

PLAZMA İLE KESME METODUNA GENEL BİR BAKIŞ

Ali Erkin KUTLU, Michele MONNO,
Riccardo BINI *

1950'lerden bu yana plazma iletken malzemelerin kesiminde kullanılmaktadır. Bu makalede plazma ile kesme işlemi hakkında temel bir bilgi verilmesi hedeflenmektedir. Plazmanın ne olduğu hakkında kısa bir giriş yapıldıktan sonra kesim işleminin tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve şu anki teknoloji anlatılacaktır. Çalışma prensibi yardımcı sistemler oluşturan birimler, kullanılan gazlar, önemli parametreler, kesilebilen malzemeler ve kalite tanımlarını içine alacak şekilde anlatılmıştır.

Anahtar sözcükler : Plazma, plazma ile kesim

Plasma is being used to cut electrically conductive materials with an history dating back to 1950's. The present paper will provide a fundamental information about plasma arc cutting process. A brief information on plasma is also presented. Emphasis is placed on the state of the art and principles of functioning. The principles of functioning is presented by describing key elements, materials that can be cut, plasma gases, important parameters and quality definitions of the cut surfaces.

Keywords : Plasma, plasma arc cutting

PLAZMA NEDİR ?

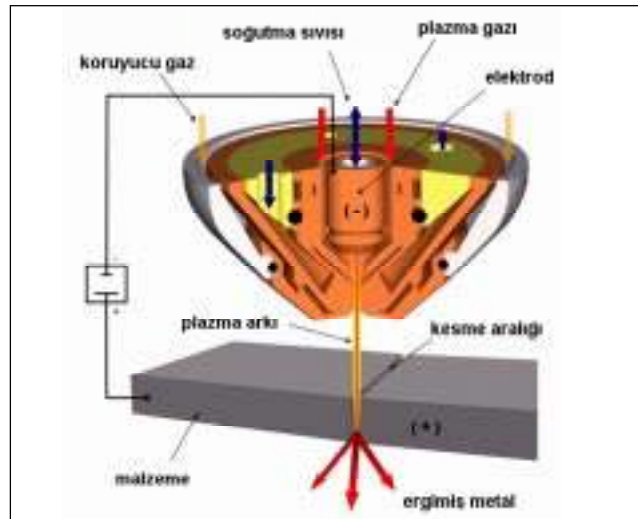
Plazma maddenin dördüncü halidir. Madde gaz halinde iken doğru koşullar altında maddeye enerji verilmesinin devam etmesi maddenin plazma haline geçişine neden olacaktır. Enerji kaynağı elektrik olabileceği gibi, ısı veya ışın kökenli de olabilir. Plazmayı maddenin gaz halinden ayıran en önemli farkları, elektriği iletmesi, çok yüksek sıcaklıkta olması ve ışık yaymasıdır. Maddenin plazma hali, serbest halde gezinen elektronlardan ve elektronlarını kaybetmiş atomlardan (iyonlardan) oluşur, eşit miktarda pozitif ve negatif yük içerir. Elektriği ileten tüm metallere uygulanan prensiplerin çoğu plazmalar içinde geçerlidir ve plazma manyetik ve elektrik alanlardan etkilenir.

Günümüzde plazmalar değişik teknolojiler geliştirilerek imalat, tıpta, ışıklandırmada, televizyonlarda, enerji üretmekte (nükleer) ve daha birçok teknolojiye kullanılmaktadır [1,2,3,4]. Plazmalar sıcaklıklarına göre ve hacimlerindeki yüklü parçacık sayısına göre sınıflandırılırlar. Florasan lambalarındaki ışıltama, kaynak sırasında görülen mavi ışık, yıldırım ve şimşek birer plazmadır. Güneş içerisinde farklı türde plazmalar vardır. Kutuplarda görülen auroralar da bir çeşit plazmadır.

PLAZMA İLE KESME TEKNOLOJİSİ

Plazma ile Kesme Teknolojisi

Plazma ile kesme metodu (bkz. Şekil 1), iletken metallerin kesiminde

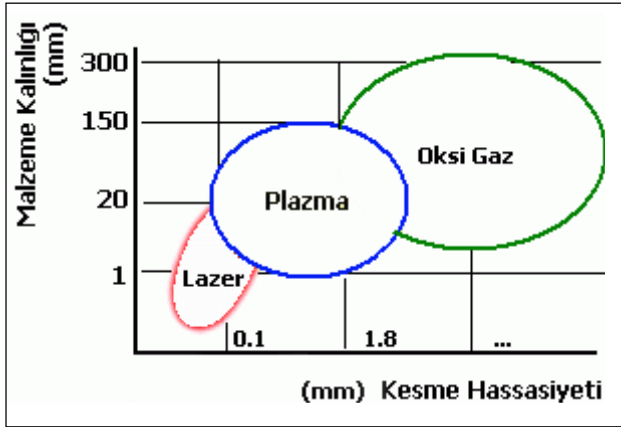


Şekil 1. Plazma ile Kesme

* Politeknik Üniversitesi, Milano

kullanılan termal bir kesme metodudur. Kesme, basitçe, torç içinde akan gaza enerji verilerek kısmen iyonlaştırılması (plazma haline dönüştürülmesi), oluşturulan yüksek sıcaklıktaki plazmanın da gaz akışı etkisi ile nozul ağzından pozitif kutup olan malzemeye yönelmesi, malzemeyi ergitmesi ve eriyen malzemenin akan gazın jet etkisiyle itilerek uzaklaştırılması ile gerçekleştirilir.

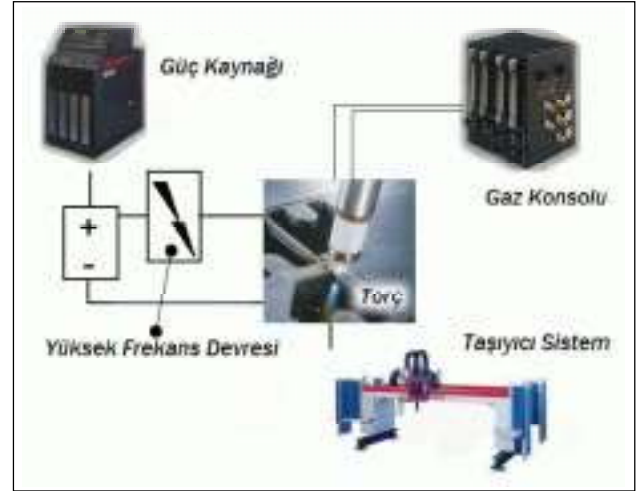
Geleneksel plazma sistemleri 20-150 mm kalınlık aralığında olan malzemelerin kesiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüz hassas plazma sistemleri ise lazer kesme sistemlerinin çalıştığı 1-12 mm malzeme kalınlığı arasında ve lazer sistemlerine yakın hassasiyette kesme yapabilmek yönünde geliştirilmektedirler. Şekil 2'de günümüz termal kesme teknolojileri kesme hassasiyeti ve malzeme kalınlığına göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Termal Kesme Metotları

Plazma ile kesim düşük işletme ve yatırım maliyeti, yüksek kesme hızı, üretim hattı uygulamasına ve otomasyona uygunluğu, sürekli iyileştirilen kesme kalitesi ile sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Plazma ile kesme metodu vagon sanayi, gemi inşa sanayi, iş

makinaları sektörü, basınçlı kap sanayi gibi imalat sektörlerinde yoğunlukla kullanılmaktadır [5].

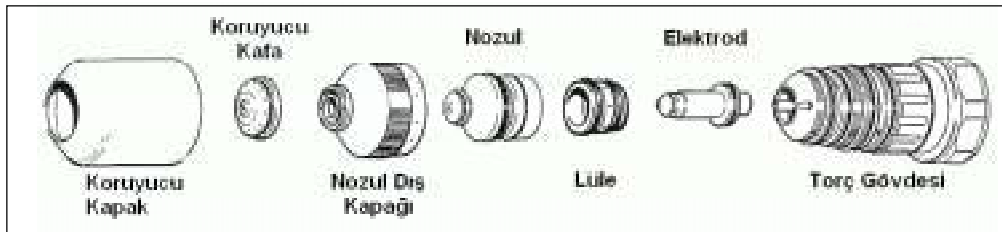


Şekil 3. Plazma ile Kesme Sistemi (Kaynak : Hypertherm & Promotec)

Plazma ile Kesme Sistemi

Genel olarak otomasyona yönelik bir plazma ile kesme sistemi şu alt sistemlerden oluşur (bkz. Şekil 3);

Güç kaynağı bir doğru akım kaynağıdır. Yüksek gerilimde, sabit doğru akım sağlar. Görevi iyonizasyon sonrası plazmanın devamlılığını sağlamak için gerekli enerjiyi sağlamaktır. *Yüksek frekans (HF) ateşleme devresi*, 2MHz de 5000 ile 10000 volt arası alternatif akım yaratan bir devredir [6]. *Taşıyıcı gazın iyonlaşması* (plazma oluşumu) için gerekli olan pilot arkı ateşler. *Gaz Konsolu*, taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gazın akış hızlarını, karışım oranlarını ayarlamak ve plazma gazlarını seçmek için kullanılır. Günümüz sistemleri elektronik kontrollüdür. *Torç*, içinde plazma gazı ve koruma gazının aktığı, nozul, elektrod, lüle, nozul dış kapağı, koruyucu kafa ve kapağını bir arada tutan parçadır (bkz. Şekil 1, 4). Plazmayı



Şekil 4. Torç Kafası Parçaları (Kaynak: Hypertherm)

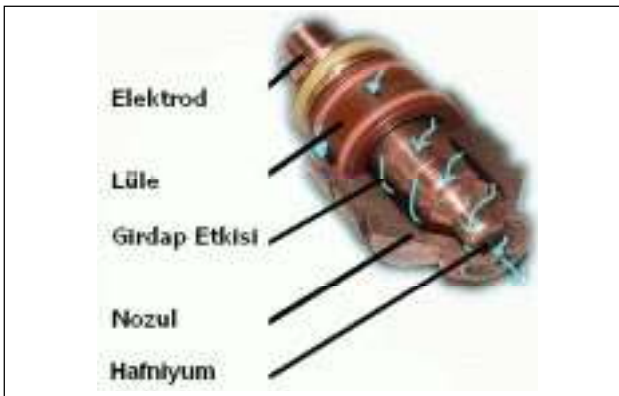
oluşturmak ve odaklamak için tasarlanmıştır. Koruyucu gaz ve soğutma sıvısı akışını da sağlar. Gövde içinde gazlar, elektrik bağlantısı ve soğutma sıvısı için özel tasarlanmış kanallar ve elektrik bağlantıları vardır.

Taşıyıcı Sistem ve Kontrol Sistemi, torç hareketini ve tüm sistemin kontrolünü sağlar (bkz. Şekil 3). Numerik kontrollü herhangi bir kartezyen X-Y tablası olabileceği gibi, bir robotta olabilir. Kontrol sistemi ise güç kaynağını, ateşlemeyi, gaz akışını ve torç hareketini ilgili parametreler aracılığı ile kontrol eder. *Soğutma Sistemi*, soğutucu sıvının sistem içerisinde dolaşımını sağlar. *Aspiratör Sistemi*, kesme sırasında oluşan gazları ve dumanı kesme bölgesinden uzaklaştırmak için kullanılır.

Torç Parçalarının İşlevleri

Plazma arkını oluşturmak ve malzemeye doğru odaklamak için tüm kesme torçlarında şu temel parçalar bulunur: elektrod, lüle, nozul ve koruyucu kap.

Elektrod, güç kaynağının negatif kutbudur. Bakırdan imal edilir. Elektrod ucunda ise arki yayan, ısıya dayanıklı ikincil bir malzeme vardır (bkz. Şekil 1, 4, 5). Bu uç için yüksek ergime noktalı hafniyum (hava ve oksijen plazma sistemlerinde) ve tungsten (azot ve argon-hidrojen plazma sistemlerinde) yaygın olarak kullanılır. Ateşleme sayısı ile ölçülen belli bir kullanım ömrü vardır. Aşınma ve bozulma elektrod ucunda görülür. Lüle, taşıyıcı gazı elektrod etrafında girdap etkisi vererek döndürerek iten yüzük şeklinde bir parçadır (bkz. Şekil 4,5).

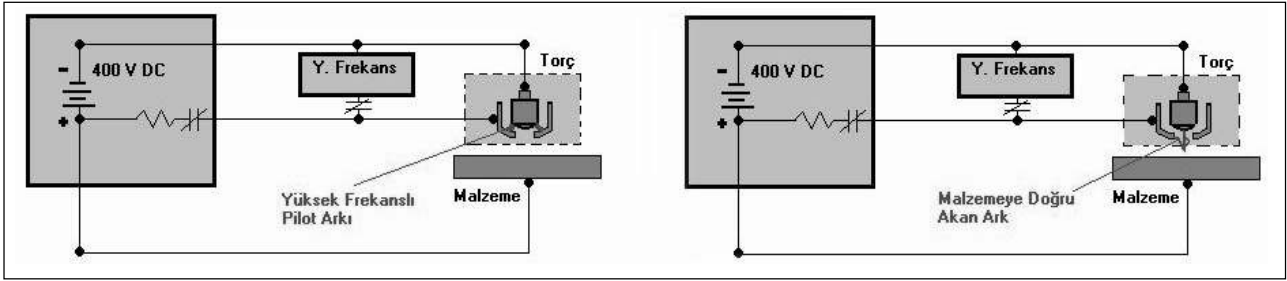


Şekil 5. Torç Parçaları ve Girdap Etkisi

Girdap etkisi arki silindirik şeklinde çevirerek arkın daha yoğun ve kararlı olmasına yardımcıdır. Günümüzde neredeyse hemen hemen tüm plazma ile kesme sistemi üreticileri girdap etkisinden yararlanmaktadır. Girdap etkisini torç eksenine dik delikler yerine (nozül içerisinde) belli bir açıda lüle üzerinde açılmış gaz giriş delikleri yaratır (Şekil 5 ve 9b). Bu akış etkisi ile nozul içerisine giren gaz plazma arkını kesim süresince elektrottan malzemeye kadar ufak bir gaz girdabı içinde tutar. *Nozul*, plazma arkının konsantre olmasını ve odaklanmasını sağlar (bkz. Şekil 1, 4, 5). Bu arkın enerji yoğunluğunu ve akış hızını artırır. Ateşleme esnasında güç kaynağının pozitif kutbudur. Nozul ağız açıklığı belli bir tip nozul için maksimum kesme akım şiddetini belirler. Aşınma parçasıdır. Nozul ömrüde ateşleme sayısı ile ifade edilir. *Koruyucu kap ve başlığı* nozulun dışında yer alır (bkz. Şekil 1,4). Kesilen malzeme ile nozulun arasında yalıtıcı olarak görev yapar.

Kesme Nasıl Başlar ?

Güç kaynağına gelen bir sinyal eşzamanlı olarak açık devre gerilimini açar ve torça gaz akışını başlatır. Sistemde nozul ve malzeme güç kaynağının pozitif kutbuna, elektrod ise negatif kutbuna bağlıdır. Taşıyıcı gaz nozul ve elektrod arasındaki boşluktan geçerek nozul ağzından dışarı akmaya başlar (bkz. Şekil 5). Bu esnada yüksek frekans ateşleme devresi, nozul ile elektrod arasında yüksek frekansta arklar oluşturur (bkz. Şekil 6). Taşıyıcı gaz bu arklardan gelen enerji ile kısmen iyonize olur. Yüksek akış hızındaki gaz, itme etkisi ile bu akım yolunun pozitif kutbunu dışarıya -nozuldaki malzemeye doğru yönelir (bkz. Şekil 1). Pozitif kutuptaki malzeme ile artık akım devresi tamamlanmıştır ve yüksek frekans devresi kapanır. Gazın sürekli olarak iyonizasyonu (arkın sürekliliği) doğru akım devresinden gelen enerji ile sağlanır. Bu şekilde elde edilen plazma metoduna "taşınan ark metodu" (transferred arc method) denir.



Şekil 6. Pilot Ark ve Plazma Oluşumu

Kesme işlemi plazmanın yüksek sıcaklığı nedeni ile malzemeyi lokal olarak ertmesi ve yüksek akış hızındaki taşıyıcı gazın ertmiş malzemeyi püskürterek malzemede bir delik açması ile başlar. Bu esnada torç taşıyıcı sistem ile -arkın sürekliliğini kaybetmeyecek bir hızda- hareket ettirilerek kesme işlemi gerçekleştirilir.

Plazma ile kesme işlemi genel olarak taşınan ark metodu ile gerçekleştirilir. Bir diğer metot ise "taşınmayan ark metodu"dur(non-transferred arc method). Torç teknolojisi farklıdır[7]. Plazma arkı malzemeye transfer edilmeden nozul ile elektrod arasında başlar ve akan gaz etkisi ile -sürekliliğini kaybetmeyecek şekilde- plazma torç ucunda alev şeklinde çıkar. Genel olarak bu metot iletken olmayan malzemelerde kullanılır ve diğer plazma işlemlerinde (örneğin yüzey kaplamada, atık işlemede) kullanılır. Kesmede yaygın olarak kullanılmamasının nedeni plazma ark yoğunluğunun kontrol edilememesidir.

PLAZMA İLE KESİLEBİLEN MALZEMELER

Plazma ile kesme yöntemi sanayide yaygın olarak alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, karbon çeliği, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları ve bakır kesmekte kullanılır. Nikel, titanyum ve alaşımları gibi malzemelerin kesimi ancak talaşlı işlemeden önce malzemeyi kesip hazırlamak için uygun olabilir. Çünkü bu malzemelerin plazma ile kesiminde kesme ağız ve yüzeyinde pürüz, malzemede de renklenme görülmektedir [10, 11]. Koruyucu ve plazma gazı kombinasyonları, gazların akış hızları ve malzeme kalınlığı malzemelerin kesme kalitesini etkiler.

PLAZMA İLE KESMEDE KULLANILAN GAZLAR VE ÖZELLİKLERİ

Modern plazma ile kesme sistemlerinde, iyi bir kesme kalitesi elde etmek için taşıyıcı (plazma) ve koruyucu gaz olarak çeşitli gazlar ve karışımları kullanılmaktadır. Kullanılacak plazma gazları arasındaki farklar gazın iyonlaşma enerjisi, termal iletkenlik ve reaktiflik özelliklerine bağlıdır. Gazın iyonlaşma enerjisi arkın gerilme değerini ve açığa çıkan enerji yoğunluğunu etkiler. Termal iletkenlik, arkın sürekliliğini etkilediği gibi enerjinin ısı formunda iletilmesinde de rol oynar. Reaktiflik ise ısı etkisi altında gazın ertiyen malzeme ile etkileşmesidir (azotun yüksek sıcaklıkta karbon çelikleri ile etkileşip nitrat oluşturması gibi). Plazma torçunun teknolojisine göre de kullanılan gazların karışım oranlarında değişebilir. Plazma ile kesmede en çok kullanılan gazlar hava, azot, oksijen ve argon-hidrojen (H-35, Ar-H₂). Genel bir fikir vermek için Hypertherm HD3070 sisteminde kullanılan gazlar malzeme cinsine göre dizilerek Tablo 1'de örnek olarak sunulmuştur.

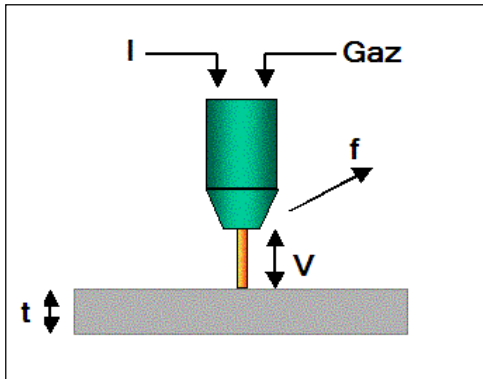
Tablo 1. HD3070 Sistemi Gaz Tablosu (Kaynak : Hypertherm)

| Malzeme | Plazma Gazı | Koruyucu Gaz |
|------------------|-------------|--------------------------|
| Karbon Çelikleri | Oksijen | Oksijen ve Azot Karışımı |
| Paslanmaz Çelik | Hava | Hava |
| | Hava | Hava ve Metan Karışımı |
| | H35 & Azot | Azot |
| Alüminyum | Hava | Metan |
| | H35 & Azot | Azot |
| Bakır | Oksijen | Oksijen ve Azot Karışımı |
| | Oksijen | Oksijen ve Azot Karışımı |

PLAZMA İLE KESMEDE ÖNEMLİ PARAMETRELER

Plazma ile kesmede önemli parametreler gaz parametreleri, güç kaynağı parametreleri ve kesme hızıdır (bkz. Şekil 7). Parametreler arasındaki ilişkiler kesmede elde edilecek kaliteyi tanımlar.

Gaz parametreleri; taşıyıcı(plazma) ve koruyucu gazın akış hızı ve gazların karışım oranıdır. Plazma gazının akış hızının artışı arkın kararlılığını etkileyen faktörlerden birisidir. Arkın yoğunluğunu artırır. Artan momentum nedeni ile eriyen malzemenin kesme bölgesinden püskürtülmesini kolaylaştırır. *Güç kaynağı parametreleri* ise 'standoff', 'V', ve akım şiddetidir, 'I'. Standoff, malzeme-torç arası uzaklığı belirler. Otomasyona yönelik sistemlerde kesme işlemi başlamadan bu mesafe bir sonda sistemi ile ayarlanır. Kesme başladıktan sonra ise standoff mesafesini torç yükseklik kontrol sistemi kontrol eder. Geribildirim döngüsünden



Şekil 7. Plazma ile Kesme Parametreleri

gelen anlık gerilim değerini verilen değer ile kıyaslar ve bu değere göre yükseklik ayarlanır. Standoff malzemeye ve kalınlığına, kullanılan torç tipine göre tablolarda kesme öncesi için mm olarak, kesme süresince kullanılmak içinse gerilim birimi ile belirtilir. Akım Şiddeti, 'I', plazma sisteminin gücünü belirler. Malzemeye transfer edilen birim zamandaki enerji daha yüksek olduğundan aynı kalınlıktaki malzeme için kesme hızı akım şiddeti değeri ile artar. Değer yükseldikçe kesilebilecek malzeme kalınlığında artar. Kesme hızı (f), kesme sonrası metalin kesme yüzeylerinin kalitesini

etkileyen parametrelerden biridir. Tavsiye edilen değerden yavaş hızlarda plazma arkı ergittiği bölgeden hemen uzaklaşmadığı için yarıklar aralığı değeri artar. Bu geriye doğru eğimli kesme çizgileri oluşturur. Daha yüksek hızlarda plazma arkı malzemeyi tüm kalınlık boyunca ergittiği fakat püskürtme işlemi tamamlanmadan torç hızla ilerlediği için alt kısımlarda malzeme tekrar katılarak yarığın doldurur ya da kalın çapak oluşumu gözlenir.

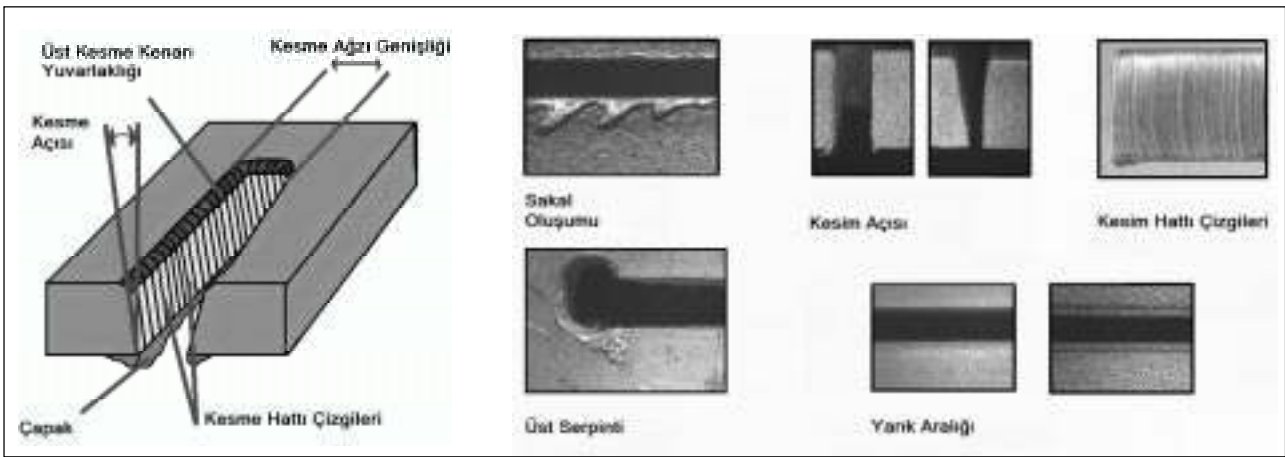
PLAZMA İLE KESMEDE KALİTE

Plazma ile kesmede kaliteyi belirleyen standartlar, ISO 9013, DIN 2310 gibi termal kesme standartlarıdır. Endüstride plazma kesmede kaliteyi tanımlayan karakteristik değerler kesme yüzeyi açısı (diklik) ve pürüzlülüktür [14, 15, 16]. Ayrıca ek olarak üst kesme kenarı yuvarlaklığı, sakal oluşumu, üst serpinti ve yarıklar aralığı ölçüsü de kaliteyi tanımlamak için kullanılır (bkz. Şekil 8). Bu karakteristik değerlere kısaca göz atacak olursak :

Kesme yüzeyi açısı (diklik), kesme esnasında kesme yüzeyinde oluşan eğim miktarıdır. Uluslararası standartlarda kabul edilen değer kalite sınıflarına göre değişiklik gösterir. Genel olarak diklik değeri ile belirtilir. Açısal ve pratik değerler vermek gerekirse taşıyıcı gaza girdap hareketi veren torçlarda bu eğim miktarı malzeme tarafında 1 ila 3 derece, atıl malzeme tarafında 3 ila 8 derece arasında değişir. Düz akış içeren torçlarda ise bu değer her iki kenarda 4 ila 8 derece arasındadır. *Pürüzlülük*, kesilen yüzey üzerinde üst ve alt yüzeyden standartlarda tanımlanmış bir mesafede ve aralıklarda ölçülür. Genel olarak bu değeri kesme hızı, gaz akış hızları, torç hareketi etkiler. Kesme hattı çizgileri pürüzlülük değerini etkiler. *Kesme Hattı çizgileri*, malzeme kesme yüzeyi boyunca oluşan dalgalanmalardır. Kullanılan gaz, güç kaynağı çıkışındaki süreklilik, torç tasarımı ve mekanik sistemdeki titreşim oluşumlarında etkilidir. *Üst kesme kenarı yuvarlaklığı*, plazma ile kesimde karakteristik bir

özelliik olup, malzemenin üst yüzeyinin plazma arkı ile daha uzun süre etkileşimde kalması nedeni ile oluşur. Bu yuvarlaklık düşük kalınlıklarda daha çok belli olur. Yüksek tanımlı plazma ile kesim sistemlerinde bu etki olabildiğince azdır. *Çapak (sakal)*, plazmanın ergittiği malzemenin eridikten sonra tekrar katılaşp malzeme alt kesme yüzeyi kenarına yapışması nedeni ile oluşur. Kesme hızı, akım şiddeti, gaz seçimi, malzeme çeşidine ve temizliğine bağlıdır. Çok hızlı ve çok yavaş kesimlerde çapak yapabilir. *Kesme aralığı*, plazmanın malzemeyi keserken oluşturduğu açıklıktır. Plazma kesiminde bu açıklığı belirlemedeki kural her zaman için bu genişliğin nozul ağzı açıklığının yaklaşık bir ila iki katı aralığında olacağı şeklindedir. Yarık aralığını etkileyen diğer parametreler akım şiddeti, kesme hızı ve torç ile malzeme arasındaki yükseklidir. *Üst Serpinti*, üst yüzeyde oluşan çapaktır. Malzeme ile torç arası uzaklık üst serpinti oluşmasında başlıca etmendir. Çok yavaş ilerleme hızında yapılan kesimlerde görülebildiği gibi aşınmış nozul nedeni ile de ortaya çıkabilir.

çalışmalar sırasında araştırmacılar nozul ağzı açıklığının daraltıldığı zaman TIG torçundan malzemeye doğru akan ark ve gazın özelliklerinin değiştiğini, ark ve gazın daha yoğun hale geldiğini farkettiler [5,8]. Arkın ısısı daha yüksekti ve nozul içinde artan basınç ile akış hızı artmıştı. Artan sıcaklık nedeni ile malzeme arkın değdiği noktada kalınlık boyunca lokal olarak ergiyor, plazma jetinin hızı ergemiş metali basınçla iterek uzaklaştırıyordu. Böylece malzeme kesilmiş oluyordu. Bu gelişmeyi takiben ilk plazma torçları piyasaya sunulmaya başlandı. Bu kesme metodu çok kalın malzemelerde bile yüksek hızlarda kesme olanağı sağlıyordu. Konvansiyonel plazma kesimi olarak tanınan bu teknik 1970 li yıllara kadar yaygın olarak kullanıldı. Bu teknikte, plazma arkı kesim esnasında iyi kontrol edilemediği, ark konsantrasyonunun sürekliliği ve plazma ark akışının yoğunluğu sağlanamadığı için elde edilen malzemenin kalitesi hassas kesimler için kullanılmasında bir engel olmuştur. Bu nedenle başlangıçtan günümüze kadar çeşitli teknolojiler



Şekil 8. Plazma Kesmede Kaliteyi Belirleyen Etmenler

PLAZMA İLE KESME İŞLEMİNİN KISA TARİHÇESİ VE YENİ GELİŞMELER

Plazma ile kesme işleminin keşfedilmesi 1950'li yıllara rastlar. TIG kaynağının verimini artırmak için Union Carbide firmasının kaynak laboratuvarında yapılan

geliştirilerek kesme kalitesinde iyileştirme yönünde çalışmalar yapılmıştır[5,8]. Örneğin plazma ark akışının yoğunluğunu sabit tutmak için sırasıyla çift akışlı gaz teknolojisi, su enjeksiyonlu plazma sistemleri ortaya çıkmıştır. Bu tür sistemler plazma arkının etrafında ikinci bir akış sağlayarak onu çevreler ve böylece yoğunluğu

Tablo 2. Plazma ile Kesme İşleminin Kısa Tarihiçesi

| YIL | Teknoloji İsmi | |
|------|--|--|
| 1950 | TIG Kaynağı | TIG Welding |
| 1957 | Konvansiyonel Kuru Plazma Kesme | Dry Conventional Plasma Cutting |
| 1962 | Çift Akışlı Plazma Kesme | Dual Flow Plasma Cutting |
| 1963 | Hava ile Plazma Kesme | Air Plasma Cutting |
| 1965 | Su Korumalı Plazma Kesme | Water Shield Plasma Cutting |
| 1968 | Su Enjeksiyonlu Plazma Kesme | Water Injection Plasma Cutting |
| 1972 | Su Tablalı ve susturuculu Plazma Kesme | Water Muffler and Water Table P. Cutting |
| 1977 | Su Altı Plazma Kesme | Underwater Plasma Cutting |
| 1983 | Oksijen Plazma Kesme | Oxygen Plasma Cutting |
| 1985 | Oksijen Enjeksiyonlu Plazma Kesme | Oxygen Injected Plasma Cutting |
| 1990 | Yüksek Yoğunluklu Plazma Kesme | High Density Plasma Cutting |

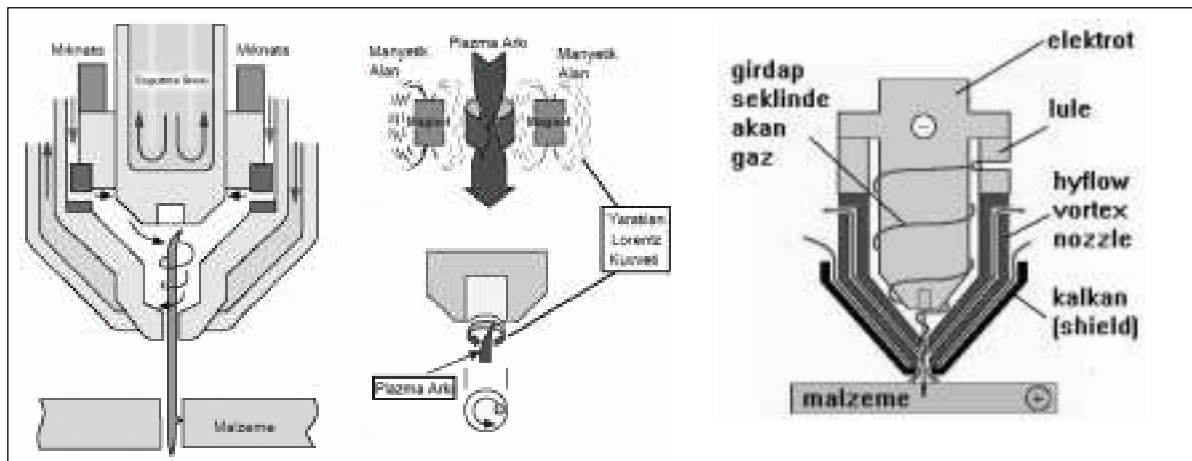
kesme süresince sabit kalan bir ark yaratır. Plazma ile kesme işlemindeki ilerlemelerin ve ortaya çıkan teknolojilerin kısa bir özeti kronolojik olarak Tablo 2'de sunulmuştur.

Plazma ile Kesmede Yeni Gelişmeler

Thermal Dynamics firması ilk düşük akım şiddetli hava plazması ile çalışan ve "Zip Cut" diye adlandırılan SAF sistemlerini 1980'li yıllarda Avrupa'ya pazarlamaya başladı. Bu gelişme yeni üreticilerin piyasaya girmesinin önünü açarak plazma kesme sistemleri pazarının genişlemesine yol açtı. Pazardaki genişleme plazma kesimindeki araştırma geliştirme faaliyetlerini artırarak kesme kalitesinin giderek artmasına ve başlangıçta oksijen kesimine alternatif olarak sunulmuş bu prosesin

günümüz termal kesme prosesleri içerisinde verimlilik ve kalite olarak önemli bir yer edinmesine ve yaygın olarak kullanılmasını sağladı.

"Super konsantre plazma arki", "hassas plazma ile kesme", "yüksek tanımlı plazma kesme" başlıkları altında gerçekleştirilen plazma ile kesmede kalite arttırımına, en önemlisi verimliliği arttırıma yönelik faaliyetler ise yakın tarihte yeni bir plazma ile kesme teknolojisi ortaya çıkardı. Bu plazma kesme teknolojisinin adı "*high density plasma cutting*", yüksek yoğunluklu plazmadır [8]. Bu teknolojinin özelliği yüksek enerji yoğunluğunda daha ufak çaplı, konsantre ve kararlı bir plazma arki elde edilmesidir. Daha konsantre bir ark, kesme yüzeyindeki diklik toleranslarında ve pürüzlülük değerlerinde iyileşme ile sonuçlanır. Dar çaplı ve yoğun enerjili plazma nedeni ile



Şekil 9. (a) Razor Cutting (Komatsu Cutting Tech.)

(b) HyDefinition Teknolojisi (Hypertherm Inc.)

daha dar ve düzgün kesme ağızları elde edilir ve kesim sürati artar ki bu da kalitenin ve verimliliğin artması demektir [9]. Kısaca bu teknolojilere bir göz atacak olursak;

Razor Cutting

1989 da Komatsu-Cutting Technologies Division tarafından patenti alınan teknolojinin ismi "*Razor-Fine Plasma Cutting*" idi (bkz. Şekil 9a). Bu teknolojinin ayırt edici özelliği bilinen girdap şeklinde gaz akışına ek olarak mıknatıslama ile yaratılan Lorentz kuvvetleri ile, -manyetik alan oluşumu ile-, plazma arkını kararlı halde ve konsantre halde tutmasıdır. Bu manyetik kuvvetler plazma arkına iki şekilde etki eder. Birinci olarak plazma arkının kendisine etki eden Lorentz kuvvetleri arkın elektrod kısmından çıkışında kendi eksenini etrafında daha hızlı dönmeye olanak sağlar (bkz. Şekil 9a). İkinci olarak etki eden manyetik alan dönerek inen plazma arkını hapsederek sürekli konsantre ve yoğun bir ark sağlar. Ayrıca nozul çıkışında da bu etki devam ettiği için çift ark tehlikesi de yalıtılmış bir dış kap kullanılmadan önlenir.

HyDefinition Plasma

1990 yılında patenti alınan Hypertherm firmasının "HyDefinition Plasma" teknolojisinin razor cutting teknolojisinden farkı nozul ve seramik lüle tasarımlarındandır. Bu tasarımlar ile elektrod etrafında daha güçlü girdap akımları yaratıp ark kararlılığı ve sürekliliği artırılmıştır (bkz. Şekil 9b). HyFlow Vortex Nozzle olarak adlandırılan seramik lüle ve nozul teknolojisi ark etrafındaki iyonlaşmamış ve soğuk gazı nozul içerisinden başlayarak plazma arkı etrafında girdap halinde akıtmayı sağlar. *HyFlow Vortex Nozzle* teknolojisinin bilinen girdap etkisine getirdiği yenilik ise nozul duvarı içerisinde yer alan ve nozul ağzında bir nevi hava yastığı etkisi yaratan ikinci bir gözdedir. Bu sistem

nozul ağız çapının daha ufak ve uzun olmasına ve dolayısıyla daha yoğun ve kararlı bir ark elde edilmesinde rol oynar.

Kalkan teknolojisi (*Shield Technology*) olarak adlandırılan seramik kaplı izole dış kapak teknolojisi ise nozul ve malzeme arasında bir kalkan olarak kullanılma amacı ile ortaya çıkarılmıştır. Bu kalkan kesim esnasında oluşan ve sıçrayan ergimiş malzemenin nozula yapışmasını önlediği gibi seramik kaplama nedeni ile de nozul ve malzeme arasında oluşabilecek olası ikinci bir ark etkisini engeller. Böylece plazma torçu malzemeye daha yakın bir standoff değerinde çalışabilmekte, ve nozul ömrü uzatılmaktadır.

Hyperthermin patentini aldığı Uzun ömür (Long Life) teknolojisi ise özellikle oksijen kullanılan kesimlerde elektrot ömrünün uzatılmasını amaçlamıştır. Bilindiği gibi elektrot ömrü ateşleme sayısı ile ifade edilir. Kesim esnasında elektrot ucundaki bir yuvada bulunan hafniyum malzeme (bkz bölüm 2.1.2) içeride girdap şeklinde akan gaz etkisi ile ergimiş halde yuvasında durur. Fakat her kesim sonunda torç kapatılırken bu teknolojiye sahip olmayan sistemlerde 100-150 ateşleme sonunda elektrot fonksiyonunu yitirmeye başlar ve bu kesim kalitesinde düşüşe neden olur. Ayrıca ergimiş halde kopan parçacıklar kesim sonunda nozul iç çeperlerine ya da nozul ağzına yapışarak akış profilinin de bozulmasına neden olurlar. Gelişen mikroişlemci teknolojisinden yararlanılarak geliştirilen uzun ömür teknolojisi kapalı devre kontrolü ile gaz akışını ve elektrik akımını aynı anda ve kontrollü olarak kapanmasını sağlayarak hafniyum malzemenin yuvasında katılaşmasını sağlar. Bu sistem ayrıca nozul içerisinde oluşan ani termal ve kimyasal şokların etkisini de azaltır [8, 17].

Torç yükseklik kontrolü (*Torch Height Control*)

Her iki teknolojiye de torç malzeme arası yüksekliği (standoff değeri) THC (*Torch Height Control*) ya da

AHTC (Automatic THC) adı verilen bir sistemle kesme süresince ayarlanabilmektedir. Bu sistem dalgalı bir yüzeye sahip metal plakalarda kesme esnasında operatörün gerilim değeri ile oynayarak standoff değerini ayarlaması gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Basit bir Z ekseni hareketi ile kontrol edilen bu sistem torçu (plazma gerilim değerinin geri beslenen anlık değerine göre) yukarı aşağı hareket ettirmektedir. Ark gerilimi geri beslemesi saniyede 500 keze varan oranlara erişebilmektedir.

Yüksek tanımlı plazma teknolojisi belli bir kalınlık aralığında ve malzeme tipinde kaliteli bir kesme sunar. Ayrıca torçu ya da parçayı hareket ettiren sistemin ivmelenme değerleri, titreşim özellikleri, hareket kontrolündeki hassasiyet kesme süratini ve tekrar edilebilirliği etkilediği için sonuçta kesme kalitesini etkilemektedir. Gazın temiz olması, gaz akışının kararlılığı ve basıncı da kaliteyi etkileyen diğer etmenlerdir.

SONUÇ

Plazma ile kesme düşük işletme ve yatırım maliyeti, üretim hattı uygulamasına ve otomasyona uygunluğu, sürekli iyileştirilen kesme kalitesi ile sanayide yaygın olarak kullanılan bir kesim metodudur. Basit, küçük ve taşınabilir plazma ile kesme ekipmanlarından bilgisayar kontrollü ekipmanlara kadar değişen sistemler mevcuttur. Bir zamanlar oksijen-gaz ile kesmeye alternatif bir metot olarak ortaya çıkmışken günümüzde lazer ile kesim teknolojisine bir alternatif olma yönünde geliştirilmektedir. Bu derlemede plazma ile kesim teknolojisi ile ilgili konulara yer verildi. Teknolojinin doğuşu, gelişmesi, kesme parametreleri, kalite unsurları ve kesme ekipmanlarının yapısı ve işleyişi hakkında genel bir çerçeve çizilmeye çalışıldı.

KAYNAKÇA

1. www.plasmas.org
2. **R.Suchentrunk, G.Staudigl, D. Jonke, H.J. Fuesser,** "Industrial Applications for Plasma Processes - Examples and Trends", Surface Coatings Technology, Vol 97, 1997, s.1-9
3. **C. Landry,** "Improving Plasma Cutting in Sheet Metal Applications", Metalforming Magazine, September 1997
4. BMPF Public Report of German General Ministry for Research and Education, "Plasma Technology", November 2001
5. **R.Bini, A.E. Kutlu, M.Monno,** "Plasma Arc Cutting : una Tecnologia Tra Passato e Futuro", Lamiera, Tecniche Nuove, Vol 40, 2003, s.354-359
6. HyDefinition-HD3070 Instruction Manual, Rev. 16, Hypertherm Inc.
7. **McGeough J.A.,** Advanced Methods of Machining, Kluwer Academic Publishers Group, 1988
8. Hypertherm Inc. İnternet sitesi (www.hypertherm.com)
9. Komatsu Inc. İnternet sitesi (www.fineplasma.com)
10. **Diane L. Hallum,** "Cutting Exotic Materials: It's in the Gas", Forming and Fabricating, Vol. 7 No. 4, April 2000
11. **M.Monno, B.Previtali,** "High tolerance Plasma Arc Cutting of Titanium", Proceedings of the 33rd International Matador Conference, Springer Verlag, 2000
12. **Jim Colt,** "Plasma Cutting", American Machinist's Cutting Technology, September/October 2002
13. **Dave Cook,** "Illustrated Guide to Plasma Gas Selection: How to Choose the Best Gases", Welding Design and Fabrication, February 2000
14. ISO 9013:2002(E), International Standard on Thermal Cutting- Classification of Thermal Cuts - Geometrical Product Specification and Quality Tolerances, 2nd Edition 2002-09-15
15. DIN 2310 Part 4, Deutsche Norm, Thermal Cutting, 1987
16. **Gunnar Engblom, Katarina Falck,** "Quality Classification of Thermally Cut Surfaces -Compherensive Review of Different Standards", Welding in the world, vol. 28, no: 11/12, s. 204-215, 1990
17. **Jim Colt,** "Plasma Cutting", American Machinist's Cutting Technology, September-October 2002, Penton Press