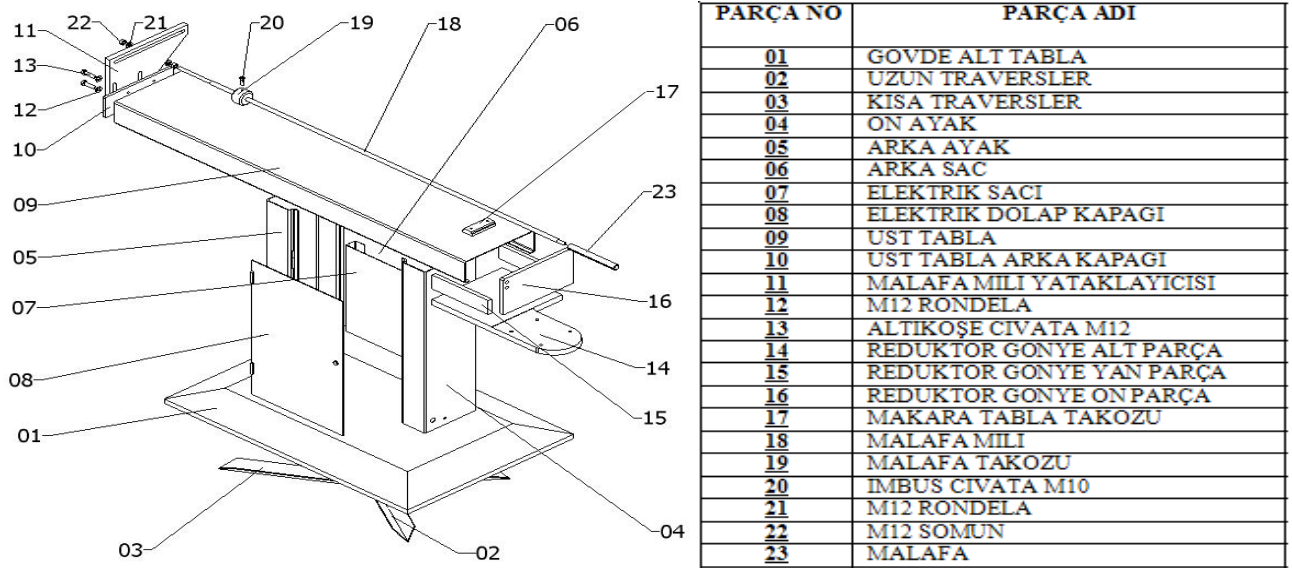


Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.16 Makinedeki başlıca bölümler

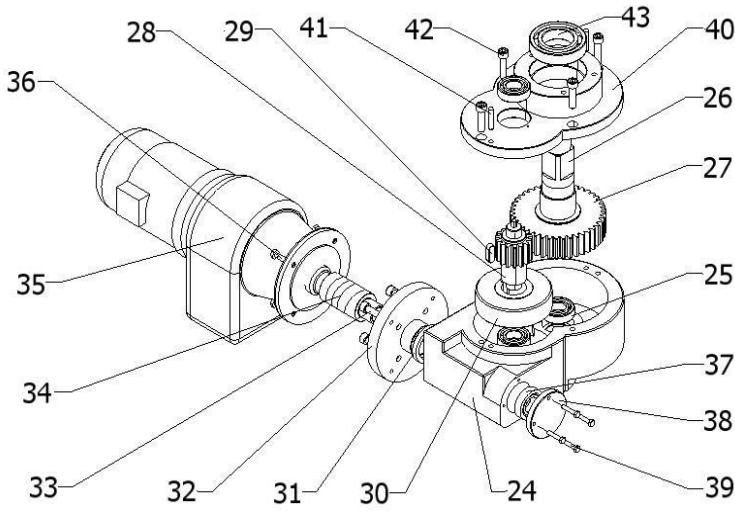
3.8.1. Makine Aksamları



Şekil 3.17 Gövde Aksamları



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

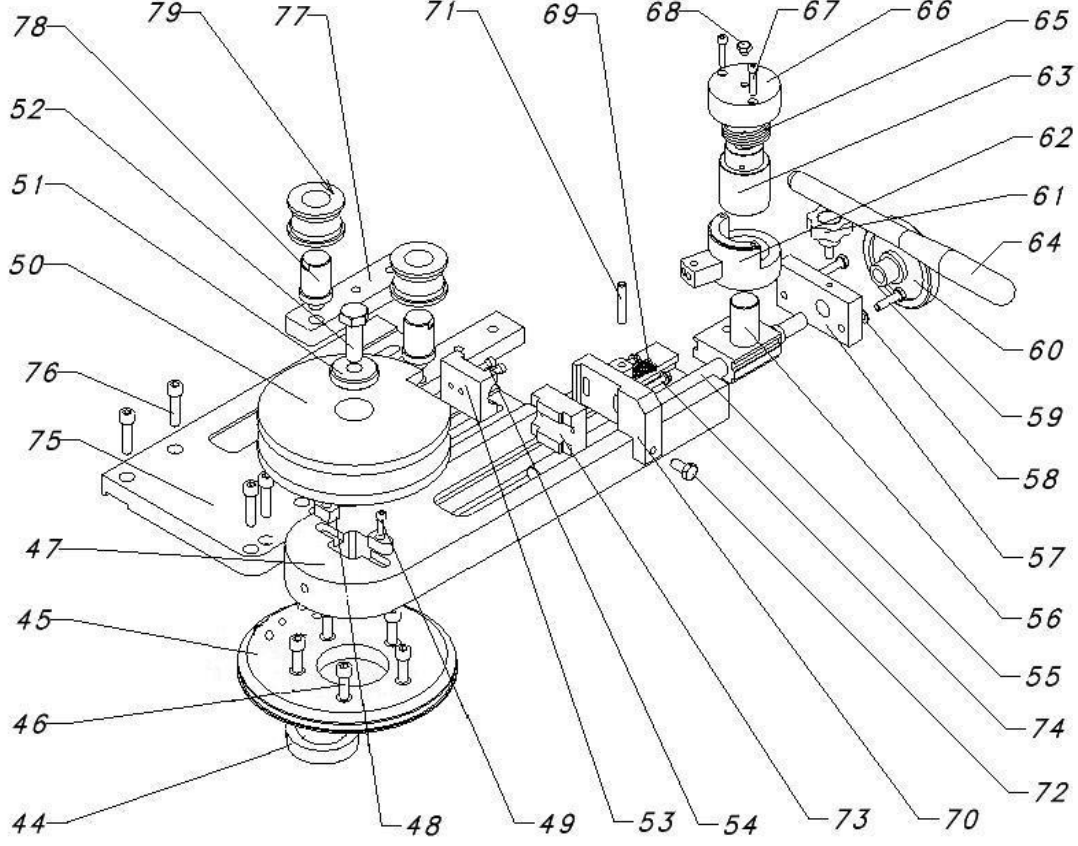


24	REDUKTOR KUTUSU
25	SABIT BİLYALI RULMAN 6205
26	ANAMİL
27	BUYUK DIŞLI
28	PINYON DIŞLI
29	KAMA 12X8X32
30	SONSUZ VIDA KARŞILIK DIŞLISI
31	KEÇE Ø48XØ62X8mm
32	REDUKTOR FLANŞI
33	IMBUS CIVATA M10
34	SONSUZ VIDA
35	REDUKTORLU MOTOR
36	ALTIKOŞE CIVATA M8
37	KONİK MAKARALI RULMAN 30205.A
38	REDUKTOR YAN KAPAK
39	ALTIKOŞE CIVATA M6
40	REDUKTOR KAPAGI
41	ÇEKTİMELİ PİM Ø8X40
42	IMBUS CIVATA M10
43	SABIT BİLYALI RULMAN 6210

Şekil 3.18. Bükme grubu redüktör dişli kutusu



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



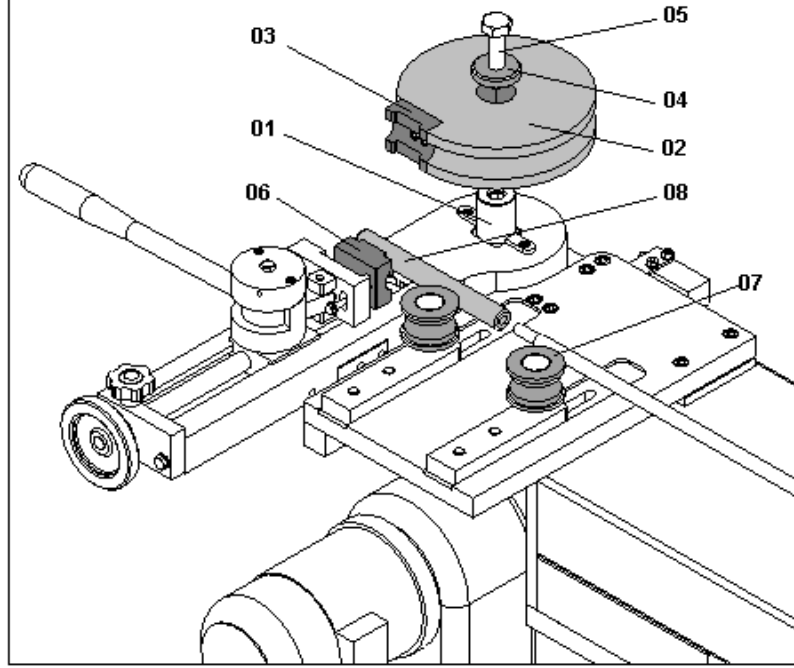
44	ANAMİL BİLEZİĞİ	61	ERKEK KELEBEK M8
45	DERECELİ AYNA	62	EKSANTRİK KOL YATAĞI
46	IMBUS CIVATA M10	63	EKSANTRİK SIKMA TOPUZU
47	BUKME KOLU	64	EKSANTRİK SIKMA KOLU
48	KAMA 14X14X27mm	65	EKSANTRİK YAY
49	IMBUS CIVATA M6	66	EKSANTRİK SIKMA KAPAGI
50	BUKME KALIBI	67	IMBUS CIVATA M6
51	SABİT ÇENE	68	YAG DOLUM TİPASI
52	IMBUS CIVATA M6	69	ÇENE YATAĞI YAYI
53	KALIP PULU	70	ÇENE YATAĞI
54	ALTIKOŞE CIVATA M16	71	ÇEK TIRMELİ PİM Ø8X40
55	VIDA MİLİ	72	AYAR CIVATASI M10
56	VIDALI MİL YATAĞI	73	HAREKETLİ ÇENE
57	BUKME KOLU KAPAGI	74	ALTIKOŞE CIVATA M8
58	RONDELA M8	75	MAKARA TABLASI
59	ALTIKOŞE CIVATA M6	76	IMBUS CIVATA M10
60	VIDALI MİL ELLİĞİ	77	MAKARA TAŞIYICI

Şekil 3.19 Bükme Aksamı



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.8.2.Aksesuar Bağlantıları ve Ayarları



01- Anamil	05- Kalıp sıkma civatası
02- Kalıp	06- Hareketli çene
03- Sabit çene	07- Makara
04- Kalıp sıkma pulu	08- Malafa

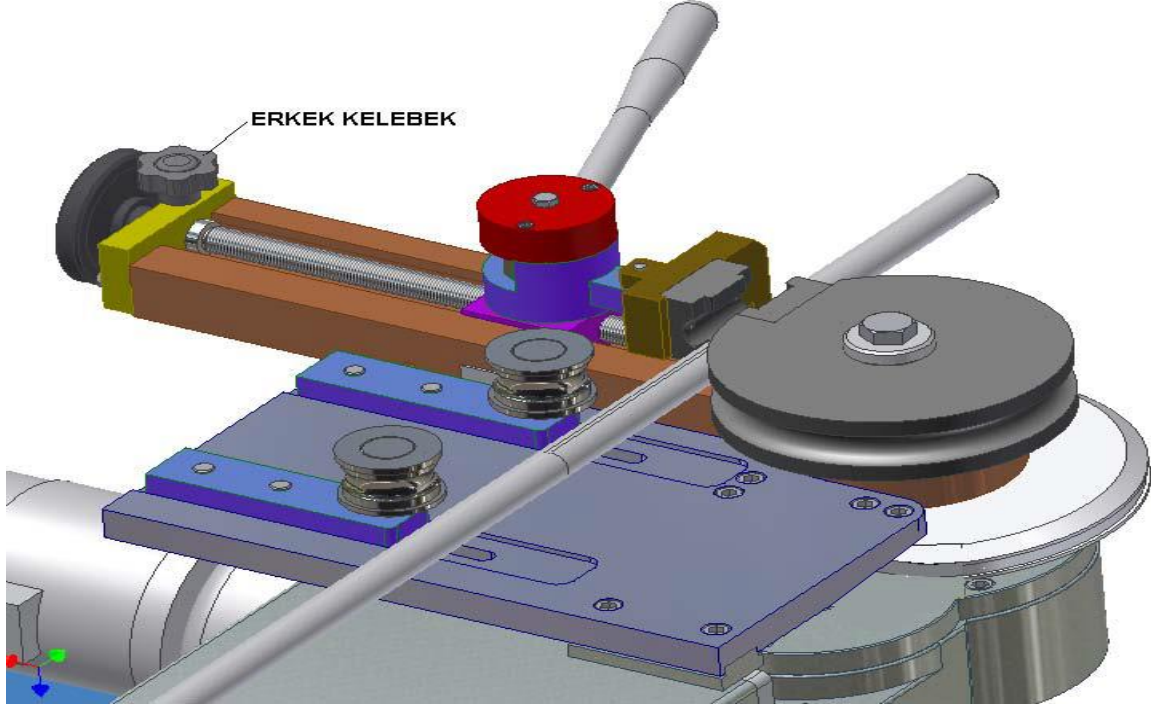
Şekil 3.20 Makine Aksesuarları

Makina ile çalışmaya başlamadan önce istenilen ölçülerde hazırlanmış olan kalıbın makinaya takılmış olması gerekmektedir. Makinaya kalıbı yerleştirmek için yapılması gerekenler aşağıda sırasıyla belirtilmiştir.

- Öncelikle daha önce makinada kullanılan bir kalıp(02) varsa bunun sökülmesi gerekmektedir. Bunun için önce kalıp sıkma civatası(05) sökülmelidir.(resim 08)
- Kalıp sıkma pulu(04) ve sonra da büküm kalıbı(02) yerinden alınır.
- Kullanılan eski malafa(08) ve hareketli çene(06) yerinden sökülerek yeni kalıbı takmak için makina hazır hale getirilir.
- Vidalı mili sabitleyen erkek kelebek gevşetilerek, vidalı mil vasıtası ile hareketli çene kalıp çapına uygun pozisyona getirilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.21. Hareketli çenenin uygun pozisyona getirilmesi

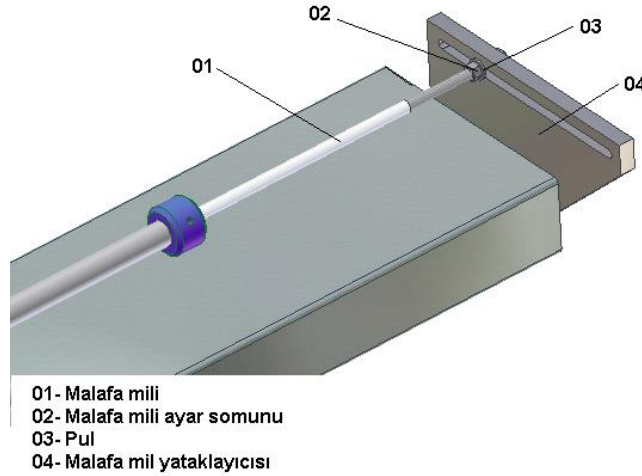
- Yeni büküm kalıbı(02) kama yerleri alta gelecek şekilde anamilden(01) geçirilerek makinaya yerleştirilir.
- Bükülecek olan yeni boruya ait malafa(09), malafa miline vidalanır.
- Yeni hareketli çene(06), çene yatağı kanalına civatalar ile sabitlenir.
- Bükülecek olan borudan bir parça (100-150cm) malafadan(09) geçirilerek kalıp ve çene arasına sıkılır.
- Boru sıkılı halde iken makara tablasının altında bulunan, makara taşıyıcılarının civataları gevşeltilir. Önceden sıkılmış olan boruya teğet olacak şekilde ayarı yapılır ve civatalar tekrar sabitlenir. Bu şekilde yapılan ayarla aynı zamanda malafanın kalıp ve makaraların arasına düşmemesi sağlanır.
- Boru sıkılı halde iken malafa mili sıkılı olan borunun merkezine gelecek şekilde ayarlanır ve arka taraftaki malafa mili ayar somunları(02) ile sabitlenir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.9 Malafa Ayarı

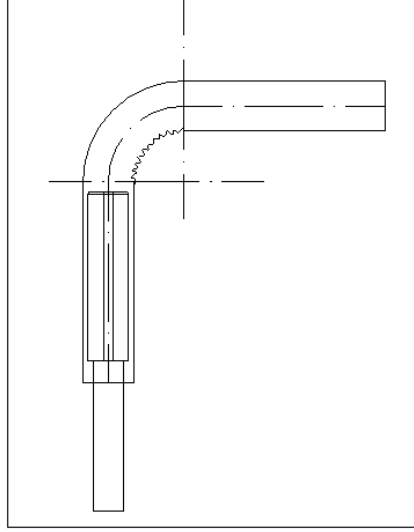
Malafanın konumu çok önemlidir. Malafanın yeri bükülen boruya veya bükme çapına göre değişir. Yapılan denemelerle olması gereken yer tespit edilmelidir. Genel olarak malafa, büküm ekseninden 2-3mm ileride konulmalıdır.(Şekil 3.22) Ama daha öncede söylendiği gibi malafanın yeri, kullanılan boru çapı, et kalınlığı veya kalıp çapına göre değişebilmektedir. Büküm eksenini, çene ile kalıp birleşme çizgisi olarak tanımlanabilir. Borunun içinde pot oluşması gibi durumlarda(Şekil 3.23) malafa kontrollü bir Şekilde azar azar ileri alınır. İstenilen büküm kalitesi elde edildiğinde malafa ayar somunları sabitlenir. Aynı işlerin daha sonra tekrar yapılacağı göz önüne alınarak büküm kalitesi uygun olan malafa ls bir yere not edilir ve tekrar tekrar malafa ayarı yapmak zorunda kalınmaz.



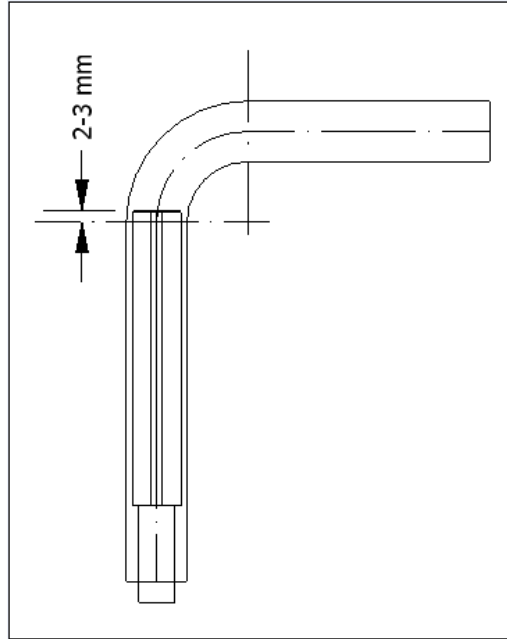
Şekil 3.22 Malafa milinin ayarlanması



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.23 Boru içinde potluk oluşumu



Şekil 3.24 Malafanın doğru konumlandırılması



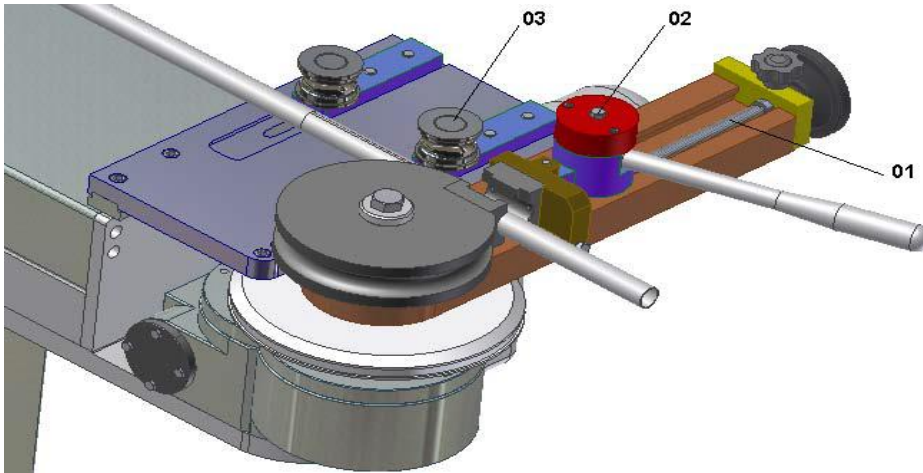
Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Malafanın ayarı büküm ekseninden 2-3 mm ileride olacak şekilde yapılır. Daha sonra büküm denemesi yapılır. Eğer borunun içinde pot yapması söz konusu ise (resim 13) malafayı arka taraftaki malafa ayar somunlarını kullanarak borunun içindeki pot kalkıncaya kadar kontrollü bir şekilde azar azar ileri alınır. İstenilen büküm kalitesi yakalandığında malafa ayar somunları ile sabitlenir.

3.10 Yağlama

Makinenin kalıpları yağlandığı zaman bükme esnasında kayma yapacağı için kalıpların yağlanmaması gerekir. Her zaman malzeme ve kalıplar temiz, apaksız ve yağdan arındırılmış olmalıdır. Gösterilen yağlama noktaları ayda en az bir defa yağlanmalıdır. Eğer günde 8 saatten fazla çalışıyorsa yağlama sıklığı artırılabilir. Yağlama işlemi için standart gres yağlar kullanılmalıdır.

Parça No	Parça Adı	Bakım	Zaman
1	Vidalı mil	Gres yağı	Haftalık
2	Eksantrik kol	Gres yağı	Haftalık
3	Makara pimleri	Gres yağı	Haftalık

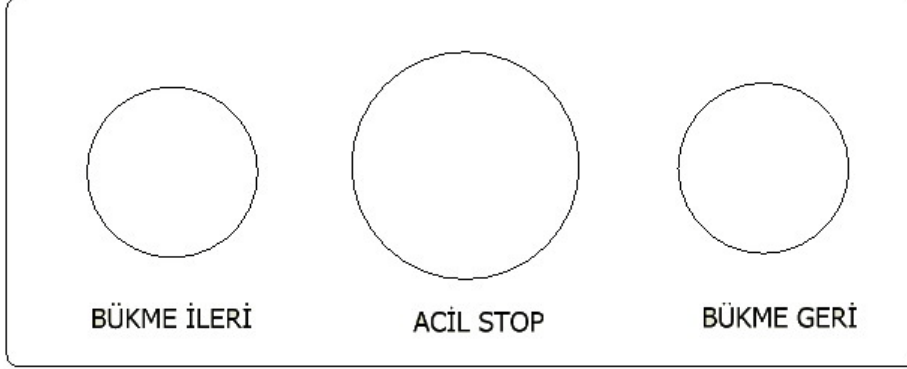


Şekil 3.25 Yağlanması gereken parçalar



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.11 Boru Büküm makinesinin kullanımı



Şekil 3.26 Butonlar

- Ana şalter açılır.
- Aksesuarları makinarya önceden takılmış olan boru, malafa ve malafa miline geçirilir.
- Malafa mili üzerinde bulunan ölçü dayama takozunun ayarı yapılır ve malafa miline sabitlenir.
- Eksantrik kol yardımı ile boru, kalıp ve çene arasına sıkıştırılır.
- Dereceli ayna üzerinde bulunan açı ayar sivici üzerindeki pim gevşetilerek istenilen derece üzerine getirilir ve pimi sıkılarak sabitlenir.
- BÜKME İLERİ butonuna basılarak makinarya bükme işlemi yaptırılır.
- Büküm tamamlandıktan sonra öncelikle eksantrik kol açılarak borunun serbest kalması sağlanır.
- Bükülmüş olan boru, sıkışmış ise bu sıkışıklıktan kurtarılır.
- BÜKME GERİ butonuna basılarak bükme kolu geri alınır ve boru makinadan çıkarılır.
- Eğer bu çalışmalar esnasında herhangi bir istenmedik olay olursa ACİL STOP butonuna basılarak makina durdurulabilmektedir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

4. BORU BÜKÜMÜNDE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Boru bükmede en çok karşılaşılan problemler borunun kırılması, boru seklinin ovalleşmesi, boru yüzeyinde kırılma meydana gelmesi, boru yüzeyinde çizik ve sıyrılmalardır. Bu problemler, kalıpların yağlanma durumlarına, yanlış malzeme seçimine, gerekenden ince veya kalın cidar kalınlığına sahip bir borunun kullanılmasına veya çok düşük değerde bir bükme oranı seçimine, malafa ayarının doğru yapılmamasına ve kalıptaki elemanların keskin kenarlı (radüссüz) olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Kalıp çapı ne kadar büyük olması boru kıvrım işlemini kolaylaştırır. Fakat bazı durumlarda dar radüсте veya çok ince etli borularda (örneğin 0.9mm) bükme işlemi yapılması gerekiyor. Bu durumlarda bükme zorlaşıyor ve boruda yırtılma, katlanma vs. gibi sorunlar oluşuyor. Bu gibi sorunları önlemek için ince etli borularda salyangoz malafa, kaşık gibi yardımcı ekipmanlar devreye giriyor. Boruyu pürüссüz kıvrım için en önemli elemanlar ise kalıbın çapı, kaşık (ince etli borularda kullanımı tercih edilen) ve malafadır.

4.1. Borunun Kırılması

Borunun kırılmasına borunun çok fazla sünek veya gevrek olması neden olabilir. Eğer malzeme çok fazla sünek (yumuşak) ise bükme esnasında malzemedede çok fazla incelme ve gerilme olur. Bunun sonucunda yırtılma gerçekleşir. Boru çok fazla gevrek ise bükme kuvveti uygulandığında boru esneme yapmadan aniden kırılır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.1. Bükme sonrasında kırılan boru

Borunun kırılması aşağıda belirtilen nedenlerden kaynaklanıyor olabilir:

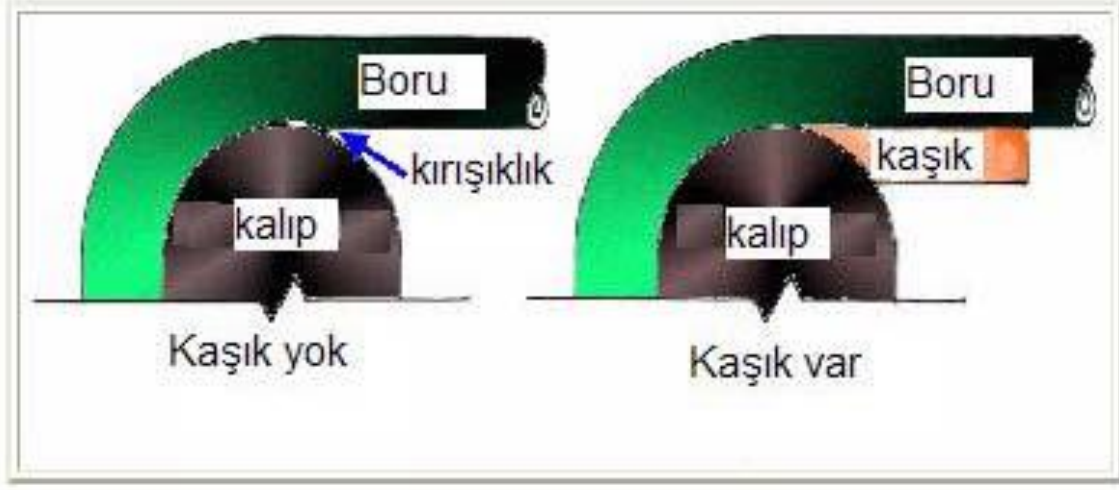
1. Malzemenin uygun süneklik ve gerilim özelliklerine olmaması,
2. Borunun hareketli çene içerisinde kayması,
3. Boru ve malfanın sıkışması,
4. Yanlış yağlama uygulanması,
5. Malafa ayarının iyi yapılmaması, malfanın borunun içerisinde çok fazla ileride bulunması.

4.2. Borunun Kırışması

Küçük çapta kıvrılması istenen borularda ve ince etli borulardaki bükme işleminde kırışıklık söz konusudur. Bu problemi önlemek için salyangoz malafa, kaşık gibi yardımcı ekipmanlar kullanılıyor. Kaşık kalıp ve boru arasındaki boşluğu doldurarak büküm esnasında boruyu iç kısımdan destekler ve borunun deformasyona uğramasını engeller.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.2 Kaşığın kalıpla boru arasındaki boşluğu doldurması

Borunun kırılımasına neden olan etkiler şöyledir:

1. Borunun hareketli çene içerisinden kayması,
2. Malafanın uygun konumda bulunmaması
3. Kaşık konumunun doğru yerde olmaması,
4. Kaşık kullanılmaması,
5. Boru ve kalıp arasında çok fazla açıklık olması,
6. Aşırı yağlama yapılması.



Şekil 4.3 Kırılış boru



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

4.3. Borunun Yamulması

Borunun et kalınlığının çok ince olduğu durumlarda boru yamulabilir. Bu hatanın olmaması için toplu malafa kullanılması gerekmektedir. Malafa borunun büküm esnasında borunun içinde ve büküm merkezinde kalarak borunun yamulmasını önler.



Şekil 4.4. Yamulmuş boru

4.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Bozulması



Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülüğü bozulmuş boru



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Sabit çene ile kalıp arasındaki kot farkı sıfır olmaz ise boruda çizikler soyulmalar oluşur. Kot farkı çok küçük 0.2- 0.3 mm değerinde olsa bile yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına sebebiyet verir.

Yüzey pürüzlülüğüne neden olan diğer etkenler ise sabit çenenin kalıba bağı olmayan kenarının ve kalıbın iç tarafının radüs içermemesidir. Bu yerlerin kıvrılma esnasında boruyu kesmemesi ve iz yapmaması için radüslü olması gerekmektedir.

4.5. Bükme Kalıbı

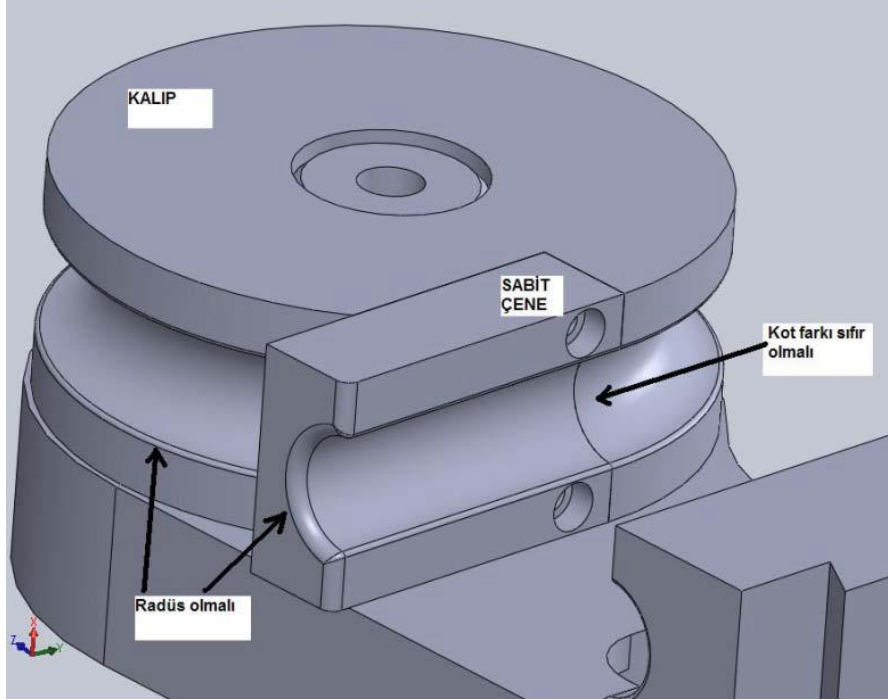
Bükme kalibi borunun büküm esnasında üzerine sarıldığı ekipmandır. İstenilen boru / profilin bükümünü sağlayan temel materyaldir. Büküm kalibi deformasyonu engeller ve istenilen bükümün en uygun şekilde kusursuz elde edilmesini sağlar. Bükme kalıbının dışında bulunan çap bükülecek borunun yarıçapına eşittir.

Bükme kalıbının tasarım adımları:

- Kalıbın dış çapı bulunur.
- Kıvrılacak borunun özelliğine göre kalıba genel şekli verilir. (Şekil 4.6)
- Makinenin standartlarına göre delik kama yeri ve sabit çene montaj yeri açılır.
- Kalıbın sabit çene ile montajının olabilmesi için montaj delikleri açılır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 4.6 Kalıp ve sabit çene
Kalıbın dış çapının bulunması

BORU ÇAP VE ET KALINLIğINA GÖRE RADIUS SEÇİM TABLOSU				
Boru çapı	1	1.2	1.5	2
Ø16	R46	R46	R36	R36
Ø18	R56	R56	R36	R36
Ø19	R67	R67	R56	R46
Ø20	R67	R67	R56	R46
Ø22	R67	R67	R56	R46
Ø24	R82	R82	R67	R56
Ø25	R82	R82	R67	R56
Ø26	R82	R82	R67	R56
Ø28	R82	R82	R82	R67
Ø30	R112	R112	R112	R82
Ø32	R112	R112	R112	R82

Şekil 4.7 Radüs seçimi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

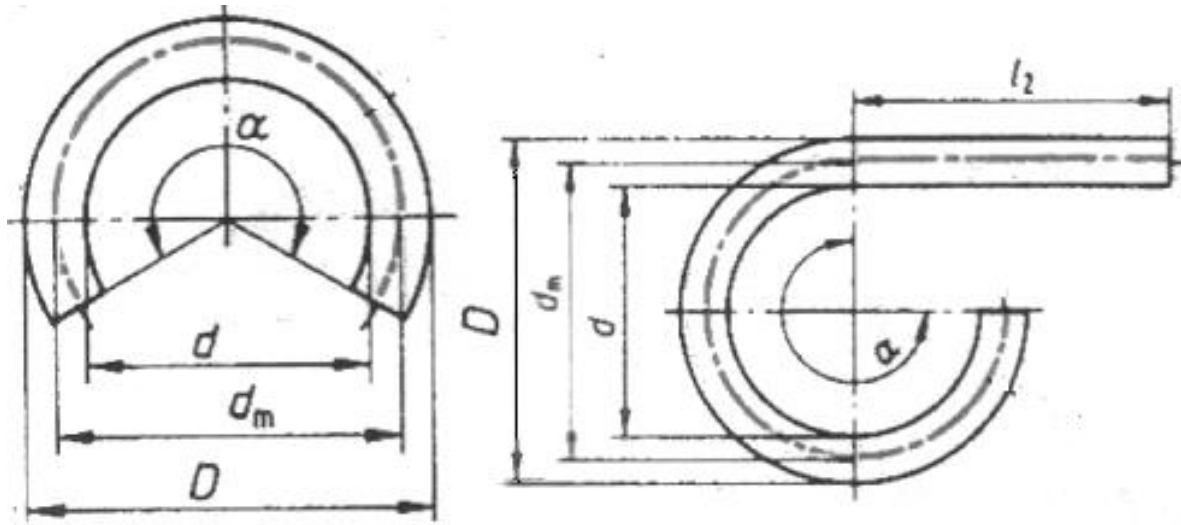
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi 25mm çap 2mm et kalınlığında R=56 mm 'dir. Bükme kalıbının çapı köşe radüsüne göre hesaplanır.

Köşe radüsü= 56 mm

Kalıp Çapı = Köşe radüsü x 2 + borunun dış çapı

Kalıp Çapı = 56 x 2 + 25 = 137 mm

Şekil 4.7'te kaşık ve malafa kullanmadan sorunsuz bükümün olması için belirtilen teorik değerlerdir. Bu değerlerin dışında büküm isteniyorsa kaşık ve malafa kullanmak gereklidir. Kaşık ve malafanın kullanılması ise maliyetin artmasına sebep olur.



Şekil 4.8. Açınım ve uzunluk hesaplamaları

D: Dış çap

d: iç çap

Çevre uzunluğu: $L = \pi \cdot dm$

Açıya bağlı yay uzunluğu: $L = \pi \cdot dm \cdot \alpha / 3600$

dm: ortalama çap



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



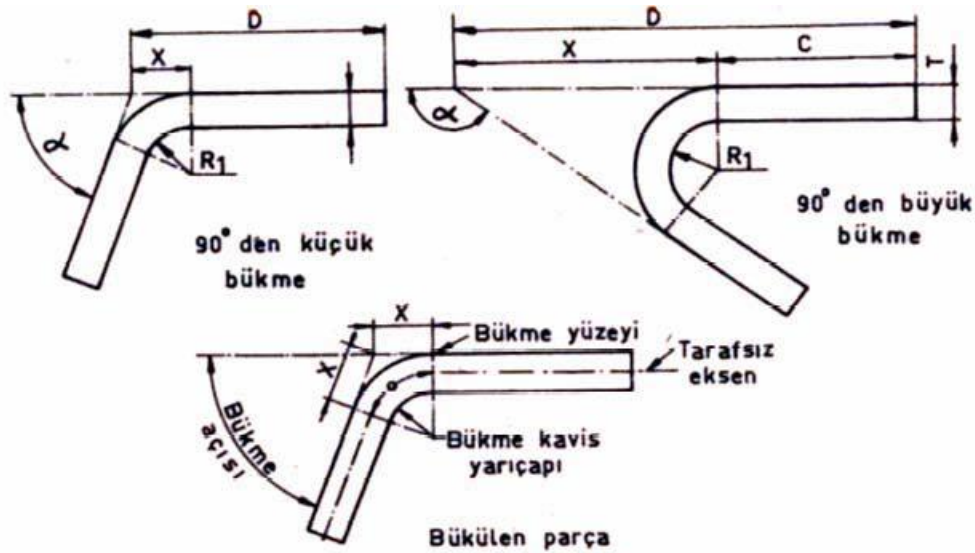
Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

L : Açınım uzunluğu (tam boy)

I1,I2 : kısmi uzunluk

α : Büküm açısı

Bükülerek üretilecek parçaların üretimi esnasında, ihtiyaca uygun bükme açıları tespit edilerek bükme işlemleri yapılmalıdır. Bükme açısı 90 derecelik dik açı, 90 dereceden küçük açıda ve 90 dereceden büyük açıda olmak üzere bir α açısı değeriinde gerçekleştirilebilir.



Şekil 4.9. Bükme açılarının belirlenmesi

Kaynaklar

1. <https://www.cansamakina.com/boru-bukum-teknikleri.html>
2. <https://doganermak.com/detay/cnc-boru-bukme-kaliplari-PR53>
3. Boru bükme kalıp tasarımı ve üretim parametrelerinin incelenmesi \ Merve YAVUZ\ 2011



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1. TOZ BOYA

1.1 Toz Boya Nedir?

Toz boya; mikron boyutuna getirilen, solvent madde içermeyen, reçine gibi katı ham maddelerden meydana gelen bir boya türüdür. Pigment, sertleştirici, dolgu ve katkı malzemeleri gibi tüm toz boya ham maddeleri katı hâlde bulunur ve bu maddeler karıştırılarak homojen hale getirilir. “Toz boya nedir?” sorusunun yanıtını öğrendikten sonra boyanın tarihçesine ve kullanım alanlarına da bakmak gerekir. Yaş boyaya daha güvenli bir alternatif olarak üretilen toz boya, ilk kez Almanya’da 1953 yılında Dr. Erwin Gemmer tarafından geliştirilmiştir. Gemmer’in akışkan yatak tekniği ile toz boya partikülleri yüzeye yapıştırılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise epoxy, epoxy- polyester, polyester ve poliüretan toz boyalar üretilmiştir. Dünya genelinde sıklıkla tercih edilmekte olan toz boya, 1980’li yıllara gelindiğinde ise Türkiye’de kullanılmaya başlanmıştır.

Dekoratif bir yüzey yaratan, çevre dostu ve kullanıma hazır toz boya, günümüzde mimariden otomotiv sanayisine, MDF kaplamadan cam, seramik ve beyaz eşyaya kadar pek çok sektörde kullanılır.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil1.1 Toz boya

	Avrupa	ABD	Uzak Doğu
Epoksi	15	23	20
Epoksi/Polyester	57	25	38
Polyester/TGIC	24	22	10
Poliüretan	4	28	24
Akrilik	-	2	6

Tablo 1.1. Toz Boya Sistemleri Pazar Dağılımı



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

RAL 1000	RAL 1001	RAL 1002	RAL 1003	RAL 1004	RAL 4009	RAL 4010	RAL 5000	RAL 5001	RAL 5002	RAL 7009	RAL 7010	RAL 7011	RAL 7012	RAL 7013
RAL 1005	RAL 1006	RAL 1007	RAL 1011	RAL 1012	RAL 5003	RAL 5004	RAL 5005	RAL 5007	RAL 5008	RAL 7015	RAL 7016	RAL 7021	RAL 7022	RAL 7023
RAL 1013	RAL 1014	RAL 1015	RAL 1016	RAL 1017	RAL 5009	RAL 5010	RAL 5011	RAL 5012	RAL 5013	RAL 7024	RAL 7026	RAL 7030	RAL 7031	RAL 7032
RAL 1018	RAL 1019	RAL 1020	RAL 1021	RAL 1023	RAL 5014	RAL 5015	RAL 5017	RAL 5018	RAL 5019	RAL 7033	RAL 7034	RAL 7035	RAL 7036	RAL 7037
RAL 1024	RAL 1027	RAL 1028	RAL 1032	RAL 1033	RAL 5020	RAL 5021	RAL 5022	RAL 5023	RAL 5024	RAL 7038	RAL 7039	RAL 7040	RAL 7042	RAL 7043
RAL 1034	RAL 1037	RAL 2000	RAL 2001	RAL 2002	RAL 6000	RAL 6001	RAL 6002	RAL 6003	RAL 6004	RAL 7044	RAL 7045	RAL 7046	RAL 7047	RAL 8000
RAL 2003	RAL 2004	RAL 2008	RAL 2009	RAL 2010	RAL 6005	RAL 6006	RAL 6007	RAL 6008	RAL 6009	RAL 8001	RAL 8002	RAL 8003	RAL 8004	RAL 8007
RAL 2011	RAL 2012	RAL 3000	RAL 3001	RAL 3002	RAL 6010	RAL 6011	RAL 6012	RAL 6013	RAL 6014	RAL 8008	RAL 8011	RAL 8012	RAL 8014	RAL 8015
RAL 3003	RAL 3004	RAL 3005	RAL 3007	RAL 3009	RAL 6015	RAL 6016	RAL 6017	RAL 6018	RAL 6019	RAL 8016	RAL 8017	RAL 8019	RAL 8022	RAL 8023
RAL 3011	RAL 3012	RAL 3013	RAL 3014	RAL 3015	RAL 6020	RAL 6021	RAL 6022	RAL 6024	RAL 6025	RAL 8024	RAL 8025	RAL 8028	RAL 9001	RAL 9002
RAL 3016	RAL 3017	RAL 3018	RAL 3020	RAL 3022	RAL 6026	RAL 6027	RAL 6028	RAL 6029	RAL 6032	RAL 9003	RAL 9004	RAL 9005	RAL 9006	RAL 9007
RAL 3027	RAL 3031	RAL 4001	RAL 4002	RAL 4003	RAL 6033	RAL 6034	RAL 7000	RAL 7001	RAL 7002	RAL 9010	RAL 9011	RAL 9016	RAL 9017	RAL 9018
RAL 4004	RAL 4005	RAL 4006	RAL 4007	RAL 4008	RAL 7003	RAL 7004	RAL 7005	RAL 7006	RAL 7008					

Tablo 1.2. Toz Boya Renkleri

1.2 Neden Elektrostatik Toz Boya?

Toz boya tamamen kuru bir kaplama sistemidir. Elektrikle yüklenen öğütölmüş reçine, pigment ve diğer hammadde taneciklerinden oluşur ve boyanacak objelerin üzerine püskürtölür. Boyanacak malzemeler topraklanır, böylece yüklenen taneciklerin kürlenme fırınlarında eriyip birbirlerine yapışarak düzgün, dayanıklı ve kaliteli bir kaplama oluşturmadan önce malzemeye tutunmalarını sağlar. Toz boyalar termoset (ısı ile kürlenene) ve termoplastik olarak ikiye ayrılmaktadır. Isı ile kürlenene toz boyalar en çok kullanılan toz boyalardır. Kürlenme işleme sırasında geri dönüşümü olmayan kimyasal bir değişime uğrarlar ve tekrar ısıtıldıklarında tekrar eriyerek sıvı hale geçmezler. Termoplastik toz boyalar ise ısıtılarak tekrar tekrar eritilebilir, soğutulduklarında katılaşırlar. Özellikle en zorlu performans gerekliliklerinin olduğu yüksek film kalınlıklarında yapılan uygulamalar için uygundur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Toz boyama kullanımı kolay, operatör dostu ve çevreci bir işlemdir. Proses akışı sistemin hatasız işlerliği bakımından seri hataların meydana gelmemesi kalite kontrol kriterleri,müşteri memnuniyeti,kaplama film kalınlıkları ve korozyon dirençleri açısından deneyimli ve eğitimi kalifiye elemanlarla çalışmak firma menfaatinedir. (kalite,müşteri memnuniyeti ve tesis hataları).

Yaş boya ile toz boyanın boya öncesi yüzey temizleme sistemleri de aynıdır. Sağlıklı yapılmış bir yaş boya sistemi ile toz boya sistemi aynı boyutta yer işgal eder. Yaş boyada olduğu kadar toz boyada da yüzey temizliğinin önemi büyüktür. Boyanacak malzemenin temizlenmesi ve fosfatlanması veya alüminyum için kromatlanması boya kalitesinin mükemmelliğini arttırır.

Çok çeşitli tipteki malzemelere toz boya uygulanabilmesine rağmen şu anda dünyada en fazla alüminyum ve elik ürünleri toz boya kaplanmaktadır. Bununla beraber bazı sınırlamalar da mevcuttur. Toz boyanan malzeme fırın içinde ısıya maruz bırakıldığından bu sınırlamalar;

- Malzeme mevcut fırına giremeyecek kadar büyükse;
- Malzeme krleme sıcaklığına dayanamayacak yapıda ise meydana gelir.

Ayrıca toz boya kaplama elektrostatik bir proses olduğundan elektriksel iletkenliği olmayan malzemeler ancak ön ısıtma uygulanarak boyanabilir.

1.3 Toz Boya eşitleri

Toz Boya kullanım alan ve amaçlarına göre çeşitli tiplere ayrılır.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1.3.1 Epoxy

Formülünde epoxy tip reçine ve uygun sertleştirici vardır. Kimyasal maddelere direnç istendiği zaman kullanılır. Yüksek mekanik, kimyasal ve korozyon dayanımı olan boyalardır. Asit, solvent ve kimyasallara dayanıklıdır. Özellikle benzin depoları bu konuda örnek olarak gösterilebilir. Bu tip boyaların ısı ve ışığa karşı mukavemetleri azdır. Aynı zamanda yüksek korozyon direnci istendiğinde astar olarak da kullanılmaktadır. Elektrik malzemelerinde yalıtkan kaplama olarak da kullanılır. UV ışınlarına dayanıksızdır.

1.3.2 Epoxy-Polyester

İçerisinde epoxy ve polyester reçine bulunur. Hibrit olarakta bilinir. Fiziksel ve kimyasal dayanım özelliklerinin bir arada sağlanması için geliştirilmiş boya tipidir. İç mekan boyaları olarak tabir edilip, bina içi koşullarda kullanılır. Özellikle beyaz eşya sanayii için kaçınılmaz çözümdür. Ayrıca ev/ofis içi aydınlatma cihazları, metal mobilya, hastane ekipmanı, havlupan, radyatör, armatür ve duşakabinler de bu tip boyalar ile boyanabilir. Epoxy tip boyalara göre ısı ve ışık direnci açısından kuvvetli olmasına rağmen, daha sonra göreceğimiz dış cephe polyester boyalara göre direnci daha azdır. Güneş ve ısı dayanımı zayıftır.

1.3.3 Polyester

Dış mekan boyası olarak tabir edilen boyalardır. Dışarıda ışığa, suya, ısıya dayanıklı boyalardır. Kullanılan hammadde yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğundan fırın, elektrikli ısıtıcı gibi ürünlerde kullanılabilir. Polyester toz boyalar diğer toz boyalara göre 3 kat daha uzun ömürlüdür.

1.3.3.1 Polyester/TGIC

İçerisinde polyester reçine ve TGIC sertleştirici bulunur. Dış cephe boyasıdır. Özellikle alüminyum pencere ve kapı profillerinde önerilir. Doğru tasarım ve kullanım durumunda güneş ışığına ve diğer iklim şartlarına 10 yıl gibi bir dayanım gösterebilir. Başlıca kullanım alanları; alüminyum profil sanayi, tarım makineleri, bisiklet, jant, aydınlatma armatürleri gibidir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1.3.3.2 Polyester/Primid

İçerisinde polyester reçine ve pirimid sertleştirici bulunur. Dış cephe boyasıdır. Renk ve parlaklık kaybı istenmeyen dış cephe, özellikle mimari uygulamalar için kullanılır. Alüminyum pencere ve kapı profillerinde önerilir. Doğru uygulama koşulları ile diğer PT gibi iklim koşullarına göre 10-15 yıl gibi bir dayanım gösterebilir. TGIC içeren ürünler Avrupa Birliği normlarına göre belirli etiketleme işaretleri alıyorken, Primid ürünlerde herhangi bir işaretleme bulunmamaktadır. Özellikle Avrupa pazarında, geniş kullanım alanı bulunan PRIMID, TGIC'nin en güçlü rakibidir.

1.3.4 Poliüretan

Formülünde polyester reçine ve uygun (izosiyanat) sertleştirici vardır. Aşınma, nem ve tuz testine karşı oldukça dayanıklıdır. (Diğer polyester dış cephe ürünlerine kıyasla, UV dayanımının yanında kimyasal dayanım da sağlar.) Otomotiv, banyo aksesuarları, ahşap desen transferi, bahçe ürünlerinde kullanılabilir.

1.3.5 Akrilik

Özellikle otomotiv sanayisinde tercih edilmektedir. Çok güçlü, dayanıklı boyalardır. Ancak diğer tip reçineler ile uyuşamaması ve oluşan kontaminasyon nedeni ile diğer tip boyaların üretildiği tesislerde üretimi yapılmamaktadır. Bu nedenle bu ürün Pulver Kimya ürün gamında yer almamaktadır.

1.3.6 Pütürlü Toz Boyalar

Boyanacak olan malzeme üzerindeki kesim, büküm, kaynak gibi işlemlerden doğan hataları kapatmak için tercih edilen boyalardır.

1.3.7 Textüre Toz Boyalar

Yüzeyi zımpara gibi olan toz boyalardır.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1.3.8 Dövmeye Boyalar

Dövmeye etkili toz boyalardır. Genellikle çelik kapı ve asansör kapılarında kullanılır.



Şekil1.2 Dövmeye toz boya



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Özellik	Toz Boya Tipi						
	Standart Polyester	Geliştirilmiş Polyester	Epoksi	Hibrid	Poliüretan	Akrilik	PVDF
Dış Dayanım	İyi	Mükemmel	Çok Zayıf	Zayıf	İyi	Mükemmel	Mükemmel
Korozyon Dayanımı	İyi	İyi	Mükemmel	İyi	İyi	İyi	İyi
Darbe	Mükemmel	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel	İyi	Zayıf	Mükemmel
Esneklik	Mükemmel	İyi	Mükemmel	Mükemmel	İyi	İyi	Mükemmel
Yapışma	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Zayıf*
Fiyat	Orta	Orta/Yüksek	Orta	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Film Görünümü @50µ	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Mükemmel	İyi	Zayıf
Uçucu Buharlar	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük	Düşük	Çok Düşük	Çok Düşük
Düşük Fırınlama	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	No
Kimyasal Dayanım	İyi	İyi	Mükemmel	Çok İyi	İyi	Çok İyi	İyi
Parlaklık Aralığı	10-95%	20-95%	5-90%	5-90%	5-95%	30-90%	30-60%
Isı Dayanımı	Çok İyi	İyi	Zayıf	İyi	Çok İyi	İyi	İyi
Aşınma	İyi	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	İyi	Zayıf
Uyuşurluk	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	Çok Zayıf	Çok Zayıf

Tablo 1.3 Toz boya performans karakteristiklerinin karşılaştırılması



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1.4 Toz Boya Üretimi Nasıl Yapılır?

- Toz boya hammaddeleri formülasyona göre tartılarak hazırlanır.
- Hammaddeler “kuru karışım” tekniği ile homojenize edilir. Bu işlem, karıştırıcılar aracılığı ile yapılır. Farklı ihtiyaçlara göre farklı karıştırıcı tipleri kullanılabilir.
- Hazırlanan homojen karışım sıcak yoğurucuların (extruder) yedirci kısmına verilir.
- Sıcak yoğurucular karışmış ve homojenize edilmiş hammaddelerin birbirleri ile temasını artırır ve reçinelerin diğer hammaddeler ile bir araya gelmesini sağlar. Yoğurucular yüksek sıcaklıklarda çalışır (100- 130°C).
- Sıcak yoğurulma ve homojenasyon sona erdikten sonra, boya eriyik olarak yoğurucudan çıkar ve soğutma silindirlerinden geçer.
- İnce bir tabaka haline getirilen toz boya soğutma bandından geçer ve oda sıcaklığına soğur. Soğumuş malzeme kırıcı altından geçerek kırık haline gelir.
- Öğütme işlemi uygun değirmenlerle yapılır. Toz Boyutu kullanıcı açısından çok önemlidir. Değirmenler ve sınıflandırıcılar ile kullanıma ve boya cinsine göre toz boyutları istenilen aralıklara getirilebilirler.
- Çok ince tozlar hava ile toplandıktan sonra uygun filtre ve siklonlardan geçirilerek havadan ayrılarak havayı kirletmeleri engellenir.
- Yapılan eleme işlemiyle kalın tozlar da üründen ayrılır.
- Öğütülmüş ve istenilen boyutlara getirilmiş tozlar uygun ağırlıklarda paketlenir ve kullanıcıya sunulur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil1.3 Toz boya üretim tesisi



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

1.5 Toz Boyanın Kullanım Avantajları Nelerdir?

Sıvı boyaların aksine Toz Boya herhangi bir solvent madde içermemekte, reçine, sertleştirici, pigment, dolgu ve katkı maddelerinin karışımlarından oluşmaktadır. Toz Boya kullanım teknikleri çeşitlidir. Elektrostatik yüklenme ve Akışkan Yatak Daldırma ile kaplama bunların arasında en çok kullanılanlarıdır. Daldırma tekniği ile daha kalın kaplama yapılabilir. Toz boya üretimi ve kullanımı sırasında sağlık açısından yaş boyaya göre arz ettiği negatif etki daha azdır. Bu durum çeşitli araştırmalar tarafından ispatlanmıştır. Ayrıca toz boyanın ateş alması için gerekli olan enerji miktarı sıvı bazlı boyaların 100 katı kadardır. Bu yüzden çok zor ateş alırlar ve patlama alt limitleri sıvı boyalara karşı daha yüksektir.

Kısaca özetlersek toz boya kullanma avantajlarını şu şekilde maddeleyebiliriz;

- Toz Boya çevre dostudur. Üretim ve tüketimi sırasında herhangi bir atık çıkmaz ve bu sayede hava ve su kirliliğine neden olmaz. Çevreyi koruma açısından yaş boyada ortaya çıkan organik uçucu kimyasallar (VOC) toz boyada kesinlikle yoktur.
- Toz boyanın ateş alması için gerekli olan enerji miktarı sıvı boyalara oranla çok daha fazladır. Bu nedenle patlama alt limitleri daha yüksektir.
- Toz Boyanın sağlığa negatif etkisi diğer boyalardan daha azdır. Ayrıca deriye teması durumunda da herhangi bir sorun yaratmaz.
- Toz Boya kullanıma hazırdır. Herhangi bir karıştırma, sıvı ile inceltme gerektirmez. Tabanca hortumu toz boya torbasına sokulup hemen kullanılabilir.
- Toz Boya kullanım tekniği kolaydır ve kullanıcının eğitimi çok kısa zamanda yapılabilir. Manuel ve robot sistemlerde kullanım için çok uygundur. Böylece, kısa ve pratik bir eğitimle kullanıcı uzman haline gelebilir.
- Toz Boya ile her türlü dekoratif yüzey elde edilebilir. Düz, parlak, pütürlü, zımpara kâğıdı görünümlü, vernik gibi yüzeyler toz boya ile kolaylıkla sağlanabilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Elektrostatik toz boyanın dezavantajları;

- İnce film elde etmek zordur.
- Renk değişimi daha yavaştır.
- Toz boyalar karıştırılmaz.

1.6 Toz Boya Nerelerde Kullanılır?

Beyaz Eşya : Beyaz Eşya Sanayi, Buzdolabı, amaşır & Bulaşık Makinesi

Binalar: Mimari amaçlı, Alüminyum Profil Sanayii, Mimari, Pencere, Kapı, Bisiklet Gövdesi; Asansör Kapısı, elik Kapı

Otomotiv : Motor bloğu, Amortisör Yayı, Silecek

Özel Yüzeyler: Raf, Ahşap-Mermer Desenli Metal, Mobilya

Sağlık ve Hijyen Ekipmanları : Hastane Ekipmanı, ocuk Oyun Alanları, Restoran

Isıtıcı Sistemleri : Panel ve Yağlı Radyatör, Havlupan

Yüksek Isı Direnci Gerektiren Yüzeyler : Fırın

Yüksek Korozyon Direnci Gerektiren Yüzeyler : Tankerler

MDF Malzemeler : Mutfak Tezgahları, Ahşap Kapı ve Pencerele

Anti-Graffiti Boyalar : Reklam Panoları, Trafik İşaretleri, Okul Tahtası, Yazı Panoları

Kimyasal Dirençli Sistemler : Benzin Depoları, Yiyecek Rafları

Cam / Seramik : Biblo, Esans Őiřesi, Ampul, Saksı, Vazo



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil1.4 Toz Boya Kullanım alaları



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2. ELEKTROSTATİK TOZ BOYA

2.1 Elektrostatik Nedir?

Elektrostatik bir alan manyetik bir alana benzer. Çünkü bir nesneye enerji yüklendiği zaman elektrostatik alan meydana gelir. Nesnenin elektron sayısı fazla ise negatif, nesnenin ortamında az elektron var ise de pozitif yüklendiği kabul edilir. Karşılıklı olarak yüklü parçacıklara sahip olan iki elektrostatik nesne ise daha sonra birbirine doğru çekilecektir.

2.2. Elektrostatik Toz Boyama Nedir?

Elektrostatik toz boyama solvent içermeyen bir yüzey kaplama metodudur. Kaplayıcı malzeme, son kat boya tabakasını oluşturan çok ince toz boya partikülleridir. Toz boya, boya kabiniinde özel boya tabancaları vasıtasıyla atılır. Tabancadan geçerken elektrostatik yüklenen toz boya partikülleri kabin içinde boyanacak malzemeye yapışır ve kaplama işlemi gerçekleşmiş olur. Toz boyanın malzeme yüzeyine tam olarak yapışabilmesi için malzemenin de çok iyi bir şekilde topraklanması gerekir. Fazla atılan boya, kabinde bulunan boya geri kazanım sistemi sayesinde toplanır ve tekrar kullanıma sokulur. Boya geri kazanım sistemi elektrostatik toz boyama teknolojisinin en büyük ekonomik avantajlarından biridir. Malzeme toz boya ile kaplandıktan sonra pişirme fırınına girer. 200°C olan fırın ısısı toz boyanın erimesini ve malzeme üzerine yapışmasını sağlar. Sonuçta çok dayanıklı, ekonomik, çevre dostu, geniş renk yelpazeli ve parlak bir yüzey kaplaması elde edilir. Solvent içermemesi, yüzey kalitesi, dayanıklılığı, boya geri kazanım sistemi, ekonomikliği ve çevre duyarlılığı elektrostatik toz boyamayı geleneksel boyama işlemlerine göre daha çekici bir alternatif yapmaktadır.

2.3 Elektrostatik Boyamanın Avantajları

Elektrostatik toz boya firmaları, elektrostatik bir boyanın pek çok avantajından yararlanır. Elektromanyetik alan nedeni ile son kat kaplandığı için pürüzsüz ve sert emaye bir kaplama meydana gelir. Bu sayede boyanın kalınlığının kontrol edilmesi de oldukça kolaydır. Bu boyama çeşidi hem ekonomik olduğu hem de zaman tasarrufu sağladığı için büyük firmalar tarafından çok sık tercih edilir. Homojen bir uygulama sağladığı için aşırı bir püskürtme ya da sıçrama olmadan temiz bir uygulama sağlar. Aynı zamanda boyalı zeminin üzeri oldukça



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

hijyeniktir. Çünkü temizlik için kullanılan kimyasallara karşı geçirimsiz ve yüzey gözenekli değildir. Bu boya çeşidinin renk yelpazesi oldukça geniş olduğu için istenilen her renkte boya uygulaması yapılabilir. Elektrostatik boyama çeşidi, düşük maliyetli, verimli, uzun ömürlü ve temiz bir uygulama imkânı sunar. Aynı zamanda yıllarca dayanacak, sağlan bir kaplama sunar. Büyük firmalarda ve fabrikalarda uzun yıllardır kullanılan bu boyama yöntemi, mobil boyama ünitelerinin tasarımı ve geliştirilmesi sayesinde elektrostatik boyalar hemen hemen her yerde kolaylıkla uygulanabilecek bir hale getirildi.

- Toz boya kullanım verimi %100'e yakındır.
- Fazla atılan boya geri kazanım sistemi ile toplanır ve yeniden kullanılır. Bu nedenle daha ekonomiktir.
- Otomasyon kolaylığı; Toz boyayı otomatik tesisler için çok uygun hale getiren üç önemli faktör:
- Elektrostatik yüklenen toz boya kaplanacak malzemeye "statik" etkisi ile tam olarak yapışır.
- Köşelere ve boşluklara tam olarak nüfuz eder.
- Toz boya akma yapmaz.
- Mükemmel kaplama; Toz boyanın polimerizasyonu pişme işlemi sırasında boyanın malzemeye yapışmasını sağlar. Elde edilen kaplama aşınmaya, korozyona, kimyasal etkilere ve darbelere karşı mükemmel bir direnç gösterir.
- Toz boya üreticilerinin sürekli araştırmaları sonucu renk, parlaklık, doku, dayanıklılık ve uygulama kolaylığı gibi önemli avantajlar kazanılmıştır.
- Çevre korunumu;Çevre dostu bir proses olan toz boyada uçucu petrol kaynaklı (solventler) bulunmaz. Bu sadece çevreyi korumakla kalmayıp aynı zamanda işçi sağlığını da korur. Boyacının sadece bir toz maskesi takması yeterli gelecektir.
- Ön boyama gerektirmez.
- Toz boya üreticisinden alındığı gibi kullanılır. Kullanmak için ön karıştırma veya hazırlık gerektirmez.
- Karışım havası kullanmayı gerektirmez; tüm ortam havası filtreden geçip ortama geri verilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.3 Elektrostatik Spray Nedir?

Püskürtme esnasında boya zerreciklerini çok düşük 07 mA ve çok düşük doğru akım yükleyerek topraklanmış parçanın üzerine transferidir. Sistemde diğer elektrikli el aletlerindeki gibi (matkap motoru vs.) cereyan çrpma ihtimali yoktur. Boya tabancadan çıkarken (-) elektrik yüklenir. Boyanarak topraklanmış parçanın yüzeyine çengel şeklinde kuvvet yollarını takip ederek gider.

Boya zerrecikleri; zıt kutuplar birbirini çeker prensiplerine göre parça üzerine çekilirler. Ancak kendi aralarında aynı kutupta olduklarından birbirlerini iterek homojen dağılımı sağlarlar. Böylece akıntı ve damlama ihtimalini yok denecek düzeye indirirler.

2.4 Elektrostatik Boyama Tekniği

Elektrostatik boyama sırasında boyanmak istenen ürün, akü kablosuna benzeyen negatif yüklü bir elektrot aracılığı ile negatif bir yük alır. Boyanın içinde ise pozitif bir yük vardır ve boya, elektrostatik boya tabancası yardımı ile nesneye püskürtülür. Bunların içindeki pozitif ve negatif yükler, bir mıknatıs gibi boyayı metal yüzeye çeker. Püskürtülen boya, topraklanmış nesnelere akar ve ürünün etrafını sarar. Karşıt olan yükler arasındaki bağ o kadar güçlüdür ki yük boyayı nesnenin etrafına çekerek nesnenin tamamen kaplanmasını sağlar. Boya, metale statik olarak çekilir ve elektrostatik spreysel boya, çok püskürtmeden dolayı bir karışıklık yaşanmaz. Boyama makinelerinin fiyatları ise, yapılan işin niteliğine göre değişiklik gösterebilir. Bu makinelerin uzman kişiler tarafından kullanılması gerekir. Bu boya, iş güvenliği önlemleri kapsamında kullanılır. Mesela ferfoje bir çitin boyamasında da boya spreylenerek çitin etrafını sarar. Bu sayede çitin her bir parçasını sararak arka kısmına da yapışır.

2.5 Toz Boyanın Uygulanması

Toz boya uygulaması üç ana adımdan oluşur.

- Temizlik ve yüzey hazırlama yöntemleri
- Toz boya uygulaması
- Fırınlama



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.5.1 Temizlik ve Yüzey Hazırlama Yöntemleri

Boyama işleminden mükemmel sonuç alabilmek için, boyanacak parçanın bir temizlik ve ön işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Parça temizliğinde kullanılmakta olan çeşitli yöntemler vardır. Asidik temizleyiciler inorganik kirlilikler için iyi sonuç verirken, alkali temizleyiciler organik kirliliklere daha uygundur. Diğer organik kirlilikler için yağ alıcı kimyasallar kullanılır.

Bu temizlik işleminden sonra genelde fosfatlama işlemi gerekir. Ancak mimari uygulamalar için kullanılan alüminyum profiller için chromic asit çözeltisinden geçirilmesi daha iyi sonuçlar verir.

Toz boya uygulamasından önce metal yüzeylerin hazırlanmasının esas amacı şöyle açıklanabilir.

- 1) Yabancı maddelerin tamamen uzaklaştırılması, örneğin kabuk, gres, kesme yağı, kum, kaynak döküntüleri gibi.
- 2) Uygulanacak toz boya için yüzeyin uygun şartlara getirilmesi.
- 3) Yüzey işlem, boyanacak parça yüzeyinin her yerinde homojenliği sağlamalıdır,

Toz boyadan tam verim elde etmek için yüzey işlem aşamasına dikkat etmek esastır. Boyanmış yüzeyden beklenen spesifik özelliklere göre uygulanacak yüzey işlem değişebilir tek aşamalı temizlik işleminden çok aşamalı metal yüzey üzerinin başka bir metalle kaplanmasıyla oluşan karmaşık yüzey işlem.

Topraklanmış metal yüzey üzerine elektrik yüklü toz boya taneciklerinin uygulanması, yüzeyin yüksek elektrik direncine sahip herhangi bir kompozisyondan bağımsız olması ile sağlanabilir. Toz boya uygulanacak parça yüzeyinin herhangi bir yalıtkan film ile kaplı olması toz boyanın yüzey üzerinde birikmesini kısıtlar veya bazı durumlarda önler.

2.5.1.1 Yüzey- Çelik, alüminyum, bakır, çinko alaşımlar ve galvaniz kaplı çelik toz boyanın uygulandığı en yaygın metallerdir. Birçok durumda normal servis koşulları uygulandığı zaman tamamen temizlenmiş metal üzerinde tatmin edici özellikler elde edilebilir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.5.1.2 Çelik- Demir/çelik yüzeyler için maksimum korozyon ve tuz sprej dayanımı çinko fosfat kaplama ile sağlanır.

2.5.1.3 Alüminyum- Alüminyum ve alaşımları için, temiz yüzey kolaylıkla boyandığı ve yapışma mükemmel olduğu halde kromat kaplama kullanılarak performans artırılabilir.

2.5.1.4 Çinko alaşımlar- Zintec, zamac ve galvaniz kaplı çelikler gibi bütün çinko içeren metaller için uygun fosfat kaplama önerilmektedir.

2.5.1.5 Gözenekli dökümler ve kumlama ile temizlenmiş yüzeyler- Bu tip yüzeyler, havanın gözenekler içinde hapsedilmesinden dolayı yüzeye toz boya uygulandığında ciddi problemler yaratır. Bu sebepten dolayı metalin özellikleri ve film kalınlığı ciddi bir şekilde kontrol edilmelidir. Bazen birkaç dakika ön ısıtma bu hataları giderebilir.

2.5.1.6 Oksit ve kabuk alma- Bu ancak mekanik zımparalama, tel fırça veya daha geniş yüzeyler için kumlama ile sağlanabilir. Aşındırıcı madde olarak kum İngiltere’de olduğu kadar birçok Avrupa ülkesinde de yasaklanmıştır. Kumun yerini almış olan kaba, bir kullanımlık aşındırıcılar ve tekrar kullanılabilen metalik aşındırıcılara artık talk pudrası kadar ince alüminyum oksit, ceviz kabuğu gibi nebati aşındırıcılar, 25 mikronluk cam boncukları gibi bir dizi yeni aşındırıcı da eklenmiştir. Bu son derece küçük taneli aşındırıcılar ile artık tam bir yüzey düzgünlüğüne

erişilebilmektedir. Açık ki, ince taneli bir aşındırıcı ile yüzey işlem çok zaman alıcıdır. Ancak kaba taneli bir aşındırıcı ile yüzey işlem itoz boyanın fırınlamada akışını sınırlayacağından düşük parlaklığa neden olabilir.

2.5.1.7 Yağ ve gres alma- Metal yüzeylerin boyama için hazırlanmasında genellikle ilk adımdır. Bu operasyonun uygulanmasının birçok yolu vardır ve en çok kullanılan metodların bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.5.1.8 Solvent ile silme- Gres alınması, boyanacak yüzeyin uygun solventle ıslatılmış bezle silinmesi ile sağlanabilir. Bu metod gresi ve katı maddeleri, önce bez parçası ve sonra solvent kirlenene kadar etkili bir şekilde uzaklaştıracaktır. Daha sonra bu metod sadece gresi yüzeye yayacaktır ve gerçek bir temizlik için bez parçası ve solvent sık sık temizlenmelidir.

Bu metod küçük miktarda üretimler için pratik ve uygun olmasına rağmen işçiliği fazla ve pahalıdır ve seçilen solvente bağlı olarak sağlığa zararı veya yangın riski olabilir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.5.1.9 Solvente daldırma- Bu metotta parça, içi solvent dolu tanka daldırılır ve çıkarıldıktan sonra solvent buharlaştığı zaman bütün yağ ve gres temizlenmiş olmalıdır.

Bu metot solvent ile silme metodunda olduğu gibi solvent, yağ ve gres ile doymuş hale gelince parça üzerinde mevcut olandan daha fazla yağ ve gres birikir. İki metot arasındaki tek fark bu yağ tüm parça üzerine yayılır. Tekrar kullanılan solvente bağılı olarak sağlığa zararlı olabilir veya yangın tehlikesi yaratabilir. Solvent ile silme veya solvente daldırma metodlarının ikisi de önerilmemektedir.

2.5.1.10 Solvent buharı ile yağ alma- Bu teknikte, parça özel dizayn edilmiş bir fabrika içinde trikloretilen gibi klorlanmış solvent buharında bekletilir ve solvent buharının soğuk metal yüzey üzerinde yoğuşmasıyla yüzeydeki gres ve yağı çözerek temizlenmesini sağlar. Parçalardan akan gres ve yağlı sıvı solvent toplama haznesine geri döner.

Bu proses çok daha etkilidir çünkü yoğunlaşan solvent buharını telafi etmek için solvent sürekli olarak buharlaştırılır. Kendi başına bu metot yağ almada etkilidir fakat yüzey üzerinde kalmış katı parçacıklar bütün gres ve yağlar uzaklaştırıldıktan sonra bile oldukları yerde dururlar.

Ultrasonik karıştırma kullanılarak veya hazneye toplanan sıvının da buharlaşmasını sağlayarak gelişmeler elde edilebilir. Buna ek olarak verimi artırmak için klorlanmış solvent içine özel katkılar ilave edilebilir.

2.5.1.11 Deterjan- Parça, uygun deterjanın sıcak su içinde çözünmesiyle hazırlanmış çözelti içine daldırılabilir veya tercihe göre spreylenebilir ve sonra durulanıp kurutulur. Bu yöntem hafif kirleri uzaklaştırır fakat eskiden kalan gres ve ağır yağları temizleyemez.

2.5.1.12 Emülsiyon temizleyiciler- Emülsiyon temizleyiciler, genellikle önceden emülsifiye edilmiş gazyağı/su emülsiyonları veya suyla karıştırıldığında emülsifiye olan gazyağı bazı konsantrasyonlardır. Alkali temizleyiciler gibi, emülsiyonlar sprey ekipmanları içinde kullanıldıklarında çok etkili olurlar fakat daldırma yönteminde oldukça etkilidirler.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Emülsiyon temizleyiciler normalde alkali temizleyicilere göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanır ve bazı durumlarda ortam sıcaklığında da uygulanabilir.

2.5.1.13 Alkali temizleyiciler- Boyanacak parça uygun alkalilerin karışımından oluşmuş sıcak solüsyona daldırılabilir veya üzerine spreylenebilir. Daha sonra iki kere durulanır ve kurutulur. Sprey uygulama daldırmadan daha etkilidir ve yüksek uygulama sıcaklıklarında (70-90°C) daha ekonomiktir ve karışım bir sonraki uygulamayla birlikte kullanılabilir. Sprey uygulama 5-60 saniye sürerken daldırma 1-5 dakika sürer. Daldırma temizleyiciler gres ve yağı emülsifiye ederek parçalarlar. Alternatif olarak bazı temizleyicilerde ise yağlar yüzeyden ayrıştırıldıktan sonra katman halinde temizleyici yüzeyinde yüzer durumda birikirler. Alkali temizleyiciler gres, yağ ve kumları etkili bir şekilde uzaklaştırırlar ve en zor kirlerin de üstesinden gelirler.

Etkili bir temizleme sağlamak için özellikleri ayarlanabilen birçok alkali temizleyici vardır. Bu temizleyiciler, çelik yüzey üzerine uygulanmış fosfat kaplamanın ince taneli kristal bir yapıya sahip olduğundan emin olabilmek için sık sık saf ajanlar içerirler.

Bir yere not edilmelidir ki, sadece kontrol altındaki alkali temizleyiciler hafif alaşımlar, çinko, galvaniz metal veya alüminyum için uygundur.

2.5.1.14 Asit temizleyiciler- Sülfirik veya hidroklorik asit içeren asit temizleyiciler pas ve kabukları tamamen temizler ve yüzeyi kondüsyona sokar. Bu metot genellikle demir veya çelik yüzeylere uygulanır.

Sıvı temizleme metotları uygulandıktan sonra en çok önem verilmesi gereken unsur, yüksek standartlardaki durulama işleminden sonra kurumuş ve temizlenmiş parçalar üzerinde asit, alkali veya emülsiyon gözlemlememek. Ayrıca bu işlemin arkasından kaplama yapılmayacak ise yüzeyin paslanmasını önlemek için parça hızlı ve etkili bir şekilde kurulanmalıdır.

2.5.1.15 Fosfat kaplama- Çelik yüzeyler için en yaygın yüzey işlem tipi toz boya uygulamasından hemen önce uygulanan ve kullanılacak toz boya ağırlığına göre değişkenlik gösteren fosfatlamadır. Kaplama ağırlığı arttıkça elde edilen korozyon direncinin derecesi de



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

artar; kaplama ağırlığı azaldıkça ise mekanik özellikler artar. Bu sebepten dolayı mekanik özellikler ile korozyon direnci arasındaki dengeyi ayarlamak önemlidir.

Yüksek kaplama ağırlıkları toz boya uygulandıktan sonra yüzeye bükme, darbe gibi mekanik kuvvetler uygulandığında kristal çatlamalara sebep olabilir.

Toz boyanın fosfat kaplamaya yapışmasının mükemmel olmasına bağlı olarak, bağların kopması genellikle, fosfat/metal yüzeyler arasında toz boya/fosfat yüzeyler arasından daha fazladır.

Fosfat kaplama BS3189/1959'a göre uygulanır; çinko fosfat için Class C ve demir fosfat için Class D.

Çinko fosfat 1-2 g/m², demir fosfat 0.3-1 g/m² olarak tavsiye edilir. Uygulama spre y veya daldırma olarak yapılabilir. Kromat pasifleştirme genellikle gerekmez.

Demir fosfat kaplama normalde spre y olarak üç veya dört aşamalı operasyonlarla uygulanır. Parça genellikle kurutmadan önce iki su durulama bölümünden geçirilir.

Çinko fosfat beş aşamalı bir operasyonla (alkali yağ alma, durulama, çinko fosfat, iki suyla durulama) daldırma veya spre y olarak uygulanabilir. Parça fosfatlandıktan ve kurutulduktan sonra en kısa zamanda toz boya ile boyanmalıdır.

2.5.1.16 Çinko yüzeyler için yüzey işlem- Hafif ağırlıkta çinko fosfat kaplama önerilmektedir. Genellikle elektrodosit çinko kaplamalar hiçbir yüzey işlem problemi çıkarmazlar fakat sıcak daldırma galvaniz kaplama yapışmayı etkileyebilir. Pullanmanın derecesini artırmak yapışma karakteristiklerini azaltır.

2.5.1.17 Kromat kaplama- Alüminyumlar ve alaşımları için en önemli kaplama tipi kromatlamadır. Kromatlama renksiz veya sarı kromyum oksit veya yeşil kromik fosfat tipi olabilir. Önerilen miktar 0.1 - 0.5 g/m²'dir. Beş aşamalı proses alkali yağ alma, durulama, kromat kaplama ve bunu izleyen iki durulama aşamasından oluşmaktadır.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi kromat kaplama maksimum yapışmanın sağlanabilmesi için düşük film ağırlığında olmalıdır.

Yüksek kaliteli uygulamalar için genellikle final durulama minerallerden arındırılmış su ile yapılmalıdır. Daha sonra temizliğinden emin olmak için final durulama suyunun iletkenliği görüntülenmelidir.

2.5.1.18 Ağır-metal içermeyen yüzey işlemler- Gelişen dünyamızda artan katı çevre standartları nedeniyle ağır metal içeren yüzey işlemlerden, özellikle kromatlama, uzaklaşmaktadır. Önceden kromat içermeyen yüzey işlemler zayıf performansa sahipti fakat son zamanlarda standartlar ilk kanıtlarla birlikte geliştirilmiştir. Çünkü mimari alüminyum uygulamaları üzerinde kullanılarak Qualicoat organizasyonu tarafından 1996 yılında ödüllendirilmiştir.

2.5.1.19 Sıvı atıklar- Yöre otoriteleri sıvı atıklar ile ilgili değişik standartlar ile çalışmaktadırlar. Fakat bu standartlar günden güne daha katı ve kısıtlayıcı olmaktadır.

Genellikle demir fosfat solüsyonları hiçbir arıtma yapılmadan atılabilirler. Çinko fosfat solüsyonları ise genellikle su ile seyreltilerek istenilen konsantrasyon seviyelerine getirilmek zorundadırlar. Bazı son durulama suları çevreye toksik etkisi olan kromat içerdiğinden özel arıtma gerektirirler.

2.5.2 Boya Uygulaması

Toz boya uygulaması, elektrostatik tabanca vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu amaç için corona ve tribo olmak üzere iki tip tabanca mevcuttur. Corona tipi tabancada, toz tabancayı terk ederken tabanca ucunda bulunan yüksek voltajlı bir elektrod sayesinde elektrostatik olarak negatif yüklenir. Boyanacak parça topraklanmış olduğundan, elektrostatik olarak yüklenmiş olan boya kolayca parçaya yapışır. Ancak bazen çok girintili ve çıkıntılı parçalarda Faraday etkisi oluşup tozun çukur alanlara girişı sorunlu olabilir. Bu durumlarda tribo tipi tabancalar kullanılır. Bu tür tabancada boya yüksek voltaj uygulanmadan, sadece sürtünmeyle positif yüklenmesi sağlanır.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.5.2.1 Toz Boya Metodları

Toz Boyanın Yüzeğe Uygulanma Şekilleri Toz boyanın uygulanması elektrostatik temele dayanır. Toz boya partiküllerinin belirli bir basınçtaki hava ile boya tabancasına gönderilmesi ve elektrostatik yüklenerek daha önce topraklanmış malzeme üzerine püskürtülmesi olarak açıklanabilir. Toz boya ile yüzey arasında boyanın eksi (veya artı) yüklenmesinden dolayı bir çekim meydana gelir ve boya malzemeye elektrostatik olarak yapışır. Daha sonra 200°C lik fırında eridikten sonra kurluşerek malzemeye yapışması sağlanır. Bu prensipten yola çıkarak yapılan araştırmalarda boya partiküllerinin genel olarak 2 değişik metotla yüklenebileceği ortaya çıkmıştır.

Bunlar;

- Corona (iyonlaşma)
- Tribo (elektro - kinetik) metotlarıdır.

2.5.2.1.1 Corona Tekniği

Bu teknik tabanca gövdesinin içerisinde bulunan kaskatın, tabancanın ucunda bulunan iğneye gönderdiği yüksek voltajla (max 100 kV) tabancadan çıkan boyaya elektrik yüklenmesi prensibine dayanır. Yüksek voltaj havanın nötral durumunu bozarak eksi iyonlar oluşturmaktadır. Bu iyonlar birbirine ya da en yakın objeye yani toz taneciklerine tutunmaktadır. Böylece toz boya partikülleri de yüklenip, daha önce topraklanmış yüzeğe püskürtülmektedir. Daha sonra malzeme 180°C – 220°C arası sıcaklıktaki fırına girerek üzerindeki boyanın erimesi, birbirine ve yüzeğe iyice yapışması sağlanmaktadır.

Corona metodunun en büyük avantajı; kolaylıkla yüklenebilmesi ve şu anda üretilen her türlü termoset toz boya ile başarıyla uygulanabilmesidir.

2.5.2.1.2 Tribo Tekniği

Bu sistemde hava ile boya, tabancaya geldikten sonra özel olarak tasarlanmış yollardan geçmesi ve sürtünmenin etkisiyle elektrostatik yüklenmesi temeline dayanır. Tribo sisteminde kaskat bulunmaz toz partikülleri sürtünme ile (kinetik) olarak yüklenir. Bu mekanizma farklı yüklerdeki iki maddenin (birisini elektron almaya diğeri elektron vermeye



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

meyilli) birbirleriyle teması sonucunda gerçekleşir. Tribo tabancaların içerisindeki özel tasarlanmış yüklenme yolları mekaniksel özelliğinden dolayı fazla toz boya birikimi sağlamayan ve yüzeye yapışmadan hızlı bir yüklemeye olanak veren PTFE yani teflondan yapılmaktadır.

2.5.2.1.3 Corona ve Tribo Sistemlerinin Karşılaştırılması

Yükleme

Corona : Tabancanın içerisindeki kaskattan namlu ucundaki iğneye yüksek voltajın, havanın nötral durumunu bozarak, oluşturduğu eksi iyonların toz partiküllerine tutunması ile yüklenir.

Tribo : Hareketli toz tanelerinin tabancanın özel yapılmış yüklenme yollarına sürtünmesi ile yüklenir.

Boya Seçeneği

Corona : Her türlü termoset boyaya uygulanabilir.

Tribo : Epoksi üzerinde mükemmel sonuç verir fakat polyester boyada epoksi kadar başarı sağlamaz. Bu nedenle tribo için üretilmiş boya kullanılmalıdır.

Uygulama

Corona : Tabanca çıkışında toz fazla olduğundan uygulamada belirli bir kolaylık sağlar.

Tribo : Tabanca çıkışında toz çok yumuşak akar ve miktarı çok düşüktür. Bu nedenle özellikle otomatik sistemlerde çok sayıda tabanca kullanmak gerekir.

Faraday Kafesi Etkisi

Corona : Püskürtme sırasında ortama yüklenmemiş serbest iyonlar çıkar. Bu iyonlar yüzeyin girintili yerlerinde birikerek boyama güçlülüğü yaratırlar.

Tribo : Faraday kafesi etkisi yoktur. Bu yüzden köşeli ve kavisli parçalarda mükemmel sonuç verir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Karşı İyonizasyon

Corona : Yüzeyde biriken serbest iyonların çok olması boyamayı güçleştirir ve zayıf bir yayılmaya sebep olur.

Tribo : Çok daha az etkilidir. Yüzeyde ince ve düzgün bir yayılma sağlar.

Aksesuar

Corona : Yükleme, tabancanın ucundaki iğneden yapıldığı için tabancanın ucuna boyamayı kolaylaştırıcı herhangi bir ek yapılmaz.

Tribo : Toz boya tabancadan yüklenmiş olarak çıktığından ucuna değişik tipte hortumlar ilave edilerek boyama kolaylaştırılabilir.

Renk Değişimi

Corona : Tabancada boya yolları geniş olduğundan kolayca temizlenir.

Tribo : Tabancanın dar ve uzun olması temizliği güçleştirir.

2.5.3 Fırınlama

Toz boya uygulanan parça fırınlama konur. Bu aşamada parça, boyanın özelliklerinde verilen süre ve sıcaklığa maruz bırakılır. Boya bu sıcaklıkta önce eriyip düz bir zemin oluşturduktan sonra küreşir. Kürlenme, toz parçalarının, ısı ve basınç etkisi altında sertleşerek yüksek sıcaklığa maruz bırakıldığı durumlarda erimeye başlayarak dışarı doğru akar ve kimyasal reaksiyon meydana gelir. Aynı zamanda yüksek molekül ağırlıklı polimerler oluşturmak için ağ benzeri yapılar oluşturulur. Bu kürlenme sırasında çapraz kürlenmenin oluşabilmesi için gerekli belirli bir sıcaklık ve zaman kriteri vardır. Bu nedenle toz plakalar genellikle 200 derecede 10 dakika bekletilir. Fakat sıcaklık ve zaman kriteri, müşterinin isteğine göre değişiklik gösterebilir. Kürlenmesi için gerekli malzeme uygulaması ve konveksiyon fırınlara ya da kızılötesi fırınlara atılarak gerçekleşir. Fırınlama işleminin sonunda, parça fırından çıkartıldıktan sonra boyama işlemi tamamlanmış olur.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.1 Toz Boya Fırınları



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 2.2 Toz boya fırını askıları

2.5.3.1 Konveksiyon Fırınları – Bu fırınlar halihazırda en çok kullanılan fırınlardır. Konveksiyon fırınlarında parçayı ısıtmak için ortam havası elektrik veya gaz yakılarak ısıtılır. Isıtılan hava fırın içinde, bir hava akımı yaratılarak, yayılır.

Endirek yanmalı fırınlarda, gaz ayrı bir yerde yakılıp, ısıtılan hava fırın içine verilirken, 'Direk Gaz' fırınlarda yanan gaz direk olarak fırının içine verilir. Dolayısıyla, endirek gaz fırınlarında gaz artıkları boya filmine ulaşmayacağından, daha az kusurlu bir yüzey elde edilebilir. Direk Gaz fırınlarda kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş toz boyalar da her renk ve efektte mevcuttur.

Konveksiyon fırınından tahliye edilen hava, fırın içinde biriken gaz hacmini en az patlama limitinin altında tutacak miktarda olmalıdır.

Fırının iç duvarlarında zamanla is tabakası oluşabileceğinden, özellikle direk gaz fırınlarında, fırın içi düzenli olarak temizlenmelidir. Temizlenmediğinde, bu is tabakası zaman zaman kalkacak ve fırından geçirilmekte olan malzemeyi kirletecektir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

2.5.3.2 Kızılötesi fırınlar - Kızılötesi (IR) fırınlarda ısının, havaya başvurmaksızın, direk olarak parçaya aktarılması verimi, ısıtma hızını ve hassasiyetini büyük ölçüde artırmaktadır. Bu durum bu tür fırınların kullanımını gün geçtikçe yaygınlaştırmaktadır.

Temel olarak, kızılötesi enerji sıcak bir parça tarafından yayılarak, başka bir madde tarafından yakalanıp soğuruluncaya kadar doğru bir çizgi üzerinde hareket eder. Işıma ile ısıtmanın ana avantajı parça ısısının çok hızla yükseltilebilmesidir. Işıma kaynağının ısı arttıkça, kaynaktan yayılan enerjinin içinde ışımının payı, konveksiyona göre, hızla artar. Her hangi bir maddeden yayılan ışım enerjisi o parçanın yüzey alanına, ısısına ve yayıcılık özelliğine bağlıdır.

Orta dalga ışım termoset toz boyaların kürlendirilmesi için en etkili kaynağı sağlar. Yayıcı paneller genellikle 850-950°C yüzey ısısına sahip gaz ısıtmalı veya 750-850°C yüzey ısı sağlayan elektrik ısıtmalı olarak kullanılırlar. Parça yayıcıdan en az 15 cm, ortalama 30 cm uzaklıkta tutularak ısıtılır.

Açık renkler nispeten daha fazla kızılötesi enerji yansıtarak ısınma süresini uzatacağından, toz boyanın rengi önemlidir. Bu demektir ki her toz boya, en iyi kürlenme koşullarını belirlemek üzere test edilmelidir.

Işıma enerjisi doğrusal bir yol izlediğinden, karmaşık şekilli ve/veya ışım kaynağıyla arasında başka bir cisim bulunan yüzeylere sahip parçalar bu şekilde kürlendirilemezler. İdeal olarak kızılötesi kürlendirme, paneller gibi basit parçalar için kullanılmalıdır.

2.5.3.3 Malzeme Et Kalınlığına Göre Fırınlama Süreleri

Malzemeler fırına girdiğinde ısı alışverişinden dolayı fırın sıcaklığı önce düşer, ardından ise yeniden yükselmeye başlar ve set ettiğimiz değere gelir. Fırınlama süresi olarak bahsedilen süre, fırın sıcaklığı set değerine ulaştıktan sonra bekleyeceğimiz fırınlama süresidir. Set değeri boya üretici firmanın kutu üzerine yazdığı sıcaklık olarak ayarlanmalıdır. Verilen süreler fırının boyanmış malzeme ile tam dolu olduğu düşünülerek belirlenmiştir. Bildiğiniz



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

üzere aslında esas olan malzemenin et kalınlığı değil toplam kütlesidir. Bu nedenle eğer fırın tam dolu değil ise fırınlama sürelerini 3-4 dakika kadar kısaltabiliriz.

- Tablodaki süreler, Box tipi manuel ve yarı otomatik fırınlar için geçerlidir.
- Tam otomatik tünel tipi fırınlarda, fırın ısı ölçüm değerlerine göre ayarlama yapılır.

<u>Malzeme Et Kalınlığı</u>	<u>Fırınlama Süresi</u>
1-2 mm	10 Dakika
3-4 mm	20 Dakika
5-6 mm	25 Dakika
7-8 mm	30 Dakika
9-10 mm	35 Dakika

Tablo 2.1 Fırınlama Süresi

3. ELEKTROSTATİK TOZ BOYA UYGULAMA YÖNTEMLERİ

3.1 Akışkan yatak

Akışkan yatak ilk olarak termoplastik toz boyaların uygulanması için geliştirildi, ve hala bu tür toz boyaların uygulanmasında en çok kullanılan yöntemdir. Termoset toz boyalarda ise ullanımı özellikle tek bir uygulamada çok kalın (250-300 μ) bir film istenen durumlarla sınırlıdır. Bu tür parçalara örnek olarak su ve gaz boru hatlarında kullanılan vanalar gibi sağlam, uzun ömürlü ve yüksek korozyon dayanımlı bir kaplama gerektiren parçalar verilebilir.

Akışkan yatak esas olarak dibinde bulunan esnek, büyük delikli bir elekten kontrollü olarak hava üflenen bir toz boya kazanından ibarettir. Bu hava toz boyayı akışkanlaştırıp, ona sıvı gibi bir hal kazandırarak içine daldırılan parçaya direnç göstermemesini ve düzgün bir boya film kalınlığı elde edilmesini sağlar. Boyanacak parça kazana daldırılmadan önce, toz boyanın erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Parça üzerindeki boya film kalınlığı daldırma süresi ve parçanın ön ısıtma sıcaklığı ile kontrol edilir. Boyanan parçalar yeterince büyük



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

olmadığında ısı tutma kapasitesi yetersiz olacağından, parçanın boya uygulamasından sonra tekrar fırınlanması gerekebilir.

Avantajları;

- Bir tek daldırma ve fırınlama ile, son derece kalın ve korozyon dayanımı yüksek bir boya tabakası elde edilebilir.
- Doğru formüle edilmiş toz boyalar ile çok düzgün dağılımlı bir yüzey elde edilebilir.
- Tesis yatırımı maliyeti düşüktür.

Dezavantajları;

- Kazanı doldurmak için nispeten daha fazla toz boya gereklidir.
- Boyanacak parçanın önceden ısıtılması, ve bazı durumlarda sonradan da fırınlanması gerekir.
- Bu yöntem sadece kalın bir film gereken durumlarda uygulanabilir.
- Bu yöntem çok karmaşık şekilli parçalara uygulanamaz.
- Et kalınlığı çok ince parçaların ısı tutma özelliği düşük olduğundan, bu tür parçalara uygulanamaz.

3.2 Elektrostatik toz boya püskürtme yöntemi

Genellikle boya uygulama kabini yanında bulunan bir toz boya kazanından, hava akımı ile elektrostatik püskürtme tabancasına iletilen toz boya parçacıkları elektrik yükü kazanırlar ve topraklanmış parça yüzeyinde birikirler. Daha sonra boyalı parça fırına alındığında, erime ve kürlenme gerçekleşir. Parça üzerine tutunmayan boya toplanır ve tekrar kullanılır.

Avantajları;

- Karmaşık şekilli parçalara boya uygulanabilir.
- 35-125µ kalınlıklarında filmler bir seferde elde edilebilir.
- Yüksek üretim hızı sağlamak için otomatik olarak uygulanabilir.
- Renk değişimleri yapılabilir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Parçanın önceden ısıtılması gerekmez.
- İnce malzemeden parçalar (örneğin folyo) da boyanabilir.

Dezavantajları;

- Uygulama ekipmanı yatırım maliyeti akışkan yatağa oranla daha yüksektir.
- Uygulama hızı sıvı boyalara oranla daha düşüktür.

3.3 Tipik Bir Elektrostatik Toz Boya Ekipman İhtiyaçları

3.3.1 Boya besleme kazanı.

1. Toz boyayı kazandan tabancaya ulaştırmak için, nem oranı kontrollü bir basınçlı hava kaynağı.
2. Yüksek gerilim kaynağı (30-100 kV).
3. Toz boya tabancaları;
 - Manuel,
 - Otomatik.
4. Fazla atılan boyanın sürekli bir hava akımı ile geri kazanım birimine iletilmesini sağlayan, özel olarak tasarlanmış bir uygulama kabini.
5. Bir geri kazanım ünitesi;
 - Siklonlu
 - Filtreli
 - Her ikisinin karışımı
 - Lamel filtreli
 - Pvc toz boya kabinleri
6. Geri kazanılan boyayı, besleme kazanına aktarmadan önce temizlemek için bir elek.
7. Topraklanmış bir konveyör.
8. 160-200°C sıcaklıkta çalışan bir kürendirme fırını.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.1 Toz Boya Kabini



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.2 Toz Boya Kabini



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

3.3.2 Yüksek gerilim kaynağı

Genellikle 30-100 kV voltaj aralığında gerilim sağlayan yüksek gerilim kaynakları, çoğunlukla toz boya kazanı ve püskürtme ekipmanı yakınına yerleştirilir. Tabancanın kabzası topraklanmış, metal veya düşük dirençli malzemeden en az 20 cm² yüzey alanına sahip olmalıdır. Yüksek voltaj iletkeni yalıtkan bir tabaka ile kaplanmış, topraklı bir metalik kılıf içinde olmalıdır. Çoğu durumda gerilim kaynağı, boya besleme ve hava besleme hatları tek bir muhafaza içinde bulunur. Bazı gerilim kaynakları hem negatif, hem de pozitif çıktı verecek şekilde tasarlanmışlardır. Bütün gerilim kaynakları yüksek voltaj arızalarına karşı bir aşırı akım sigortasına sahip olmalıdır. Sistemde bir kısa devre olduğunda, gerilim kaynağı hemen devre dışı olmalı ve görsel veya işitsel bir alarm çalışarak, problemin varlığını bildirmelidir.

3.3.3 Toz boya beslemesi

Toz boyanın besleme kazanından püskürtme tabancasına beslenmesi için, üç yöntem mevcut olup, bunların üçü de taşıma ortamı olarak havadan yararlanır. Burada dikkat edilmesi gereken temel prensip, toz boyanın düzenli ve dengeli beslenmesi, beslemede dalgalanma veya atma olmamalıdır. Toz boya ve hava debisinin ayrı ayrı kontrol edilebilmesi, doğru oranın ayarlanabilmesini mümkün kılar. Toz boya ve hava çıkış debisi öyle ayarlanmalıdır ki, tabanca ağzından bir miktar mesafede bile hava akımı olmalıdır.

Çoğu boya kazanı huni şeklinde tabanı ile birbirine benzer yapıdadır. Toz boya çıkış deliği çapı tozun tabancaya taşınmasında kullanılan yöntemle göre değişir. Sonsuz vida besleme sisteminde, toz boya kazandan boyayı tabancaya kadar götürecekt hava akımının içine bir vida

ile enjekte edilir. Bu yöntemde, hava akımına verilen toz miktarı hassas, sabit ve tekrarlanabilir şekilde ayarlanabilir.

Diğer besleme yöntemlerinde sistem bir süre duruştan sonra çalıştırıldığında ilk anda görülen puflama, sonsuz vida besleme sisteminde görülmez. Diğer yöntemlerde olduğu gibi, venturi enjektör ancak tetiğe basıldığında devreye girer. Fazladan bir hava çıkışı kazandaki



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİşTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIğI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



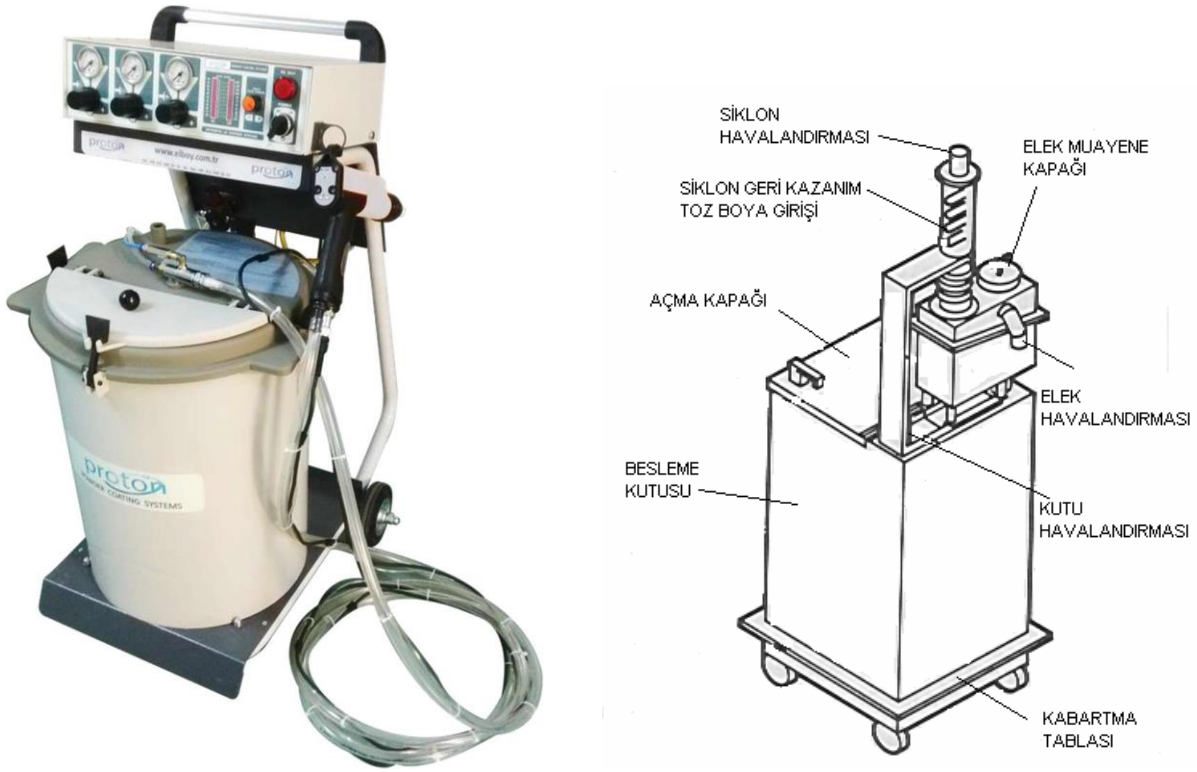
T.C. ÇALIşMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

boyayı kabartarak toz boyanın kenarlarda yığılma eğilimini ortadan kaldırır, enjektörün boyasız kalmamasına yardımcı olur. Bunun alternatifi, döner bir karıştırıcı kullanmaktır.

Üçüncü yöntemde, düz tabanlı bir kazan içindeki toz boya hava ile kabartılarak, değişken şoklu bir enjektörün yarattığı vakum ile kazandan çekilir. Toz boya besleme hattı bağlantılarının kolayca sökülüp takılabilir olması, temizlik ve renk değişimini hızlandıracağından tercih edilen bir durumdur.



Şekil 3.3 Toz Boya Besleme Ünitesi

3.3.4 Tabanca

Tabanca üreticileri manuel ve otomatik çok çeşitli tabancalar sunmaktadırlar. Tabanca içindeki toz boya geçidi olabildiğince düz ve pürüzsüz olmalıdır. Bu geçitte bulunabilecek bükümler ve pürüzler toz boya birikimine, bloklanmasına, ve sonuçta, toz boya çıkışında 'öksürme' veya 'kesik atma'lara neden olur. Toz boya püskürtme huzmesi değişik deflektör kullanılarak, geniş bir disk, koni veya çubuk şeklinde olacak şekilde ayarlanabilir. Boya huzmesinin çapı ve derinliği boyanacak parçaya göre ayarlanmalıdır. İbükükey veya



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

dıřbúkey, konik şekilli, tek veya çift yarıklı birçok deflektör çeşidi mevcuttur. Deflektör yüklü toz boya taneciklerini parçaya yönlendirmek üzere, çatal veya fırça şeklinde, hava kanallarına sahip olabilir.

Tabancaların çoğu yüksek bir boya çıkışı sağlayabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Ancak boya çıkışı arttıkça, parça üzerine tutunma verimi de düşer ve kabine saçılan boya oranı artar.

Toz boya tabancaları kullanıldıkları uygulamaya uygun boya çıkışı sağlayacak şekilde ayarlanabilirler.

Otomatik bir tesiste tabancalar şu şekilde monte edilmiş olabilir:

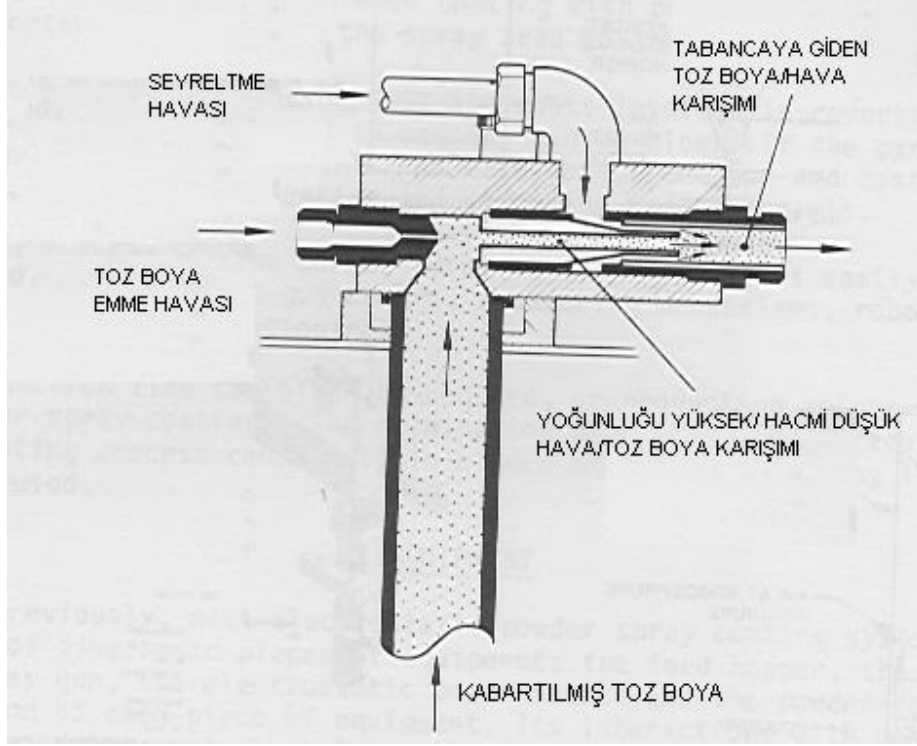
- Sabit pozisyonlu, fakat tek tek yönü ayarlanabilir
- Kabinin bir ya da her iki yanında bulunan ve herbiri bir veya birkaç tabancaya sahip, iner-çıkıkar robot üzerinde
- Bir ucu sabit, ancak sürekli bir yay çizecek şekilde 'menteşeli' Manuel uygulama şu durumlarda tavsiye edilir:
- Parçalar karmaşık şekilli
- Parçalarda yarı kapalı bölgeler var
- Parçalarda olumsuz bir genişlik/derinlik oranı var
- Boyanacak yüzey alanı tek bir operatörün başa çıkabileceği kadar küçük

Otomatik uygulamanın önerildiği durumlar:

- Parçalar bir ölçüde basit şekilli ve düz
- Boyanması gereken yüzey alanları çok büyük



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.4 Toz boya Tabancası

3.3.4.1 Tribostatik tabancalar

Toz boya bir yüzeye temas ettirildiğinde ve bu yüzeye sürtünerek hareket ettirildiğinde, toz boya tanecikleri bir elektrik yükü kazanır. Bu sürtünme ile yüklenme, diğer bir çok parametrenin yanısıra toz boyanın ve yüzeyin kimyasal ve fiziksel yapısına, bağıl neme ve tanecik hızına bağlıdır. Toz boya kabartma tankından değişken emmeli bir hava enjektörü ile çekilerek tabancaya beslenir. Enjektör emişi beslenen boya miktarını belirler. Enjektör hava basıncı ise, çıkan toz boyanın elektrik yüküyle doğru orantılı olan, toz boya hızını belirler. Hiç bir elektriksel kontrol gerektirmediğinden, operatör için üç değişken vardır:



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

- Kabartma tankı basıncı
- Enjektör hava basıncı
- Enjektör emme kontrolü

Avantajları

- Düşük yatırım maliyeti – yüksek gerilim kaynağı gerektirmez
- Girintilere nüfuz özelliği çok iyi
- Kıvılcım yaratmaz
- Ulaşılabilen en yüksek film kalınlığı klasik sistemlere oranla daha yüksektir.

Dezavantajları

- Toz boyalar değişik reçine, pigment ve yoğunluklara sahip olduğundan, yüklenebilme özelliği çok değişim gösterir.
- Bağıl nemin artmasıyla birlikte yüklenme verimi düşer.
- Çalışma süresi uzadıkça yüklenme verimi düşer.
- Tabanca başına toz boya çıkışı diğer sistemlere göre düşüktür, bu nedenle hat hızları daha düşük olabilir.



İNSAN KAYNAKLARININ
GELİŞTİRİLMESİ
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



Keşan Ticaret ve Sanayi Odası



T.C. ÇALIŞMA VE
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.5 Toz boya Tabancası



Şekil 3.6 Manuel Toz Boya Uygulaması



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



Şekil 3.7 Otomatik Toz Boya Uygulaması

3.4 Elektrostatik Toz Boya Püskürtme Verimi

Toz boya püskürtme uygulamasında taneciklerin yüklenmesi korona yükleme veya iyon bombardımanı ile gerçekleşir. Bu yükleme elektrodun bulunduğu, toz boyanın çıkış noktası olan ağızlıkta veya civarında oluşur. Elektroda yüksek gerilim verildiğinde, onda etrafında serbest elektronların dolaştığı güçlü bir elektrik kutubu oluşur. Hava içindeki gaz molekülleri bu serbest elektronların bombardımanına uğrayarak iletken hale gelir. Elektrodun elektrik yükünden ters yükle yüklenen iyonlar ve yüklü gaz molekülleri elektroda çekilirler. Aynı yükle yüklenenler ise elektrod çevresindeki alana itilir. Bu alandan geçmekte olan toz boya anecikleri, yüklü gaz molekülleri veya serbest iyonlar ile çarpışarak yüklenirler. Bir kere yük kazanınca, tutunmak üzere topraklanmış parçaya doğru elektrik alanı boyunca hareket ederler.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Her toz boya tabancasının performansında Şu durumlarda deđiŐkenlikler gözlenir:

- Voltaj yukarı doğru ya da aşağı doğru ayarlandığında
- Toz boya beslemesi veya hava basıncı ayarı deđiŐtirildiđinde
- Tabanca-parça mesafesi deđiŐtirildiđinde
- Toz boya tanecik boyutu deđiŐtiđinde

Değişik yapıdaki tabancalar gibi, değişik üreticilerin ürettiği aynı tabanca bile, aynı ayarlara ayarlandığında farklı davranacaktır.

Toz boyanın yoğunluğu, hacmi, elektrik direnci, taneciklerin Şekli ve tanecik b y kl ğu dağılımının da toz boya aktarma verimini önemli ölçüde etkileyen faktörler olduğu anlaŐılmıŐtır. Toz boya taneciği iyon bulutu içinden geerirken, taŐıyabileceđi azami yükü kazanmalıdır. Bunu baŐarmak için taneciğin bu bölgede geçirdiği s renin de azami tutulması önerilir. Elektrik direnci yüksek toz boya tanecikleri düşük olanlara göre daha iyidir. Çünkü düşük dirençli tanecikler parçaya ulaŐtıklarında elektrik yükünü kolayca bırakırlar, parçadan d Őerler ve dolayısıyla film kalınlığının homojenliğini olumsuz etkilerler.

Bir toz boyanın 'Aktarma Verimi', uygulama işleminde parçaya tutunan toz boya ağırlığının, tabancadan püskürtülen toplam boya ağırlığına oranı olarak ifade edilir.

$$\text{Aktarma Verimi} = \frac{\text{Parça  zerindeki boya}}{\text{Püskürtülen toplam boya}}$$

Herhangi bir toz boya uygulama işleminin verimi sadece toz boyanın ve püskürtme ekipmanının özelliklerine değil, aynı zamanda boyanacak parçanın boyutlarına, Şekline ve toz bulutu içinde kaldığı s reye bağlıdır. Örneğin, transfer verimi düz panel parçalarda, bükülmüş çubuk veya boru parçalara nazaran daha yüksektir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Elektrostatik püskürtme uygulandığında, yüklü tanecikler topraklanmış parçaya doğru giderek ona tutunurlar. Dolayısıyla parça yüzeyinde elektrik yüklü bir toz tabakası birikir. Bu tabaka yeni gelen tanecikleri iter, ve kalınlaştıkça Transfer Verimi düşer. Film bir kalınlığa ulaştıktan sonra ise artık yeni boya tutunmaz olur ve film kalınlığı sabit kalır.

Bu açıklanan etki sonradan gelen taneciklerin geri itilmesinde temel neden kabul edilmekle birlikte, toz tabakasından tabancaya doğru bir iyon akımı oluştuduğu ve bir tersine elektrik boşalımı olduğu (geri iyonlaşma) ileri sürülmektedir. Bu tersine boşalımın toz boya taneciklerinin geri itilmesi ve geri püskürmesi ile beraber görüldüğu ispatlanmıştır. Bu elektriksel boşalım yerel olduğunda 'iğne delikleri' ve 'kraterlenme' görülebilir.

Uygulama kabinleri toz boya uygulamasında verimli ve ekonomik bir işlem sağlanabilmesinde temel bir role sahiptir. Temel prensip uygulama kabininin toz boyanın dışarı kaçmasını önlemek amacıyla; olabildiğince kapalı, tabanca ve parça giriş açıklıklarının olabildiğince küçük olmasıdır.

Bu prensipler otomatik tesislerde etkili olarak uygulanabilir, ancak manuel sistemlerin yan duvarında operatörün boya atmasına izin verecek nispeten geniş bir açıklık bulunmalıdır.

Uygulama kabininin iç yüzeyi olabildiğince düzgün ve pürüzsüz olmalı, tozun birikebileceği çıkıntılar ve köşeler bulunmamalıdır.

Temizlik, kabin hava çekiş çalışırken, lastik bir cam sileceği ile kolayca yapılabilir. Konveyör sistemi parçaların asılı olduğu askılar kabin üstünde bulunan bir yarıktan geçecek şekilde, kabin dışında hareket etmelidir. Bu düzenleme sadece toz boya kaçağını önlemekle kalmaz, daha önemlisi, konveyör zincirinin toz kaplanmasını önler. Birkaç kat pişmiş boya ile kaplanmış askıları temizlemek çok zordur. Kullanıldıktan sonra atılabilir askılar kullanmak daha ucuz ve tercih edilir olabilir.

Toz toplama havası kabinin dibinden çekilmelidir. Kabinin tabanı toz birikimini önleyecek şekilde, dipteki hava emme ağzına doğru meyilli olmalıdır. Gerektiğinde manuel bir tabanca



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

ile rütuş yapabilmek veya az sayıdaki parçayı deneme amacıyla boyayabilmek için yan duvarda geniş bir kapak ya da sökülebilir bir panel bulunması tercih edilir. Uygulama kabini, etrafa saçılan boyanın besleme sistemine geri döndürülmek üzere verimli olarak toplanmasını ve taşınmasını sağlamalıdır. Bu demektir ki, verimli bir çalışma için, kabin içinde dikkatle kontrol edilen bir hava akımı ön şarttır.

İdeal olarak, boya püskürtme alanında hava durgun olmalı, bu sayede tabancadan çıkış hızı ve elektrostatik kuvvetler toz boya taneciklerini parçaya taşıyan, tam bir kontrol sağlayabilmelidirler. Ancak uygulama yapılan alan içinde dikkatle kontrol edilen bir hava akımı da bulunmalıdır. Bu kontrollü hava akımı kabindeki açıklıklardan parçaya, oradan da kabin tabanındaki hava çıkışına yönelmelidir. Bu hava akımı çeşitli amaçlara hizmet eder:

Kabin içindeki toz boya konsantrasyonu patlama sınırının (1 m³ hava içinde 10 gr. toz) oldukça altında tutar. Kabinde biriken toz miktarını azaltır ve toz boya geri kazanım sisteminin ilk safhasıdır. Bir sınırlama yaratarak, yangın durumunda sadece püskürtme alanının zarar görmesini sağlar. Kabin içinde negatif basınç oluşturarak, saçılan boyanın dış atmosfere sızmasını önler. Uygulama kabini civarının temiz kalmasını sağlar. Kabinden toz boya çıkışını engellediğinden, manuel uygulamalarda operatörlerin çalışabileceği temiz bir ortam sağlar.

Temel amaç bunlardan birincisidir. Bunu sağlamak için gerekli hava hızı, tabancaların hep beraber çalıştıklarında püskürttükleri toz boya miktarı hesaplanarak ve ortalama olarak parça üzerinde biriken toza göre düzeltme yapılarak belirlenmelidir. Geri kalan amaçlara ulaşabilmek için (2-6), kabin çıkışında 0.4-0.5 m/sn.lik doğrusal bir hava hızı yeterlidir.

Birinci amacı gerçekleştirebilmek daha yüksek bir hava hızı gerektirdiğinde, bu durum kabin tavanına filtre panelleri yerleştirilerek telafi edilebilir.

Uygulama kabinleri metal ya da plastikten yapılabilir. Malzeme seçimi işçilik maliyetleri, kabinde beklenen ömür, inşa kolaylığı, ekonomi ve yasal düzenlemeler gibi yerel koşullara bağlıdır. Avrupa'da ve Türkiye'de genellikle metal kabinler kullanılmaktadır. Bu kabinler uygun boy ve şekilde kolayca imal edilebildiği gibi, uzun bir ömür ve yüksek bir yangın koruması sağlar.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Ancak metal kabinlerin duvarları ve tabanı statik elektrik yüklü toz boya taneciklerini çektiğinden, renk değişimi sırasında yapılması gereken temizlik zaman alır. Metal kabinler toz boya tabancalarının verimini düşürdüğü gibi, metalin kütlesi ve yakınlığı nedeni ile, kaza sonucu elektrik arkı oluşma olasılığını da artırır.

Fiberglastan, akrilikten, polietilen veya bütirat levhalardan yapılan plastik kabinler toz boyayı metal yüzey kadar kolay tutmadığından, daha kolay temizlenebilen bir yüzeye sahiptir. Tabancanın Aktarma Verimi daha yüksektir ve kaza sonucu elektrik arkı oluşma ihtimali daha azdır. Diğer yandan üretilmesi daha zordur ve pahalıdır.

Uygulama kabininin ana görevi geri kazanım sisteminin ilk adımıını oluşturmak; tozu toplamaktır. Bu amaçla gerekli hava akımı genellikle toz toplayıcıya bağlı bir fan ile sağlanır. Uygulama kabini boyutları ve tasarımı esas olarak boyanacak parçaların boyut ve şekli, konveyör sisteminin hızı ile belirlenir. Açıktır ki, otomatik tesislerde tabanca sayısını, düzenini, hareket yörüngesi ve hızını, toz boya besleme oranını, püskürtme şeklini belirlemek amacıyla tasarımdan önce deneme çalışması yapılmalıdır.

Uygulama kabini tasarımı belirlendikten sonra, toz toplayıcı, hava emme fanı kapasitesi, hava boru hattı çapı vs. hesaplanabilir. Toz toplayıcı uygulama kabinine olabildiğince yakın olmalıdır. Bu yakınlık, gerekli fan kapasitesi ihtiyacını ve hava tesisatı boyunu en aza indirir.

Genellikle 20 m/sn.lik bir hava hızı saçılan boyayı toz toplamaya taşımaya yeterlidir. Kabin içindeki hava akımı çeşitli şekillerde olabilir. Aşağı çekişli kabinlerde hava kabindeki açıklıklardan girerek, bütün kabin tabanını oluşturan bir huniden çekilir. Bu huni taban toz boyanın birikebileceği köşe ve çıkıntılara sahip olmamalıdır.

Arkadan çekişli kabinlerde, hava kabinin gerisinde bulunan bir grup dağıtma paneline doğru çekilir. Hava akımı toz boyanın parçanın etrafından dolaşmasını sağlar. Ancak saçılan toz boya zeminde birikme eğilimi gösterir. Bazı kabinler hem aşağıdan hem de arkadan ekişlidir.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Zemini hareketli uygulama kabinlerinde tabancalar ve yükleme sistemi normaldir, ancak kabinin tabanı hareket eden bir konveyör bandından oluşur. Tozlu hava filtre malzemesinden yapılmış bu banda doğru çekilir. Bantın üzerinde biriken toz boya kabinin bir ucunda vakumla alınır ve toz boya bir siklon yardımıyla havadan ayrılır. Bu sistemin avantajı; daha az hava ile çalışması, dolayısıyla geri kazanım biriminin daha küçük olmasıdır.

Toz boya Geri Kazanım Sistemi'nin görevi, kabin içine saçılan tozu toplamak ve yeniden kullanım için uygun hale getirmek, aynı zamanda ortama bırakılan hava içindeki tozu almaktır.

Geri kazanım sistemleri iki tip toz toplayıcıya dayanır:

- Siklon toplayıcılar
- Filtre toplayıcılar

Her iki sistemi de kullanan bir çok toz toplayıcı tasarımı da mevcuttur.

3.5 Toz Boya Uygulamasında Karşılaşılan Problemler Ve Çözümleri

Problem	Olası Neden	Çözüm
Yetersiz yükleme – yetersiz film kalınlığı ve örtücülük	Yüksek gerilim kaynağı elektroda yeterli gitmiyor	a) Gerilim kaynağı açık mı? Gerilim kaynağından elektroda kadar, kablo, dirençler ve sigortalar dahil, bütün bağlantıların temasını kontrol et. b) Elektrod yoksa veya kırıkta değiştir. c) Elektrod üzerinde toz boya birikmiş ise temizle.
	Topraklama yetersiz	Topraklama temasını konveyör rayından, parçaya kadar kontrol et. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
	Toz boya beslemesi çok yüksek	Toz boya beslemesini, yeterli yükleme sağlanana kadar kıs.
	Kabin içindeki hava nemli	Nemli havadaki rutubet, toz boya taneciklerindeki yükü dağıtma eğilimindedir. Püskürtme alanının nemini kontrol altına al.
	Toz boya çok ince	a) Yeni boyaya karıştırılan geri dönen boya miktarını sabit tut. b) Toz boyanın tanecik dağılımını kontrol et. Üreticisi ile bağlantı kur.
	Toz boya tipi/formülasyonu	Bazı toz boyalar formülasyonları diğerlerine göre daha iyi yüklenir. Diğer bazı boyalar ise ince film uygulamaları için geliştirilmişlerdir. Üretici ile bağlantı kur.
	Taşıyıcı hava basıncı çok yüksek. Toz boyayı parçadan püskürtüyor.	Hava basıncı ayarını düşürün, veya tabancayı parçadan uzaklaştırın.



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Girintilere yetersiz nüfuz – Toz boya Faraday kafesi alanlara (delikler, yivler, kanallar, iç köşeler ve girintiler) girmiyor	Toz boya beslemesi çok düşük	Toz boya besleme ayarını yükselt.
	Yetersiz topraklama	Topraklama temasını konveyör rayından, parçaya kadar kontrol et. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
	Gerilim çok yüksek	Gerilim ayarını düşürerek tabancaya daha yakın köşelerin toz boyayı itmesini engelle.
	Taşıyıcı hava basıncı çok yüksek	Hava basıncını azaltarak, girintilerde boyanın süpürülmesini önle.
	Hatalı püskürtme huzmesi	a) Püskürtme huzmesini ayarla. b) Alternatif ağızlıkları dene.
	Hatalı püskürtme yön ve açısı	Püskürtme yönünü, huzme girintilere tam karşıdan ulaşacak şekilde ayarla.
Geri iyonlaşma – toz boya tanecikleri parçadan geri itiliyor	Gerilim çok yüksek	Voltajı düşür.
	Tabanca parçaya çok yakın	Tabancayı parçadan uzaklaştır.
	Yetersiz topraklama	Topraklama temasını konveyör rayından, parçaya kadar kontrol et. Bütün temas yüzeyleri toz boya, yağ ve diğer yalıtkan malzemelerden arındırılmış olmalıdır.
	Çok kalın toz boya tabakası	Toz boya beslemesini, yeterli yükleme sağlanana kadar kıs.
Toz boya çıkışı değişken ve atmalı – düzensiz toz boya beslemesi	Yetersiz hava basıncı veya miktarı	Hava kaynağını kontrol et. Hava kaynağından tabancaya kadar hava hortumlarının yeterli çapta olup olmadığını değerlendir.
	Hortumlar ezilmiş, bükülmüş veya çok uzun	Toz boya besleme hortumunun durumunu ve güzergahını kontrol et.
	Hortum, enjektörler veya emme tüpleri	a) Hava pompasını, vanalarını ve tabancaları temizle. b) Hava kaynağının nemini kontrol et. c) Toz boya çıkış ayarını kontrol et. d) Uygulama alanının bağıl nemini ve sıcaklığını kontrol et. e) Boya besleme sisteminde hava kaçağı ara.
	Yanlış toz boya çıkışı	a) Toz boya çıkış ayarlarını kontrol et. b) Düşük toz boya çıkışı için, boya besleme havası ayarlarını değiştir. c) Hortumları, çapı daha küçük bir hortumla değiştir.
	Boya besleme tankında, kabartma yetersiz	a) Kabartma havası ayarlarını kontrol et. b) Kabartma zarında tıkanma, yırtık vs. ara.
	Tankta boya yetersiz	Yeni boya ekle.

Tablo 3.1 Toz Boya Uygulamasında Karşılaşılan Problemler Ve Çözümleri



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Problem	Olası Neden	Çözüm
Kazandan dışarı boya çıkıyor	Kabartma havası çok fazla	Kabartma havasını ayarla
	Tankın havalandırması yetersiz	Tank hava vanasında tıkanma ara.
Kazandaki toz boya yüzeyinden hava çıkışı yok	Hava basıncı yetersiz	Kabartma havası ayarını kontrol et. Hava basıncını artır.
	Zar tıkanmış	Zarda kirlı ve yağlı hava nedeniyle tıkanmış delikleri temizle.
	Toz boya zar üzerinde bloklanmış	Zar üzerindeki katı toz boyayı el ile temizle.
Hatalı kabartma – Tanktaki boya yüzeyinde büyük hava kuyuları oluşuyor	Tankta çok az boya var.	Tank yeterince doluncaya kadar toz boya ekle.
	Çökmüş veya nemli toz boya	a) Boyayı el ile karıştır, basınçlı hava ile iyice kabart. b) Basınçlı havanın ve kabin havasının nem ve yağını kontrol et. c) Toz boyayı elemek gerekebilir.
	Zar tıkanmış veya yırtılmış	a) Zarda kirlı ve yağlı hava nedeniyle tıkanmış delikleri temizle. b) Zar çerçevesinin yerine oturduğunu, kenarlardan kaçak olmadığını kontrol et.
	Toz boya tanecik dağılımı	a) Doğru “geri dönen boya / yeni boya” oranını sağla. b) Tanktaki toz boyanın tanecik dağılımını kontrol et.
Hortumlar, tabanca, enjektörler tıkanıyor	Toz boyanın akışkanlığı düşük	Toz boya ikmalcisi ile görüşün.
	Normal birikim	Parçaları temizle veya değiştir.
	Hava basıncı çok yüksek	a) Hortum boylarını kısalt. b) Hava besleme ayarlarını düşür.
	Hava kaynağında nem var	Basınçlı havanın temiz, kuru ve yağsız olmasını kontrol et.
	Toz boya tipi ve formülasyonu	Bazı toz boya tipleri birikmeye daha yatkındır. İkmalciniz ile görüşünüz.
	Hortum malzemesi	Hortumları kontrol et. Ekipman ikmalciniz ile görüşün.
	Aşınmış enjektör ve diğer parçalar	Bütün aşınmış parçaları değiştir.
	Toz boya tanecik dağılımı	a) Doğru “geri dönen boya / yeni boya” oranını sağla. b) Tanktaki toz boyanın tanecik dağılımını kontrol et.
	Kıvrılmış veya ezik hortumlar	a) Hortumlarda keskin kıvrımlara ve eziklere izin vermeyin. Hortumları dış etkenlere ve aşınmaya karşı koruyun. b) Deforme olmuşsa değiştirin.
Hortumlar çok uzun veya çok kıvrımlı	Hortum uzunluğunu azalt, güzergahını dikkatle seç.	
Yetersiz boya çıkışı	Toz boya kabarmıyor	Yukarıdaki “Toz Boya Yüzeyinden Hava Çıkışı Yok” bölümüne bakınız.
	Toz boya besleme sisteminde tıkanma	a) Enjektörleri, emme borularını, hortumları ve tabancaları kontrol et. b) Hava kaynağını kontrol et. Pompa ve tabanca ayarlarını düzenle. c) Beslenen toz boyada kirlenme olmamasını kontrol et.
	Hortumlar çok uzun veya çok kıvrımlı	Hortum uzunluğunu azalt, güzergahını dikkatle seç.
	Hava basıncı düşük	Hava kaynağını kontrol et. Pompa ve tabanca hava ayarlarını düzenle.

Tablo 3.2 Toz Boya Besleme Problemleri



Bu proje, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

Problem	Olası Neden	Çözüm
Parça yüzeyi kirlenmesi	Kabin içine konveyör veya askılardan kir ve toz dökülüyor	Konveyörü düzenli aralıklarla temizleyin. Konveyör rulmanlarını doğru yağ ile ve yeterli sıklıkta yağlayın, rulmanların bloklanmasına izin vermeyin. Askıları zamanında temizleyin.
	Kabine giren parçalar kirlidir	Yağ alma ve yüzey işlem prosesini kontrol et. Parçanın kabine girmeden yeterince kurutulmuş olduğunu kontrol et.
	Kabine giren tesis ortamı havası kirlidir	Toz boya uygulama ortamını bölmelerle tesisin geri kalanından ayırın. Tercihan toz toplamalı ve nemi kontrollü bir bölme yerleştirin. Uygulama odasına pozitif basınç uygulayın. Cıvarda bulunan diğer prosesleri inceleyerek, bir kirlenme yaratmadıklarından emin olun.
	Basınçlı hava kirlidir	Hava kompresörünü ve hava besleme sistemini kontrol edin.
	Elek teli yırtık, hasarlı.	Elek telini değiştir. Yerine rahat oturup oturmadığını kontrol et.
Elek çalışmıyor.	Eleği veya elek kontrol devrelerini onar veya değiştir.	
Yetersiz toz kontrolü, Kabinden hava çekışı zayıf	Filtre tıkanmış	a) Filtreyi temizle veya değiştir. b) Ortam nemini kontrol et. c) Filtrenin hava patlatmasının çalışırlığını kontrol et. d) Besleme havasında nem ve yağ olmamasını kontrol et.
	Kabin temizliği için basınçlı hava kullanılması	Doğru temizlik yöntemi için "5. Renk Değişimi" bölümüne bakınız.
	Yanlış toz boya tabancası yeri/yönü	Tabancaları gerektiği şekilde ayarla. Kabindeki açıklıklardan uzaklaştır, ve uzağa yönlendir.
	Ortamdaki hava ceryanı kabinden toz çıkarıyor	Boya kabininin bulunduğu ortamdaki hava ceryanlarını haritalaştır. Toz boyanın sürüklenmesini azaltmak için, ceryanları en aza indir.
	Hava çekışı zayıf	Hava çekiş vantilatörünün doğru çalışırlığını kontrol et.
Geri dönen boya, başka boylarla kirleniyor	Kabin, geri kazanım sistemi temizliği yetersiz	Ekipmanı ikmalcisinin belirttiği gibi temizleyin.
Kabin içi türbülans	Kabin içinde hava hızı yüksek	Ekipman ikmalcisi ile görüşün.
Geri kazanım oranı düşük	Yetersiz hava hızı	Yukarıdaki "Yetersiz toz kontrolü ..." bölümüne bakınız.
	Sistem yalıtımı kötü	Hava kaçaklarını tespit et ve ortadan kaldır.
	Toz boya içindeki ince tane oranı yüksek	Ekipman ve toz boya ikmalcilerinizle bağlantı kur.

Tablo 3.3 Kabin ve Geri Kazanım Sistemi Problemleri - Genel

Kaynaklar :

- <https://pulver.com.tr/toz-boya/>
- <https://www.ekegrup.com.tr/elektrostatik-toz-boya,2,11105#.Y9bkTHZBxPY>
- <https://www.slsendustriyel.com/statik-toz-boya/>
- <http://www.undermetalboya.com/statiktoboya.html>
- http://www.boymak.com.tr/tr/know_how/img/elektrostatik_toz_boya_rehberi.pdf
- <https://docplayer.biz.tr/1904177-Elektrostatik-toz-boyama-nedir.html>