

MIG-MAG KAYNAĞINDA ÇİFT KANALLI KORUYUCU GAZ YÖNLENDİRME YÖNTEMİ

Tolga Mert^{1*}

Dr., tmert@yildiz.edu.tr

Nurullah Gültekin¹

Prof. Dr.,

nurullah.gultekin@yahoo.com

Selahattin Yumurtacı¹

Prof. Dr.,

yselahaat@yildiz.edu.tr

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi,
Makina Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Beşiktaş - İstanbul

ÖZET

Gazaltı kaynağında koruyucu gaz kullanımı üzerine yapılan sayısız araştırmanın pek çoğu gazların karışım şeklinde kullanılması ve karıştırılan soy ve aktif gazların faydalarının optimize edilmesi üzerine olmuşken, bazı araştırmacılar da koruyucu gazları bazı donanımlarla alternatif şekillerde kaynak bölgesine göndermeyi düşünmüşler ve bu konuları araştırmışlardır. Bu alternatif yöntemlerden biri de geleneksel torç tasarımında yapılan değişikliklerle torcun, birbirleriyle eş eksenli iki kanal ve nozüle sahip olmasının sağlanmasıdır; böylece koruyucu gazlar birbirinden bağımsız şekilde kaynak dikişi bölgesine gönderilebilecektir. Buradaki temel mantık, pahalı olan gaz ile kaynak arkını oluşturmak ve iyonizasyonu sağlamak, ucuz olan aktif gaz ile de kaynak arkını ve ergimiş kaynak metalini atmosferden korumaktır.

Anahtar Kelimeler: MIG-MAG kaynağı, çift kanallı kaynak torcu, DMAG yöntemi, koruyucu gaz

Double Channel Shielding Gas Guiding Method in MIG-MAG Welding

ABSTRACT

Most of the numerous researches on use of shielding gas in gas metal arc welding have involved mixture of shielding gases and optimization of benefits of noble and active gases, whereas some researchers have thought about guiding shielding gases alternatively to welding zone with some equipment. One of these alternative methods is to maintain the torch to have concentric double channel and nozzles with some changes in conventional torch design. Thus, shielding gases could be sent to welding zone separately. Basic principle here is to establish arc and ionization with an expensive gas and to protect welding arc and molten metal from atmosphere with a cheap gas.

Keywords: MIG-MAG welding, double channel welding torch, DMAG method, shielding gas

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 09.10.2012

Kabul tarihi : 18.12.2012

Mert, T., Gültekin, N., Yumurtacı, S. 2012. "MIG-MAG Kaynağında Çift Kanallı Koruyucu Gaz Yönlendirme Yöntemi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 634, s. 34-43

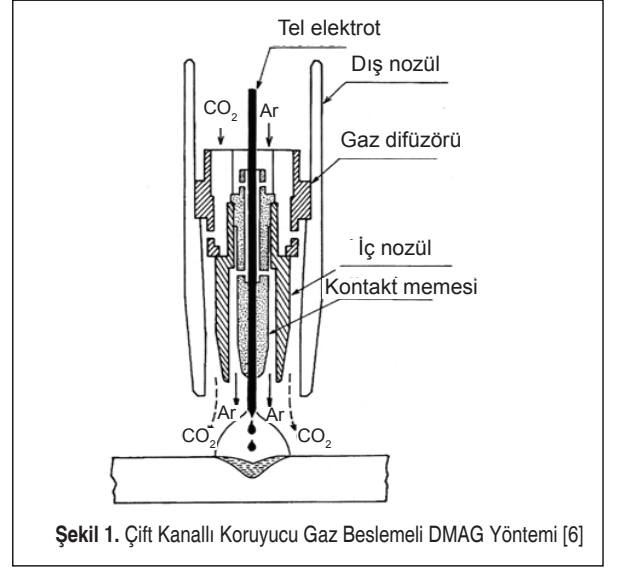
1. GİRİŞ

Güvenilir bir kaynaklı bağlantı elde edebilmek için örtülü elektrotlarla gerçekleştirilen ark kaynağı uygulamalarındaki en önemli sınırlamalardan ikisi, kaynakçının konuyla ilgili olarak eğitilmiş olmasının gerekliliği ve kaynak hızının düşük oluşudur. Bunların sonucu olarak, maliyeti düşük tutarak kaliteden ödün vermeden hızlı bir imalat söz konusu olduğunda adı geçen yöntem, talepleri karşılamamaktadır.

Kaynakta imalat sürelerinin kısaltılması, maliyetlerin azaltılması ve de kaynak yapan kişiden kaynaklanabilecek sorunları ortadan kaldırmak için, kaynak endüstrisi otomatik ve mekanize yöntemler geliştirmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlardan bir tanesi ergiyen elektrotla gazaltı kaynak yöntemidir ve bu geleneksel yöntemde, kaynak bölgesinin atmosferin olumsuz etkilerinden korunması amacıyla gerek soy (asal) gerek aktif gazlar, hem saf halde hem de karışım şeklinde kullanılmaktadır [1-5]. MIG-MAG kaynağında koruyucu gazların etkileri üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda çeşitli oranlarda koruyucu gaz karışımlarının kullanımıyla düşük karbonlu ve paslanmaz çeliklerin yanında, alüminyum ve alaşımlarının kaynağı da incelenmiştir. Geleneksel olmayan gazaltı kaynak yöntemlerinde ise koruyucu gazlar kaynak bölgesine karışım şeklinde gönderilmek yerine alternatif şekillerde gönderilmektedir. Bu yöntemlerden biri, koruyucu gazların bir cihaz yardımıyla dönüşümlü olarak gönderilmesidir. Diğer bir yöntem ise eş eksenli iç ve dış nozullar vasıtasıyla, koruyucu gazların birbirlerine karışmadan kaynak bölgesine bağımsız şekilde beslendiği çift kanal gaz yönlendirme yöntemidir (DMAG). Bu yöntem, özellikle MIG-MAG kaynağına yönelik olarak uygulanmakta olup, bu konu üzerine yapılan çalışmaların çoğu Alman ve Japon araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir.

2. MIG-MAG KAYNAĞINDA ÇİFT KANALLI KORUYUCU GAZ YÖNLENDİRME

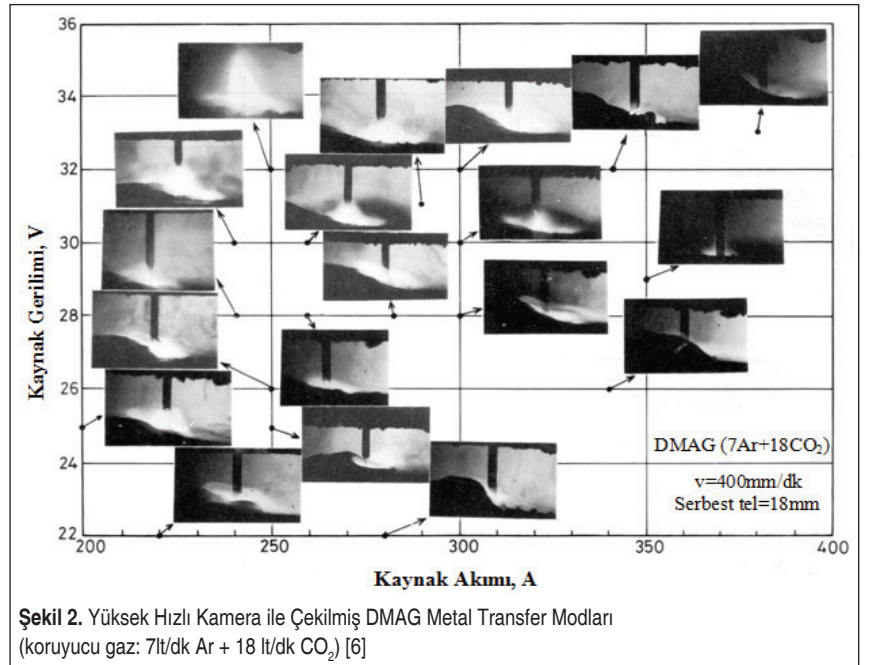
DMAG olarak adlandırılan çift kanaldan beslenen koruyucu gazlarla gerçekleştirilen araştırmalar için tasarlanmış torç prensibi Şekil 1'de verilmektedir. Burada temel amaç gazların karışmadan laminar rejimle kaynak bölgesinin beslenmesidir. Masumoto vd.'nin [6], bu alandaki çalışmada öne çıktıkları görülmektedir. Bu yöntemde spreysel transfer damlacıkları elde etmek için, bağımsız şekilde, iç nozülden soy koruyucu gaz gönderilmektedir. Kaynak bölgesini dış ortamdan korumak için ise, bağımsız olarak dış nozülden karbondiok-



Şekil 1. Çift Kanallı Koruyucu Gaz Beslemeli DMAG Yöntemi [6]

sit gazı beslenmektedir. Bu yöntem 1979 yılında Almanya'da Kohlensaurewerke, C.G. Rommenholler firması tarafından argon gazı kullanımını ve sıçrama kayıplarını azaltarak MAG yöntemini daha etkili hâle getirmek amacıyla geliştirilmiştir. Araştırmacılar DMAG yönteminde metal transferini, sıçrama kayıpları, gözenek oluşumu ve dikiş geometrisi bakımından çok geniş kaynak akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında incelemişlerdir.

Masumoto vd. çalışmalarında, işparçası ile elektrot ucu arasındaki mesafeyi 18mm'de sabit tutmak için yarı otomatik kaynak torcunu bir arabaya sabitlemişlerdir. Ana malzeme olarak yumuşak çelik kullanmışlardır (JIS: SS41 ve SM41B). Tel elektrot 1,2 mm çapındadır (DD50S). Plaka üzerine di-



Şekil 2. Yüksek Hızlı Kamera ile Çekilmiş DMAG Metal Transfer Modları (koruyucu gaz: 7lt/dk Ar + 18 lt/dk CO₂) [6]

Tablo 1. DMAG Yönteminde Kaynak Akımı ve Geriliminin Metal Transfer Modları ve Dikiş Geometrisi Üzerine Etkisi [6]

Kaynak akımı (A)	Kayna gerilimi (V)	Nüfuziyet derinliği (mm)	Dikiş genişliği (mm)	Dikiş yüksekliği (mm)	Metal transfer modu
220	24	2,8	10,2	2,8	Kısa devre
220	27	2,8	10,4	2,7	Kısa devre
240	30	3,1	10,8	2,8	Sprey
250	27	3,3	11,1	2,9	Sprey+kısa devre
280	27	5,1	10	3,4	Sprey+kısa devre
300	30	5,8	10,6	3,6	Sprey
320	30	6,7	10,5	4	Sprey
320	32	5,6	11,9	3,4	Sprey

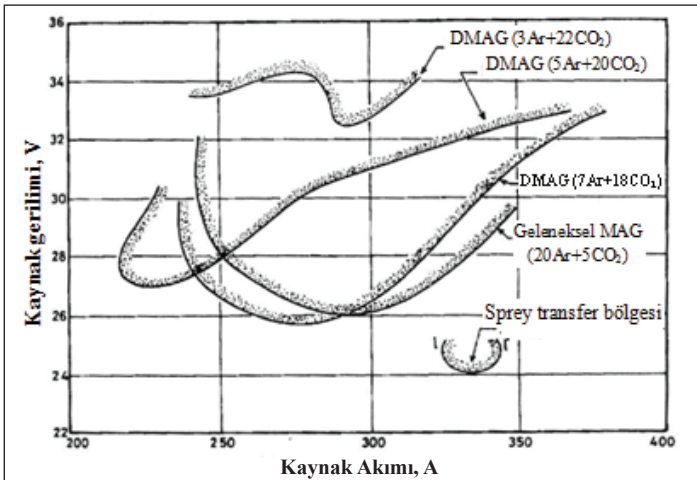
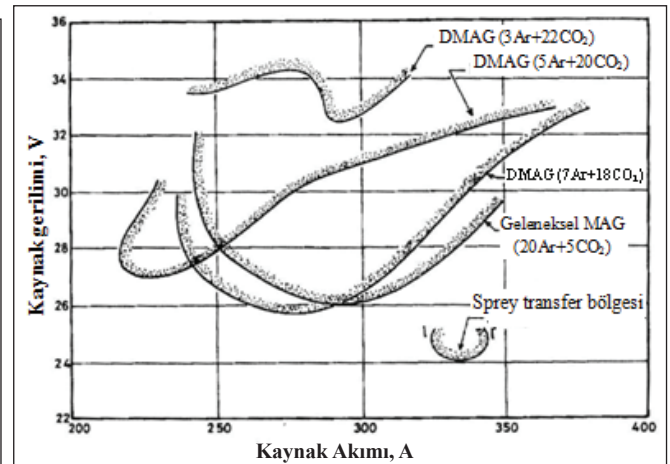
kişler ve V-kaynak ağız dikişleri gerçekleştirmişlerdir. Metal transferinin gözlemlenmesi için 1/4000 sn'lik diyafram hızına sahip kamera veya 16mm'lik sinefilm kullanan yüksek hızlı video kamera ve arkın gerisinde Xenon lambalı geri destek ışığı kullanmışlardır. Çapakları bir kutuda toplamış ve mik-natis kullanarak diğer malzemelerden ayırmışlar ve ağırlığını ölçerek ana malzemedeki sıçrama kaybını bulmuşlardır. Buna ilaveten iç ve dış nozüldeki çapakları da toplamışlar ve nozüldeki sıçrama kaybı olarak ölçmüşlerdir. Şekil 2'de, araştırmacıların yüksek hızlı kamera ile çektikleri DMAG metal transfer modları görülmektedir. Tablo 1'de ise kaynak akımı ve geriliminin metal transfer modları ve dikiş geometrisi üzerine etkileri verilmiştir.

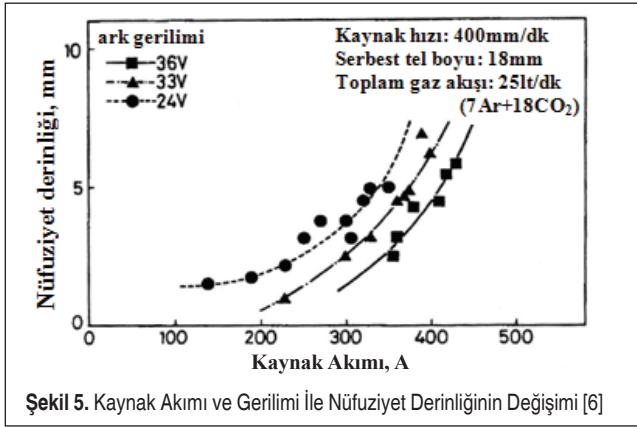
Araştırmacılar, %28Ar ve %72CO₂ içeren ve toplamda 25lt/dk'lık koruyucu gaz debisiyle elde edilen transfer modu aralığının kaynak akımı ve kaynak gerilimine göre konumlarını Şekil 3'te vermişlerdir. Şekil 4'te ise geleneksel MAG ve DMAG yöntemleri için kaynak akımı ve gerilimine göre sprey transfer bölgeleri gösterilmiştir.

Masumoto vd.nin oluşturduğu Şekil 3'teki grafikteki metal transfer modu şekillerinden mm' çizgisi, kısa devre oluşumu için minimum değerleri göstermektedir. Görüleceği üzere argon oranı yükseldikçe II' çizgisinin üstündeki sprey transfer modu ve mm' çizgisinin altındaki kısa devre transfer modu aralıkları daha yüksek bir gerilim seviyesine kaymıştır. Ayrıca argon oranı düştükçe nn' çizgisinin sol kısmındaki damla transfer modu aralığı genişlemiştir.

Nüfuziyetin metal transfer moduna ve akım yoğunluğuna bağlı olduğu bilinmektedir. Aynı araştırmacılar, DMAG yöntemindeki nüfuziyeti, 8 mm kalınlığa sahip SS41 karbon çeliği plaka üzerinde kaynak metali yığdıktan sonra araştırmışlardır (Şekil 5). Aynı ark geriliminde kaynak akım şiddeti arttıkça nüfuziyetin arttığı, aynı akım şiddetinde ise kaynak gerilimi arttıkça nüfuziyetin azaldığı görülmektedir. Sıçramasız metal transferi için bu yöntemde sprey transfer modu gereklidir ve daha fazla nüfuziyet için, kaynak parametreleri gömülü ark sınır bölgesinin yakınında seçilmelidir.

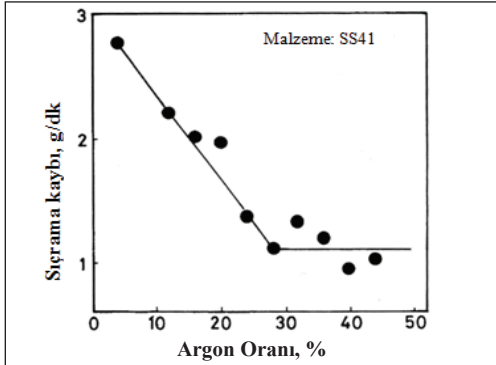
Çalışmada ayrıca 300-320 A akım aralığında ve 32V kaynak

**Şekil 3.** DMAG'da Metal Transfer Modu Aralığı (%28Ar+%72CO₂, toplam 25lt/dk) [6]**Şekil 4.** DMAG ve Geleneksel MAG Kaynağında Sprey Transfer Bölgelerinin Karşılaştırılması [6]

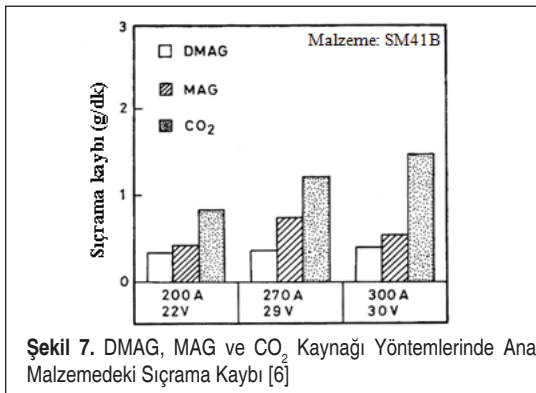


geriliminde iç ve dış nozülde toplanan çapaklar tartılmıştır. Araştırmacılar, koruyucu gazdaki argon oranı %28'e kadar arttığında ana malzeme ve nozüldeki çapakların azaldığını gözlemlemişlerdir (Şekil 6). Sprey transfer damlacıkları nedeniyle %28'den fazla argon oranında sıçrama miktarı sabittir ve 1,2g/dk olarak ölçülmüştür. Şekil 7'de ise farklı kaynak akımı, ark gerilimi ve kaynak sürelerinde iç ve dış nozülde biriken çapaklar görülmektedir.

Şekil 7'den görüleceği üzere, DMAG yöntemi ile kaynaktaki ana malzeme üzerindeki sıçrama kayıplarının, CO₂ ile kaynaktakinden çok daha az olduğunu; hatta geleneksel MAG yönteminden bile daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.



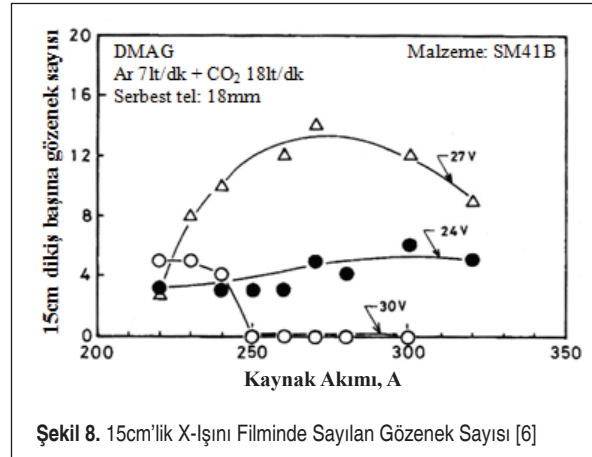
Şekil 6. Ana Malzeme ve Nozüldeki Sıçrama Kaybına Argon Oranının Etkisi (kaynak akımı: 300-320A, ark gerilimi: 32V, koruyucu gaz debisi toplam 25lt/dk) [6]



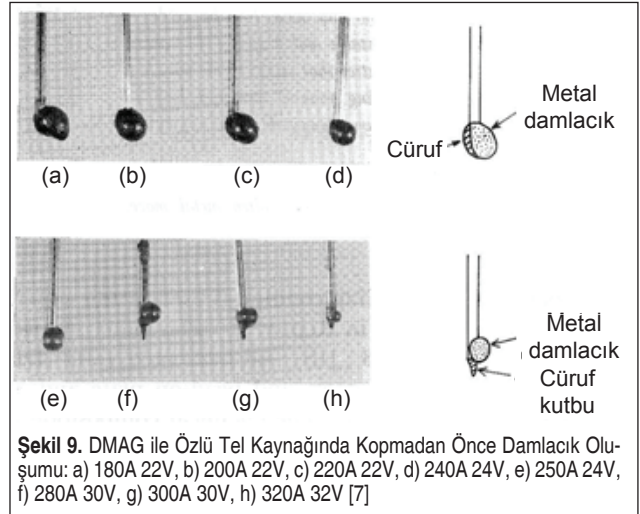
Şekil 7. DMAG, MAG ve CO₂ Kaynağı Yöntemlerinde Ana Malzemede Sıçrama Kaybı [6]

Çeliğin MAG kaynağında karışım gazındaki argon oranı arttıkça ve ark gerilimi düştükçe, gözenekler kolaylıkla meydana gelmektedir. Masumoto vd., DMAG yöntemindeki gözenek oluşumunu SM41B malzeme üzerinde, 260A ve 24V ile kısa devre transfer, 270A ve 27V ile geçiş modu ve 300A ve 30V ile sprej transfer modunda kaynak işlemlerini gerçekleştirdikten sonra 15cm dikiş boyu için X-ışını filmini değerlendirerek ortaya çıkartmışlardır. Geçiş modunda yüksek sayıda gözenek tespit etmişler ve bunun nedeni olarak da istikrarlı olmayan metal transferini ve kısa devreleri göstermişlerdir. Sprej transfer modunda ise gözenek tespit etmemişlerdir.

Kutsuna ve Abraham [7] devam ettirdikleri çalışmanın ikinci kısmında, 1,2 mm çaplı özlü teller (DL50, SF-1) kullanarak, yumuşak çelik (SM41B) malzeme üzerinde plaka üstü dikiş ve V kaynak ağız dikişleri gerçekleştirmişlerdir. İç nozüldeki argon oranının ve kaynak parametrelerinin metal transfer modları üzerine etkisini yüksek hızlı sinerfilm ve 1/4000 sn'lik diyafram hızına sahip kamerayla incelemişlerdir. Şekil 9'da damlacığın kopmasından önce özlü teldeki damlacık oluşumu görülmektedir. Düşük ve orta güç seviyelerinde büyük damla oluşmaktadır. Damlacık, elektrodun kenarına yönelmiş er-



Şekil 8. 15cm'lik X-ışını Filminde Sayılan Gözenek Sayısı [6]



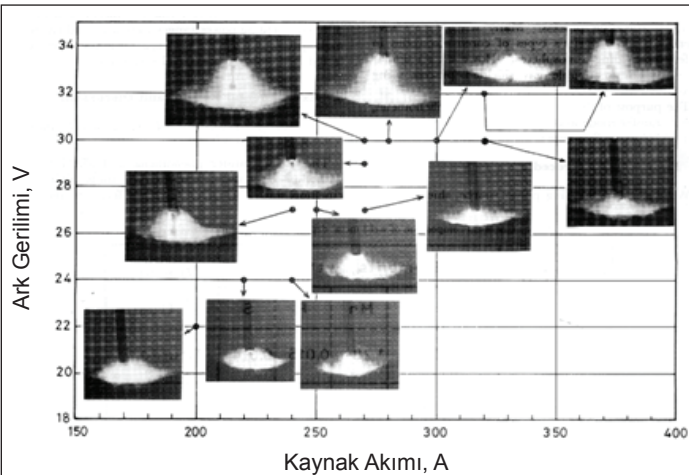
Şekil 9. DMAG ile Özlü Tel Kaynağında Kopmadan Önce Damlacık Oluşumu: a) 180A 22V, b) 200A 22V, c) 220A 22V, d) 240A 24V, e) 250A 24V, f) 280A 30V, g) 300A 30V, h) 320A 32V [7]

gimiş metal ve elektrot eksenini boyuncu cüruf içermektedir. Kaynak akımı ve ark gerilimi yükseldiğinde damlacık boyutu önemli ölçüde düşmektedir. Yüksek güç seviyelerinde metal kılıf cüruftan hızlı ergimekte ve elektrot ucu genellikle ergimiş cüruf kutbu ve ergimiş metal formunda olmaktadır.

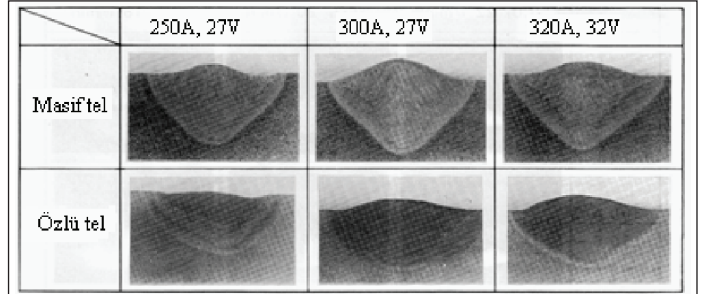
Aynı araştırmacılar, iç nozülde 7lt/dk debiyle argon ve dış nozülde 18lt/dk debiyle CO₂ beslenmesi durumunda farklı transfer modlarını Şekil 10'da göstermişlerdir. Düşük güç seviyelerinde kısa devre transfer ve damla transfer meydana gelmiştir. Bu bölgede sayılan kısa devre frekansları saniyede 5 ile 30 döngüdür ve CO₂ ile masif telli DMAG kaynağına kıyasla düşük damlacık frekanslıdır. Yüksek güç seviyelerinde ise spray transfer modu görülmektedir. Özlü telle elde edilen damlacıklar, DMAG yönteminde masif telle elde edilenlere kıyasla daha farklı şekilde oluşmuşlardır. Kaynak akımı ve ark gerilimi arttığında ark boyu da artmaktadır ve saf argon koruyuculuğunda olduğu gibi ark, elektrot ucunda oluşmaktadır. Elektrot ucundan kopan ergimiş metal ergimiş cüruf kutbu boyunca akmakta veya serbest olarak ya da patlayıcı kuvvetler etkisinde düşmektedir. Damlacıkların kenarları elektrodun çapından daha küçük olmaktadır.

Kutsuna ve Abraham'a göre [7], arkın oluşumunda argon önemli bir rol oynamaktadır. Argon oranı azaldığında ark boyu azalmaktadır ve metal transfer modu da değişmektedir. Aynı kaynak şartları için, argon gaz akışı 3lt/dk'dan 7lt/dk'ya çıktığında metal transferi damladan spreye geçiş göstermektedir. Ergimiş cüruf kutbunun uzunluğu azalan argon gaz akışıyla beraber ortadan kaybolmaktadır.

Araştırmacılara göre, nüfuziyet şartları, ark tipine (metal transferi modu), akım yoğunluğuna ve gaz oranına bağlıdır. Nüfuziyet şartlarının gözlemlenmesi için 12 mm kalınlığında SM41B karbon çeliği malzeme üzerine farklı gaz oranları ile V-kaynak ağızı doldurma ve plaka üstü dikiş kaynağı ger-



Şekil 10. Özlü Telle DMAG Kaynağında Yüksek Hızlı Kamera ile Çekilmiş Metal Transfer Modları (koruyucu gaz: 7lt/dk Ar+18lt/dk CO₂) [7]



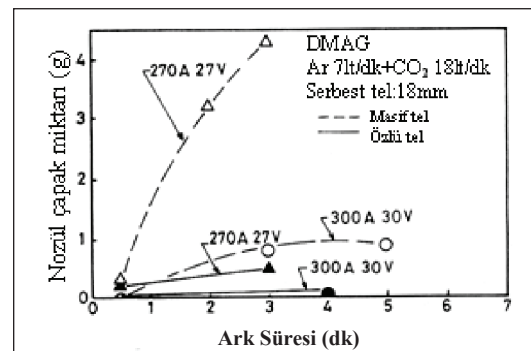
Şekil 11. Masif tel ve Özlü Tel ile DMAG Kaynağında Dikiş Geometrilirinin Karşılaştırılması [7]

çekleştirmişlerdir. Şekil 11, argon debisi 7lt/dk ve CO₂ debisi 18lt/dk olmak üzere V-kaynak ağızının doldurulmasında masif tel ve özlü teller arasındaki nüfuziyet farkını göstermektedir. Özlü tele kıyasla masif tel ile daha derin nüfuziyet elde edilmiştir ve dikiş geometrisi, CO₂ ve karışım gazı kaynak işlemiyle elde edileni andırmaktadır.

Aynı araştırmacılar, özlü telle DMAG kaynağında sıçrama oluşumunu da yine yüksek hızlı sinofilm kullanılarak çalışmışlardır. Sıçramanın, kısa devre köprüsü kırıldığında, telin ve kaynak banyosunun kenarından damlalar gönderildiğinde ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Bu tip sıçramanın hem kısa devre hem de damla transferde meydana geldiğini not etmişlerdir. Buna ilaveten, damla transferde büyük bir damlanın kaynak banyosuna düştüğünü ve dikey yukarı hareket ederek nozüle yapıştığını belirtmişlerdir.

Kutsuna ve Abraham [7], çapak miktarlarının ölçümü için iç ve dış nozüldeki çapakları bir kutuda toplamışlar ve daha sonra tartmışlardır. Şekil 12'den görüleceği üzere en büyük sıçrama miktarı bile 0,02 g/dk gibi düşük bir değerdedir ve 300A ve 30V parametrelerinde uzun ark süresinde (4 dk.) bile nozüle yapışan sıçrama miktarı 0,076 g olmuştur.

Gözenek oluşumu, kaynak akımı/ark geriliminden, yüzey temizliğinden, elektrot telinin kimyasal kompozisyonundan, nozül ve ana metal arasındaki mesafeden ve koruyucu gaz debisinden etkilenmektedir. Özlü telle kaynakta öz, metalin



Şekil 12. Özlü Telle DMAG Yönteminde Uzun Ark Süresinde Nozül Çapak Miktarı [7]

içinde kaynak banyosuna gitmektedir, böylece gaz oluşturalar etkin olarak kullanılmamaktadır ve bunlar metali dışarı atmosfere doğru ittiklerinden dolayı, arkı ve kaynak metalini kirlenmeden korumak için çevresel gaz koruma gerekmektedir. Araştırmacılar, özlü telle DMAG kaynağındaki gözenek oluşumunu, SM41B yumuşak çelik malzemede V-kaynağı gerçekleştirerek incelemiştir. Şekil 13, 15 cm dikiş uzunluğu için, farklı ark gerilimlerinde masif tel ve özlü telle elde edilen gözenek sayısını göstermektedir. Özlü telle kaynağındaki gözenek sayısı, masif telle olana göre daha düşük çıkmıştır.

Dennis vd. [8] ise ikincil koruyucu gaz kullanımı ile paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynağında altı değerlikli krom ve ozona maruz kalmanın kontrol edilebilmesini incelemiştir. Bu çalışma için çift nozüllü bir torç geliştirmişlerdir (Şekil 14).

Araştırmacıların yaptıkları çalışmada Ar, Ar+C₂H₄ dışında Argoshield 5, MISON, Helishield1 ve Helishield 101 gibi ticari ve patentli koruyucu gazlar da kullanılmıştır. Bu gazlar hem tek kanallı geleneksel torç hem de çift kanallı torçla kullanılmıştır. Geleneksel ve geleneksel olmayan çift kanallı torçla gazaltı kaynağında elde edilen ozon (O₃) ve altı değerlikli krom (Cr (VI)) miktarları Tablo 2’de verilmektedir.

Dennis vd.nin [8] elde ettikleri sonuçlara göre, MISON gazının çift kanallı torç ile birlikte kullanımı çok daha etkili olmuştur. Benzer bir sonuç Ar+C₂H₄ gazının kullanımı için de geçerli olmaktadır. Çift kanallı torçta ikincil gaza indirgeyici ajanların (NO ve C₂H₄) katılması, geleneksel torca göre ozon konsantrasyonunun azaltılmasında avantajlar sergilemişken, aynı etki Cr (VI)’nın azaltılmasında gözlemlenmemiştir.

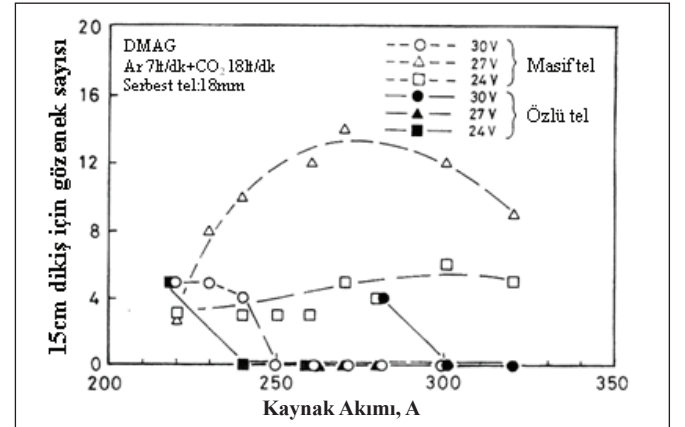
Killing [9], alüminyumun MIG kaynağında birbirinden bağımsız eşeksenli akan iki koruyucu gazlı çift nozül sistemi kullanarak deneyler yapmıştır. Deneyler, çalışma karakteristiklerinin görsel ve işitsel kanıtları, akım ve gerilim ölçümleri ve makro kesitlerin incelenmesiyle değerlendirilmiştir.

Araştırmacı, karşılaştırma amacıyla, saf Ar ve He ile testler gerçekleştirmiştir. Ön ısıtma olmadan 20 mm kalınlığa sahip AlMg3 plakalar üzerinde kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir ve kullanılan elektrot 1,6 mm çaplı S-AlMg₃’dür. Koruyucu gaz kompozisyonunun ve kaynak hızının etkisiyle ilgili çar-

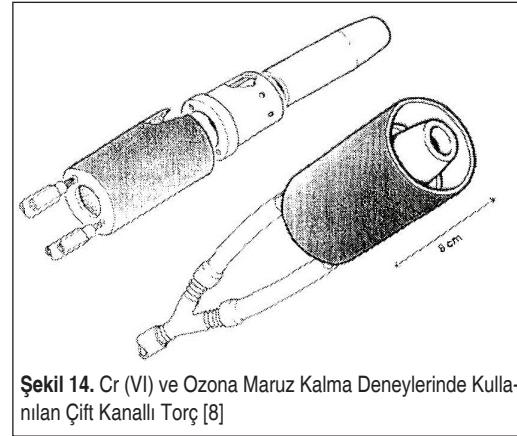
ışma parametreleri ve dikişlerin geometrisiyle ilgili bilgiler sırasıyla, Tablo 3 ve 4’te verilmiştir.

Killing [9], deney sonuçlarına göre, çift nozül sisteminin iç nozülünde göreceli olarak az He kullanımıyla, aynı kaynak hızı için daha derin ve geniş nüfuziyet elde edilebileceğini veya aynı nüfuziyet alanı için kaynak hızının önemli ölçüde artacağını bildirmiştir.

Dış kanaldan odaklama-zarflama amacıyla CO₂ gönderilerek alüminyumun kaynağına olabilişliliğinin bir araştırma konusu değeri taşıdığı düşünülmektedir. Ancak CO₂ gazının disosiy-



Şekil 13. Özlü Telle DMAG Kaynağında 15 cm Dikiş Uzunluğu İçin X-Işını Filmindeki Gözenek Sayısı [7]



Şekil 14. Cr (VI) ve Ozona Maruz Kalma Deneylerinde Kullanılan Çift Kanallı Torç [8]

Tablo 2. Tek ve Çift Kanallı Torç İçin Ozon ve Cr (VI) Sonuçları [8]

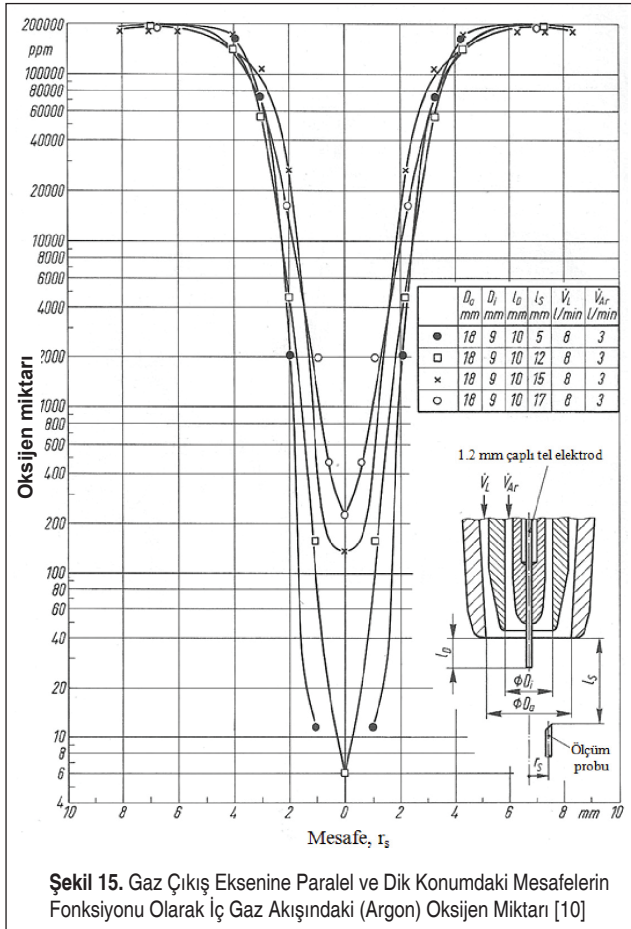
Geleneksel torç (tek kanal)			Modifiyeli torç (çift kanal)			
Koruyucu gaz	O ₃ (p.p.m.)	Cr (VI) (%)	Ana koruyucu gaz	İkincil koruyucu gaz	O ₃ (p.p.m.)	Cr (VI) (%)
Ar	1,32	0,61	Argoshield 5	Ar	1,10	0,64
Argoshield 5	0,95	0,57	Argoshield 5	-	0,83	0,58
MISON	0,39	0,18	Argoshield 5	MISON	0,05	0,35
Ar+C ₂ H ₄	0,69	0,38	Argoshield 5	Ar+C ₂ H ₄	0,11	0,37
Helishield 1	0,57	0,45				
Helishield 101	0,68	0,51				

Tablo 3. İki Bağımsız ve Eşeksneli Gaz Akışlı Torç ile Alüminyumun MIG Kaynağı Parametreleri: Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Etkisi [9]

Test	Koruyucu gaz		Akım (A)	Ark gerilimi (V)	Kaynak hızı (cm/dk)	Kaynak dikiş geometrisi		Dikış yüksekliği (mm)	Dikış yükseklik alanı (mm ²)	Dikış genişliği (mm)
	İç (lt/dk)	Dış (lt/dk)				Nüfuziyet derinliği (mm)	Nüfuziyet alanı (mm ²)			
A	He/15	Ar/15	270	32,5	40	5,1	61,67	3,2	40,25	18,5
B	He/25	Ar/15	270	35	40	5,0	62,57	2,7	39,77	20,5
C	-	He/70	265	38	40	6,0	72,72	2,6	37,61	21,6
D	-	Ar/20	270	28	40	3,6	27,10	3,3	34,18	13,9

Tablo 4. İki Bağımsız ve Eşeksneli Gaz Akışlı Torç ile Alüminyumun MIG Kaynağı Parametreleri: Kaynak Hızının Etkisi [9]

Test	Koruyucu gaz		Akım (A)	Ark gerilimi (V)	Kaynak hızı (cm/dk)	Kaynak dikiş geometrisi		Dikış yüksekliği (mm)	Dikış yükseklik alanı (mm ²)	Dikış genişliği (mm)
	İç (lt/dk)	Dış (lt/dk)				Nüfuziyet derinliği (mm)	Nüfuziyet alanı (mm ²)			
A	He/15	Ar/15	270	32,5	40	5,1	61,67	3,2	40,25	18,5
6	He/15	Ar/15	273	32,2	60	4,1	35,92	2,4	30,05	16,1
7	He/15	Ar/15	277	32	70	4,0	31,40	2,2	24,28	15,9
8	He/15	Ar/15	273	32,2	80	3,0	22,55	1,9	19,42	14,9
10	He/15	Ar/15	273	32,2	100	2,9	19,53	1,8	16,50	14,3
D	-	Ar/20	270	28	40	3,6	27,10	3,3	34,18	13,9

**Şekil 15.** Gaz Çıkış Eksenine Paralel ve Dik Konumdaki Mesafelerin Fonksiyonu Olarak İç Gaz Akışındaki (Argon) Oksijen Miktarı [10]

olma özelliğinin, düşük enerji girdisi parametreleriyle kontrol altında tutulması gerektiği kanısı taşınmaktadır.

Benzer bir çalışma yapan Böhme ve Heuser [10] ise düşük karbonlu çelik malzemenin iki ayrı kanaldan beslenen koruyucu gazlı (argon, CO₂) gazaltı kaynağını, kaynak prosesinin stabilitesi, metal transferi, ısı transfer davranışı ve geleneksel karışım gaz kaynağına kıyasla kaynak bağlantılarının kalitesi açısından incelemişlerdir. İç kanaldaki soygazın stabilitesini belirlemek için oksijen seviyesi ölçüm cihazı ile ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Metrolojik sebeplerden ötürü dış kanaldan beslenen karbondioksit gazı yerine hava gönderilmiştir. Şekil 15, iç kanaldan koruyucu gaz akışında hem yatay hem de dikey durumda çeşitli mesafelerdeki oksijen miktarlarını göstermektedir. Beklendiği üzere oksijen miktarı, argon koruyucu gaz akışında nozül merkezinde en düşük seviyededir.

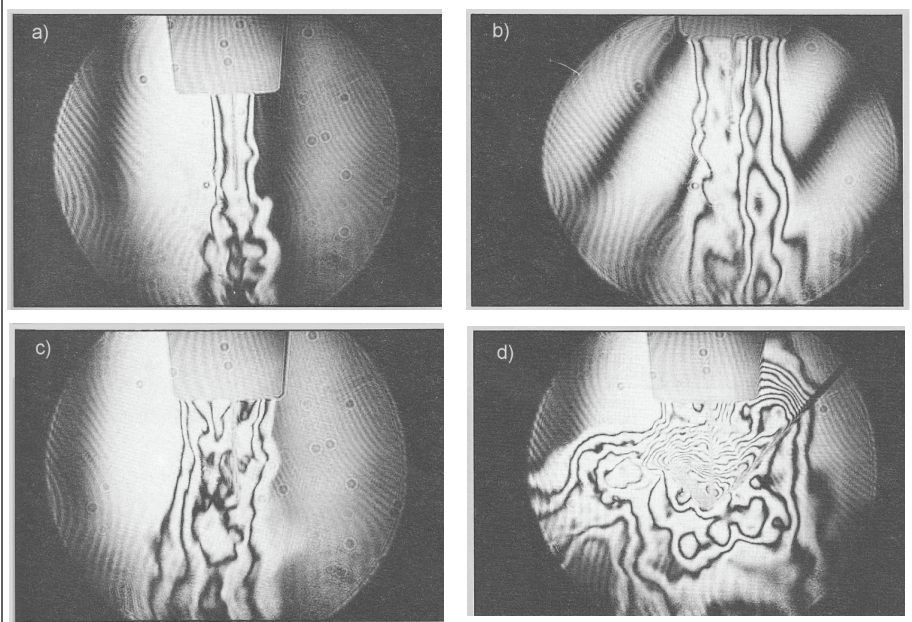
Araştırmacılar [10], iç ve dış kanaldan gönderilen üç farklı Ar ve CO₂ oranıyla, iç kanaldaki argon akışında ve sabit bir dikey mesafeden yapılan ölçümlerde oksijen miktarlarının hemen hemen aynı olduğunu görmüşlerdir. Kaynak sırasında hem iç hem de dış nozülde çapakların birikmesinin, koruyucu gaz akışlarının stabilitesi açısından kritik bir öneme sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Torç kirli olduğunda ve nozülde çapaklar biriktiğinde koruyucu gazlar girdap şeklinde akmaktadır. Yapılan oksijen miktarı ölçümlerinde, nozüllerde çapaklar biriktiğinde nozülün merkezinde ölçülen oksijen miktarının %0,5 olduğu ve bu değer, temiz torcun nozül-

lünde ölçülen değere (5 ppm) kıyasla 1000 kat fazla olduğu not edilmiştir.

Çift kanallı torcun iç ve dış nozülünden farklı debilerdeki koruyucu gaz akışının holografik görüntüleri Şekil 16'da verilmiştir.

Şekil 16 incelendiğinde sadece iç nozülden 5lt/dk'lık gaz akışında hafif türbülanslı bir akış olduğu görülmektedir. Araştırmacılara göre [10], sadece dış kanaldan gaz akışı durumunda

ise, iç nozüle göre daha büyük çap nedeniyle daha büyük sürünme yüzeyleri oluşmakta ve bu da istikrarlı bir akış sağlanamamasına neden olmaktadır. Ayrıca nozül yüzeylerinin farklı koniklik eğimleri de buna neden olabilmektedir. Araştırmacılar, hem iç hem de dış kanaldan koruyucu gaz akışı durumunda ise daha az türbülanslı bir akış gözlemlemişlerdir; iç ve dış kanallardan eşit hacimsel debide bir akış durumunda ise hemen hemen laminer bir akışı not etmişlerdir. Koruyucu gazlar eğimli bir yüzeye veya köşe kaynak parçasına çarptığında yine türbülans meydana gelmiştir.



Şekil 16. İç ve Dış Kanaldan Gönderilen Koruyucu Gazlara Ait Holografik Fotoğraflar: a) Sadece İç Nozülden 5lt/dk'lık CO₂ akışı, b) İç Kanaldan 4lt/dk ile Ar ve Dış Kanaldan 9lt/dk ile CO₂ Akışı, c) Sadece Dış Nozülden 10lt/dk ile CO₂ akışı, d) Köşe Kaynağına Çarpan Gaz Akışları: İç Kanaldan 4lt/dk'lık Ar ve dış kanaldan 14lt/dk'lık CO₂ [10]

Aynı çalışmaya ait deneylerin sonucunda koruyucu gaz türünün kaynağın arkına ve maksimum kaynak hızına olan etkisine ait değerler Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmektedir. Kaynak dikişlerine ait makro fotoğraflar ise Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmektedir.

Hartung [11] da yaptığı çift kanallı torç ile gazaltı kaynağı araştırmasında, otomasyona ve elle kullanıma yönelik çift kanallı torç tasarımlarını vermiştir (Şekil 19). Araştırmacı, çift gazlı yöntem için; kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı ile elektrot çapı ve serbest tel uzunluğu, gaz memesinin iş parçasından olan mesafesi ve gaz memesinin biçimi ile iç ve dış gaz oranları ve gaz akış hızlarının önemli parametreler olduğunu belirtmiştir.

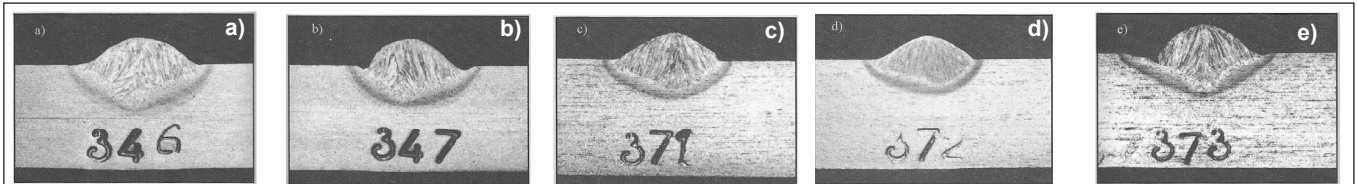
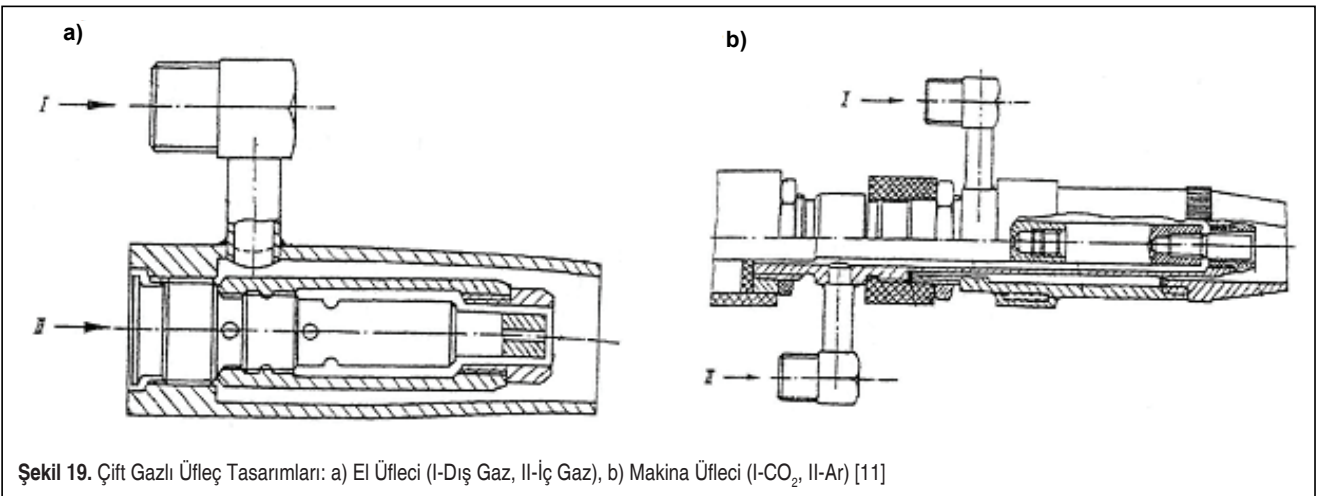
Araştırmacının deneylerinde kullandığı elektrot malzemesi 10MnSi6 tipi tel

Tablo 5. Ark Tipi Üzerine Koruyucu Gazın Etkisi [10]

Kaynak akımı (A)	Kaynak gerilimi (V)	Ar miktarı (lt/dk)	CO ₂ miktarı (lt/dk)	Argon oranı (%)	Ark tipi
240	27,5	3,5	8,5	29,2	Sprey
245	27,5	3	9	25	Transfer/sprey
250	27,5	2,5	9,5	20,8	Transfer
240	28	2	10	16,6	Transfer
233	27,7	-	12	-	Uzun
230	28	2	10	16,6	Transfer
233	28	2,5	9,5	20,8	Transfer/sprey
233	27,8	3	9	25	Transfer
233	28	3,5	8,5	29,1	Sprey
236	27,5	4	8	33,3	Sprey
226	28	4,5	7,5	37,5	Sprey

Tablo 6. Sprey Arkta Ulaşılan Maksimum Kaynak Hızları [10]

Kaynak hızı (cm/dk)	Kaynak akımı (A)	Kaynak gerilimi (V)	Kaynak kesiti (mm ²)	Kaynak yüksekliği (mm)	Nüfuziyet derinliği (mm)	Kaynak genişliği (mm)	Koruyucu gaz (lt/dk)
33	246	30,5	49,3	2,6	4,1	12,6	3Ar/9CO ₂
40	250	30,7	39,7	2,4	4,1	11,3	3Ar/9CO ₂
45	248	30,7	36,1	2,5	3,5	11,0	3Ar/9CO ₂
50	248	30,7	32,8	2,4	3,4	9,8	3Ar/9CO ₂
60	250	30,7	24,7	2,1	2,7	8,2	3Ar/9CO ₂
50	254	30,1	33,1	2,4	3,0	10,3	12 (%82Ar+%18CO ₂)
60	254	30,1	27,8	2,3	2,5	8,4	12 (%82Ar+%18CO ₂)
80	254	30,1	21,6	1,9	2,2	8,4	12 (%82Ar+%18CO ₂)
60	256	31,5	29,2	2,6	3,4	8,8	12 (%97,5Ar+%2,5CO ₂)

**Şekil 17.** Koruyucu Gazdaki Argon Oranının Nüfuziyet Şekline Etkisi: a) %20Ar (2,5lt/dk Ar, 9,5lt/dk CO₂), b) %25Ar (3lt/dk Ar, 9 lt/dk CO₂), c) %29Ar (3,5lt/dk Ar, 8,5lt/dk CO₂), d) %33 Ar (4lt/dk Ar, 8 lt/dk CO₂), e) %100 CO₂ [10]**Şekil 18.** Kaynak Hızının Dikiş Şekli Üzerine Etkisi: a) Çift Kanallı Torç - 50 cm/dk, b) Çift Kanallı Torç - 60cm/dk, c) Karışım Gazı (Ar+%18CO₂) - 60cm/dk, d) karışım gazı (Ar+%18CO₂) - 80cm/dk, e) karışım gazı (Ar+%2,5CO₂) - 60cm/dk [10]**Şekil 19.** Çift Gazlı Üfleç Tasarımları: a) El Üfleci (I-Dış Gaz, II-İç Gaz), b) Makina Üfleci (I-CO₂, II-Ar) [11]

Tablo 7. Az Sıçramalı Çift Gazlı Kaynak İçin Teknolojik Standartlar [11]

Elektrot çapı (mm)	I_s (A)	U_s (V)	ϕ_s (cm/dk)	Q_{CO_2} (lt/dk)	Q_{Ar} (lt/dk)
1,6	300-320	32-34	40-50	10	2,5-5
1,2	290-300	32-34	40-50	10	2,5-5
1,0	230-300	32-34	40-50	7	2,5-4
0,8	90	21	50-60	5	2,5

elektrottur ve 0,8 ila 1,6 mm arasındaki çaplar denenmiştir. Bu denemeler sonucunda az sıçrama yaratan bazı değerler Tablo 7’de verilmektedir.

Hartung [11]’un deneyleri sonucunda elde ettiği sonuçlara göre, malzeme akışı ve kaynak dikiş formu, saf argon gazı altında yapılan MIG kaynağına benzer olmaktadır. Kritik kaynak akımının üzerinde sıçramasız ve düzgün malzeme akışı, 1,0 ile 1,6 mm çapındaki elektrotlarla ve daha yüksek ark gerilimi ve ark uzunluğuyla elde edilmektedir. Gerekli yüksek kaynak geriliminin neden olduğu uzun argon arkı, kaynak dikişinin geniş ve nüfuziyet derinliğinin daha az olmasına (yaklaşık 4 mm) sebebiyet vermektedir. Eğer dış kanaldaki gaz CO_2+O_2 ve iç kanaldaki gaz $Ar+CO_2$ karışımları olarak seçilirse, iç gazı oluşturan karışım argon arkının uzunluğunu bir miktar düşürecek ve arkın sapma eğilimi azaltılmış olacaktır. Ayrıca bu şekilde bir miktar argon tasarrufu daha yapılmış olacaktır. Kısa bir argon arkı ile hem kaynak dikiş formu iyileştirilmiş hem de nüfuziyet derinliği bir miktar daha artmış olmaktadır.

3. SONUÇ

MIG/MAG kaynağında çift kanallı torç kullanımında, geleneksel argon ve karbondioksit karışımına kıyasla, koruyucu gazda çok daha az bir miktar argon kullanımıyla bile, birbirine yakın kaynak akımı ve ark gerilimi değerleri için spray transfer modunun elde edilebildiği görülmektedir. DMAG yöntemiyle ayrıca koruyucu gazların çok daha laminer şekilde aktığı ve bunun da gazların koruyuculuk işlevinin verimini arttırıp, arkın stabilize edilmesini sağladığı belirtilmektedir. DMAG yöntemiyle elde edilen nozül çapak miktarlarının ve gözenek sayılarının da daha düşük olması bunun bir sonucu olmaktadır. Özellikle özlü tel kullanımında bu sonuçlar daha bariz şekilde gözlemlenmektedir. Karışım gazlarının kullanımıyla gerçekleştirilen literatür yayınlarının sayısına kıyasla, DMAG yönteminin araştırıldığı yayın sayısı halen oldukça düşük seviyelerdedir. Teknoloji ve maliyet bağlamında avantajlar sunan bu yöntemin daha ayrıntılı şekilde araştırılmasının kaynak teknolojisine ilave faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Tülbentçi, K.** 1998. MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arcotech Yayın, İstanbul.
2. **Kaluç, E.** 2004. Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt I - Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, MMO/356, TMMOB MMO yayını, Ankara.
3. **Anık, S., Vural, M.** 1988. Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG), Gedik Eğitim Vakfı Yayını, İstanbul.
4. **Gültekin, N.** 1991. Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul.
5. ASM International. 2005. Metals Handbook Volume 6: Welding, Brazing and Soldering, USA.
6. **Masumoto, I., Kutsuna, M., Abraham, M.** 1988. “Metal Transfer and Spatter Loss in Double Gas Shielded Metal Arc Welding – Study on Double Gas Shielded Metal Arc Welding (report 1),” Transactions of the Japan Welding Society, 19 (2), p. 38-44
7. **Kutsuna, M., Abraham, M.** 1989. “Metal Transfer and Spatter Loss in Double Gas Shielded Metal Arc Welding Using Flux-Cored Wire – Study on Double Gas Shielded Metal Arc Welding (Report 2), Transactions of the Japan Welding Society, 20 (1), p. 45-51
8. **Dennis, J., French, M.J., Hewitt, P.J., Mortazavi, S.B., Redding, C.A.J.** 2002. “Control of Exposure to Hexavalent Chromium and Ozone in Gas Metal Arc Welding of Stainless Steels by Use of a Secondary Shield Gas,” The Annals of Occupational Hygiene, 46 (1):43-48
9. **Killing, R.** 1984. “Gas-Shielded Metal-Arc Welding of Aluminium with Two Separate, Concentric Flows of Shielding Gas,” Welding and Cutting, 36 (9):E148-E150
10. **Böhme, D., Heuser, H.** 1988. “Gas-Shielded Metal-Arc Welding with Two Separately Fed Shielding Gases–Flow Behaviour and Influence of the Argon Proportion on the Penetration Conditions,” Welding and Cutting, 40 (2):E25-E28
11. **Hartung, F.** 1984. “Spritzerarmes MAG-Schweissen mit Zweigasbrennern,” Schweisstechnik, 34 (8), p. 351-353