

## PLASMA ARKLA KAYNAK VE KESME

Altmışlı yıllar içinde teknik gerçekleştirme aşamasına gelmiş bazı bilimsel alanlar, kaynak tekniklerinin gelişmesinde büyük çabalan gerektirmiştir. Aslında her yeni teknik, bazı noktalarda yetersiz kalan bir öncekinden doğar.

Yeni yolların aranmasında eğilimlerden biri, 6000°K civarında olan arkın normal sıcaklığının ötesinde sıcaklık alanı açmak suretiyle kaynak ve kesmenin gereksinmelerini karşılamak olmuştur. Bu yol, 1922'de Gerdien ve Lotz tarafından işaret edilmiş bir prensip tarafından gösterilmişti. Bu prensip yüksek akım şiddetli bir arkın soğutulmuş bir mekanik boğulması yoluyla büzülmesi esasına dayanıyordu.

Bununla birlikte seçilen tertibatta, elektrik arkı hiçbir katı cidarla doğruca temas haline gelmiyordu; ark cidardan, borudan içeri basınç altında teğetsel olarak giren bir su zarfıyla ayrılmıştı. Merkezkaç kuvvet tarafından meydana getirilen yaklaşık 2,5 mm. çapta eş merkezli kanal, arkın istenen büzülmesini sağlıyordu. Böylece bu iki araştırmacı, 30000 A/cm<sup>2</sup> lik bir akım şiddeti yoğunluğuna tekabül eden 1500 A'lık bir ark akım şiddeti ile eksende 50000°K kadar sıcaklıklar elde etmişlerdi.

Ama sistem, ciddi ilerleme göstermeye başlamak için ellili yılları bekleyecekti. II.Dünya Savaşı içinde gaz altı kaynağının gelişmesi sonucunda o da çok sayıda araştırmaya konu olacaktı. Sistem artık «plasma ark yöntemleri» adı altında bilinen bütün bir kaynak ve kesme yöntem serisinin temelinde yatmaktadır.

«Plasma» sözcüğünün neyi ifade ettiğini kesinlikle açıklayabilmek için bunun kökeni ve gerçek anlamı hususunda bazı mülâhazalara yer vereceğiz.

Yüzyılımızın başında her tarafta çok sayıda kişinin spiritizmaya merak sarmasıyla bu kişiler, «deneylerinin meydana getirdiği gazlı maddelerden oluşmuş gibi olup eüie tutulamaz görüntülen işaret etmek için bunlara «teşekkül etmiş olan» anlamındaki Yunan «plasma» adını vermişlerdi. Bu görüntülerle, etrafındakilerden çok açık şekilde ayrılan elektrik arkının çevresi arasındaki benzerlik 1928'de Amerikalı araştırmacı Langmuir'i bir elektrik deşarjının kızgın gazdan ışıklı sütununa «plasma» adını vermeye götürmüştü.

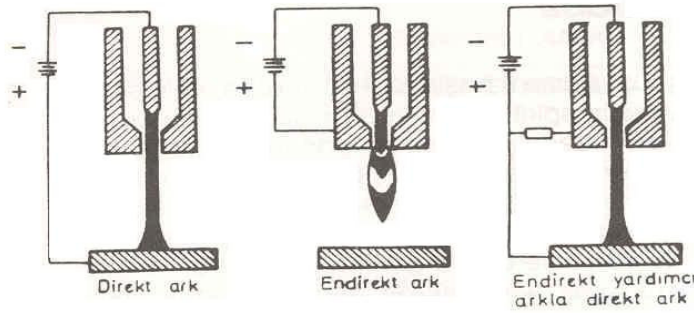
Son yıllar zarfında bu terim yeni bir gelişme arz edip özel etkiler elde etmek için arkın çok sıkı soğutulmasını kullanan bir yöntemler serisini nitelemekte kullanılmıştır.

Plasma ark (PA) kaynağı, TIG kaynağının bir uzantısı olup onun konik şekilli arkı, çeşitli düzenlemelerle büzülüp ince silindirik hale getiriliyor ve böylece de büyük bir güç yoğunlaşması ve ısı yükselmesi elde ediliyor. Yıllardan beri bir ısı menbaı olarak kullanılmış olan serbest elektrik arkı, plasma arkının gelişmesinin hareket noktası olmuştu. Bir elektrik arkı büzülmüş olarak ve

iyice soğutulmuş bir memeden ionize gaz içinde sevk edildiğinde «plasma ark» olarak tanımlanır.

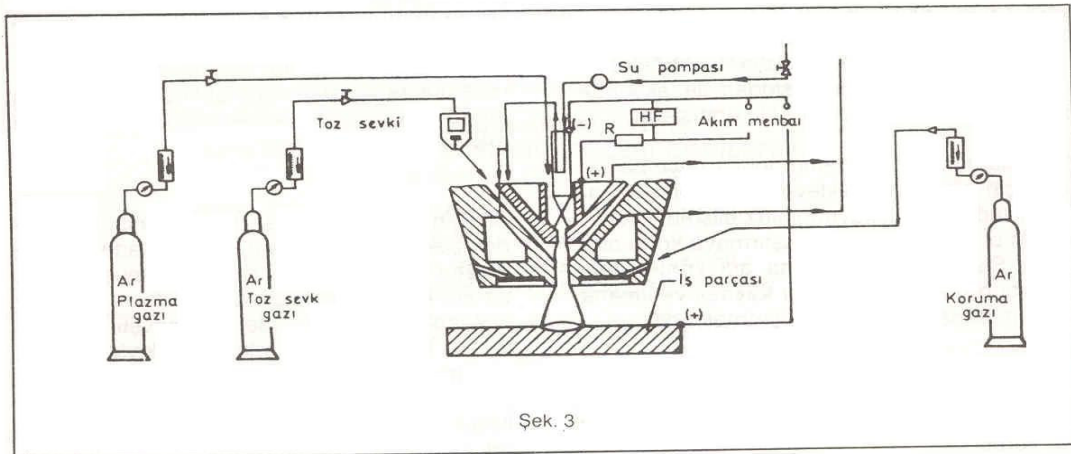
Bildiğimiz TIG kaynağından türemiş, birbirinden çok farklı iki varyant, uygulamada yer tutmuştur. Bunlardan ilki transfer olmuş (direkt) bir ark kullanır, yani elektriksel devre, kaynak edilecek parça üzerinde kapanmıştır (Şek. 1 ve 2). Bu kategoriye plasma atkıyla kesme, kaynak ve mikro-plasma kaynağı dahildir.

İkinci varyant, transfer olmamış (endirekt) bir ark kullanır; yani elektrik devresi üflecin içinde bir ark tarafından kapatılmış olup bu ark suyla soğutulmuş bir memeden bir gaz akımıyla zorlanarak sürülür (Şek. 1). Bu tertip toz halinde karbürler, oksitler, borürler, metalik seramikler ve metaller gibi yüksek ergime noktasına sahip malzemelerin PA ile püskürtülmesinde kullanılır. Bu yöntemde, dairesel anoddan serbestçe çıkan ışıklı mızrak, yukarıda sözü edilen benzerliği özellikle hatırlatır.

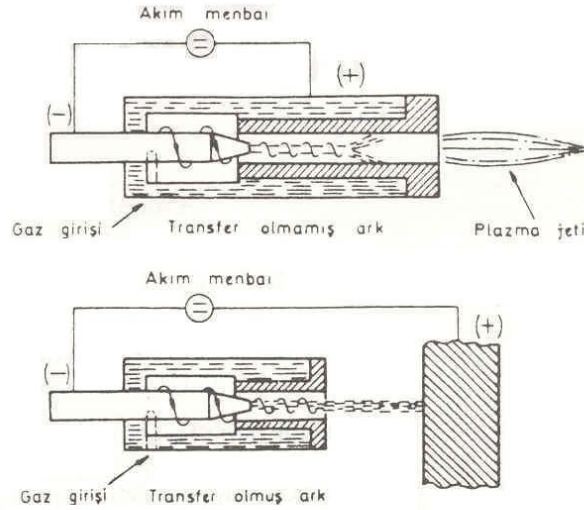


Şekil 1

Çeşitli plazma ark (PA) üfleçlerinin şemaları. Sol ve ortadaki şekiller plasma arklarının her iki prensip şemasını gösterirler. Odaklanmış ve parçaya transfer olmuş PA, plazmayla bütün kaynak yöntemlerinin esasını oluşturur. Göz kamaştırıcı mızrağı çıkış borusunun dışında görülen transfer olmamış endirekt PA, toz halinde yüksek ergime noktalı malzemelerin püskürtülmesi için plazma üfleçlerinde ısı menbaı olarak kullanılır. Sağdaki şekil bir özel ayrıntıyı verir: Pilot ya da yardımcı ark. Prensip olarak ortadaki şekilde olduğu gibi, ancak şiddeti göreceli olarak zayıf bir endirekt ark bahis konusudur. Amacı, iletken kanal parçanın yüzeyine kadar peşinen ionize etmektir. Bu itibarla doğrudan metalin ergitilmesine yarayan, soldaki şekilde görülen transfer olmuş direkt arkın tutuşmasına yardımcı olarak iş görür.



Şek. 3



Şekil 2

**Transfer olmuş ve olmamış plasma arklarının şemaları. Her iki halde de arkın stabilitesi, teğetsel olarak ithal edilen plasma gazı tarafından ıslah edilmiştir.**

Ve nihayet PA ile yüzey dolgusunu da sayalım. Bu yöntem birbirinden ayrı eş merkezli iki huzmenin hassas müşterek etkisine dayanır ve transfer olmuş (direkt) bir arkla transfer olmamış (fendirekt) bir ark kullanılır (Şek.3)

Dönelim «plasma» terimine.

Bir gaz en az kısmî ionlaşmaya kadar ısıtıldığında elektriği iletici hale gelir. Argon helium gibi bazı gazlar böyle bir ionlaşma için 20 ilâ 30000°F sıcaklığı gerektirir. Elektrik akımı bu ark-gaz'ı, yani «plasma»yı, bu sıcaklıklarda tutar. Gazın kendisi de bir rezistanslı ısıtıcı element gibi davranır. Plasma da böylece, muazzam bir enerji miktarını taşıyan, yüksek derecede ısıtılmış ve moleküller, atomlar, iyonlar ve elektronlardan oluşmuş bir gaz halinde görünür.

Büzülmüş ark memelerinin TIG - MIG - MAG arklarına üstünlüğü, alevin stabilitesi ile güç yoğunlaşmasındadır. Bu üstünlükler meme, belli bir kullanım için mümkün olduğu kadar küçük tutulduğunda iyice fark edilir. Örneğin, PA kesmesinde akım 50 A, gerilim 100V ve gaz debisi de saatte 100 ft<sup>3</sup> olabilir. Bir ortama 20 ilâ 30000°F gaz sıcaklığında, 50 kw güç memeden verilmiş olur. Bir  $\Phi$  1/8" meme için güç yoğunlaşması 3 MW/in<sup>2</sup> olur!

Bu yüksek sıcaklıklarda gazın hızı ses hızına yaklaşır ki böylece «plasma jet» deyimini izahını bulmuş olur.

Plasma jet'in oluşturduğu bu ionize zerreler (partiküller) akımı, bununla elektrot arasında meydana getirilen, arasından bir asal gazın basınçla sevk edildiği bir silindirik meme içinde

bulunan uzatılmış bir ark tarafından oluşturulur. Ark sütununun dış yüzeyi soğutulduğundan, sütun yoğunlaşmış olur ve dolayısıyla büzülmüş olarak kabul edilir. Böylece de büzülmüş sütun içinde sıcaklık birdenbire yukarıda söylenen derecelere yükselir. Dairesel alan arasından geçen gaz yüksek bir ionlaşma düzeyini ve göreceli olarak yüksek bir enerjiyi haiz olup bu enerji, kaynak ve öbür işlemler için iş parçasının ısıtılmasında kullanılır.

Böylece de "plasma» teriminin ve bütün bir modern kaynak ve kesme yöntemleri grubunun nitelendirilmesindeki rolünün izahını yapmış olduk.

Bundan ayrı olarak «ısı-termik plasma» kavramı, fiziksel anlamda, ark kaynağı tekniği için özel bir önem kazanmıştır. «Isıl plasma» imajı bir ölçüde, atmosfer başındaki elektrik deşarjları içinde vaki olan karmaşık süreçlerin açıklığa kavuşmasına olanak sağlar şöyle ki plasmanın bütün niteliklerini, örneğin elektriksel ve termik iletkenliğini, sıcaklığın şüpheye yer vermeyen fonksiyonları olarak, temsil etmektedir. Gazların kinetik teorisine göre bir ideal gazın salt sıcaklığının, moleküllerinin ortalama kinetik enerjisiyle orantılı olduğunu hatırlatalım. Bu kavramı, elektrik arkının iletken plasmasına taşıyacak olursak, burada fevkalâde yüksek hızla gelişen partiküllerin karşılıklı olarak impuls ve enerji alışverişinde bulunma zorunluğunda bulduklarını idrâk ederiz. Darbeler (çarşımalar) tarafından ortaya konan enerjileri, iki atomlu gaz moleküllerini ayırışmaya ve sıcaklık da arttıkça, birbirine çarpan atomları elektron fırlatmaya götürecek değerlere ulaşır.

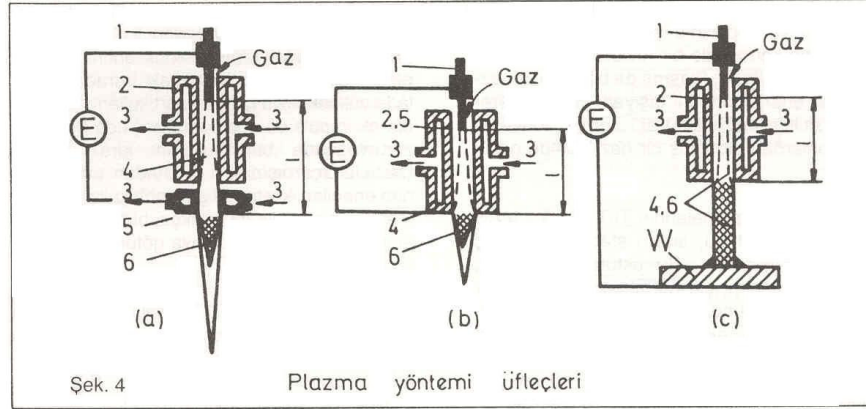
Sırasıyla «Isıl ayrışma» ve «ısı ionlaşma» adı verilen bu iki süreç, doğada ve teknikte, daha başka nedenler arasında, birçok elektrik deşarjı olgusunun kökeninde yatarlar. Bu itibarla bir elektrik arkının ışıklı sütununda gördüğümüz, moleküllerin, nötr atomların , ionların ve serbest elektronların tamamen intizamsız karşılıklı etkilerinden ibarettir.

Bu ortama «ısıl plasma» adı verilir ve bunun durumunu, kimyanın kitle etkisi kanunu anlamında, hesapla tarif etmek mümkündür.

PA'ın yukarıda gördüğümüz varyantlarının bu kez çeşitli düzenlemelerine göz atalım. Bunlardan birinde (Şek.4 a) meme, içinden plasmayı oluşturan gazın geçtiği tünelden ayrı olup plasma da böylece ark sütunundan ayrılmış olur. Bir başkasında (Şek.4 b),meme ile tünel tek bir parça halinde ise de plasma jet, bundan öncekinde olduğu gibi, ark sütunundan ayrılmıştır. Bir üçüncüsünde (Şek.4c),meme ile tünel, ark sütunu ile plasma jet birleşmiştir.

Birinci düzenlemede plasma jet bir elektrod (1) ile plasma üflecinin memesini oluşturan halka şeklinde anot (5) arasında bir ark deşarjı (4) ile meydana gelir. Bu ark deşarjı, hem meme, hem de elektrottan elektriksel olarak yalıtılmış bir tünel (2) içinde bulunur. Ark iyice oluştuktan sonra, tünelden bir asal gaz akımı, ark sütunu boyunca plasma arasında geçer ve memeye doğru yolu üzerinde iyonize olur ve memeden parlak ışıklı bir jet halinde çıkar (6). Plasmayı meydana getiren kafa suyla soğutulur (3). Plasma jet'in az iyonlaşmış ve göreceli olarak soğuk gaz kılıfı,

meme ve tünelin cidarlarıyla temasa gelince bunları ark deşarjından yalıtır. Plasma jet'in ark gerilimi ve gücü, ihtiyaca göre, elektrodu tünelin içinde ileri sürüp geri çekmek suretiyle ayarlanabilir.



Şek. 4 Plazma yöntemi üfleçleri

İkinci tertipte, elektriksel olarak aktif ark noktası, plasma oluşturan gazın bileşim ve debisine, tünelin uzunluğuna ve sair değişkenlere bağlı olarak tünelin yan ya da uç yüzeyinde tespit edilir. Bu takdirde ark uzunluğu, plasma jet'in etkin gücünün ayarlanmasında bir bağımsız değişken olmaktan çıkmış olur.

Her iki halde de plasma jet akım ileten ark sütunundan ayrılmış olup bizzat ısı içeren bir menba olarak kullanılır.

Üçüncü tertipte, daha önce de kaydedildiği gibi plasma jet akım ileten ark sütunuyla birleşmiş olarak kısmen tünelden (2) geçer. Bu takdirde kaynak edilecek parça güç menbainına bağlanır, böylece parçaya etkin ısı girişi artırılmış olur. Bu tertip sadece, akım iletebilen malzemelere uygulanabilir.

Aslında bu üç tertip, başlarda anlatılan varyantlara irca olur. Bu varyantların ilki, yani transfer olmuş (übertragene) ark kullanımı Şek. 4c'de gösterilen üçüncü tertibe tekabül eder. Öbür varyant, yani transfer olmamış (nichtübertragene) ark kullanımı. Şek.4a ve 4b'de gösterilen birinci ve ikinci tertibi temsil eder.

Alman (DVS) terminolojisinde transfer olmuş (direkt) arklarla kaynak, Plasma Ark (WPL); transfer olmamış (endirekt) arklarla kaynak da Plasma Huzme(WPS); Şek.1 sağdaki endirekt yardımcı arklarla direkt ark kaynağı, Plasma-Huzme-Ark (WPSL) kaynağı olarak adlandırılır. (W), plasma ile yüksek derecede ısınmış ve moleküller, atomlar, iyonlar ve elektronlardan oluşan gazı ifade eder.

Özetle,Şek. 1 'deki sol ve ortadaki tertipler.PA'-larının iki prensip şemasını verir(Şek.4'ün me-me tiplerini verdiği gibi). Odaklaştırılmış ve iş parçasına transfer olmuş (übertragene) direkt PA'ı, bütün plasma kaynak yöntemlerinin temelinde yatar. Göz kamaştırıcı mızrağı dıştan görünen transfer olmamış (nichtübertragene) endirekt PA'ı, plasma tabancalarında toz halinde yüksek ergime noktalı malzemelerin püskürtülmesi için ısımenbai olarak kullanılır. Şek. 1 'in sağındaki ise bir özel ayrıntıyı gösterir: pilot ya da yardımcı arkı. Prensip olarak, orfada-kindeki gibi bir endirekt ark bahis konusudur; ancak bunun akım şiddeti göreceli olarak zayıftır. Bunun amacı tüneli, parçanın yüzeyine kadar iyonize etmektir. Bu itibarla pilot ark, soldaki şekilde gösterilen, doğruca iş parçasının ergitilmesine yarayan transfer olmuş direkt arka tutuşma yardımcısı gibi hareket eder.

PA kaynağı esas itibariyle TIG kaynağının bir uzantısı olmakla birlikte ondan çok yüksek ark enerjisi yoğunluğunu ve daha yüksek plasma gaz hızını haizdir zira bunda,Şek.5'te(sağ)da da görüldüğü gibi PA, bir büzme memesi arasından zorlanarak sevk edilmektedir. Ağız gazı, üfleç arasından elektrodu çevrelemek üzere sevk edilen gazdır. Arkın içinde iyonize olur ve plasmayı oluşturur ve üflecin meme ağzından plasma jet olarak çıkar. Bazı işlemler için, TIG kaynağında olduğu gibi, bir dış gaz tüneline bir yardımcı koruyucu gönderilir. Bu gaz, kaynak banyosunu atmosfer etkisinden korur.

İçinden plasmanın geçtiği arkı büzme memesinin başlıca iki boyutu vardır: ağız çapı ve bo-ğaz uzunluğu. Ağız silindirik olabileceği gibi aşığı veya yukarı doğru koniklik de arz edebilir.

Üfleç içinde elektrodun geri çekildiği mesafe, elektrodun gerilme mesafesidir. Üflecin dış yüzünün İş parçasına mesafesi de üflecin uzak durma mesafesidir. Bazen ağız gazına çıkışta bir girdap (burgaç) hareketi vermek için bir teğetsel tertip eklenir. Şek.2'de görüldüğü gibi plasma gazının teğetsel olarak sevk edilmesi, her iki varyantta da arkın stabilitesini iyileştirir.

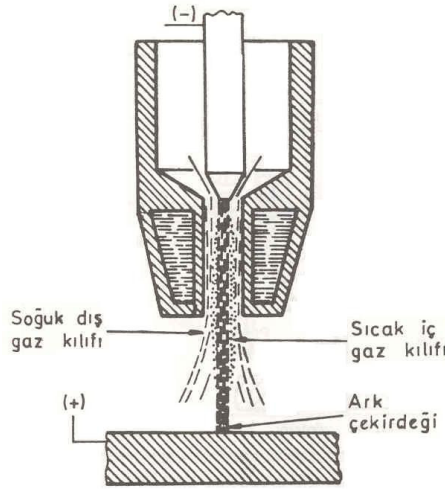
## ***PLASMA ARKLA KAYNAK -GENEL VERİLER***

Mekanik boğmanın hasil ettiği şiddetli soğuma, haylice değişmiş bir ısı alanı dışında, PA' in serbest arka göre deşarj kesitini büyük ölçüde azaltma etkisini haizdir. Bunun sonucunda akımın yoğunluğu ve alanın şiddeti iyice artmakta olup bu, Lorentz kuvvetlerinin ark eksenine yönünde artmaları demektir.

Bilindiği gibi bir magnetik alanda hareket halinde bir yük taşıyıcıya, alanın yönüne ve yükün hızına dikey olarak etki yapan bir kuvvet gelir. Bir silindirik ark deşarjı halinde merkeze doğru radyal olarak bir etki, iletken kesit üzerine etki yapan kuvvetlerin tümünden hasil olur. Dolayısıyla bunun sonucu olarak ark çekirdeğinin sıcaklığı ve iletkenliğinde bir artış olup bu da iletme kanalının bir yeni daralmasına yardımcı olur. Birbirlerine bağlı ve birbirlerini karşılıklı olarak güçlendiren bu olgularla, karakteristiklerinden birinin eksende fevkalâde yüksek bir sıcaklık ve beraberinde büyük ölçüde azalmış bir deşarj kesiti olduğu bir dengeye varılır.

Gazın cins ve debisine ve elektrodun çıkış ağzına mesafesine göre arkın işgal ettiği yüzey, çıkış ağzının toplam kesitinin %20 ilâ 50'sine kadar azalabilir ki bu, sıcaklığın artması için bir boğmanın kullanılmasıyla, üfleçten fırlayan gaz jetinin ısıl olarak hiç homojen olmadığını ifade eder. Başka deyimlerle, aslında kaynağın gereklerine çok uygun olan arkın çekirdeği, yüksek hızlarla yer değiştiren ve göreceli olarak az sıcak ve doğal olarak, kaynak sürecine zararlı gaz kütlesiyle çevrilidir; kaynak sürecine verdikleri zarar bu gaz kütlesinin eritmede işe yaramamaları, kaynak banyosunu fazlaca çalkalamaları ve arkı, parçaya yakın yerlerde genişletmeye meylettirmelerindedir (Şek.6).

Gerçekten PA kaynağını, TIG kaynağından ayıran farklar ilkinde aşağıda ayrıntılarıyla göreceğimiz gibi bir pilot ark tutuşturma devresi ile bir büzücü ağzın bulunmasındadır. Her iki sistemin temel tertibi, yukarıdaki Şek.5'de görülür. TIG üfleçinde elektrot, koruyucu gaz memesinin ötesine geçer ve ark görünür haldedir. TIG'de ark büzülmemiş olup yaklaşık olarak bir konik şekil arz eder ki bu, iş parçası üzerinde göreceli olarak geniş bir ısıtma alanı hasıl eder. Konik arkın iş parçasına çarpma alanı elektrodun parçaya mesafesiyle arkın akım şiddetine göre değişir. Bu itibarla ark uzunluğunda ufak bir değişme, birim alan başına ısı girişinde nispeten büyük değişme meydana getirir.



**Şek.6-Transfer olmuş bir PA şeması. Bunun ısıl olarak homojen olmayan yapısının görünümü. Arkın yoğunlaştırılmış çekirdeği yüksek hızlarla yer değiştiren ve sıcaklığı dışa doğru hızla düşen gaz tabakalarıyla çevrilidir. Çekirdeğe yakın tabakalar ancak az miktarda ionize olup akımın kondüksiyonuna pratik olarak iştirak etmemektedirler. Buna karşılık huzmenin ağız çıkışında hayli genişlemesini hasıl ederler.**

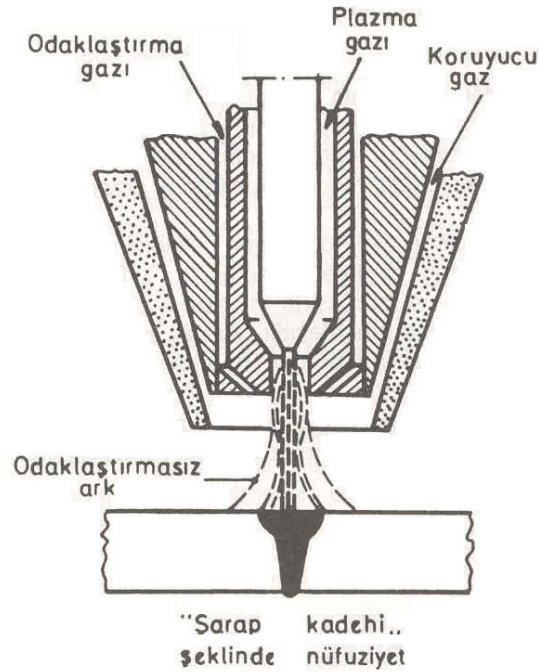
Buna karşılık PA üfleçinde elektrot, büzücü meme içinde geri çekilmiştir. Ark iş parçası üzerinde göreceli olarak küçük bir alana sevk edilip odaklaştırılmıştır. Ark şeklinin esas itibariyle silindirik oluşu nedeniyle üflecin parçadan uzaklığı değiştiğinde iş parçasına temas alanında çok az değişme olur. Bu itibarla PA yöntemi, TIG'inkine göre, üfleç uzaklığı değişmelerine çok daha az duyarlıdır.

PA üflecinde elektrot geriye çekik olduğundan onun parçaya değmesi mümkün değildir ve böylece de kaynak banyosuna elektrot metalinden bulaşma olanağı büyük ölçüde azalmıştır.

Şek.8'de de yine TIG ve PA kaynaklarında arkın iş parçasına çarpma alanlarıyla sıcaklıkların dağılımları görülür.

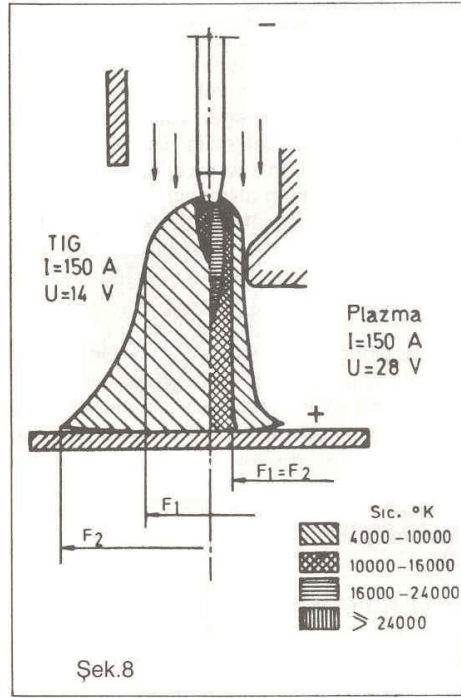
PA üflecinde ağız gazı tünelden geçerken ark tarafından ısıtılır, genişler ve büzölmüş ağızdan ivmiş bir hızla çıkar. Ancak, çok güçlü bir gaz jetinin kaynak banyosunda kesme ya da turbölans yaratması nedeniyle ağız gazı debisi genellikle 1,5 ilâ 15 l/dak (3-30 ft<sup>3</sup>/sa) mertebesinde dir.

Amerikan (AWS) teknolojisi, Alman (DVS) ve İsviçre (Secheron-OERLIKON)'ninkinde bulunan bir üçüncü odaklaştırıcı gaz (fokalizasyon gazı)ndan söz etmiyor (Şek.7)



Şek.7-Odaklanmış PA kaynağı üfleci. Ark çekirdeğinin ağızdan çıkısında eşmerkezli gaz zarfının dağılmasına imkân veren üfleç. Çevre üzerine muntazam olarak dağılmış 6.. .8 küçük delikten gönderilen soğuk gaz püskürmeleri, huzmenin ek soğuma ve odaklanmasını sağlar. Resimde, odaklanmamış arkın hayli genişlemiş dış çevresiyle sarap kadehi şeklindeki kaynak, ayrıca görülür.





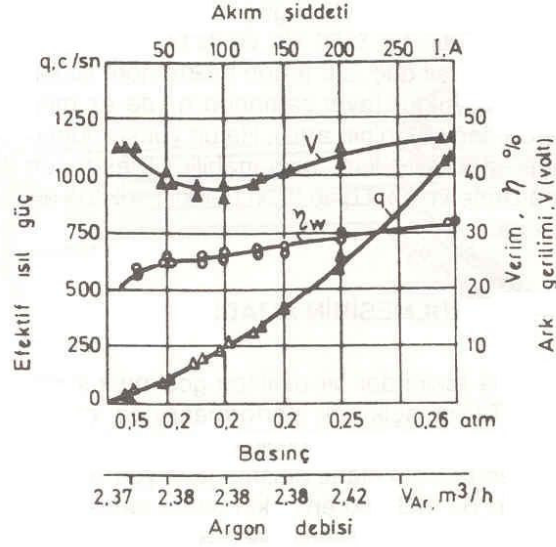
Yukarda söylediğimiz gibi plasma jet, tabanı meme çıkışından biraz daha küçük olan bir parlak çekirdeği haiz olup bu çekirdek daha az parlak bir kılıfla çevrilidir. Çekirdeğin uzunluğu meme ve tünelin boyutlarına,plasma oluşturucu gazın bileşim ve debisine, akım şiddeti ve ark uzunluğuna bağlı olarak 2-3 mm 'den 40-50 mm arasında değişir. Plasma jete, iş parçasının yüzeyinde bir ısı ve mekanik yük dağılımı için gerekli olabilecek biçimde şekillendirilmiş bir meme kullanmak suretiyle, şekil verilebilir.

Arktan ayrı ya da onunla birleşmiş argon PA'ı'nın sıcaklığı 10000 ilâ 15000°K olacak kadar yüksek olup bu başlıca, PA kafasının dar tüneli içinde gaz akımı tarafından büzülmüş deşarj sütunundaki enerjiden ileri gelir.

Bir ısı menbaı olarak PA başlıca, etkin ısıl gücü ile nitelenir

$$q = 0,24 \eta_w V I$$

Burada  $\eta_w$ , plasma ark (jet) tarafından işin ısıtılma verimi; V, ark gerilimi; I de ark akım şiddetidir.



Şek.9-Arktan ayrılmış PA'nın q fiili ısı gücü, plasma tarafından iş parçasının  $\eta_w$  ısıtılma verimi ve V ark gerilimi üzerinde I akım şiddetinin etkisi (elektrod mesafesi  $l=30$  mm, elektrod çapı  $d_e=6$  mm, argon debisi  $V_{Ar} = 2,37$  ilâ  $4,2$  m³/sa, meme çapı  $d_m=6$  mm, tünel çapı  $d_t=8$  mm, memenin iş parçasına mesafesi  $h=15$  mm).

Ark enerjisinin bir bölümü memeyi ( $\eta_m$ ), bir bölümü tüneli ( $\eta_t$ ), bir bölümü de elektrodu ( $\eta_e$ ) ısıtmada kaybolur; ayrıca radyasyon ve konveksiyon yoluyla da kayıplar olur. Plasma jetin fiili ısı gücü ark gerilim ve akım şiddeti, gazın bileşim ve debisi, meme ve tünel çapları, meme ile iş parçası arasındaki mesafe değiştirilmek suretiyle ayarlanabilir (Şek.9).

Bir ortalama debi ve arktan ayrılmış bir plasma jet için  $\eta_w$  %30 ilâ 50 olur. T<sup>^</sup> verimi düşük gaz debisinde ciddi şekilde, yüksek gaz debisinde de gözle görülmeyecek kadar azalır. Meme ve tüneli ısıtmak için israf edilen enerji miktarı, yüksek gaz debisi ve arktan ayrılmış plasma jet için %25-30; ark çekirdeği ile birleşmiş bir plasma jet için de %5-6'dır. Düşük debilerde bu oranlar sırasıyla %60-70 ve %30-40'a yükselir.

Bir plasma üflecinin tüneline potansiyel gradien, bir serbest ark içindekinden iki ilâ üç kat daha büyüktür.

Gaz bileşiminin, fiilî ısı gücü üzerinde doğrudan etkisi vardır, bir %86 He ve %14 Ar karışımı için q fiili ısı gücü saf argon haline göre iki kat daha büyüktür {aynı zamanda  $\eta_w$  de az miktarda değişir}. q'nın artışı, He un yüksek ionlaşma potansiyeline bağlanabilir. Elektrodun malzeme ve çapı q ve  $\eta_w$  yi belirgin şekilde etkilemez.

## **ARK BÜZÜLMESİNİN AMACI**

Plasma arkını dar bir delikten geçirmek suretiyle TIG'in açık ark performansında birçok olumlu gelişme elde edildiğini gördük. Bunlardan en belirgin olanı, plasma jetin yön stabilitesidir. Bir TIG arkı en yakın parça bağlantısına (zemine) doğru çekilir ve düşük güçlü magnetik alanlar tarafından saptırılabilir. Oysa ki bir PA, göreceli olarak bükülmez haldedir; o, yöneltildiği tarafa gitme eğilimindedir ve mag-netik alanlardan çok daha az etkilenir.

Ark büzülmesiyle yüksek akım yoğunluğu ve yüksek enerji odaklanması meydana getirilebilir. Daha yüksek akım yoğunlukları büzülüş PA'ında daha yüksek sıcaklıklara götürür (bir büzülüş ark, açık arka göre, %100 daha yüksek bir ark gücü ve %30 daha yüksek bir sıcaklık arz eder.)

TIG arkının sıcaklığı, genellikle bu yöntemle kaynak edilen metallerin ergime noktalarının çok üstünde olduğundan, büzülüş arkın daha yüksek sıcaklığı onun başlıca avantajı sayılmamaktadır. Başlıca avantajlar arkın, büzülme yoluyla sağlanan yön stabilitesi ve odaklanma etkisiyle üfleç-parça arası meselenin değişmelerine göreceli olarak duyarsız olmasındadır. PA, ark enerjisini daha iyi kontrol etmek olanağını verir. Arkın yanlarının paralel kılınması (silindirik şekli), ark kuvveti, iş parçası üzerinde enerji yoğunluğu derecesi ve daha başka karakteristikler her şeyden önce,

- 1) Plasma akım şiddeti,
- 2) Meme ağzı çap ve şekli,
- 3) Ağız gazının tipi,
- 4) Ağız gazının debisi

nin fonksiyonudurlar.

Birçok PA çalışma yöntemleri arasındaki temel farklar bu dört etkenin ilişkilerinde yatar. Bunlar, çok yüksek ya da çok alçak ısı enerjisi sağlayacak şekilde ayar edilebilirler. Örneğin, PA kesmesi için gerekli yüksek enerji odaklaştırılması ve yüksek jet hızı yüksek akım şiddeti, küçük çaplı bir meme ağzı, yüksek ağız gazı debisi ve yüksek ısı iletkenliği haiz bir gazı gerektirir. Öbür taraftan kaynak için, kaynak metalinin iş parçasından atılmasını önlemek üzere, bir düşük plasma jet hızı gerekir. Bu da daha geniş meme ağızları, çok daha düşük gaz debileri ve daha düşük transfer olmuş ark akımlarını gerektirir.

Görmüş olduğumuz PA türlerinden transfer olmuş arklar, parçaya daha büyük enerji transferi sağlama avantajına sahip olmakla birlikte bunda, elektriksel olarak iletken bir iş parçası gereklidir. Transfer olmamış arklar, iletken olmayan iş parçalarının kesilmesi ve birleştirilmesinde ya da çok düşük enerji odaklanmasının arandığı uygulamalarda yararlıdır.

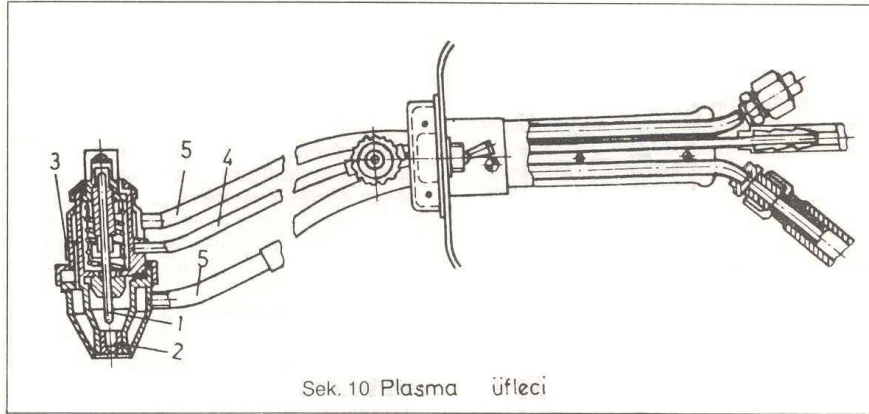
## TEMEL DONANIM

PA kaynağı için temel donanım TIG kaynağındakinin aynı olup bir kaynak üflecı, bir kaynak güç menbaı, arkı tutuşturmak için bir tertibat, gaz ve soğutma suyu bağlantılarından ibarettir. PA kaynak üfleçleri, görünüm itibariyle TIG üfleçlerine benzer. PA güç menbaı genellikle «düşen-sarkan» volt-amper karakteristikli doğru akım makineleridir.

Ticarî ölçüde kesmek, metal püskürtmek, kaynak etmek ve sair işlemler için özgül olarak tasarlanmış PA üfleç çeşitleri vardır. Şek. 10, elle kesme için bir PA kafasının kesitini gösterir.

Kafa, gaz tüneli ile birleşik ve suyla soğutulmuş bir meme (2)yi, bir elektrot (1) tutucusunu ve bir gövdeyi (3) haizdir. Her kafanın değişik boyutta bakır meme takımı vardır. Plasma oluşturan gaz bir tüp(4), soğutma suyu da bir başka tüp(5) ile kafaya gelir. Tutucu, memeden gerekli mesafede tespit edilebilen bir tungsten elektrodu haizdir. Ark deşarjı genellikle yüksek frekanslı bir enjeksiyon ünitesi tarafından harekete geçirilir.

Jetin çevre bölgesinde ionlaşmamış gazdan yüksek miktarın, iyi bir kaynak dikişinin oluşmasında olumsuz etki yaptığını görmüştük. Bu yüksek miktarın varlığı, PA'ın iş parçasının ya-

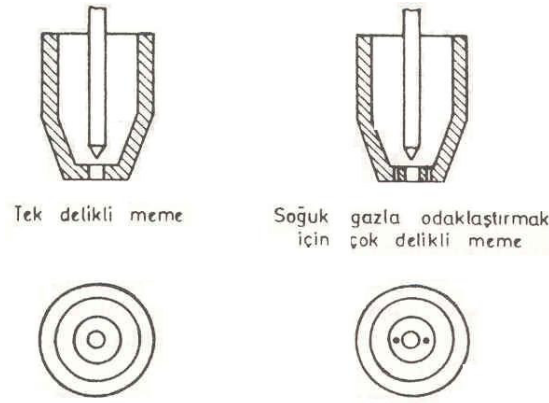


kınında fazlaca genişmesini meydana getirir zira, büzme memesinden çıkarken jet, kendi doğal çan şeklini almaya meyleder, bu eğilim, çekirdek yakınında gaz zarfının ionlaşmış bölgeleri tarafından pekiştirilir. Bunun sonucu olarak bir yandan, aşağıda göreceğimiz «anahtar deliği» etkisinin olumlu şekilde meydana gelmesi için gerekli makaslama gücü azalır, öbür yandan da üst ergime bölgesi istenmeyen ölçüde genişler.

Böylece de üflecin ağzından çıkışında plasma jetin bir ek odaklaştırılması sorunu genel olarak ortaya çıkar. Avrupa'da daha önce de değindiğimiz gibi (Şek.7), bu yönde çeşitli üfleç şekilleri gerçekleştirilmiştir; bunların hepsi püsküren plasmanın fiziko-mekanik soğutulması esasına dayanır.

Bu tasarımlardan biri, esas itibariyle mekanik soğutmalı olup bunda eksene göre karşılıklı olarak, kapalı açıda püskürtülen soğuk gaz kullanılarak sıcak çekirdeği çevreleyen gaz tabakaları dağıtılır. Böylece de arkın bir ek soğuma ve büzülmesi elde edilir ve aynı zamanda plazma jetin genişlemesine yardımcı olan gaz tabakaları yok edilmiş olur.

Bir başka üfleç modelinde ağız ekseninin iki yanında ve yakınında simetrik olarak bulunan iki dikey küçük delikten soğuk gaz çıkar ki böylece arkın iki mukabil yanının soğutulmasıyla onun yassılması ve dolayısıyla de dikiş genişliğinin hissedilir derecede azalması hasıl olur (Şek.11).



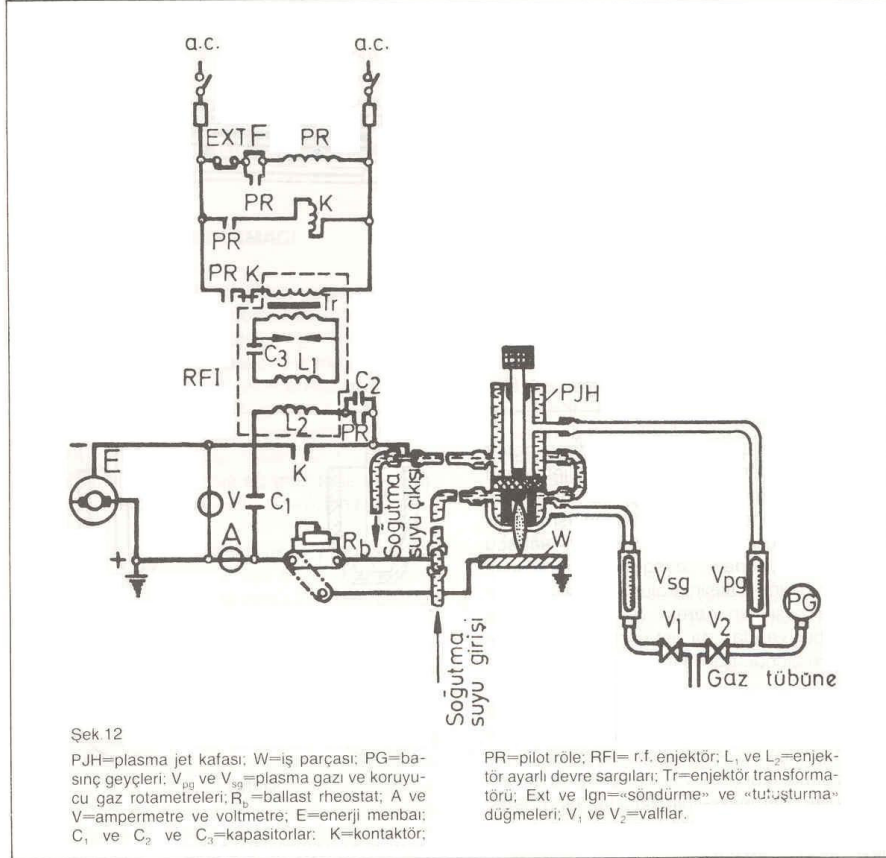
Sek.11

## ***ARKIN TUTUŞTURULMASI***

Bir PA kafasının tipik bir elektrik devresi Şek.12'de görülür.

Bunda enerji menbaı genellikle bir kaynak jeneratörü ya da redresörüdür. Plazma oluşturan gaz saf argon olduğunda, enerji menbaının boşta gerilimi en az 60 ilâ 65 V olmalıdır. H, N veya He kullanılmasında, daha yüksek bir boşta gerilim gerekli olur.

Kafanın soğutma sistemi su şebekesine, elektrod ve memeye akım götürmek üzere 4 mm<sup>2</sup> kesitli çıplak bakır iletkenlerle takviyeli bir eğilebilir hortumla bağlanabilir. Gazın debisi V<sub>1</sub> ve V<sub>2</sub> valflarıyla ayarlanıp bir döner debimetre (rotametre) üzerinden geçirilebilir.



Plasma arkı, TIG'de kullanılan normal yöntemlerle harekete getirilemez. Elektrot, büzülmüş meme içinde geriye çekik olduğundan, onu iş parçasına temas ettirerek arkı tutuşturmak mümkün değildir. Önce bir düşük akım şiddetli pilot akım, elektrotla büzülmüş meme arasında tutuşturulması gerekir. Pilot ark gücü ayrı bir güç menbandan sağlanabileceği gibi kaynak güç menbandan da alınabilir.

Pilot ark iki yolla harekete getirilebilir. Düşük akım şiddetli üfleçte elektrot, memeye dokununcaya kadar ileri sürülebilir; sonra da geri çekilerek ark meydana getirilebilir. Yüksek akım şiddetli üfleçlerde ya yüksek frekanslı alternatif güç (yüksek amperaj, alçak amperaj), ya da bir veya daha çok yüksek gerilim, düşük güç darbeleri (pulse) kaynak devresine bindirilir. Yüksek gerilimli güç, ağız gazını, pilot ark akimini sevk edecek şekilde ionlaştırır.

Pilot arktan ionlaşmış gaz, elektrot ile meme veya elektrot ile iş parçası arasında bir düşük mukavemetli yol oluşturur.

## ÜFLEÇLER

Bir PA kaynak üflecinde elektrot taşıyıcısı elektrodu meme içinde orta kısma göre büyük hassasiyetle merkezleyecek şekilde imal edilir zira orta kısma göre tam merkezlenmemiş elektrot. ağıza yakın yerde bakır memesinin ergimesine yol açar ve ömrünü kısaltır.

Yukarda söylendiği gibi çeşitli kaynak uygulamaları için değişik büzölmüş meme tasarımları vardır. Belli bir uygulamada kullanılan meme ağzının çapı, kullanılacak kaynak akım şiddetine bağlıdır. Yüksek akım şiddetleri, daha geniş ağız çapını gerektirir.

Her ölçü için bir üfleç, belli bir ağız çapına göre kademelendirilir. Belli bir ağız ölçüsü ve belli bir üfleç için bir maksimum akım şiddeti saptanmıştır. Bu maksimum akım şiddeti değeri aynı zamanda belli bir plazma gaz tipini ve debisini gerektirir. Örneğin bir 2,3 mm çaplı ağız, 100 A ve 0,7 t/dak argon debisine göre kademelendirilmiştir. Ağız gazı debisinin 0,7 l/dakının altına düşmesi halinde, maksimum akım şiddeti de düşürülecektir.

PA el kaynak üfleçleri doğru akım düz kutup (elektrot eksi kutupta), 225 A'e kadar akım şiddetleri için imal edilmektedir. Üfleç tutucuları, onu mekanize şekilde kullanmaya elverişli olarak yapılır.

Otomatik kaynak makinesi üfleçleri ya doğru akım düz kutup, ya da doğru akım ters kutup (elektrod+kutupta) ve 500 A'e kadar çalışmak üzere imal edilir.

Her tipten tungsten elektrodların akım nakletme kabiliyeti, elektrod tutucusunun tipi, elektrodun tutucudan uzanma miktarı, kaynak pozisyonu, koruyucu gaz ve kaynak akımının tipine bağlıdır.

Isı enerjisinin üçte ikisinin anotta ve üçte birinin de katotta meydana gelmesi dolayısıyla bir elektrod, (+) kutba bağlı olma durumuna göre (—) kutba bağlı durumda fazla ısınmadan çok daha yüksek akım taşıyabilir. Aynı şekilde (—) kutba bağlı bir elektrodun doğru akım kabiliyeti onun alternatif akım kabiliyetinden fazladır.

(—) kutba bağlı bir elektrodun doğru akım kabiliyeti, thorium veya zirkorium ilâvesiyle beklendiği kadar artmamaktadır; gerçi bu element ilâveleri elektron emisyonunu artırıp elektrod ucunun sıcaklığını azaltır ama sözü edilen kabiliyet, elektrodun elektriksel-direnç ısınmasına mukavemet kabiliyetiyle sınırlıdır. Aşın akımlarda elektrod fazla ısınır, ergir ve ucuyla onu tutan manşon arasında yarı mesafede sakatlanır. Bu nedenlerle alaşımli tungsten elektrodlar saf tungsten elektrodlara göre akım taşıma kabiliyetinde büyük kazançtan çok iyi ark tutuşturma karakteristiği dolayısıyla tercih edilir.

## ***ARK BÜZME MEMELERİ***

Bunlar da çok çeşitli olup esas itibariyle tek delikli ve çok delikli olmak üzere ayrılırlar. Bu sonunculara ek gaz delikleri, ana deliğin etrafında halka olur ya da yan yana sıralanırlar. Bunlar arasında en çok kullanılanı, yukarıda gördüğümüz (Şek.11) orta deliğin sağ ve solunda simetrik birer küçük delik bulunan memelerdir.

Tek delikli memede ark ve ağız gazının tümü bu tek delikten geçer. Çok delikli memede ark ve ağız gazının bir bölümü geniş merkez deliğinden geçer. Ağız gazının gerisi de merkez (orta) deliğin sağ ve solundaki simetrik küçük deliklerden akar. Tek delikli meme genellikle doğru akım ters kutupta (elektrod +) kullanılıp çok delikli memeler ise düz kutup kaynağının avantajlarını sağlarlar.

Uygun şekilde tasarlanmış kaynak birleşmeleri için bu üç delikli meme, etkin olarak kullanılabilir. Bu üç deliğin müşterek eksenine kaynak ağzı eksenine dikey olarak yürütüldüğünde ark, birleşme yerine uyacak şekilde uzar. Aşağıda göreceğimiz «anahtar deliği» tekniğinde bu, tek delikli memelerle elde edilen kaynak hızının %30 ilâ %50 kadar artmasını sağlar.

Normal çalışma sırasında, üflecin içindeki ark sütunu halka şeklinde ve çok dik ısıl gradienli bir soğutucu gaz tabakasıyla çevrilidir. Göreceli olarak serilmeme cidarındaki iletken olmayan gaz tabakası, ısıl ve elektriksel yalıtıkanlık sağlayıp memenin iç yüzeyini korur. Bunun sonucu olarak, suyla soğutulmuş bakır (en çok kullanılan meme malzemesi), kendisi 1083°C'ta ergirken, 24000°C'ı aşan sıcaklıklarda plazma içerebilen bir arki büzümekte kullanılabilir.

Yetersiz ağız gazı debisi veya belli bir meme geometrisi için aşırı sayılacak bir ark akım şiddeti gibi bir nedenle koruyucu gaz tabakası bozulacak olursa meme çift ark husulü dolayısıyla zarar görür. Çift arkta, metalik üfleç memesi, iş parçasına akım yolunun bir tarafını oluşturur ve esasta iki ark teşekkül eder. Birinci ark elektrottan memeye, ikincisi de memeden iş parçasına doğrudur.

Ağız gazının debisi, plazma ark üflecinin nüfus etme gücünü etkiler. Bu debi ne kadar yüksek olursa o kadar nüfuz edici güç elde edilir. Ancak, gaz debisi arttığında, yukarıda saydığımız kaynak banyosunda türbülans ve kesme olaylarının dışında, kaynağın kenarlarında yanma çentikleri daha büyük olur. Genellikle iş görmeye yeterli asgari debide çalışılması tavsiye edilir.

## ***GÜÇ MENBALARI***

Düşen volt-amper karakteristiktir alışılagelmiş tipte güç menbaları doğru akım düz kutup (elektrot —) PA kaynağı için tercih edilir. Bu üniteler T!G kaynakları için kullanılanlarla aynı



tipinde olup 100 A'dan 500 A'ye, %60 ile %100 etkin çalışma sürelerine (duty cycle) kadar akım şiddetleri için mevcuttur.

Elektriksel karakteristikleri itibarıyla redresör tipi güç menbaları, motor-generatörleri tiplerine tercih edilmektedir. 65 ilâ 80 V'luk bir açık devre voltajlı redresör, ağız gazı olarak saf argon veya %7'ye kadar hidrojen içeren bir Ar-H karışımı ile PA kaynağı için elverişlidir. Ancak, saf helium veya %7'den fazla H içeren bir Ar-H karışımı kullanıldığında, güvenilir ark tutuşturulması için daha yüksek açık devre gerilimine gerek vardır. Bu da iki güç menbaının seri bağlanması suretiyle elde edilebilir. İntizamsız ark tutuşması vaki olduğunda, ark saf argon içinde tutuşturulup sonra kaynak için otomatik olarak Ar-H karışımına dönüştürülür. Ülkemizde bugün için He kullanımı bahis konusu değildir.

### **KAYNAK AKIMI**

Çoğu uygulamalarda tungsten elektrot ve transfer olmuş arka doğru akım, elektrot (—) kutupta kullanılır.

Doğru akım, elektrot (+) kutupta, sınırlı ölçüde olmak üzere, bir tungsten ya da suyla soğutulmuş bakır elektrotla alüminyum kaynağı için kullanılır. Keza ters (+) kutup, öze! olarak tasarlanmış üfleçlerle, elektrot malzemesi bulaşmasından kaçınmanın başlıca düşünce olduğu hallerde titanium ve zirkonium «sponge compact» (reaktörlerde kullanılan sünger halinde cevher) larının birleştirilmesinde kullanılır.

Doğru akım kaynağında akım şiddeti, aşağıda ayrıntılarıyla irdeleyeceğimiz mikroplasmada OJA'den. yukarıda belirtilmiş 500 A'ye kadar çıkar. İnce saçların küt alın kaynağı için PA kaynağı değişkenleri Tablo 1'de verilmiştir. Kaynak hızı ve kalitesi, Şek. 4c'deki düzen kullanılarak yükseltilir (Rus verileri).

C=%0,12; Cr=%18; Ni=%9; Ti=%1,5 bileşimli bir paslanmaz çelikten 0,8 mm. kalınlıkta saçın PA kaynağının mekanik nitelikleri de Tablo 1'de özetlenmiştir. Kaynaklarda kristaller arası korozyon ya da çatlak bahis konusu değildir (Rus değerleri).

Tablo 1- Plasma jet yöntemi için kaynak değişkenleri.			
Değişkenler		Düşük karbonlu çelik; 0,6 mm kalınlıkta	18/9 Paslanmaz çelik. 0,8 mm kalınlıkta
Akım şiddeti,	A	60	160
Akım gerilimi,	V	29	29
Meme (uç) çapı,	mm	5	4
Argon debisi,	lt/sa(m <sup>3</sup> /sn)		
memede		155 ( 4,3 × 10 <sup>-5</sup> )	170 ( 4,7 × 10 <sup>-5</sup> )
uçta		-	580 (16,1 × 10 <sup>-5</sup> )
Mesafe		3	4,5
Kaynak hızı,	m/sa(m/sn)	10 ( 27 × 10 <sup>-4</sup> )	12 ( 33 × 10 <sup>-4</sup> )

Tablo II- Mekanik özellikler			
Aşağıdaki metallere kesilmiş örnekler	Kopma mukavemeti $\sigma_t$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	Kopma uzaması %	Kopma büzülmesi %
Ana metal	68 - 72	40 - 50	50 - 55
Kaynak metal	66 - 70	25 - 30	36 - 48

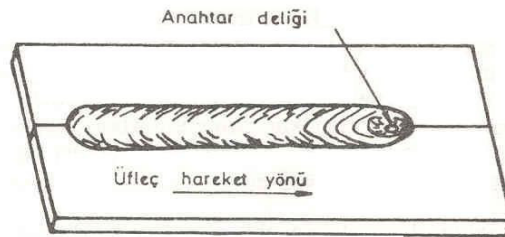
İnce malzemelerin yaklaşık 10A ile kaynağında tipik ark uzunlukları, PA da 0,25" (6,4 mm), TIG'de ise 0,025" (0,6 mm)dir. Elektrot malzemesi bulaşma ihtimali TIG kaynağı için böylece büyük oluyor.

### **KAYNAK YÖNTEMLERİ**

PA ile kaynak iki yöntemle uygulanmakta olup bunlardan ilki «ergitme tekniği» diye adlandırılan yöntemdir. Bunda, TIG yönteminde uygulanan mutata ergitme kaynağı PA ile alçak akım şiddetleri ve ağız gazı debisi ile de uygulanabilir. Bu «ergitme tekniği» genellikle elle yapılan tek şekildir. İlâve kaynak çubuğu, ergimiş kaynak banyosuna eklenebilir.

Yüksek kinetik enerjisi dolayısıyla plasmanın fevkalâde sıcak iç kısmı bile ancak «anahtar deliği etkisi» adı verilen bir özel teknik sayesinde kullanılabilir hale gelmiştir; herhangi bir alıştırmaya yapılmadan uç uca getirilmiş saçların DU kenarları jet tarafından ertilip yanlara doğru itilir ve böylece de bütün kalınlığı aşan ve birleşme yeri boyunca ilerleyen bir delik meydana gelir. Sıvı metalin yüzey gerilimi dolayısıyla da ergime banyosu, jet ilerledikçe kapanır ve dikiş teşekkül eder.

Kesici çekirdek ve onu çevreleyen sıcak gaz tabakaları mutata şekilde iş parçası metalinin üst kısmını, nispeten geniş ama az derin bir banyo teşkil ederek ertirir. Buna karşılık, birleşme yerinin bu banyonun altında kalan bölümü ancak plasmanın kesici çekirdeği tarafından, bu



Şek.13-Anahtar deliği

bölgede hafifçe konik çok dar bir birleşme hasıl ederek ertirilir. Buna, benzerliği dolayısıyla «şarap kadehi şekli» adı verilir. (Şek.7 ve 13)

PA yöntemi bu mutata dışı karakteristiği arz eden tek gaz altı kaynak yöntemidir. Bir stabî anahtar deliği işleminde, ergimiş metal, kaynak birleşme yerine nüfuz ederken plasma akımı

tarafından en baştaki kaynak tırtılının yüzeyine sürülür ve karakteristik anahtar deliğini oluşturur. PA üfleci mekanik olarak birleşme yeri üzerinde ilerlediğinden, ark tarafından ergitilmiş metal plazma akımının etrafına ve kaynak banyosunun oluşup katılaştığı geriye doğru akmaya zorlanır. Ergimiş metalin hareketi ve metal kalınlığının tam nüfuziyeti yabancı maddelerin yüzeye çıkmasına ve gazların da, katılaşmadan önce kolaylıkla atılmasına olanak sağlar. Bu hareket, TIG'de gelişen «magnetik karıştırma»nın aynıdır. Azami kaynak banyo hacmi ve bundan meydana gelen kök yüzey profili, geniş ölçüde ergimiş kaynak metalinin yüzey gerilimiyle plazma akım hızı karakteristikleri arasındaki kuvvet dengesinin etkisiyle saptanır.

Yüksek akım şiddetli anahtar deliği tekniği, kaynaktan çok kesmeye yönelecek koşulların hemen altında çalışır. Kesmek için biraz daha yüksek ağız gazı hızı, ergimiş metali def eder. Kaynakta gaz hızı, ergimiş metalin yüzey geriliminin onu birleşme yerinde tutmasına olanak sağlayacak kadar düşüktür. Bu nedenle kaynak için ağız gazı debisi önemli olup yakından kontrol edilecektir. 0,12 l/dak (1/4 ft<sup>3</sup>/sa)dan fazla debi değişmelerine izin verilmemesi önerilir.

Anahtar deliği tekniğindeki «şarap kadehi» profilinde «çanak» ve «ayak» kısımlarının izafi oranları, huzmenin enerji yeknesaklığına bağlıdır. Şöyle ki asgari «çanak» şekli, asgari ölçüde düşük hızlı ve soğuk dış gaz tabakalarını haiz, paralel kenarlı bir jetle elde edilir. Bunun da nasıl sağlanabildiğini (ek odaklaştırıcı gaz vs...) yukarıda görmüştük.

Bugün PA yöntemi 12 mm. kalınlıkta saçları uç uca, kaynak ağızsız (küt alın), ilâve kaynak teli olmadan, tek pasoda kaynak etme olanağını sağlamaktadır. Yakında aynı koşullarla bu kalınlığın 30 mm. ye çıkarılması beklenmektedir. Bunun için anahtar deliği etkisinin yine etkin şekilde bu kalınlıklarda mevcut olması gerekir. Parçanın altından çıkan plazma jeti burada iyice görülüp kaynağın iyi nüfuziyetinin emin bir kontrolüne olanak sağlar.

Anahtar deliği etkisini elde etmek için saçın bir asgari kalınlığı haiz olması gerekir ki az çok metallerin çoğunda yaklaşık 2 ilâ 3 mm. kalınlıktan itibaren bu mümkün olmaktadır.

Örneğin, dış çapı 90 mm ve cidar kalınlığı 5,7 mm olan paslanmaz çelik boruların uzunlamasına kaynağı için PA yöntemi kullanılmaktadır. Kaynak hızı 0,35 m/dak. dır. Bu durumda anahtar deliği mutlaka gereklidir. Ağız gazı için olduğu kadar odaklaştırıcı ve koruyucu gaz olarak bir argon ve %7,5 hidrojen karışımı kullanılmaktadır. Saf argona göre bu karışımların daha yüksek enthalpi(\*)si, birleşenlerden birinin ayrışabilir olması koşuluyla, çok daha iyi bir ısı intikalini sonuçlandırır.

Önceleri bu aynı borular TIG yöntemi ve koruma gazı olarak helium kullanılarak 0,15 m/dak. hızla kaynak ediliyordu. Şu halde kaynak hızı iki kattan fazla artmış olmaktadır.

Bir ölçüde bu iki üfleç modeli, yani tek ve çok delikli modeller alüminyumun, doğru akım ters kutupla (elektrod +) kaynağına olanak sağlar. Ergime banyosunu elektriksel olarak temizle-

mek için iş parçası (—) kutupta olmalıdır. Buna göre elektrod, zorunlu olarak (+) kutba bağlı olup önemli miktarda ısı alır. Sadece sağlam, doğruca soğutulmuş bakırdan bir elektrod bu anot rolünü oynayabilip kendisine gelen büyük ısı miktarını hızla intikal ettirebilir. Bununla birlikte alüminyumun uygun şekilde temizlenmesi için özel tipte alternatif akım güç menbaları da vardır. 11 mm.ye kadar Al alaşımları, bu özel güç menbaları kullanılarak anahtar deliği tekniği ile tek pasoda kaynak edilebilir.

(\*) Aşağıda ayrıntıları verilecektir.

Prensip olarak TIG yöntemiyle kaynak edilebilen bütün metaller PA ile de kaynak edilebilirler. Bu sonuncu yöntemin metaller üzerindeki metalürjik etkisi öbür kaynak yöntemiyle aynı olup ön ısıtma, son ısıtma, gaz koruması ve seçimi TIG kaynak yöntemininkinden farksızdır.

Halen deneyler, aşağıdaki metalleri kapsamıştır.

Çeşitli paslanmaz çelik tipleri, titanium, Zircaloy, Maraging çeliği, Inconel, 70/30 Cu-Ni alaşımı, Monel, karbonlu çelikler, alüminyum, alçak alaşımlı çelikler, bakır alaşımları, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar ve titanium alaşımları. Bütün bu metaller PA ile kaynak edilip kesilebilirler. Kesme konusuna ayrıntılı olarak daha sonra değineceğiz.

### ***SARF MALZEMELERİ***

Çeşitli ana metallerin PA kaynağında kullanılan ilâve kaynak metalleri (filler metal) TIG ve MIG-MAG yöntemlerinde kullanılanlarla aynıdır. Elle çalışmada bunlar çubuk halinde, mekanize çalışmada da sürekli tel şeklinde olurlar. Bunlara ait AWS spesifikasyonları Tablo III'de gösterilmiştir (AWS).

PA kaynağında kullanılan saf ya da thorium (%1-2) veya Zirkonium (%0,25) alaşımlı tungsten elektrodun ark hasıl eden ucu içeri doğru 20 ile 60° arasında değişen bir açığa taşlanmış, tepesi ya keskin ya da hafifçe düzlenmiştir. Düz tepenin çapı önemli olmamakla birlikte 3,2 ve 4 mm çaplı elektrod için 0,8 mm olup daha küçük çaplı elektrodlarla orantılı olarak azalır. 1 mm den küçük elektrod kullanılmaz.

### ***GAZLAR***

Ağız gazı, tungsten elektrodun çabuk harap olmasını önlemek üzere asal olmalıdır. Buna karşılık kaynak birleştirme özelliklerini ters yönde etkilemediği sürece de ağız ve koruyucu gazların asal olmalarına gerek yoktur.

PA kaynağında gazların seçimi, kaynak edile-

Tablo III- PA kaynağında kullanılan ilave kaynak metalleri için AWS spesifikasyonları.

AWS spesifikasyonları	İlave kaynak metalleri
A5.7	Bakır ve bakır alaşımı kaynak çubukları
A5.9	Korozyona dayanıklı Cr ve Cr Ni Çelik çıplak elektrodları ve kaynak çubukları
A5.10	Aluminyum ve aluminyum alaşımı kaynak çubukları ve çıplak elektrodları.
A5.14	Nikel ve nikel alaşımı çıplak kaynak çubukları ve elektrodları.
A5.16	Titanium ve titanium alaşımı çıplak kaynak çubukları ve elektrodları.
A5.18	MIG kaynağı için yumuşak çelik elektrodlar.
A5.19	Magnezyum alaşımı kaynak çubukları ve çıplak elektrodları.
A5.24	Zirkonium ve zirkonium alaşımları çıplak kaynak çubukları ve elektrodları.

cek metallere bağlıdır. Yüksek akımla kaynak için koruyucu gaz ağız gazı ile genellikle aynıdır zira iki farklı gazın kullanılması halinde arkın kararlılığında değişimler kaçınılmaz olur. Çeşitli metallerin yüksek akım şiddetiyle kaynağında genellikle kullanılan gazlar Tablo IV'de gösterilmiştir.

Alçak akım şiddetli PA kaynağı için genellikle kullanılan koruyucu gazlar da Tablo V'de gösterilmiştir.

Tablo VI'da (Sécheron-OERLIKON), bazı metallerin uç uca (küt alın), tek pasoda ve ilave kaynak metali olmadan PA kaynağı parametreleri, bu arada da gaz cins ve debileri görülür.

Tablo IV- Yüksek akım PA kaynağı için gaz seçimi.<sup>a</sup>

Metal	Kalınlık		Kaynak tekniği	
		mm	Anahtar deliği	Ergitme
Karbon çeliği (aluminyumla desokside)	max.	3,2	Ar	Ar
	min.	3,2	Ar	% 75 He- % 25 Ar
Alçak alaşımlı çelik	max.	3,2	Ar	Ar
	min.	3,2	Ar	% 75 He- % 25 Ar
Paslanmaz çelik	max.	3,2	Ar. % 92,5 Ar- % 7,5 H <sub>2</sub>	Ar
	min.	3,2	Ar. % 95 Ar- % 5 H <sub>2</sub>	% 75 He- % 25 Ar
Bakır	max.	2,4	Ar	% 75 He- % 25 Ar, He
	min.	2,4	Önerilmemiş <sup>b</sup>	He
Nikel alaşımları	max.	3,2	Ar. % 92,5 Ar- % 7,5 H <sub>2</sub>	Ar
	min.	3,2	Ar. % 95 Ar- % 5 H <sub>2</sub>	% 75 He- % 25 Ar
Reaktif metaller	max.	6,4	Ar	Ar
	min.	6,4	Ar-He (50 ilâ % 75 He)	% 75 He- % 25 Ar

a- Gaz seçimleri hem ağız hem de koruma gazları içindir.

b- Dikiş altı uygun şekilde teşekkül etmez. Teknik, sadece bakır-çinko alaşımları için kullanılabilir.

Metal		Kalınlık mm	Kaynak tekniği	
			Anahtar deliği	Ergitme
Aluminyum	max.	1,6	Önerilmemiş	Ar, He
	min.	1,6	He	He
Karbon çeliği (aluminyumla desoksidede)	max.	1,6	Önerilmemiş	Ar, % 25 He - % 75 Ar
	min.	1,6	Ar, % 75 He - % 25 Ar	Ar, % 75 He - % 25 Ar
Alçak alaşımlı çelik	max.	1,6	Önerilmemiş	Ar, He, Ar-H <sub>2</sub> (% 1-5 H <sub>2</sub> )
Paslanmaz çelik		Hepsi	Ar, % 75 He - % 25 Ar, Ar, H <sub>2</sub> (% 1-5 H <sub>2</sub> )	Ar, He, Ar-H <sub>2</sub> (% 1-5 H <sub>2</sub> )
Bakır	max.	1,6	Önerilmemiş	% 25 He - % 75 Ar, % 75 He - % 25 Ar, He
	min.	1,6	% 75 He - % 25 Ar, He	He
Nikel alaşımları		Hepsi	Ar, % 75 He - % 25 Ar, Ar-H <sub>2</sub> (% 1-5 H <sub>2</sub> )	Ar, He, Ar-H <sub>2</sub> (% 1-5 H <sub>2</sub> )
Reaktif metaller	max.	1,6	Ar, % 75 He - % 25 Ar, He	Ar
	min.	1,6	Ar, % 75 He - % 25 Ar, He	Ar, % 75 He - % 25 Ar

a- Gaz seçimi sadece koruma içindir. Argon bütün hallerde ağız gazıdır.

TABLO VI

Malzeme	Kalınlık mm	Kaynak akım şiddeti A	Kaynak gerilimi V	Plazma gazı l/dak	Koruyucu gaz l/dak.	Kaynak hızı cm/dak.
304 SS	4,7	165	36	6 7,5 H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	24 7,5 H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	40
304 SS	6,5	240	38	8 5 H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	23 5 H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	36
304 SS	13	305	35	2,4 Ar <sup>**</sup>	24 Ar <sup>**</sup>	19
Titanium	4,7	175	25	8,5 Ar <sup>**</sup>	47 Ar <sup>**</sup>	33
Titanium	13	285	38	1,9 Ar <sup>**</sup>	14 Ar <sup>**</sup>	25
Inconel 200	6,5	240	30	5,6 5 H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	19 5 H <sub>2</sub> <sup>*</sup>	30
Maraging % 18 Ni	6,5	225	29	6 Ar <sup>**</sup>	28 Ar <sup>**</sup>	34

\*% x H<sub>2</sub>'li argon \*\*Saf argon

Göreceli olarak yüksek çalışma gerilimleri kısmen plazma gazında hidrojen bulunmasındandır.

AWS verilerine göre karbon çeliği, yüksek mukavemetli çelikler, Ti, Ta, Zr alaşımları gibi reaktif metalleri kaynak etmek için argon kullanılır. Bu metallerin kaynağında kullanılan gaza eser miktarda bile H karışacak olursa süngerleşme, çatlama ve mekanik özelliklerde azalma görülür.

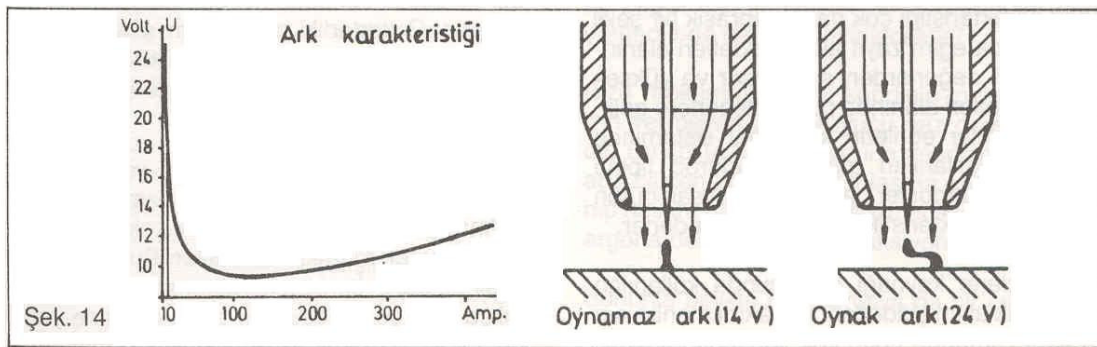
Her ne kadar argon bütün metalleri kaynak etmek için ağız gazı ve koruyucu gaz olarak uygunsuz da mutlaka optimum kaynak sonuçlarını sağlamaz. TIG'de olduğu gibi argona

hidrojen ilaveleri daha sıcak bir ark ve iş parçasına etkin bir ısı transferi hasil eder. Böylece de belli bir ark akım şiddeti için daha yüksek kaynak hızları elde edilir. Karışımda kullanılacak H miktarı, aşırı H ilâvelerinin kaynak dikişinde süngerleşme ve çatlama meydana getirme eğilimi dotayısıyla sınırlıdır. PA anahtar deliği tekniğiyle, belli bir metal, TIG kaynağında mümkün olandan daha yüksek H oranlarıyla, kaynak edilebilir. Süngerleşmeye gitmeden daha yüksek H oranlarının kullanılabilmesi anahtar deliği etkisi ve bunun hasil ettiği farklı katılma sürecine bağlanabilir.

Ar-H karışımları, paslanmaz çelik, nikel esaslı alaşımlar ve Cu-Ni alaşımlarının anahtar deliği kaynakları için ağız gazı ve koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır ki bunu Secheron-OERLIKON'un Tablo VI'daki verileri doğrulamaktadır. Müsaade edilebilen H yüzdeleri 6,4 mm. ( $\frac{1}{4}$ " ) kalınlıkta paslanmaz çelikte kullanılan %5'ten 3,8 mm (0,15") ve daha ince cidarlı paslanmaz boruların boru fabrikalarında en yüksek kaynak hızı için kullanılan %15'e kadar değişir. Genellikle, iş parçası ne kadar ince olursa, gaz karışımında müsaade edilebilen H oranı o denli yüksek olur. Bununla birlikte Ar-H karışımları ağız gazı olarak kullanıldıklarında, yüksek ark sıcaklığı nedeniyle belli bir kaynak akım şiddeti için ağız çapı genellikle küçültülür.

Memeden çıkan koruyucu gaz, kaynak uygulamasına göre Ar, bir Ar-H karışımı ya da Ar-He karışımı olabilir. Koruyucu gazın debisi mutad olarak alçak akım şiddetli uygulamalar için 10 ilâ 15 I/dak; yüksek akım şiddetli uygulamalar için de 15 ilâ 30 I/dak arasında olur.

Koruyucu gaz tungsten elektroda temas etmediğinden CO<sub>2</sub> gibi gazlar da kullanılabilir. CO<sub>2</sub> için debi 10-15 î/dak mertebesindedir.



## GENEL YÖNTEM UYGULAMALARI

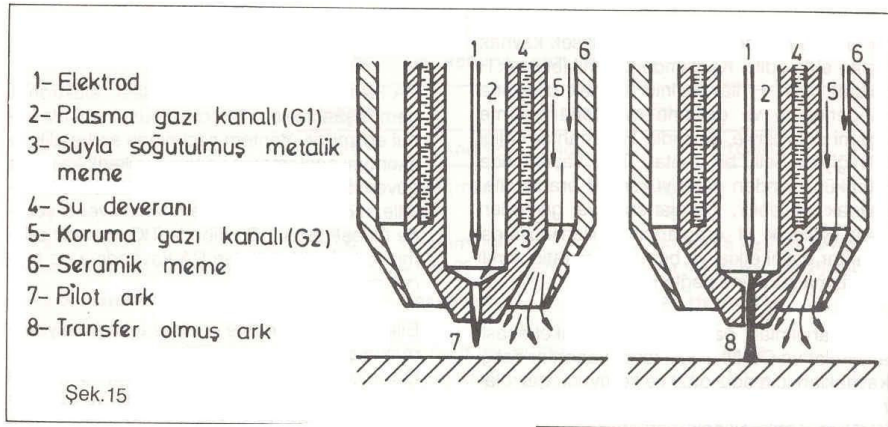
PA kaynak yöntemi feza, nükleer, elektronik, gemi inşaatı ve sair birçok endüstri dalında kabul edilmiştir. Yöntem seçiminde serbestlik ve ekonomi sağlamanın yanısıra yüksek kalite ve güvenilirliği korur. TIG ile kaynak edilebilen metallerin çoğu PA ile de memnuluk verici şekilde birleştirilebilir. Bu itibarla TIG için vaz edilmiş kabul şartnameleri PA kaynağına da teşmil edilebilir.

Elle kaynak genellikle ergitme tekniği ile yapılmakta olup dolayısıyla TIG kaynağına benzer. Çok ince metal kesitlerinin kaynağı bu ergitme tekniği ile çok daha büyük kolaylık ve güvenle yapılabilir. Boru imali gibi uygulamalarda, usta kaynakçılar düşük akım şiddetli anahtar deliği tekniğini kullanarak tam ve yeknasak (uni-form) nüfuziyet sağlarlar. Bu bakımdan PA kaynağı yöntemi çeşitli uygulamalara yatkınlık arz edip ince metalden yapılmış karışık parçaların kaynağına uygundur.

## ALÇAK AKIM ŞİDDETİYLE PA KAYNAĞI (MİKRO-PLASMA)

Yukarda çok kez sözünü ettiğimiz alçak akım şiddetiyle PA kaynağının ayrıntılarına girmekte yarar vardır.

0,01 mm. kalınlıktan itibaren çok ince parçaların kaynağı, 0,2 ile 15A arasında kalan zayıf akım şiddetlerinin kullanılmasını gerektirir. Bu zayıf akım şiddetlerinde ark gerilimine hâkim olunamaz ve bu gerilim 14 V ile 24 V arasında değişebilir. Arkın çok kararsız olduğu iyice bilinen bir keyfiyettir. Gerilimin bu kararsızlığı, kaynakta kullanılmayan bir oynak ark şeklinde belirir. Arkın tutuşması da sorun yaratır (Şek. 14).





Bu olguların üstesinden MIKRO-PLASMA yöntemiyle gelinmiş olup bunda, hem büzülmüş tranfer olmuş arkı odaklaştırmak, hem de iş parçasını oksitlenmeye karşı korumak görevlerini üstlenmiş bir ikinci koruyucu gaz kullanılır (Şek.15). Saf argona göre daha zor ionlaşan ve kısmen ayrışabilen hidrojenle argon karışımından oluşan bu ikinci gaz, direkt arka bir özel oynamazlık sağlar. Bu oynamazlık kaynak işlemini kolaylatıp birleşmenin büyük hassasiyetle gerçekleşmesini temin eder. Önceden tesis edilmiş pilot ark aracılığıyla, transfer olmuş ark güçlük arz etmeden ve istenilen yerde tutuşur. Ayrıca bu büzülmüş direkt arkın yüksek ısı yoğunlaşması sayesinde parçalarda az bir şekil bozulma vaki olur.

Atmosfer basıncında çalışan elektrik arkları, ohmik dirençlerinkinden bariz şekilde farklı bir akım-gerilim karakteristiğini haizdirler. Ohmik iletken sabit bir dirence sahip bulunup bunun sonucunda akım-gerilim karakteristiği belli bir eğimde bir doğru iken bir arkın buna tekabül eden karakteristiği çok daha çapraşık bir şekil alır. Burada eğim zayıf akım şiddetleri alanında negatif değerlerden sıfıra varır ve yüksek akım şiddetleri alanında pozitif değerlere gelir. Her ne kadar eğrilerin koordinat sisteminde gelişmesi kullanılan gaz ve elektrot tipine bağlı ise de atmosfer basıncında çalışan bütün arklar bu karakteristik görünümü arz ederler.

İnce saçların kaynağı durumunda kullanılan çok düşük akım şiddetlerinde, akım menbaının ve aynı zamanda arkın çok «düşen» karakteristiği dolayısıyla, stabil koşullara tekabül eden belirli kesişme noktalarının elde edilmesi artık mümkün olmamaktadır. Her iki karakteristiğin kesişme noktaları daha çok belirsiz olup bu da, kaynakta kullanılamaz tamamen kararsız arklar olarak ifadesini bulur.

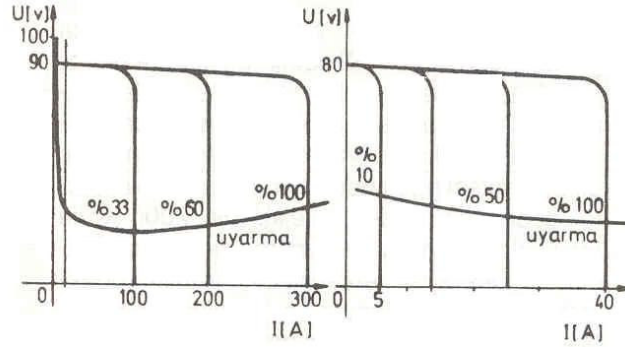
Ondan istenen uzunluktan bağımsız olarak ark, gelişigüzel bir yörünge izler. Bunun anlamı onun denetiminin çok güç olduğudur. Zira elverişli anodik koşullar bulduğunda o, kaynakçının elini muntazam olarak takip etmedense uzunlamasına gidecektir.

Genel olarak sorun, yaklaşık 0,5 ilâ 15 A'lık bir zayıf şiddette arkı kaynağa elverişli kılmak olmuştur.

Bu değerler mertebesinde kaynak akım şiddetlerinin somut önemi, konstrüksiyonların ağırlığından kazanma eğiliminde yansır. Gerçekten ince saçların kullanımı, ancak bunların uygun şekilde kaynak edilebilmelerine bağlı olmuş olup bu ince cidarlar ayrıca birçok bilimsel ve teknik sonucun çözümüne yardımcı olmuştur. O kadar ki zayıf akım şiddetli arklarla kaynak yöntemi bulunmadığı sürece birçok araştırma ve imal projesinin gerçekleşmesi gecikmiştir.

Argon altında bir serbest arkın yörüngesine iyice soğutulmuş bir mekanik büzmenin sıkıştırılmasıyla onun karakteristiğini çok açık şekilde etkilemek mümkün olmuştur. Bu önlem sayesinde bahis konusu karakteristik, akım azaldıkça gittikçe dikleşen bir eğim arz etme yerine,

göreceli olarak alçak gerilim değerlerinde durmaktadır; yani aşağıya doğru hafifçe eğik bir eğriye dönüşmüştür.



Şek.16-Kıyaslanmış ark karakteristikleri. Bu iki akım-gerilim diyagramı bir serbest arkla Mikro-Plasma yönteminin zayıf akım şiddetli büzülmüş arki arasındaki farkı açıkça gösterir. Serbest arkın zayıf akımlar alanında iyice "düşen" karakteristiği, büzülmüş arkta, hafif eğimli bir eğriye dönüşür. (Her iki eğride akım Ölçekleri farklıdır).

Etkileri anlatılmış olan bir soğutulmuş borunun özel olarak kullanılması, başlardan beri ifade ettiğimiz amaçtan tamamen farklı bir amaç güder. Orada arkın büzülmesi, kaynak hızını artırmak için deşarjın faydalı enerjisini yükseltmekte, hazırlık masraflarını azaltmak ve kaynağın bazı nicel karakteristiklerini islah etmekte kullanılıyordu. Bu durumda kullanılan nispeten yüksek akım şiddetleri dolayısıyla, serbest arkın bile tamamen stabil olduğu bu akım şiddetlerinde ark stabilitesi sorunu mevcut değildir.

Ama mikro-plasma kaynağında durum başkadır. Bunda büzme, sadece arkın alçak akım şiddetleri alanında karakteristiğinin düzeltilmesinde kullanılır. Böylece stabil kaynak arkları bölgesi bir nevi zayıf akım şiddetlerine doğru kaydırılmıştır. Zayıf akım şiddeti dediğimizde örneğin 200 mA veya 300 mA anlaşılmalıdır.

Bütün plazmalı yöntemler gibi mikro-plasma kaynağı için de transfer olmamış (endirekt) bir yardımcı ark kullanılır ki bu ark memenin içinde olup onunla tungsten elektrot arasında oluşur; bahis konusu ark, plasma denilen gaz tarafından, memenin dışına zorlanır. Bu önlem, iş parçasına transfer olacak olan esas arkın tutuşması için elzemdir. Yardımcı ark bütün kaynak işlemi sırasında çalışır halde kalır ve transfer olmuş arkın akım şiddetinin 2A'e tespit edilmiş pilot (yardımcı) arkın akım şiddetinden küçük olması mümkündür.

Pilot arkın tutuşması şöyle bir tertibe dayanır. Zayıf akım şiddetli, kendinden kararsız bir arkın yüksek frekanslı bir deşarjla tutuşturulmasının kolay olmadığı bilinir. Uygulanmış olan konstrüksiyonda, yaklaşık 1 MHz ve 2000 V (elektrotla meme arasında)luk yüksek frekanslı güçlü bir elektromagnetik alan, bakırdan memenin silindirik kanal içindeki hücrede gelişebilir. Bu tertip, armatürlerinden birinin, üfle-cin eksenindeki elektrot ve ötekinin de onu çevreleyen memenin oluşturduğu bir silindirik kondansatörü hatırlatmaktadır.

Kalın saçların PA kaynağında olduğu gibi burada da kaynak banyosu bir başka gazla korunmalıdır.

Koruma gazı olarak saf argon verildiğinde ilginç bir olay cereyan eder: Ergime banyosu oksitlenmeye karşı yeterince korunmuştur ama transfer olmuş ark kullanılmaz hale gelmiştir. Huzme, önceleri iyice odaklanmışken bu kez geniş ve gevşek bir aleve dönüşmüştür. Bu, büzülmeden elde edilmiş olan başlıca avantajların kaybolduğunu ifade eder.

Gerçekten başlarda iyice odaklandırılmış ark, onu çevreleyen argon içinde, deşarjın genişlemesini sonuçlandıran çok yaygın bir ionlaşma meydana getirmiştir.

Neden bu aynı olgular havada vaki olmamışlardır? Bunun sebebi, azot moleküllerinin ayrışmasını harekete geçirebilmişse de ark, çevresindeki havayı ionize etmeyi başaramamış olmasıdır. Ayrışma, arkın çevresel bölgesinde enerji yutar, arkı soğutur ve görünürde onu daha fazla boğar, ama önemli ölçüde yeni şarj taşıyıcıları sağlamaz.

O halde, kendileri olarak kullanılamaz halde bu çeşitli elementler bir arka kaynağın etkili yönteminde nasıl birleştirilecektir?

Bize mükemmel, yani kendinin ionlaşmasına izin vermeyen bir koruyucu gaz gerekmektedir. Bu koşul tümüyle yerine getirilemez. Doğada bilinen en yüksek ionlaşma enerjisine sahip helium bile yukarıda sözü edilen koşullarda argona benzer şekilde reaksiyon gösterir.

Bununla birlikte bu çıkmazın da bir çıkar yolu vardır. Argona bir miktar hidrojen eklenerek arkın aranılan oynamazlığından başka, ergime banyosuna mükemmel bir koruma sağlayan hafifçe redükleyici gaz ortamı elde edilmiş olmaktadır.

Mamafih daha da önemli bir hususun belirtilmesi gerekir ki bu da 0,03...0,3 mm. kalınlıkta saçların, sadece anodik lekedeki enerjiyle kaynak edilmesinin büyük güçlüğüdür. Bu denli ince saçların kaynağına elverişli bir arkın kararsızlığı bir yana, ısı girişi de uygun şekilde olmaz. Saçların iki uçlarının ergimesi ve kontrol edilebilen birleşmesini elde etme yerine bunların, «slatmasız» olarak gayri muntazam şekilde geriye çekildikleri görülür.

Bir argon ve hidrojen karışımı kullanarak ne-!er vaki olur? İki atomlu gaz moleküllerinin ayrışmasının ark plazmasının dış çevre bölgesinde başlıca rolü oynadığını görmüştük. İşte bu ayrışma süreci mükemmel surette, parçaya ergime için gerekli ısıyı intikal ettirme olanağını sağlamaktadır.

1 Kmol hidrojeni ayrışma sıcaklığına, yani yaklaşık 2500°K'e çıkarmak için 18 K kalorisinin gerektiği ve aynı miktarda gazın ayrışmasının 103 K kal. sarf ettiği dikkat nazara alındığında bu süreç içinde biriktirilmesi mümkün olan enerji miktarının önemi fark edilir.

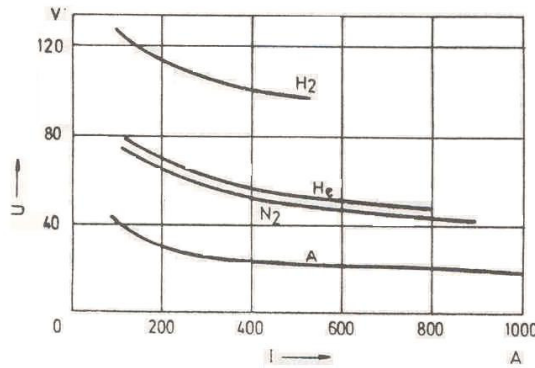
Bu kuramsal mülâhazalara devam etmeden önce yukarıda sözü geçmiş olup da aşağıda kendisinden çokça bahsedeceğimiz «enthal-pi» kavramına açıklık getirelim.

Enthalpi, termodinamikte, bir sistemin ısı şeklinde enerjisi kendisiyle çevresi arasında intikal ettirme kabiliyetidir. Sabit basınçta bir sistemde enthalpi değişimleri, genellikle intikal ettirilmiş ısı miktarı olarak ölçülür. Bu ölçü, atmosfere açık bir kalorimetreye yapılır. "Isı içeriği» terimi eskiden şimdi enthalpi denileni ifade ederdi ki «H» simgesinin genellikle enthalpi'yi temsil etmesi (ısı=heat) bu yüzden olmalıdır. Enthalpi'de bir değişme çoğu kez  $\Delta H$  ile gösterilir ki bu, iki enthalpi arasındaki fark olur:  $\Delta H = H_2 - H_1$  Bir kimyasal reaksiyon için  $\Delta H$ , reaksiyonun ısıya eşittir. Faz değişiminde (örneğin katıdan sıvıya veya sıvıdan gaza)  $\Delta H$ , ergime ya da buharlaşma latent ısısına eşit olur. Reaksiyon veya faz değişimi olmadan bir parçanın basitçe ısısının değişmesi halinde, ısı değişimi derecesi başına enthalpi değişimi, sabit basınçta ısı kabiliyetidir.

Hidrojenin enthalpisi, aynı sıcaklıkta başka gazlarınkinden çok yüksektir; bu itibarla hidrojen altında çalışan arkların karakteristikleri göreceli olarak yüksek gerilimlere kaydolurlar zira yüksek enthalpi, ona tekabül eden önemde bir elektriksel gücü gerektirir. Hidrojenin dikkate değer bir başka niteliği de 2000°K ile 5000°K arasında, yani ayrışma sıcaklıkları alanında, yüksek ısı iletkenliğidir. Aranılan odaklaştırma etkisi bakımından bu nitelik bir özel önem taşır gibidir şöyle ki mutad olarak kullanılan gaz karışımlarında hidrojen oranı %7'den ibarettir. (Şek.17-20).

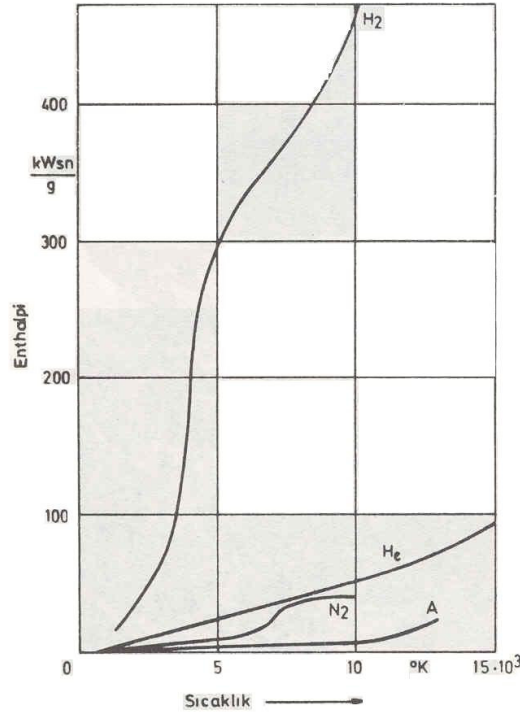
Ayrışma süreci kabili akistir, yani enerji yutul-masıyla moleküllerin atomlara ayrışmasını, ısı şeklinde enerji neşri ile ters yönde yeniden birleşme süreci takip eder.

Böylece ergimede önemli miktarda ısı el altında bulunur zira yeniden birleşme, aynı zamanda arkın belli bölgelerinde de vaki olmasına rağmen etkilerini başlıca daha soğuk bölgelerde icra eder. Bu itibarla en etkin katalizör parçanın kendisi olmaktadır.

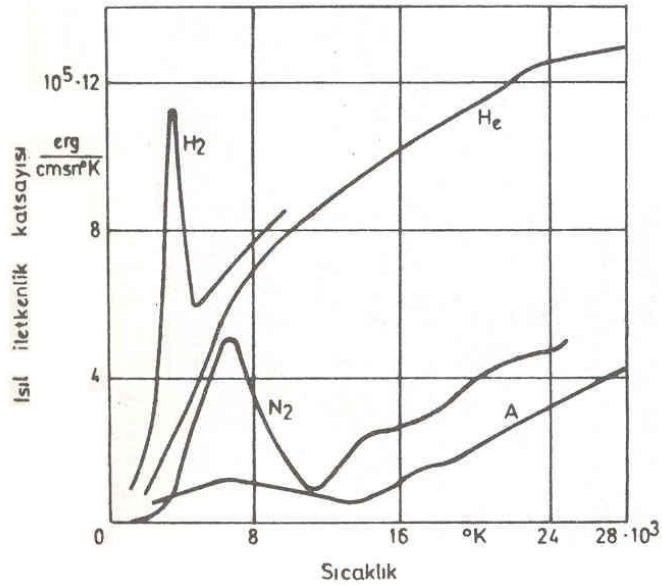


Şek. 17- Plasma üfleçlerinin karakteristikleri. Bu diyagram bir gazın (örneğin hidrojen) enthalpi'si ile elektrik gücü arasındaki ilişkiyi gösterir.

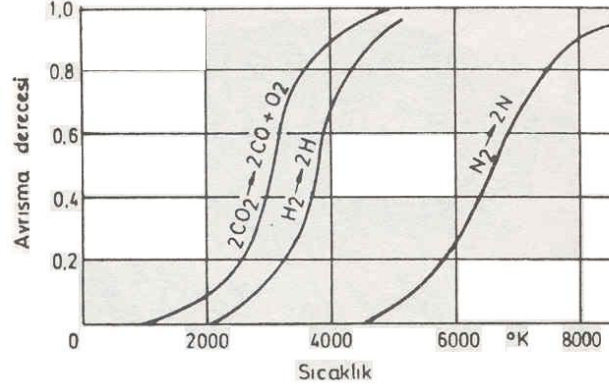
Kaynak banyosuna bu tarzda ısı verilmesi ince saçların kaynağında çok etkin olmuş olup yöntemin başlıca karakteristiğidir.



Şek. 18- Çalışma gazlarının enthalpi'si. Bu diyagram, ısının fonksiyonu olarak hidrojenin enthalpi'sinin, azot ve tek atomlu gazlarınkilerle kıyaslandığında, fevkalade yüksek oluşunu ispat eder.



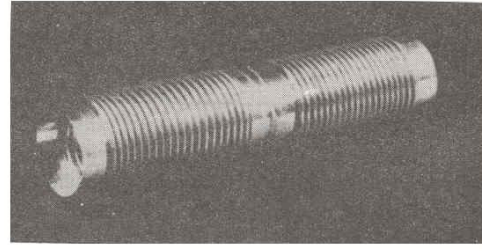
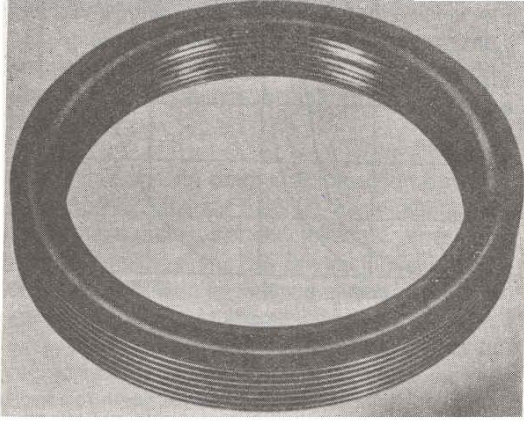
Şek.19- Bazı gazların ısı iletkenliği. Ayrışma sıcaklıkları alanında iki atomlu gazların ısı iletkenliklerinin sivri maksimumu, ayrışma ve yeniden birleşme sürecinin bir sonucu olmaktadır. Bu olgu hidrojende özellikle belirgindir.



**Şek.20- 1atm de çeşitli gazların sıcaklığın fonksiyonu olarak ayrışması. Bu diyagram, atmosfer basıncında sıcaklığın fonksiyonu olarak ayrışma derecesinin gelişmesini temsil eder. Yaklaşık 5000°K'de pratik olarak bütün hidrojen molekülleri, çarpışma halinde iki atomlarına ayrışmalarının muhakkak olduğu bir kinetik enerjiye varmış olurlar.**

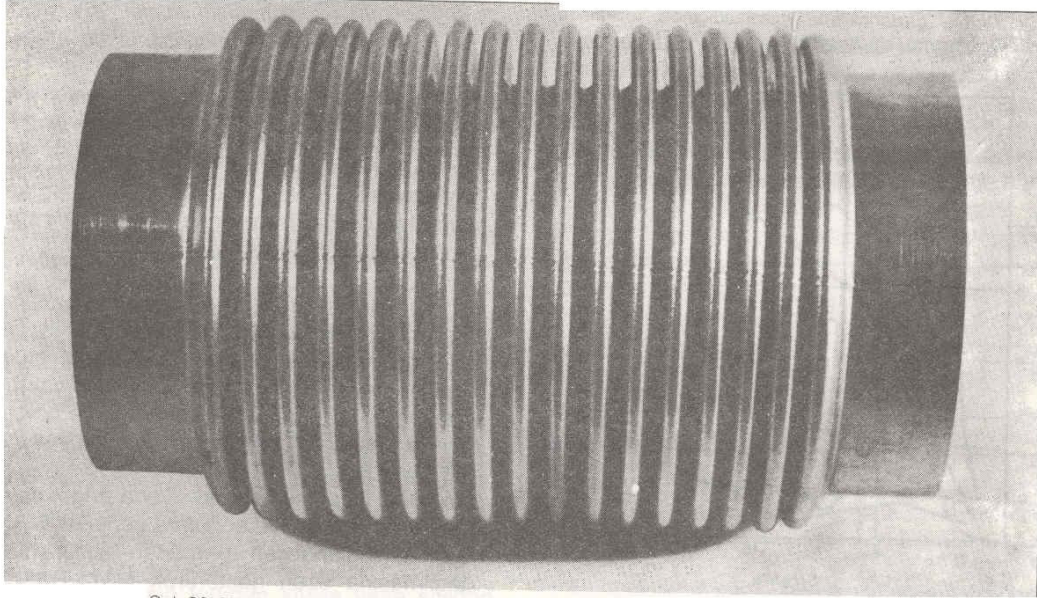
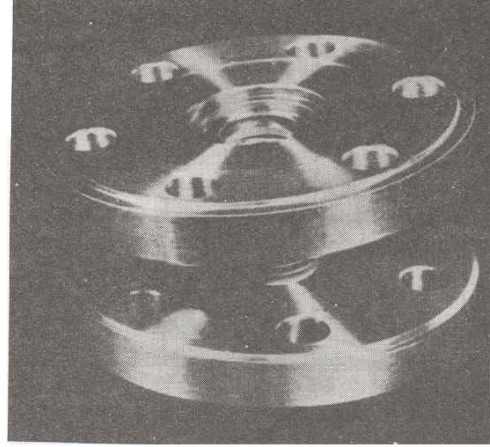
Bir argon ve hidrojen karışımından oluşan koruma gazının bir başka niteliği de ergime banyosunun yüzey geriliminin azaltılması olup böylece ıslah edilen ıslatma ergimiş sac kenarlarının derhal birbirlerine yapışmalarını ve dikişin teşekkülünü sağlar.

Ve nihayet eser miktarda hidrojenin havanın oksijeni üzerindeki etkisinden söz edelim. Işının ve konveksiyon dolayısıyla su buharı oluşmasının takip ettiği hidrojenin oksijenle yanma başlangıcı, koruma gazı zarfının çevre bölgelerinde başlayabilir. Havanın oksijenin ergime banyosuna girip oksitleme hasil etmesini önlemesi itibariyle bu reaksiyona engel olunmamalıdır. Sıkma ve soğutma çeneleriyle kolaylıkla sağlanabilen parçadan ısının hızla dağılmasına özen göstererek Mikro-Plasma yöntemiyle meydana getirilmiş kaynaklar kesinlikle pürüzsüz ve düzgün olurlar. (Şek.21-26)

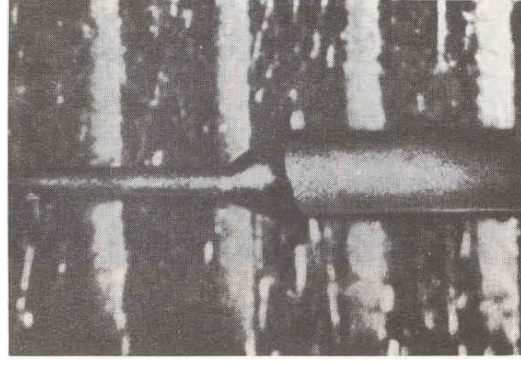


Şek.21-Paslanmaz çelik halkalardan oluşmuş körük. Halkalar preste profilendirilmiş olup kalınlıkları 0,15 mm dir. Birleşmeler, kenarları kıvrık iç ve dış kaynaklarla gerçekleştirilmiştir. Akım şiddeti 2,2 A dir.

Şek.23-İki körüğün uç uca dairesel kaynakla birleştirilmesi gerçekten çok nazik bir iştir. Körüklerin çapı 25 mm. civarında, saç kalınlığı 0,1 mm.dir. Kullanılan malzeme austenitik çelik olup bu tür elementler çoğu kez ileri vakum tekniğinde kullanılır. Bu körüklerin kalın (15 mm) flanşlara kaynağı yine Mikro-Plasma yönteminin bir başarısı olmaktadır. Flanş malzemesi de austenitik çeliktir. →



Şek.22-60 mm dış çapında austenitik çelikten bir körüğün uç uca uzunlamasına kaynağı. Saç kalınlığı 0,12 mm. Transfer olmuş akım şiddeti 2A.



Şek.24-9A akım şiddetiyle uç uca kaynak edilmiş 0,45 mm. kalınlıkta titanium eğme deney parçası. (üst solda)

Şek.25-0,04 mm. telden yapılmış, görülemeyecek kadar ince bir elek, kalın bir halka üzerine 2,4 A akım şiddetiyle kaynak edilmiştir. Halka ile elek paslanmaz çelikten olup parça yüksek gerilim elektrodu vazifesi görür. (yanda)

Şek.26-Bu termo-çiftin dış çapı 0,25 mm.dir. Bunda da yine termo-çiftin kılıfıyla geçiş borusu arasındaki kusursuz, vakuma salt sızdırmaz birleşme, Mikro-Plasma yönteminin uygulanması sayesinde sağlanmıştır. Transfer olmuş ark akım şiddeti 300 mA olmuştur. Fotoğrafta cetvelin taksim çizgileri arasındaki mesafe 1 mm.dir. (üstte)

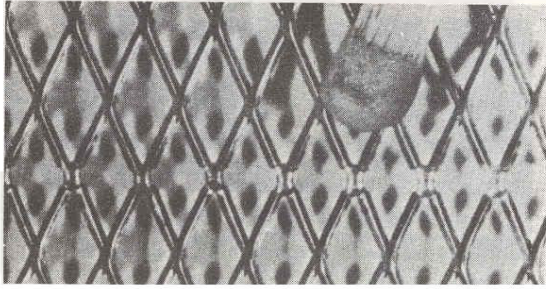
## ***MİKRO-PLASMA YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI***

- 1)0,1 A mertebesinde çok alçak akım şiddetlerini kullanılabilir hale getiren arkın stabilite ve fevkalâde oynamazlığı
- 2)Çok yoğunlaşmış ergime banyosu
- 3) Az derecede redükleyici koruma gazının kullanılması sayesinde kaliteli ve güzel görünüşlü dikiş
- 4) Isı intikalini tespit eden gaz karışımlarının kullanılmasıyla nüfuziyetin kontrolü
- 5) Isıl yoğunlaşma sayesinde az şekil değiştirme
- 6) Ark uzunluğu değişmelerinin genellikle neden olduğu etkileri ortadan kaldıran mükemmel silindirik ark kesiti
- 7)Büyük aydınlatma gücü sayesinde kaynakçının işini kolaylaştıran pilot arkın kaynak yerinin hassasiyetle tespitinde sağladığı kolaylık.
- 8) Son derece kolay kaynak işlemi.

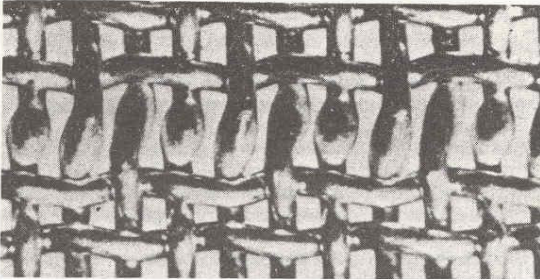


## UYGULAMALAR

Mikro-Plasma yöntemi özellikle küçük boyutlu parçalarla her türden paslanmaz çelikten, 0,01 ilâ 0,8 mm. kalınlıkta çok ince saçların kaynağına elverişlidir. Keza Ti ve Ta/Nb ile stabilize edilmiş paslanmaz çelikler, refrakter (ateşe dayanıklı) çelikler, demirli ve demir dışı metal ve alaşımlar, ezcümle Maraging %18 Ni, Inconel, Monel, Invar, Bronz, Pirinç, Ma-yeşor, Konstantan, Kupro-Nikel 75/25, Nikel, Altın, Gümüş alaşımları, Permalloy, Nimonic 75, Nimonic 90, Zircaloy 2, Titanium'un kaynağına mükemmelen uygundur.



Şek.27-Uç uca kaynatılmış 0,5 mm. kalınlıkta paslanmaz çelikten metal depluaye.



Şek.28-Bronzdan örgünün tel tel üstüne kaynağı. Tel çapı 0,22 mm;kaynak akım şiddeti 0,8A; hız:saniyede 5 ilâ 7 birleşme noktası.



Şek.29-Bir Mikro-Plasma tesisi ya bir masa üzerinde ya da soğutma sistemiyle gaz tüplerini taşıyan bir araba üzerinde duran bir metalik kasa şeklini arzeder.

## PA KAYNAĞININ AVANTAJLARI

Buraya kadar anlattığımız çeşitli olumlu niteliklere ek olarak aşağıdaki hususlar da sayılabilir.

Anahtar deliği tekniği ile birçok- metalürjik avantajlar sağlanabilir. Daha düşük ısı girişi, ısı işleme tabî tutulan metallerde birleşmenin mukavemetini korur ve daha iyi süneklik açısından da tane büyümesini sınırlar. Daha yüksek kaynak hızları, paslanmaz çelikler ve süper alaşımların karbürler ve çapraşık metaller arası bileşiklerin oluşması suretiyle gevrekleşmesine daha az zaman bırakır.

Klasik TIG kaynağına göre plazma jetin daha büyük nüfuziyet gücü kaynakta daha yüksek derinlik/genişlik oranlarının elde edilmesinde kullanılır. Örneğin 5 mm kalınlıkta iki paslanmaz 304 tipi saçın, ilâve kaynak metali kullanmadan tek pasoda küt alım kaynağında derinlik/genişlik oranı yaklaşık 1/1 olup aynı koşullarda bu, TIG kaynağında 1/3 olur. PA kaynağının bu yüksek derinlik/genişlik oranı sayesinde kaynak kesitinde çekme gerilimleri her yerde az çok eşitlenmiş olur ki böylece birleşmede şekil bozulması daha sınırlı kalır. İlâve kaynak metalinin yüzey koşulu süngerleşmenin başlıca nedeni olmaktadır. PA kaynak yöntemi anahtar deliği tekniğiyle daha az ilâve metal teline gerek gösterdiğinden süngerleşme de daha az olur.

PA yöntemi ile çeşitli imal avantajlarının sağlanması da mümkündür. Bunlar arasında az kaynak pasosu, ilâve metal açısından düşük maliyet ve genel olarak fena üfleç idaresinden doğan hata ihtimalinin asgari olması sayılabilir. Bir başka avantaj da, pasolar arası temizleme, kök taşlanması ve gerekiyorsa sıcaklık tutulmasının, TIG yöntemine kıyasla daha az olmasındadır. Çarpılma eğilimleri azaldığından takım ve aparatlar daha basit ve ucuz olmaktadır. Anahtar deliği uygulamaları için, öbür yöntemlerle gerekebilecek V ya da Ü kaynak ağzı yerine bir düz alın aralığı ile yetinilebilir. Bu itibarla işleme azalır.

## ***SINIRLAMALAR***

PA kaynağı yöntemi küt alım kaynakları için 25 mm (1") saç kalınlığı ile sınırlı olup bunun daha kalın kesitlere uygulanabilmesi için daha ileri gelişmelere gerek vardır. Zira daha büyük kalınlıklarda plazma üfleci, birleşmenin köküne ulaşmamaktadır. Otomatik (mekanize) PA kaynağı genel olarak sadece düz ve yatay pozisyonlara uygulanır. Elle yapılan plazma kaynağı her pozisyonda mümkündür.

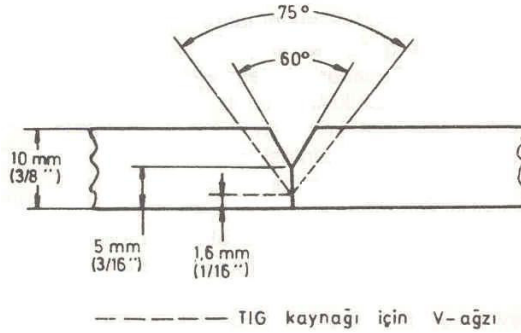
Genellikle PA kaynağı kaynakçıdan, TIG kaynakçısına kıyasla daha fazla bilgi ister. Üfleç daha çapraşıktır. Çok hassas elektrot uç profili ve merkezleştirilmesini, doğru seçilmiş ağız boyutu ve hem ağız hem de koruma gazı debilerinin uygun seçimini gerektirir.

## ***BİRLEŞME ŞEKİLLERİ***

PA kaynak yöntemiyle küt alın, tek ve çift U ve V kaynakları gerçekleştirilir. Bundar tek taraflı veya iki taraflı, tek veya çok pasolu olabilir. Köşe kaynağı TIG tekniğinin aynı kullanılarak yapılabilir. T birleştirmeleri PA ile, bunun nüfuziyetinin bir avantaj sağladığı hallerde, uygulanabilir.

Küt alım kaynağı genel olarak anahtar deliği tekniği ve tek pasoda 1,6 ilâ 6,4 mm { 1/16 ilâ 1/4in) kalınlıklarda yapılır. 6,4 mm.den 25 mm'ye (1/4 ilâ 1 in ) kadar olan kalınlıklarda, tek yüzden kaynakta U ya da V kaynak ağzı gerekir. Geniş kök yüzleri 6,4 mm'ye kadar kullanılabilir. İlk paso anahtar deliği tekniği, doldurma pasoları da ergitme yöntemiyle kaynak edilir. Küt alım kaynağı, 16 mm (5/8in) kalınlığı kadar iki yüzden kaynak edilerek (2 paso)

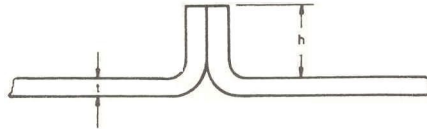
yapılabilir. Şek.30, 10 mm (3/8in) kalınlıkta çelikte PA ve TIG kaynakları için V kaynak ağızı şekillerinin kıyaslamasını verir.



Şek.30

0,05 ilâ 0,25 mm (0,002 ilâ 0,01 in) metal kalınlıklarında kıvrık kenar kaynağı PA ergitme tekniği ile yapılabilir (Şek.31). Kıvrık kenar ölçüleri genel olarak şöyledir:

Saç kalınlığı (t)	Flanş yüksekliği (h)
0,05	0,25 ilâ 0,51
0,13	0,51 ilâ 0,64
0,25	0,76 ilâ 1,00



Şek. 31

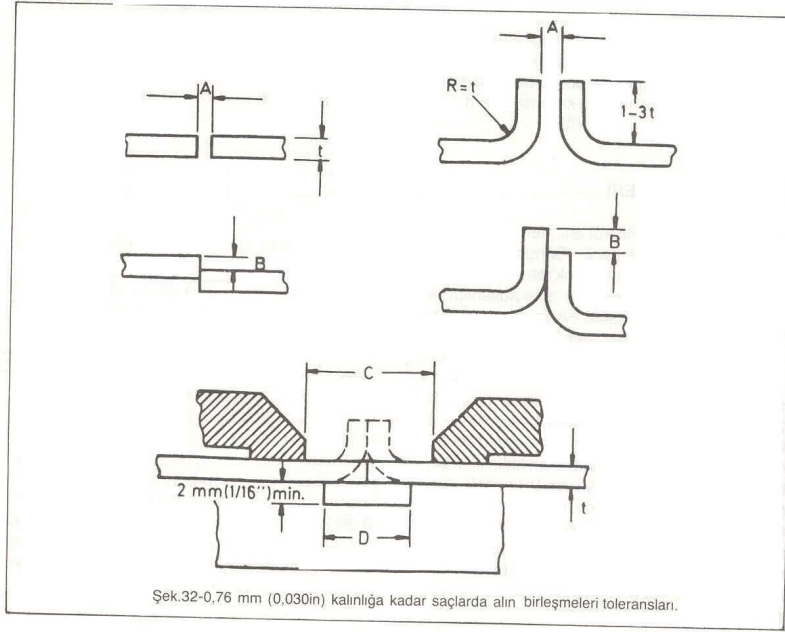
0,25 ilâ 1,6 mm. saç kalınlıkları mutad olarak küt alın. kaynağına uygundur. Bu kalınlıklara PA ergitme tekniği kullanılır. T, köşe, kenar birleştirmeleri, bir ilâve kaynak metali veya bunsuz, kolaylıkla kaynak edilebilir.

## **KAYNAK YÖNTEMLERİ**

### **ALİŞTİRMA VE TESPİT**

Her ne kadar bir alçak akım şiddetli PA, ısı menbaı olarak TIG arkını idare etmekten kolaysa da, ergime davranışı her iki yöntemde de aynıdır. Bu itibarla birleşmelerin tespit gereksinimleri her ikisinde de az çok aynıdır. Örneğin, birleşme kenarları, kaynak metalinin arada köprü kurabilmesi için temas halinde veya yeterince yakın olmalıdır. Genel olarak karşılıklı

kenarların kök açıklığı, saç kalınlığının onda birinden fazla olmayacaktır. Bu toleransın tutulmasının çok güç olduğu hallerde ilâve kaynak metali kullanılmalıdır. Alternatif olarak, kıvrık kenarlı (flanşlı) alın birleştirmeleri, önceden yerleştirilmiş ilâve kaynak çubuğunun yerini tutabilir. Genellikle bu 0,13 mm'den az kalınlıkta saçlarda yapılır.



Kaynaktan önce ve kaynak sırasında uygun bir alıştırma için iyi bir tespit gereklidir. Isı girişi birleşme kenarlarında, kaynak metalinin dolduramayacağı açıklık meydana getirecek çarpılmalara neden olmamalıdır. Tespitlerde bakır soğutma çubukları ısı birikmelerini önleyebilir ve farklı metal kalınlıklarının ergime derecelerini eşitlemeye yardım eder. En İyi uygulama, kalın kenarı işleyerek eşit birleşme kenarı elde etmektir.

Genel olarak PA kaynağının gerektirdiği takımlar TIG ve MIG kaynaklarındakilerden daha basit ve ucuzdur. Anahtar deliği tekniği, kaynağın baş ve dibinde büzülme gerilmelerini esaslı şekilde eşitler. Bu itibarla takımlar, anahtar deliği tekniği kullanıldığında, az bir şekil bozulma (distorsiyon) eğilimine karşı koyacaktır.

Ölçü toleransları TIG'inkilerle kıyaslanabilir. 6,4 mm (1/4in) kalınlığa kadar kesilmiş kenarlar uygun olabilirse de işlenmiş kenarlar tercih edilir. İyi bir alıştırma daima aranmalıysa da 6,4 mm ve daha büyük kalınlıklarda 0,5 mm.ye kadar açıklığa izin verilebilir. Daha ince kesitlerde, bununla orantılı açıklıklara müsaade edilir. 6,4 mm ve daha büyük kesitlerde 1,6 mm (1/16)ye kadar açıklığa müsaade edilir. Daha ince kesitlerde, saç kalınlığının %25'ine kadar açıklık olabilir.

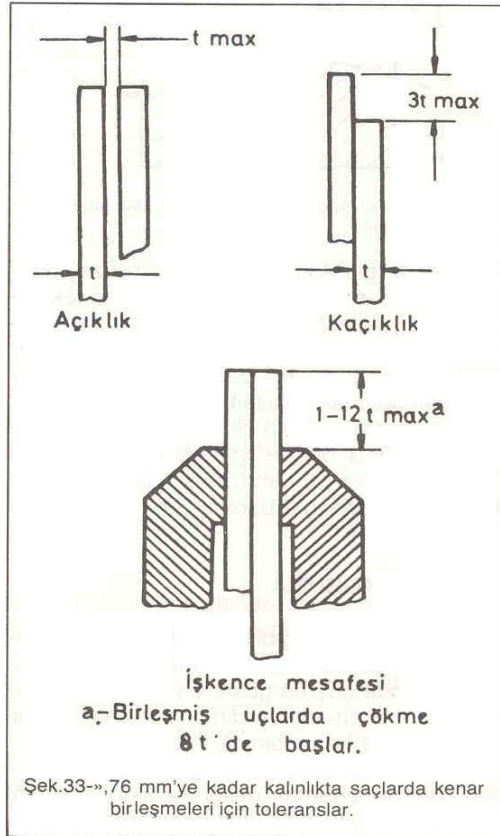
Kaynak tipi	Açıklık A	Kaydırma B	İşkence mesafesi C		Alttan destek oluğu D	
	max.	max.	min.	max.	min.	max.
Küt alın <sup>a</sup>	0,2t	0,4t	10t	20t	4t	16t
kıvrık kenar <sup>b</sup>	0,6t	1t	15t	30t	4t	16t

a. Tersten argon ya da helyum gaz koruması gereklidir.

b. Kıvrık kenar flanş kaynağı 0,25 mm'nin altında alın birleştirmeleri için önerilir.

0,76 mm (0,030in) ve daha ince kesitler için birleşme alıştırmaları toleransları ve tespit koşulları Şek.32'de ve 33'de gösterilmiştir. Şek. 32, birleşme açıklık kaçıkları (kaymaları) için toleransları ve tutma işkence-kenetleriyle alttan destek oluklarının ölçülerini verir. Toleranslar metal kalınlıklarına\*göre sıralanmıştır. Böylece bir küt alın birleşmesinde maksimum 0,21 kadar bir açıklığa müsaade edilir. Bu, çok küçük bir açıklık olup bu tür kaynaklarda tespit çok hassas olarak gerçekleştirilmelidir.

İnce kesitlerin kaynağında esas koşul, nasıl mümkün olursa olsun, her iki kenarın sürekli temas halinde bulunması ve her iki kenarın tek bir kaynak banyosu oluşturacak şekilde aynı anda ergimeleridir.

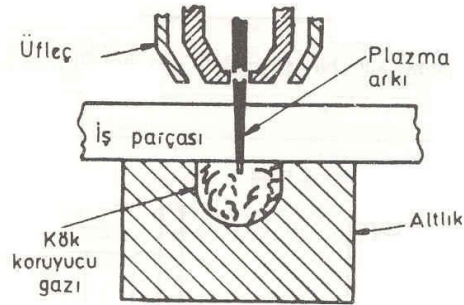


Alın birleştirmesi tespitinde, kenarları kıvrırmak (flanş teşkili) suretiyle daha fazla bir tolerans serbestliği elde edilir. Dışarıya kıvrık kenarlar, aralığı doldurmak ve birleşmenin tüm kesitinde ergimeyi sağlamak üzere önceden yerleştirilmiş ilâve kaynak çubuğu rolünü oynarlar. Bunlar aynı zamanda ısı yoğunlaşmasından çarpılmaları asgariye indirmek üzere birleştirmeyi pekiştirirler.

şek.33, kenar birleştirmeleri için alıştırma ve tespit toleranslarını gösterir. Bu geniş tolerans dolayısıyla, çok ince saçların kaynağı için kenar birleştirmesi en kolay ve en güvenilir birleştirme olmaktadır. İmkânların bulunduğu her yerde kenar veya kıvrık kenar (flanş) birleştirmeleri, başarılı çok ince saç kaynağını sağlamaktadır.

### **KAYNAĞIN ALTTAN DESTEKLENMESİ**

Ergitme tekniğiyle kaynak edildiğinde, alttan destekleme genellikle TIG kaynağındaki gibidir. Oluklu bir bakır bara ergimiş kaynak banyosunu desteklemek ve ısıyı ana metalden almak için kullanılır. Oluğun şekil ve boyutları, istenilen kök takviyesini meydana getirecek şekilde olacaktır. Kaynağın arka yüzünün gazla korunması da havanın olumsuz etkisini asgariye indirmek için tavsiye edilir. Titanium ve tantal gibi reaktif ve refrakter metallerin kaynağında bu alttan gazla koruma mutlaka gerekir.



şek.34 – Anahtar deliği PA kaynağı için tipik alttan destekleme.

Anahtar deliği PA kaynak banyosu yüzey gerilimi tarafından tutulduğundan, ergitme tekniğinde olduğu gibi hassas alıştırılmış destek barası kullanılması gerekmez. Basit bir oluğu haiz bir destekleme barası, birleştirilecek parçaları taşımak, dişiş altı koruma gazını içermek ve plazma jet için bir menfez sağlamakta kullanılır. Oluk ölçülen genellikle 13 mm (1/ 2'in) genişlik ve 19 mm (3/4'in) derinlikte olur. Tipik bir destekleme barası, şek. 34'de görülür.

## ***YARDIMCI KORUMA***

Titanium ve sairleri gibi havayla reaksiyona girip bunun sonucunda mekanik ve metalürjik özelliklerinde düşme gösteren metallerin kaynağında bazen bir yardımcı koruma faydalı olabilir. Keza hava, birçok ana metalde, ergimiş kaynak metalinin akıcılığını haylice bozabilir. Bu da anahtar deliği karakteristiklerini değiştirebilir. Bu gibi uygulamalarda bir yardımcı gaz koruması, kaynak kabiliyeti değişmelerini azaltmakta faydalı olur. Aynı şekilde daha adi ama daha az reaktif metalleri yüksek hızda kaynak etmede gereklidir. Bir yardımcı korumanın bir önemli bölümü üfleçle koruma arasındaki yalıtandır. Bunun iyi bir elektriksel yalıtkan olup iyi ısı stabilitesi ve mekanik mukavemeti haiz olması gerekir. Hareketli korumanın gerektiği yerde, PA kaynak hızı TIG'e göre çok daha yüksek olduğundan koruma uzunluğu TIG'inkinin 1½ ilâ 2 katı olmalıdır. İlâve kaynak teli ya da üfleç bağlantısı için koruma tabakasının «yırtılması» mümkün olduğu kadar az olacaktır. Bu gibi «yırtılmalar» hava girişine neden olur.

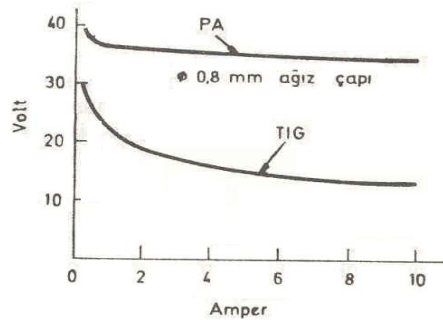
## ***ELLE KAYNAK***

Elle PA kaynağı genellikle 100 A'e kadar uygulamalar için ve çevre kaynağının gerektiği yerlerde kullanılır; alette bir pilot ark sistemi ile kaynak akımını plasma huzmesi içine aktarmak için bir ayak kontrollü kontaktör kullanılır. Pilot PA, kaynağa başlamak için hassas yer tayinini kolaylaştırır. Alçak akım şiddetleriyle TIG kaynağında karşılaşılan zorluklara burada rastlanmaz.

Bir sistemde pilot ark, elektrot ileri çıkarılıp memeye değdirildikten sonra geri çekilerek tuşturulur ve bu ark, çalışma süresince yanık kalır. Transfer olmuş ark gücüne, kaynak kontaktörü kapatılarak enerji sağlanır. Bir başka sistemde pilot arkı tutuşturmak için yüksek frekanslı basit bir güç menbaı kullanılır.

Yüksek akım PA kaynağı, anahtar deliği tekniğinin faydalarından yararlanmak için genellikle mekanize edilir. Bununla birlikte alçak akım PA kaynağı da mekanize edilebilir. Elle PA kaynağı TIG kaynağında mutad bütün pozisyonlarda kullanılabilir.

Argonda çalışan bir TIG ve PA'nın alçak akım volt-ampere karakteristikleri Şek.35'de görülür.



Şek. 35- Argonda 10A'ın altında TIG ve PA volt-ampere karakteristikleri eğrilerinin kıyaslanması

6,4 mm. (0,25'in) uzunluğunda PA volt -amper eğrisinin eğimi düze yakın ve ark geriliminde çok az değişmelidir. Buna karşılık, 1,3 mm (0,05 in) uzunlukta bir TIG akımı 10 A' den 0,1 A'e düşürüldüğünde, gerilim 12 V'dan 22 V'a, yani %83 oranında yükselir. Akım şiddetinin düşürülmesiyle ark geriliminin artması TIG kaynağında alçak akımda kaynakta çalışma zorlukları çıkarır. PA'ın göreceli stabil ark gerilimi, alçak akımlarda iyi bir kaynak kontrolü sağlar.

İyi gaz koruması ve tespit, özellikle önemli olmaktadır. Bunların iyi uygulanmaması halinde ergimiş birleşme kenarları yüzey gerilimi üzerindeki olumsuz etkileri, tamir kabul etmez hasar ve parça atılmasına neden olmaktadır. Çok ince saç kaynak yöntemlerinde mutlak dikkatsizlikler şöyle sıralanır:

- 1) Ergimiş uçlar tarafından birleştirilmeyecek aşırı birleşme yeri açıklığı
- 2) Ergimiş kaynak metali tarafından iyi ısıtılmasını önleyen, kaynağın ya da ana metalin oksitlenmesi
- 3) Sadece tek yönde metal büzülmesine imkân veren dengesiz parça geometrileri
- 4) Kaynak sırasında birleşme yeri çarpılmalarına yol açan uygunsuz sıkma tertipleri.

### ***ÜFLEÇ POZİSYONU***

Elle kaynakta üfleç kafası plasma jetle, dikeyden 25 ilâ 35°'lik bir yürüyüş açısında ve kaynak yönünde olmak üzere pozisyonlandırılır. Üfleçle, eğer kullanılıyorsa, ilâve kaynak çubuğu, dikiş tırtıl şekli, ölçü ve nüfuziyetinin kontrolü bakımından TIG kaynağındaki gibi idare edilir.

Mekanize (otomatik) kaynakta yürüyüş açısı 10 ilâ 15° olup yine plasma jet, kaynak dikışı yönüne dönüktür. Alın kaynaklarında anahtar deliği kaynağı için, birleşmeye enlemesine olarak dikey düzlemde, yan yana çalışma yüzeylerine dik olarak durur. Boru kaynağında, plasma üfleci genellikle, saat akrebi yönünde dönen boru üzerinde, saat 11 pozisyonunda bulunur.

Üflecin iş parçasına mesafesi genellikle 5 mm (3/16'in) olmakla birlikte bunun 3 ilâ 6 mm. arasında oynaması, kaynak işlemi üzerinde fazla etki yapmaz.

### ***MEKANİZE (OTOMATİK) KAYNAK***

Daha önce de söylediğimiz gibi otomatik kaynak genellikle, anahtar deliği kaynakları ya da yüksek akım ilâve metal pasoları gibi yüksek akım PA uygulamalarında aranır. Mekani-zasyon, yüksek kaynak hızları, hassas birleşme yeri hizalanması, dar PA ergime bölgesi itibariyle istenir. Avantaj sağladığı yerlerde alçak akım uygulamalarında da mekanizasyon-na başvurulur.

Pilot ark. yüksek frekans tertibiyle harekete geçirilir.



Yüksek akımlı mekanize PA sistemi anahtar deliği tekniğini yaklaşık 1,6 ilâ 7 mm (1/16 ilâ 1/4'in) metal kalınlıklarında kullanabilir. Alçak akım mekanize PA kaynağı, yaklaşık 0,8 mm. (1/32'in) kalınlıktan yukarısında uygulama alanı bulur. 1,6 mm'nin altında kaynak kalınlıklarında plasma jetin hızı çok kritiktir. İnce kesitler de birbirini takip eden kaynaklarda tamamen eş koşulları tekrarlayabilmek için plasma jet hızı doğruca ya da dolaylı olarak ölçülebilmelidir. Meme, bir ağızlı diyafram olduğuna göre, üfleç ağzından çıkan gazın akış derecesi ve hızı ağız ölçüleri ve ağızdaki yük kaybından hesap edilebilir. Ağız gazı atmosfere boşalmaktadır. Bu itibarla üfleçle basınç regülatörü arasında ağız gazı hattında gaz basıncı ölçülerek basınç düşüşü bilinir ve gaz hızıyla akış derecesi hesaplanabilir. Bu teknik, debi-metrede mutat olarak elde edilen verilerden daha hassas sonuçlar verir. Pazarlanmış bazı PA kaynak üniteleri böyle basınç geyçleriyle donatılmıştır.

3 mm (1/8'in)in altında metal kalınlıklarının kaynağında anahtar deliği, düz dikiş ve dairesel kaynaklar tam çalışma akım şiddeti, kaynak hızı ve ağız gazı akış debisiyle başlatılabilir. Bu kalınlık alanında anahtar deliği kaynak banyosunda fazla rahatsızlık vermeden gelişir ve kaynak yüzeyi ile dikiş altı yeterince düzgün olur.

### **ÇOK PASOLU KAYNAK**

Çok pasolu PA kaynağı bir anahtar deliği kök pasosuyla bir veya daha çok ergitme dolgu pasolarını gerektirir. Bunlar ilâve kaynak metalli veya metallsiz olur. Ergitme PA kaynağında, anahtar deliği tekniğine göre daha düşük güçte plasma jeti kullanılır. Toplam ağız gazı akışı azaltılır; üfleç uzaklığı artırılır. Ağız ve koruma gazlarına, kaynak birleşmesinin daha geniş bir yüzeyinde ark ısını bertaraf etmek üzere, değişik oranlarda hidrojen karıştırılabilir.

### **KAYNAK KOŞULLARI**

Tablo VII ilâ XII. değişik metal ve kalınlıklar için tipik PA kaynak koşullarını verir.

1,6 mm ve daha yukarı kalınlıklarda yüksek akım şiddetli anahtar deliği kaynağında kaynak koşulları kritik olmaktadır. Aşağıdaki toleransların uygulanması tavsiye olunur:

- 1) Kaynak akım şiddeti:  $\pm 5A$
- 2) Kaynak hızı:  $\pm 0,05 \text{ mm/sn}$
- 3) Ağız gazı debisi:  $\pm 0,12 \text{ l/dak}$
- 4) Koruma gazı debisi:  $+ 2,4 \text{ l/dak}$
- 5) Üfleç uzaklığı:  $\pm 1,6 \text{ mm}$ .

Dolgu pasolarında, ilâve kaynak malzemesi kullanıldığında, kaynak koşullarının denetimi, anahtar deliği tekniğini kullanan kök pasosunda olduğu kadar kritik değildir. Dolgu pasoları için aşağıdaki toleranslar tavsiye edilir:

- 1) Kaynak akım şiddeti:  $\pm 10A$
- 2) Kaynak hızı:  $\pm 0,2$  mm/sn
- 3) Ağız gazı debisi:  $\pm 0,24$  l/dak
- 4) Koruma gazı debisi:  $\pm 2,4$  l/dak
- 5) Üfleç uzaklığı: 3,2 ilâ 9,5 mm.

Bazı metallerde, normal üfleç korumasına ek olarak bir yürüyen gaz koruması, çok pasolu kaynaklarda gerekli olur.

### *PLASMA ARK İLE KESME*

Yüksek yatırım maliyeti ve pahalı kesme gazları kullanması itibariyle PA ile kesme, oksiasetilen kesmesi ile bunun variantlarının, örneğin toz altında oksijenle kesmenin sonuç vermediği ya da fena sonuç verdiği metallere, seramiklere uygulanır.

Eksotermik reaksiyonlu kimyasal kesme yöntemi olarak oksiasetilen (autogen) yönteminin uygulanabilmesi için bazı koşulların kesin varlığı gerekir:

- 1) Kesilecek metal oksijenle yanabilmelidir
- 2) Yanma ısısı olabildiği kadar büyük ve enthalpi'si küçük olmalıdır.
- 3) Tutuşma sıcaklığı, malzemenin ergime sıcaklığının altında bulunmalıdır.
- 4) Kesme sırasında oluşan oksit, akıcı olmalıdır ve bunun ergime sıcaklığı, kesilen malzemenin yanma sıcaklığından büyük ve bu malzemenin ergime sıcaklığından küçük olmalıdır.

Bu koşullar pratikte sadece alaşımsız ve alçak alaşımlı çeliklerde gerçekleşir. Hattâ küçük ilâveler, özellikle karbon, bakır, alüminyum, krom, molibden ve silisyum sınır koşullarını kaydırır ve çevre sıcaklığında sıcak kesme artık mümkün olmaz.

PA kesmesi prensip olarak her elektrik iletkenine, yani metala uygulanabilir.

Temel PA kesme üfleci, yapısı itibariyle PA kaynak üflecinin aynısıdır. Kaynak için düşük hızlı bir plazma jeti kullanılırken kesmede, bir kesme aralığı teşkil etmek üzere metali ergitip onu dışarı atmak için yüksek hızlı bir plazma jeti kullanılır.

Arktan bağımsız plazma jet (Şek. 4 a ve 4 b), dielektrik malzemelerle ince metal levhaları, arka bağlı plazma jet de (Şek.4c), 120 mm kalınlığa kadar alüminyum ve alüminyum esaslı alaşımları kesmede kullanılır.

Her üfleç tipi için değişik ağız çaplı meme mevcut olup ağız çapı, kesme akım şiddetine bağlıdır; akım şiddeti arttıkça ağız çapı da büyür.

PA kesmesi için tek ve çok delikli memeler kullanılabilir. Çok deliklilerde, yardımcı gaz delikleri ana deliğin çevresinde bir daire üzerinde tertiplenmiştir. Ark plasmasının tümü ana delikten, birim yüzey başına yüksek bir gaz debisiyle çıkar. Aynı kesme hızında çok delikli memeler, tek deliklilere göre daha üstün kesme kalitesi sağlarlar. Mamafih, kesme hızı arttıkça kesme kalitesi düşer.

PA kesmesi başlarda, asal gazlar kullanılarak demir dışı metalleri kesmek üzere geliştirilmiştir. Ağız gazı olarak oksijenin kullanılmasına olanak sağlayan yöntem ve donanım değişiklikleri, çeliğin etkin şekilde kesilmesine imkân vermiştir.

Özel uygulamalar için PA kesme kalitesini yükseltmek üzere birçok yöntem varyantları kullanılmıştır. Bunlar genellikle 3 ilâ 38 mm (1/8 ilâ 1½ in) kalınlık alanında uygulanmaktadır. Gaz ya da su şeklinde yardımcı koruma, kesme kalitesini yükseltmektedir.

Tablo VII- Paslanmaz çeliğin PA alın kaynak koşulları.

Kalınlık mm	Kaynak hızı mm/sn.	Akım (Elektrod(-)) gerilimi	Meme tipi <sup>a</sup>	Gaz debisi <sup>b</sup>		Mülâzahat <sup>d</sup>
				Ağız <sup>c</sup> l/dak.	Koruma <sup>c</sup> l/dak.	
2,4	10	115	111M	3	17	Anahtar deliği,küt alın.
3,2	13	145	111M	5	17	Anahtar deliği,küt alın.
4,8	7	165	136M	6	21	Anahtar deliği,küt alın.
6,4	6	240	136M	8	24	Anahtar deliği,küt alın.

- a- Meme tipi : sayılar binde bir inç olarak meme çapını "M" tipini gösterir.  
b- Bütün kaynaklar için dikiş altı koruması gereklidir.  
c- Gaz : %95 Ar - %5 H.  
d- Üfleç mesafesi : 4,8 mm.

Tablo VIII- Karbon ve alçak alaşım çeliklerinin PA alın kaynak koşulları.

Metal	Kalınlık mm	Kaynak hızı mm/sn	Akım Ark (Elektrod(-)) gerilimi	Meme tipi <sup>a</sup>	Gaz debisi <sup>b</sup>		Mülâzahat <sup>d</sup>	
					Ağız <sup>c</sup> l/dak.	Koruma <sup>c</sup> l/dak.		
Yumuşak çelik	3,2	5	185	28	111M	6	28	Anahtar deliği,küt alın.
4130 çeliği	4,3	4	200	29	136M	6	28	Anahtar deliği,küt alın, Ø 1,2 ilâve tel 13 mm/sa hızla.

- a- Meme tipi : sayılar binde bir inç olarak meme çapını "M" tipini gösterir.  
b- Bütün kaynaklar için dikiş altı koruması gereklidir.  
c- Gaz : Ar  
d- Üfleç mesafesi : bütün kaynaklar için 1,2 mm.

Tablo IX- Titanium'da PA alın kaynak koşulları

Kalınlık mm	Kaynak hızı mm/sn.	Akım (Elektrod(-)) A	Ark gerilimi V	Meme tipi <sup>a</sup>	Gaz debisi <sup>b</sup>		Mülâzahat <sup>c</sup>
					Ağız l/dak.	Koruma l/dak.	
3,2	8,5	185	21	111M	3,8	28	Anahtar deliği, küt alın.
4,8	5,5	175	25	136M	9	28	Anahtar deliği, küt alın.
9,9	4,2	225	38	136M	15	28	Anahtar deliği, küt alın.
12,7	4,2	270	36	136M	13	28	Anahtar deliği, küt alın.

a- Meme tipi : sayılar binde bir inç olarak meme çapını, "M" tipini gösterir.

b- Bütün kaynaklar için dikiş altı koruması gereklidir.

c- Üfleç mesafesi : 4,8 mm.

d- Gaz : Ar

e- Gaz : % 75 He- % 25 Ar

f- Gaz : % 50 He- % 50 Ar

Tablo X- Paslanmaz çelik PA kaynak koşulları- alçak akım.

Kalınlık mm	Kaynak tipi	Kaynak hızı mm/sn	Akım (Elektrod(-)) A	Ağız çapı mm	Ağız gazı debisi <sup>a,b,c</sup> l/dak.	Üfleç mesafesi <sup>a</sup> mm	Elektrod çapı mm	Mülâhazat	
									0,76
1,5	Küt alın	2	28	1,2	0,4	6,4	1,5	1,5	Mekanize
0,76	Köşe kaynağı, T	-	8	0,76	0,3	6,4	1,0	1,0	Elle ilâve kaynak metali
1,5	Köşe kaynağı, T	-	22	1,2	0,4	6,4	1,5	1,5	Elle ilâve kaynak metali
0,76	Köşe kaynağı, bindirme	-	9	0,76	0,3	9,5	1,0	1,0	Elle ilâve kaynak metali
1,5	Köşe kaynağı, bindirme	-	22	1,2	0,4	9,5	1,5	1,5	Elle ilâve kaynak metali

a- Ağız gazı : Argon

b- Koruma gazı : % 95 Ar- % 5 H<sub>2</sub>, 10 l/dak.

c- Dikiş altı koruma gazı : Ar, 5 l/dak.

d- İlâve tel :  $\phi$  1,1 mm, 310 paslanmaz çelik.

e- İlâve tel :  $\phi$  1,4 mm, 310 paslanmaz çelik.

Metal	Kalınlık	Akım (Elektrod(-))	Koruma gazı <sup>b</sup>	Kaynak hızı
	mm	A		mm/sn.
Paslanmaz çelik	0,03 <sup>c</sup>	0,3	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	2
	0,08 <sup>c</sup>	1,6	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	2,5
	0,13	2,4	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	2
	0,25	6,0	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	3,4
	0,80	10,0	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	2
Titanium	0,08 <sup>c</sup>	3,0	% 50 Ar - % 50 He	2,5
	0,20	5,0	Ar	2
	0,38	5,8	Ar	2
	0,56	10,0	% 75 He - % 25 Ar	3
Ni-% 19 Cr - % 19 Fe	0,30	6,0	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	6
Ni-% 21 Cr - % 19 Fe	0,13	4,8	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	4
	0,25	5,8	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	3,4
	0,51	10,0	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	4
Bakır	0,08 <sup>c</sup>	10,0	% 75 He - % 25 Ar	2,5

a- Ağız gazı : 0,24 l/dak.-0,80 mm çapta memeden argon.

b- Koruma gazı debisi : 10 l/dak.

c- Kıvrık kenar birleştirilmesi.

Metal	Kalınlık	Akım (Elektrod(-))	Koruma gazı <sup>b</sup>	Kaynak hızı
	mm	A		mm/sn.
Paslanmaz çelik	0,03	0,3	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	2
	0,13	1,6	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	6
	0,25	4,0	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	2
Titanium	0,08	1,6	Ar	2
	0,20	3,0	Ar	2
Ni-% 21 Cr - % 19 Fe	0,13	1,5	% 99 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	4
	0,25	3,0	Ar	1,3
	0,51	6,5	Ar	3
Fe-% 28 Ni - % 18 Co	0,26	9,0	% 95 Ar - % 1 H <sub>2</sub>	8,5

a- Ağız gazı debisi : 0,24 l/dak.-0,80 mm çapta memeden argon.

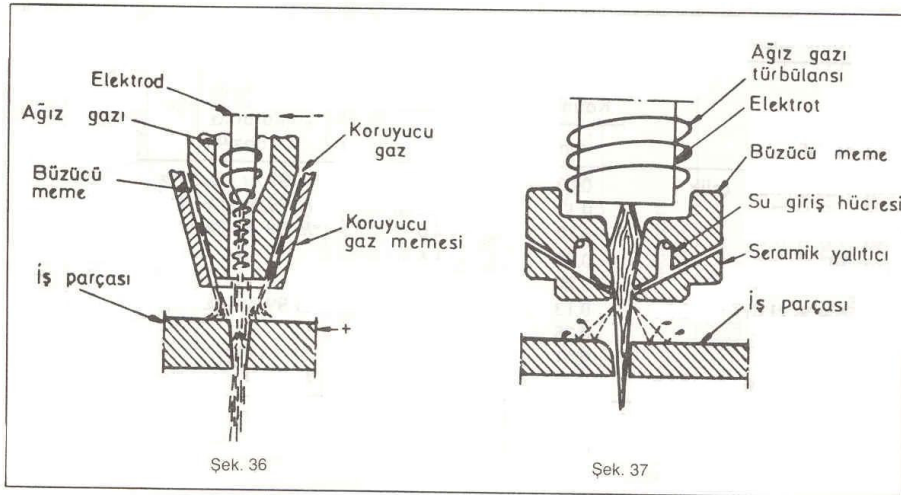
b- Koruma gazı debisi : 10 l/dak.

## ÇİFT AKIŞLI (DUAL FLOW) PLASMA KESMESİ

Çift akışlı plasma kesmesinde plasma arkının etrafında bir ikinci gaz perdesi bulunur(Şek.36). Mutat ağız gazı azottur. Koruma gazı, kesilecek malzemeye göre seçilir. Yumuşak çelik için karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) veya hava olabilir; paslanmaz çelikler için, CO<sub>2</sub> ve alüminyum için bir argon-hidrojen karışımı olur. Yumuşak çelikte kesme hızları standart PA kesmesine göre hafifçe daha yüksekse de birçok uygulamada kesme kalitesi memnunluk verici değildir.

Argon, nispi olarak yüksek 40 atom ağırlığı ite, ergimiş malzemeyi kesim aralığından atmak için yeterli itme yoğunluğunu haizdir. Buna karşılık, düşük enthalpi'si ve kötü ısı iletkenliği onun kesme gazı olarak kullanılmasına engel olur. Hidrojen ise bunun aksine davranır. Onun 2 molekül ağırlığı dolayısıyla itme yoğunluğu memnunluk verici değildir; ama bu gaz özellikle 4000°K civarında ayrışma alanında belirgin şekilde ısı iletkenidir. Ayrıca bunun enthalpi'si, öbür kesme gazlarıyla kıyaslandığında, birkaç kat büyüktür.

Azot, itme yoğunluğu, ısı iletkenliği ve Enthalpi açılarından argonla hidrojen arasında bulunur.



## SU KORUMALI PLASMA KESMESİ

Bu teknik çift akışlı plasma kesmesinin aynısıdır. Yardımcı koruyucu gaz yerine su\* kullanılır. Böylece kesmenin görünümü düzelir ve memenin ömrü uzar. Kesme geometrisiyle hızı standart PA kesmesine göre hissedilir derecede iyileşmez.

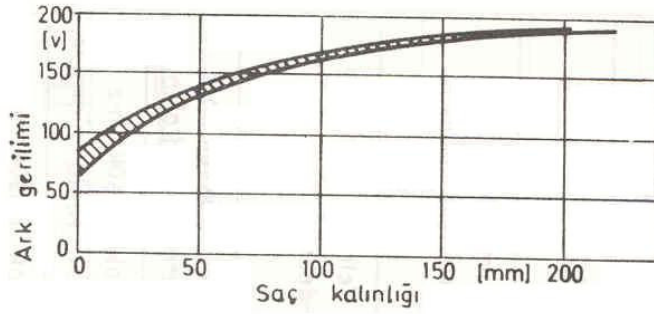
## SU PÜSKÜRTMELİ PLASMA KESMESİ

Klasik PA kesmesinin bu değişik şekli, plasma alevini daha ileri derecede büzmek üzere büzme memesinin civarına simetrik su püskürtmesi kullanılmaktadır (Şek. 37). Bu su jeti aynı zamanda plasmayı çevredeki atmosferle girdaplı şekilde karıştırmaktan korur. Meme ucu, çift arklamayı

önlemek üzere, seramikten olabilir. Gerçekten çift arklama, arkın elektrottan memeye ve buradan da iş parçasına sıçraması sonucu oluşur ve genellikle memeyi tahrip eder.

Suyla büzülmüş plasma dar, keskin kenarlı kesimleri, klasik PA kesmesi hızlarının üstünde bir hızla gerçekleştirir. Suyun çoğunluğunun memeden dışarı püskürmüş sıvı halinde çıkmasından dolayı, kesim aralığını soğutur ve keskin köşe hasil eder. Kesim aralığı temiz ve çok az cürüflü veya cürüfsüz olur. Ağız gazı ve su teğetsel olarak sevk edildiklerinde, plasma gazı meme ve su jetinden çıkışta girdap hareketini haiz olur. Bu, kesim aralığının bir yüzünde yüksek kaliteli dikey bir yüzey hasil eder. Aralığın öbür yüzü açık olur. Şekil kesme uygulamalarında, ilerleme yönü, dik kesim parçada, açık kesim de döküntüde kalacak şekilde seçilecektir.

Üfleç iş parçası üzerinde hızlı hareketiyle bir dar ama aşağıya doğru bariz olarak eğimli bir kesim aralığı meydana getirir. Ark gerilimi, kesilecek saçın kalınlığı arttıkça, beraberce artar. Tipik değerler Şek. 38'de görülür.



Şek.38.-Kesilen malzeme kalınlığına bağlı olarak ark geriliminin yükselmesi. Bu değerler Ar-H kesme yöntemi için geçerlidir.



Meme ağız çapı, gaz karışım ve debisi, üfleç uzaklığı ve gücü gibi etkenlerin doğru saptanmasıyla ileri derecede kaliteli kesimler elde edilir. Bu parametrelerin bir veya bir kaçında yapılacak hata, bu kaliteye hanel verir, tablo XIII'de mutat olarak rastlanan kesme kusurlarıyla bunların nedenleri gösterilmiştir.

## GAZ SEÇİMİ

Kesme gazı seçimi, kesilecek malzemenin cinsiyle istenilen kesim yüzeyi kalitesine bağlıdır.

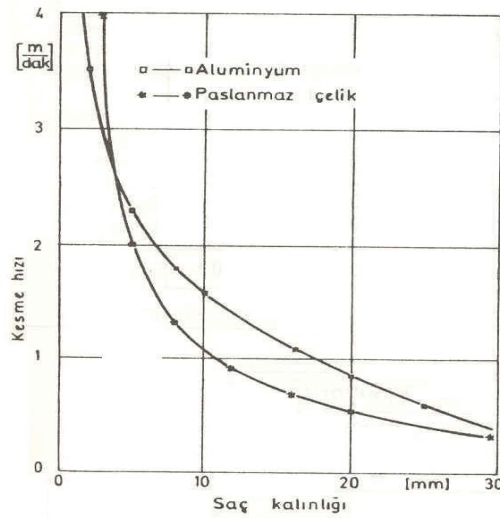
Tablo XIII	Kusurlar	Paslanmaz Çelik	Yumuşak Çelik	Alüminyum
	Üst kenar yuvarlak	Çok yüksek hız, çok yüksek üfleç mesafesi	Paslanmaz çelikteki gibi.	Nadir.
	Üst kenarda cüruf	Çok yüksek üfleç mesafesi hidrojen yoğunluğu yanlış, kolay temizlenir.	Çok yüksek üfleç mesafesi, kolay temizlenir.	Yumuşak çelikteki gibi.
	Üst tarafta pürüz	Yanlış hidrojen yoğunluğu, üfleç mesafesi ve hız kusurundan birlikte sorumludur.	Nadir.	Yetersiz hidrojen debisi.
	Pozitif kenar şevi	Çok yüksek hız ve üfleç mesafesi	Paslanmaz çelikteki gibi.	Çok yüksek hız yetersiz hidrojen
	Negatif kenar şevi	Çok düşük hız	Nadir.	Çok düşük hız çok fazla hidrojen.
	Üst tarafta yanma çentikleri	Çok fazla hidrojen	Çok fazla hidrojen.	Çok düşük hız çok az hidrojen.
	Alt tarafta yanma çentikleri	İhmal edilebilir.	Nadiren olur, sadece arada birçok az üfleç mesafesiyle.	Nadir.
	İç bükümlü yüzey	Çok fazla hidrojen	Nadir.	Çok fazla hidrojen çok düşük hız.
	Dış bükümlü yüzey	Yetersiz hidrojen, hız çok yüksek.	Hız çok yüksek.	Hız çok yüksek.
	Alt kenar yuvarlak	Nadir.	Çok yüksek hız.	Nadir.
	Alt kenarda cüruf	Çok yüksek hız ve H <sub>2</sub> debisi.	Çok yüksek hız ve H <sub>2</sub> debisi, çok az üfleç mesafesi.	Çok yüksek hız.
	Alt tarafta pürüz	Nadir.	Çok az üfleç mesafesi	Yetersiz hidrojen



Demir dışı metallerin çoğu azot, N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> karışımları veya Ar-H<sub>2</sub> karışımları kullanılarak kesilir. Reaktif gazlarla gevrekleşme eğilimleri dolayısıyla titanium ile zirkonium saf argonla kesilir.

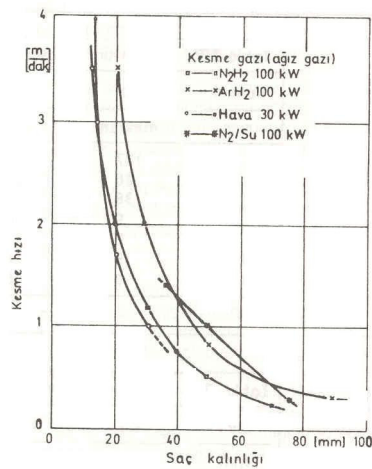
Karbon çelikleri, ağız gazı olarak basınçlı hava (%80 N<sub>2</sub> - %20 O<sub>2</sub>) veya azotla kesilir. Azot, PA kesmesinin su püskürtmeli yönteminde kullanılır.

Çift akışlı sistemle bazı demir dışı metallerin kesiminde plasma gazı olarak da karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) kullanılır. Daha üstün kaliteli kesmelerde Ar-H<sub>2</sub> ağız ve N<sub>2</sub> de koruma gazı olarak kullanılır.



Şek. 40. - Şek.39'da görülen tesisin alüminyum ve paslanmaz çelik için verileri

## UYGULAMALAR



Şek.41.- Çeşitli PA kesme yöntemlerinin karakteristik kesme verileri. Havalı varyant (30 kw) dışındakiler 100 kw güçtedirler.

Her metali kesebilen PA'nın ilginç uygulamaları arasında istif halinde saçların kesilmesi sayılabilir. Ayrıca saç kenarlarının şevlendirilmesi, şekil kesimleri ve delme de yine bu uygulamalar arasındadır.

İstif halinde saçların kesilmesinde saçlar mümkün olduğu kadar birbirlerine bitişecek şekilde işkenceye alınacaklardır. Bununla birlikte PA kesmesinde karbonlu çelik saçlarda, oksiasetilen kesmesine göre daha geniş aralıklara müsaade edilebilir. Yüksek hızda PA kesmesi uygulandığında üstteki saçta daha az şekil bozulması vaki olur. 2 ilâ 6 mm. kalınlıkta birçok saç, istif halinde ekonomik olarak kesilebilir.

Saç ve boru kenarlarının şevlendirilmesi ile şekil kesimleri, oksiasetilenle olanların aynı tekniği kullanır. Genellikle PA kesmesi daha hızlı olur. Örneğin 25 mm 'nin altında kalınlıkta karbonlu çeliğin kesilme hızı beş kat daha fazladır. 37 mm (1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>in)in üstündeki kalınlıklarda, PA ile oksiasetilen kesmeleri arasındaki tercih, teçhizat maliyeti, yükleme faktörü ve daha ince saçlarla demir dışı metallerin kesilip kesilmeyeceğine göre saptanır. PA kesmesinin ekonomik avantajı, sürekli çalışma olanaklarına bağlıdır. Tablo XIV - XVI, çeşitli metaller için yöntem değişkenlerini verir.

Kalınlık	Hız	Ağız çapı	Akım (Elektrod(-))	Güç
mm	mm/sn	mm	A	kW
6	127	3,2	300	60
13	86	3,2	250	50
25	38	4,0	400	80
51	9	4,0	400	80
76	6	4,8	450	90
102	5	4,8	450	90
152	3	6,4	750	170

Kalınlık	Hız	Ağız çapı	Akım (Elektrod(-))	Güç
mm	mm/sn	mm	A	kW
6	86	3,2	300	60
13	42	3,2	300	60
25	21	4,0	400	80
51	9	4,8	500	100
76	7	4,8	500	100
102	3	4,8	500	100

Kalınlık	Hız	Ağız çapı	Akım (Elektrod(-))	Güç
mm	mm/sn	mm	A	kW
6	86	3,2	275	55
13	42	3,2	275	55
25	21	4,0	425	85
51	11	4,8	550	110

## KESME ARALIĞI VE KALİTE

Yukarıda gördüğümüz gibi kesimin kalitesini saptayan faktörler yüzey düzgünlüğü, kesme aralığı, kesilmiş yüzlerin paralelliği, bu yüzlerin alt kenarlarında cüruf teşekkülü, kesimin dikdörtgenliği ve üst kenarın keskinliğidir.

Genellikle kaliteli kesimler ılımlı güç ve düşük kesme hızlarıyla elde edilirse de düşük hız, bir noktadan, PA kesmesinin ekonomik avantajlarına ters düşebilir. Bu itibarla istenilen kesim kalitesi, yöntemin uygulanmasından önce, peşinen saptanmalıdır.

PA kesmesinde kesme aralığı. 50 mm. kalınlığa kadar oksii-asetilen kesmesiyle elde edilen aralığın 1,5 ilâ 2 katıdır. Örneğin 25 mm. kalınlıkta bir paslanmaz çelikte bu aralık tipik olarak 5 mm olur. Yaklaşık 3 mm/sn hızla kesilmiş 180 mm. kalınlıkta paslanmaz çeliğin kesilmesinde 28 mm. genişlikte bir kesim aralığı hasıl olur.

Plasma jet, kesme aralığının üst bölümünden, alt bölümüne göre daha fazla metal kaldırma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak, dibe göre yukarıya daha geniş bir şevli kesim meydana gelir. 25 mm.lik bir çeliğin kesilmesinde hasıl olan şev, dört ilâ altı dereceliktir. Ağız gazının girdaplı olarak çıkması halinde bu şev, sadece bir yana olur. Kesme hızları arttıkça her iki yandaki şev açıları da artar.

Cüruf (dross), kesme sırasında ergiyip kesim yüzeyinin alt kenarına yapışan malzemedir. Halen mevcut donanımla cürufsuz kesim, alüminyum ve paslanmaz çelikte 75 mm ve karbonlu çelikte de yaklaşık 40 mm. kalınlıkta elde edilebilir. Karbonlu çelikte, hız ve akım şiddetinin seçimi daha kritiktir. Cüruf genellikle kalın malzemelerde görülür.

## **METALÜRJİK ETKİLER**

PA kesmesi uygulamalarının çoğunluğunda malzeme kesim yüzeyinde, ergime sıcaklığı alanına ısıtılmış ve plasma jetin gücüyle def edilmiştir. Bu, tıpkı kaynak işlemlerinde olduğu gibi, kesme yüzeyi boyunca bir ısıdan etkilenmiş bölge meydana getirir. Isı bu bölgenin dokusunu değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda kesim yüzeyinde metalin hızlı genişlemesi ve büzülmesi sonucunda içte çekme gerilmeleri hasıl eder.

Ark ısısının iş parçasına nüfuz etme derinliği kesme hızıyla ters orantılıdır. 21 mm/sn hızla kesilmiş bir 25 mm kalınlıkta paslanmaz çeliğin kesim yüzeyinde ısıdan etkilenmiş bölge 0,08 ilâ 0,13 mm derinliktedir. Bu ölçü, mikroskop altında icra edilmiştir. Bir başka deneyin sonuçları da şöyledir: 12 mm kalınlıkta bir austenitik çelik sacda 110 cm/dak. hızla kesimde sadece 0,01 - 0,02 mm genişlikte bir etkilenmiş bölge tespit edilmiştir. Buna karşı-lık, kesme hızı %40 oranında artırıldığında bu bölgenin genişliği 0,05 - 0,06 mm.'ye varmıştır (her iki halde de ark gücü 15 kw'dır).

Yüksek kesme hızı nedeniyle, kesim yüzey kritik 650°C sıcaklığını hızla geçer. Bu itibarla krom karbürünün tane sınırlarına çökme ve korozyona mukavemeti azaltma ihtimali yoktur. 304 tipi paslanmaz çeliğin ana metal ve PA kesim numuneleri üzerinde yapılmış magnetik nitelik ölçüleri, ark kesmesinin magnetik nüfuziyet üzerinde etkili olmadığını göstermiştir.

Alüminyum üzerinde yapılmış deneyler, bu metalden kesilmiş levhaların ısıdan etkilenmiş bölgelerinin, aynı kalınlıkta paslanmaz çelikten levhalarinkinden daha geniş olduğunu göstermiştir. Bu, alüminyumun daha yüksek ısı iletkenliğinden ileri gelmektedir. Mikro-sertlik ölçümleri, 25 mm kalınlıkta, ısı etkisinin yaklaşık 5 mm kadar nüfuz ettiğini gösteriyor. Yaşlanma sertleşmesine eğilimli 2000 ve 7000 serilerinden alüminyum alaşımları, kesme yüzeyinde çatlamaya hassas olmaktadır. Çatlama, tane sınırı ötektik filmin eriyip gerilim altında ayrılmasından ileri geliyor gibidir. Kaynak edilmeyecek kenarlarda mekanik işleme ile çatlakların kaldırılması gerekli olabilir.

Yüksek karbonlu çelikte PA kesmesinin ısıdan etkilenmiş bölgesinde, soğuma hızının yüksek olması halinde sertleşme vaki olacaktır. Sertleşme derecesi, kesim yüzeyinin soğuma hızını azaltmak üzere buna ön ısıtma uygulamak suretiyle, azaltılabilir.

PA kesmesinde kesim kalitesi hususunda DİN 8518 «Isıl kesme ve plasma kesmesinde kurlar»!, DİN 2310'da «Autogen ısıl kesme» için özellikle Ölçü hassasiyetini irdelemektedir. Nikel ve alaşımları için PA kesmesi koşulları TabloXVII'de verilmiştir.

Her ne kadar teçhizat yatırım maliyeti yüksekse de PA yöntemiyle kesme hızı, çok yönlü ve yüksek kaliteli olmaktadır.

Ekonomik olarak faydalı plasma (ağız)gazları arasında N<sub>2</sub> - H<sub>2</sub> karışımlarının Ar-H<sub>2</sub> karışımlarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür şöyle ki N<sub>2</sub> - H<sub>2</sub> ile kesim, daha temiz ve ayarsızlığa daha az duyarlı olmaktadır. Bununla birlikte 125 mm 'den daha kalın kesitlerin ke-

Tablo XVII- PA kesme koşulları					
Malzeme	Kalınlık mm	Gaz debisi l/sa	Gaz tipi	Güç kW	Hız mm/dk
Nikel 200	38	6.2	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	95	650
	75	7.4	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	138	150
	150	4.3	% 65 A .% 35 H <sub>2</sub>	104	125
MONEL 400	50	7.6	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	155	950
	75	7.4	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	134	125
INCONEL 600	45	6.2	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	95	650
	75	7.4	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	135	125
	150	4.3	% 65 A .% 35 H <sub>2</sub>	103	125
INCONEL X-750	65	7.6	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	148	500
INCOLOY 800	38	6.2	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	92	500
	75	7.4	% 85 N <sub>2</sub> .% 15 H <sub>2</sub>	163	125
	150	3.7	% 65 A .% 35 H <sub>2</sub>	98	125

silmesinde Ar-H<sub>2</sub> ile sonuçlar daha iyi olmaktadır. Hava veya oksijen de denenmiş olup bunlardan hiçbiri rekabet edememiştir zira 500 A'i aşan akım şiddetlerinde elektrodun ömrü nispeten kısa olmuştur.

Yüksek nikel alaşımlarda kesim dolayısıyla ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği 0,25 ilâ 0,40 mm arasındadır.

## ***PA'LA METAL PÜSKÜRTME***

Isıl püskürtme, ince zerreciklere ayrılmış metaller, metalik oksitler veya plastikleri ergimiş ya da yarı ergimiş halde uygun bir taban üzerinde yapışkan bir kaplama yapmak üzere yaymak yöntemidir. Yöntem ayrıca ısı üreten menba itibariyle de tarif edilir: doğruca alev, plasma, elektrik arkı veya patlama. Bundan başka iki temel malzeme şekliyle kategorilere ayrılır, toz ve tel ya da çubuk halinde kaplama malzemesi.

5000°F (2760°C)ın üstünde sıcaklıklarda ergi-yen malzemeler için ısı menbaı olarak genellikle plasmaya başvurulur. Ergime noktalarına varmadan önce buharlaşmayan ya da ayrışmayan bütün bilinen malzemeler, plasma ile püskürtülebilir. Bunlar arasında tungsten karbürü, tantal ve tungsten sayılabilir.

Plasma püskürtme donanımında tek ve çift atomlu gazlar kullanılabilir. Tek atomlu gazlardan argon ve helium, çift atomlulardan da azot, genellikle en çok kullanılan gazlardır. Tek atomlu gazlarla, birçok amaç için yeterli sıcaklıklara varılır. Bununla birlikte çok atomlu gazlar, daha büyük bir ısı içeriğine sahiptirler; bunlar sadece, ionizasyon için gerekli olan değil, ayrışma için de kullanılan enerjiyi açığa çıkarırlar.

Plasma püskürtmesinde her gazın avantaj ve zayıf yönleri aşağıda verilmiştir:

**Azot:** Bu gaz ucuz olması, iki atomlu olup daha yüksek püskürtme hızları ile yüksek kaplama verimi sağlaması itibariyle geniş ölçüde kullanılır. Memenin ömrü daha kısa olsaydı da gazın düşük maliyeti bunu fazlasıyla karşılamaktadır.

**Argon:** Bu gaz karbürlerin püskürtülmesinde en çok kullanılan gazdır. Halen yüksek nitelikli karbür kaplamaları argonla yapılmaktadır.

**Hidrojen:** Bu gaz, yardımcı olarak, azot veya argona %5 ilâ %25 oranında karıştırılarak kullanılır. Hidrojenin kullanılması arkın gerilimini artırıp böylece daha yüksek güç düzeylerinin kullanılmasını mümkün kılar.

Üflecin iş parçasına mesafesi önemli olup belli bir uygulama için sabit tutulacaktır. Bu mesafe, doğal olarak, işin sıcaklığını etkileyecektir. Birçok halde üfleç iş parçasından 50 ilâ 150 mm mesafede tutulur.

Yüzey kaplama hızı, her pasoda 0,25 mm den kalın tabaka püskürtülmeyecek şekilde ayarlanacaktır.

Temel malzemenin çoğunluğu 100 ilâ 150°C" lık bir ön ısıtmaya tabi tutulacaktır. Böylece yüzeyde birikmeler önlenmiş, ana malzeme geniştirilip, kaplamada sonradan soğuma sırasında vaki olan gerilmeler azaltılmış olmaktadır.

Ana malzemenin, kaplamanın veya her ikisinin fazla ısıtılması sonucunda fiziksel nitelikler düşer. Bunu önlemek için genellikle hava soğutması kullanılır. Kaplamanın bulaşmasını önlemek üzere hava temiz ve kuru olacaktır; bulaşma, yapışmayı zayıflatır veya tabaka kalkmasını mucip olur.

Bazı malzemelerle, soğutma gazı olarak argon, azot veya karbon dioksit kullanılarak kaplama kalitesi yükseltilebilir. Bu, özellikle tungsten için doğrudur şöyle ki kısa mesafeden püskürtmeyi müteakip soğutmak için asal gazlar kullanılmak suretiyle çekme mukavemeti iki katına çıkartabilmektedir.

Ana malzeme ile kaplama arasında bağlantı tipi mekanik, metalürjik (difüzyon) veya kimyasal olur. Her üç halde de ana meta! yüzeyinin hazırlanması büyük önem taşır. Her türlü toz, yağ ve sair yabancı madde yüzeyden özenle temizlenecektir. Mümkün olduğu kadar yüzey, püskürtme (kum veya çelik tane) veya asit dağlama ile pürüzlendirilecektir.

Biz plazma âleminde sadece kısa bir gezinti yaptık. Konu gerçekten günün teknolojisinin büyük bölümüyle iç içedir. Bu itibarla, ayrıntılarıyla ele alındığında bir makale çerçevesini çok aşar. OERLIKON, tamamlayıcı bilgi vermekten memnunluk duyacaktır.