

MIG-MAG Kaynağında Duman Oluşumu

Tolga MERT¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-Beşiktaş/İSTANBUL

Özet

İmalat sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olan MIG-MAG kaynağı, bu prosesin doğası gereği, oldukça fazla miktarda zehirli ve sağlığa zararlı gaz-duman meydana getirmektedir. Dumanın kompozisyonu ve partiküllerin büyüklüğü kadar açığa çıkan dumanın miktarı da çalışan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Duman miktarını belirlemek için özel olarak imal edilmiş duman kabini düzeneğinde deneyler gerçekleştirilmektedir. MIG-MAG kaynağında duman oluşum hızı (miktarı) üzerine çalışmalar yapan araştırmacılar, farklı koruyucu gaz kompozisyonlarının ve debilerinin, akım şiddetlerinin, ark gerilimlerinin, kaynak hızlarının ve serbest tel boylarının duman oluşum hızına olan etkilerini incelemişlerdir.

Anahtar kelimeler: MIG-MAG kaynağı, emisyon, duman kabini, duman oluşum hızı

Fume Formation In Gas Metal Arc Welding

Abstract

Gas metal arc welding, which is widely utilized in manufacturing industry, generates significant amount of toxic and unhealthy gas-fume as a nature of this process. Besides fume composition and particle size, fume amount generated also is of importance in terms of worker's health. In order to determine fume amount, experiments are realized in custom built fume chamber. Researchers, who studied fume formation rate in GMAW, have investigated the effects of different shielding gas compositions and flow rates, current intensities, arc voltages, welding speeds and wire electrode stick-out length on fume formation rate.

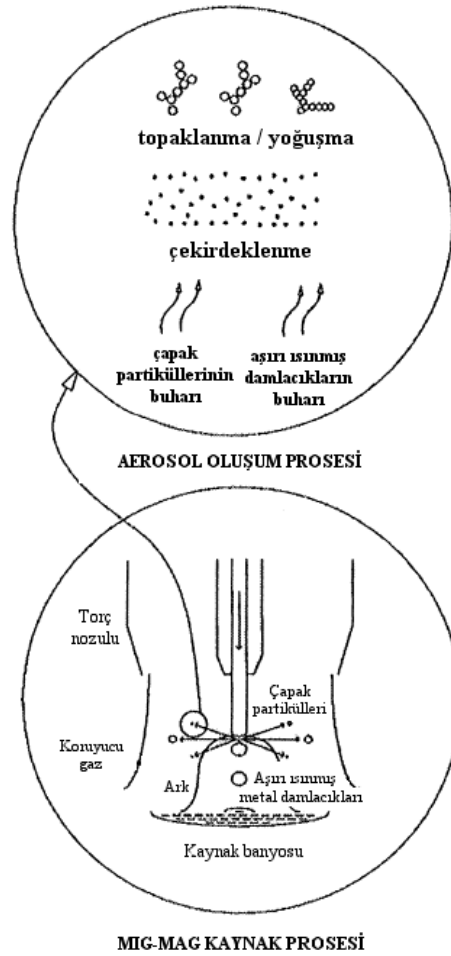
Keywords: GMAW, emission, fume chamber, fume formation rate

¹ Tolga MERT, tmert@yildiz.edu.tr, Tel: +90 212 383 28 05

1. Giriş

Kaynak prosesi endüstride en sık kullanılan imal usullerinden biridir ve kaynaklı birleştirmelerde en büyük pay ark kaynağına ait olmaktadır. Kaynak prosesinin doğası gereği gaz-duman meydana gelmektedir ve özellikle MIG-MAG kaynağı ile örtülü elektrot ark kaynağında duman oluşumu, diğer kaynak yöntemlerine göre daha yoğun olmaktadır.

Ark kaynak prosesinde ark çok yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır ve arkın merkezinin sıcaklığı 5000°C 'ı bulmaktadır [1]. Arkın bu yüksek sıcaklığı, ana malzeme ve ilave malzemenin de yüksek sıcaklıklara çıkmasına sebep olacak ve böylece arka maruz kalan ana ve ilave malzemelerin bir kısmı ergiyecek bir kısmı da buharlaşacaktır. Aşırı ısıtılmış ilave malzeme damlacıkları ve ana metal buharı, varsa koruyucu gazla ve atmosferle etkileşime girecek ve mikro ve nano boyutta oksit partikülleri meydana getirecektir; bu partiküller de plazma jeti ve varsa koruyucu gazın süpürme etkisi nedeniyle sıcak arkten uzaklaşarak havada hızlı bir şekilde yoğunlaşacaklardır. Partiküller, sıvı ve katı partiküllerin çarpışmasına bağlı topaklanma ile büyüyeceklerdir ve böylece gözle görülür duman oluşacaktır [2-5]. Bu dumanın içerisinde, kaynak prosesi esnasında meydana gelen karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O_3) gibi gazlar da mevcut olmaktadır [6]. Şekil 1, MIG-MAG kaynağında duman oluşturan unsurları göstermektedir.



Şekil 1. MIG-MAG kaynağında duman oluşturan unsurlar [8]

Gaz-duman içindeki partiküllerin kimyasal kompozisyonu, kaynak prosedürüne, varsa koruyucu gazın kimyasal kompozisyonuna, ilave ve ana malzemeye, varsa elektrotlardaki örtü ve öze bağlı olmaktadır [3]. Toplam duman miktarının büyük kısmı kaynak telinden kaynaklanırken, ana malzemenin etkisi %10 seviyesinde bulunmaktadır [7].

2. Ark Kaynağında Duman Oluşum Hızının Belirlenmesi

Ark kaynağında meydana gelen duman partiküllerinin kompozisyonu kadar, açığa çıkan duman miktarı da hem kaynak ortamında çalışan ve bulunanların sağlığı hem de atmosfere salınan bu dumanın çevreye etkisi yönünden önem arz etmektedir. Özellikle dar alanlarda kaynak yapılması ve yeterli havalandırmanın bulunmaması durumunda zehirli gaz ve dumanların etkisi daha yoğun olmaktadır. Bu durum zehirli maddeler için belirlenmiş limitlerin üzerine çıkılması sonucunu doğuracaktır. Zehirli gaz ve dumana maruz kalan işçiler ise rahatsızlanarak işyerinden izin almak ve çalışmaya ara vermek zorunda kalacaktır. Bu durum hem çalışanın sağlığını olumsuz yönde etkileyecek hem de işyerindeki verimliliğin düşmesine neden olacaktır. Uzun süreli maruz kalmalarda ise daha ciddi rahatsızlıklar baş gösterebilecektir. Özellikle Avrupa Birliği ve A.B.D.'de yürürlüğe koyulan, insan sağlığı, çevre ve güvenlikle alakalı yeni düzenlemeler, kaynak prosesindeki gaz-duman emisyonlarının azaltılması için itici güç teşkil etmektedir. Son yıllarda, zehirli maddelere kişisel maruz kalma limitleri daha da düşük tutulmuştur ve bu eğilimin gelecek yıllarda da devam edeceği beklenmektedir [7].

Ark kaynağında gaz-duman oluşumunun önemli bir husus olduğu görülmektedir. Bunun için de kullanılan kaynak prosesi, ana malzeme, ilave malzeme ve seçilen elektriksel parametrelere bağlı olarak ne kadar gaz-duman emisyonunun meydana geleceğini belirlemek önem arz etmektedir. Duman emisyonunun belirlenmesi için hem Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO), hem Avrupa Normu (EN) hem de Amerikan Kaynak Cemiyeti (AWS) çeşitli standartlar oluşturmuştur. Bu standartlar ışığında duman kabini adı verilen test hücresinde deneylerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır [9-10].

Şekil 2'de kaynak dumanı emisyonu deneyinin yapılabileceği duman kabini gösterilmektedir. Duman kabini konik bir yapıya sahiptir ve odanın içine iki elle erişim için kauçuk siperle kapatılmış gövde üzerinde iki adet deliğe sahiptir. Ayrıca yine gövde üzerinde, testle ilgili ayarlamaların yapılması ve kaynak esnasında işlemin gözlenebilmesi için kaynak gözlük camı mevcut bulunmaktadır. Gaz ve dumanın toplanabilmesi için filtre ve buna ait destekler, basınç düşüm manometresi ve sabit akış hızına sahip emme sistemi, konik yapının üst tarafında bulunmaktadır. Böylelikle filtre değişimi kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Duman kabininde, uygun filtre (cam fiber) ile duman oluşum hızı ve yine uygun bir filtre (selüloz fiber) ile duman partikül analiz ve karakterizasyonu için deneyler gerçekleştirilebilmektedir. Duman oluşum hızı deneyleri için öncelikle uygun şekilde şartlandırılmış filtreler, 0.01 g veya daha fazla hassasiyete sahip tartı ile tartılmalıdır. Deney gazaltı kaynağı için yapılacaksa, akım memesi ile iş parçası arası mesafe sabit tutulmalıdır; böylece ark boyu sabit kalacaktır. Torç otomatik şekilde hareket ettiriliyorsa ark boyunu sabit tutmak kolay olacaktır fakat işlem kaynak operatörü ile gerçekleştirilecekse, operatörün deneyimli bir kaynakçı olması gerekmektedir aksi halde

deneysel verilerde tutarlılık ortadan kalkacaktır. Deneye geçmeden önce kalibrasyon değerleri ile sistemde yapılan ölçümlerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Tablo 1’de MIG-MAG kaynağı için kalibrasyon değerleri verilmektedir. Bu kalibrasyon değerlerinin eldesi için gerçekleştirilen deneyde, 1,2 mm çapında ER70S-3 kaynak teli 127 mm/s’lik tel besleme hızı ile beslenmiş ve bu da, elektrot doğru akım pozitif kutuplanmış şekilde, sabit potansiyelli güç kaynağı ile yaklaşık 225A’lık bir akım şiddeti değeri meydana getirmiştir. Akım memesi ile iş parçası arası mesafe 19 mm’de sabit tutulmuştur. 16-19 mm’lik nozula sahip torç, 10°’lik açı ile çekilmiştir. CO₂ koruyucu gaz ise 16,5-19 lt/dk’lık debi ile beslenmiştir. Kaynak hızı olarak 6 mm/s’lik değer seçilmiştir ve gömülü ark tekniği ile 12,5 mm kalınlığa sahip, yüzeyi temizlenmiş düşük karbonlu çelik malzeme (A36) üzerinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir [10]

Tablo 1. MIG-MAG kaynağında duman oluşum hızı deneyleri için kalibrasyon değerleri [10]

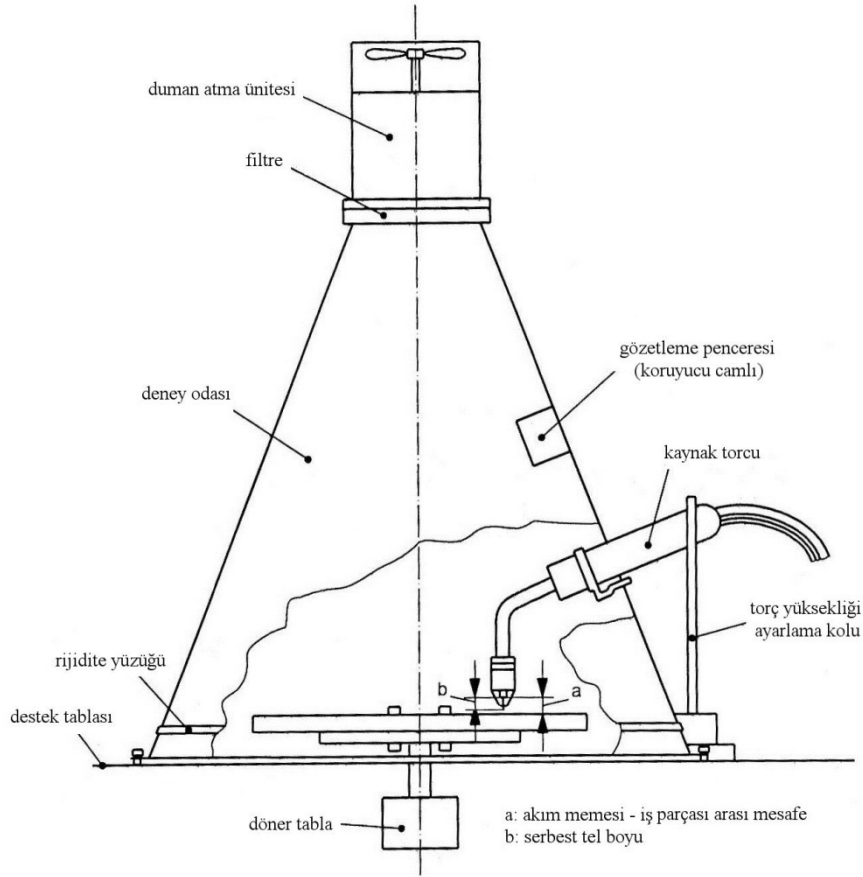
Ark Gerilimi (V)	Ergime Hızı (kg/sa)	Duman Oluşum Hızı (g/dk)	Duman Ağırlığı / Tüketilen Elektrotun Ağırlığı (%)
28	3,8	0,63	0,99
26	3,8	0,55	0,88
24	3,8	0,43	0,67

Kalibrasyon işlemi sonunda tutarlı sonuçlar elde ediliyorsa, kaynak işlemine geçilebilmektedir. Kaynak işlemi başlatıldıktan sonra, akım şiddeti ve ark gerilimi değerleri ile kaynak hızı ölçülmelidir. Ayrıca arkın devrede olduğu süre de not edilmelidir. Basınç düşüm manometresindeki su seviyesi 75-125 mm aralığını aştığında filtre tıkanmaya başlayacaktır; dolayısıyla ark süresi, filtreyi tıkamayacak şekilde seçilmelidir. Kaynak işleminden sonra, duman kabini içinde kalan dumanın da filtre üzerinde biriktirilmesi için emiş sisteminin (709 ila 989 L/dk’lık üniform akışa sahip) en az 30s daha çalıştırılması gerekmektedir; daha sonra filtre tekrar tartılmalıdır. Duman oluşum hızı (DOH) ve % duman miktarları aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir [10].

$$DOH \left(\frac{g}{dk} \right) = \frac{\text{Filtrenin ilk ağırlığı (g)} - \text{Filtrenin son ağırlığı (g)}}{\text{Test süresi (dk)}} \quad (1)$$

$$\% \text{ Duman} = \frac{\text{Filtrenin son ağırlığı (g)} - \text{Filtrenin ilk ağırlığı (g)}}{\text{Elektrodun ilk ağırlığı (g)} - \text{Elektrodun son ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (2)$$

Ark kaynağında gaz-duman oluşumu ve bunun etkileri üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak MIG-MAG kaynağı üzerine yoğunlaşmışken, bazı araştırmacılar da örtülü elektrot kaynağında duman oluşumunu incelemişlerdir.



Şekil 2. Kaynak duman emisyonu için önerilen duman kabini tasarımı [9-10]

3. MIG-MAG Kaynağında Duman Oluşumu

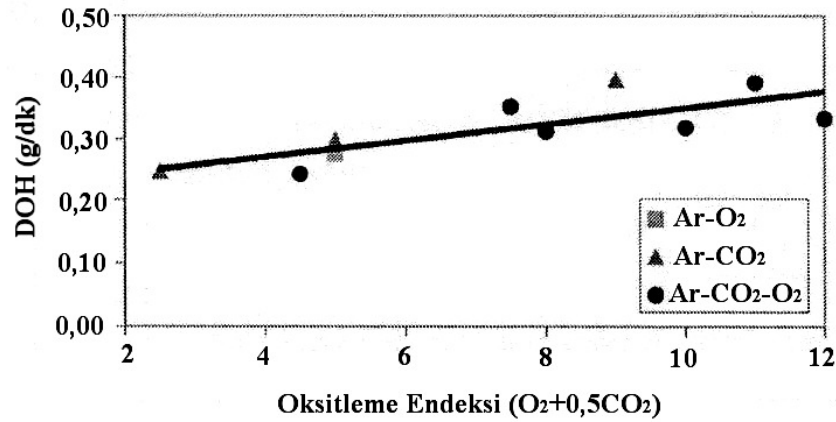
MIG-MAG kaynağında duman oluşumunun incelenmesine ait pek çok yayın bulunmaktadır. Araştırmacılardan bir kısmı koruyucu gazın duman oluşumu üzerine etkisini incelemişlerdir. Carpenter vd. [11] çalışmalarında, spre transfer ile kaynaқта, on üç farklı koruyucu gaz karışımının, duman oluşum hızı ve duman partikülleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Buldukları sonuçlara göre Ar koruyucu gaz karışımlarında, CO_2 miktarının artırılmasının duman oluşumu üzerine olan etkisi, O_2 'nin artırılmasından daha fazla olmaktadır. Aynı araştırmacılara göre, üç bileşenli koruyucu gaz karışımlarında ise O_2 'nin artırılması durumunda, Ar-%12 CO_2 'li karışımlarda duman oluşum hızı çok az artış göstermiştir. CO_2 'in ark karakteristikleri üzerine olan etkisi nedeniyle, Ar içeren koruyucu gaz karışımlarına CO_2 katılmasının duman oluşum hızı üzerine kontrol edici bir etkisi olduğunu öne sürmüşlerdir. Ar- CO_2 - O_2 üçlü koruyucu gaz karışımlarında O_2 endeksinin, duman oluşum hızı üzerine az bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Tablo 2'de, on üç farklı koruyucu gaz karışımı kullanımında, duman oluşum hızı ve ortalama partikül kompozisyonu için Carpenter vd.'nin [11] elde ettiği sonuçlar görülmektedir.

Aynı araştırmacılar, koruyucu gazdaki oksijen miktarının oluşan dumana etkisinin olduğunu düşünmüşler ve bu yönde bir grafik çizdirmişlerdir (Şekil 3). Bu grafikte Ar- O_2 , Ar- CO_2 ve Ar- CO_2 - O_2 karışımları için oksitleme endeksinde karşılık duman oluşum hızı görülmektedir. Koruyucu gazın oksitleme endeksindeki artışla birlikte duman oluşum hızında da zayıf bir artış trendi gözlemlemişlerdir. Ar- CO_2 ve Ar- CO_2 - 2O_2

gazları karşılaştırıldığında ise %2'lik O₂ miktarının duman oluşum hızı açısından bir fark yaratmadığı ve elde edilen eğrilerin birbirine çok yakın olduğunu gözlemlemişlerdir (Şekil 4).

Tablo 2. Robotik MIG-MAG kaynağındaki koruyucu gazlar, duman oluşum hızları, O₂ endeksi ve ortalama partikül kompozisyonu [11]

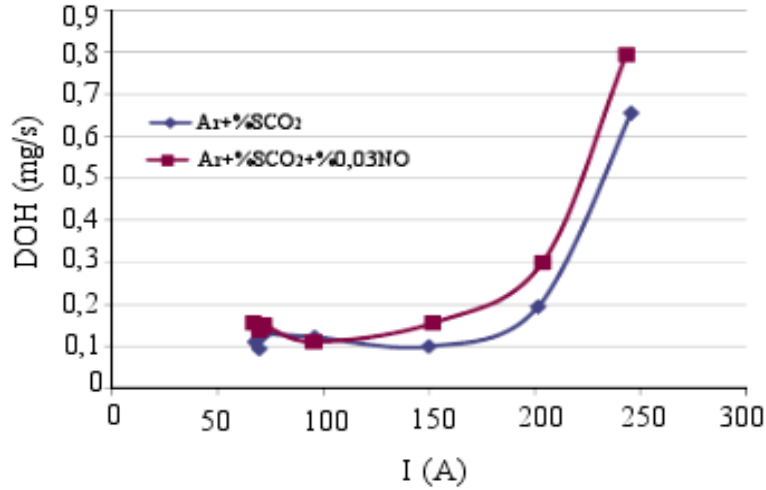
Gaz kompozisyonu	DOH (g/dk)	O ₂ endeksi	O (% ağı.)	Si (% ağı.)	Mn (% ağı.)	Fe (% ağı.)
Ar-%5O ₂	0,274	%5	27,5	0,9	8,7	62,8
Ar-%5CO ₂	0,246	%2,5	27,5	0,7	7,0	64,8
Ar-%10CO ₂	0,298	%5	27,4	0,3	5,9	66,4
Ar-%18CO ₂	0,396	%9	28,1	1,3	4,2	66,3
Ar-%5CO ₂ -%2O ₂	0,242	%4,5	27,5	0,6	7,4	64,5
Ar-%12CO ₂ -%2O ₂	0,312	%8	27,8	1,0	5,8	65,3
Ar-%18CO ₂ -%2O ₂	0,392	%11	28,4	2,3	7,0	62,3
Ar-%5CO ₂ -%5O ₂	0,352	%7,5	28,1	1,6	6,1	64,2
Ar-%12CO ₂ -%4O ₂	0,318	%10	28,1	1,6	6,1	64,2
Ar-%12CO ₂ -%6O ₂	0,332	%12	-	-	-	-
Ar-%20He-%12CO ₂	0,279	-	28,1	1,3	4,0	66,6
Ar-%30He-%6CO ₂	0,273	-	27,7	0,8	6,1	65,4
Ar-%30He-%10CO ₂	0,277	-	27,7	0,8	4,8	66,8



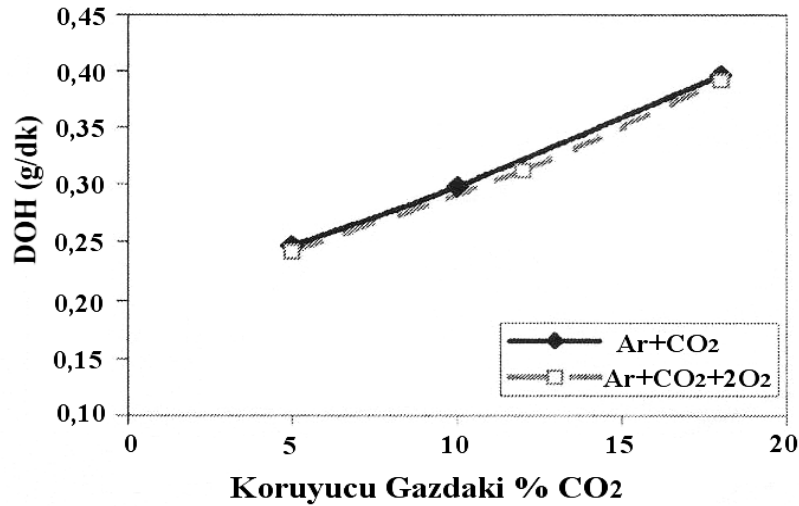
Şekil 3. Oksitleyici koruyucu gazlar için oksitleme endeksine karşılık duman oluşum hızı grafiği [11]

Pires et al. [2], farklı koruyucu gazlar, farklı kaynak telleri ve ergiyen elektrotla gazaltı kaynak prosesinin versiyonları olan darbeli akım gazaltı kaynağı ve soğuk metal transferi (CMT) kaynak yöntemlerini kullanarak MIG-MAG kaynağının zararlı etkilerini azaltmayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar, düşük karbonlu çelik malzemeler üzerine gerçekleştirdikleri CMT ve MIG-MAG kaynaklarında, Ar+%8CO₂ ve Ar+%8CO₂+%0,03NO koruyucu gazlarının duman oluşum hızı üzerine etkisini incelemişlerdir. Şekil 5'te CMT kaynağında koruyucu gaza çok küçük miktarda NO gazının ilavesinin etkisi görülmektedir. Pires vd. [2], NO ilavesinin duman oluşumunu arttırdığını fark etmişlerdir. Şekil 6'da ise, CMT ve MIG-MAG kaynakları için, koruyucu gaz olarak Ar+%8CO₂+%0,03NO ve 1,2 mm çaplı AUTROD 12.50 kaynak teli (%0,1 C, %1,5 Mn ve %0,9 Si) kullanımında, araştırmacıların elde ettiği, akım

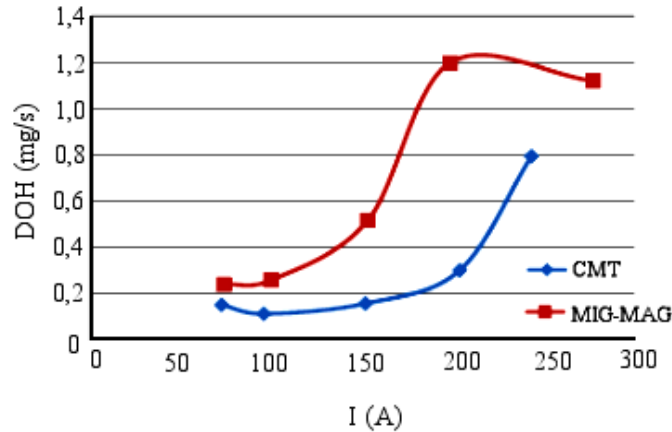
şiddetine göre duman oluşum hızı grafiği verilmektedir. Düşük ısı girdisi kaynak yöntemlerinden olan CMT kaynağının, geleneksel MIG-MAG kaynağına göre çok daha az duman oluşturduğu görülmektedir. Şekil 7’de ise, aynı araştırmacıların, koruyucu gaz olarak Ar+%8CO₂ ve ilave tel olarak 0,8 mm çaplı AUTROD 12.50 kullanımında elde ettikleri, akım şiddetine bağlı duman oluşum hızı grafiği görülmektedir. Geleneksel MIG-MAG kaynağına kıyasla, düşük ısı girdisi proseslerinden olan darbeli akımla MIG-MAG ve CMT kaynaklarında proses esnasında açığa çıkan duman miktarı belirgin şekilde daha düşük seviyelerde kalmıştır. CMT ve darbeli akımla MIG-MAG kaynaklarıyla elde edilen duman miktarları birbirlerine çok yakın olmakla birlikte, CMT ile elde edilen değerler biraz daha düşük olmuştur.



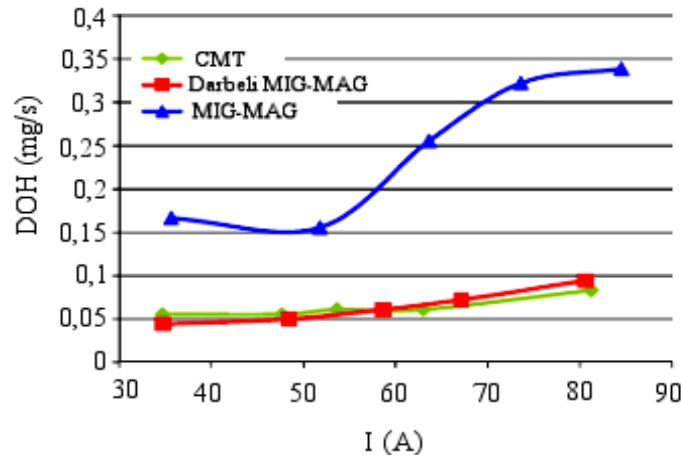
Şekil 4. Ar+CO₂ ve Ar+CO₂+2O₂ gazları için koruyucu gazdaki CO₂ yüzdesine bağlı duman oluşum hızı grafiği [11]



Şekil 5. CMT kaynağında Ar+%8CO₂'e %0,03 NO gazının katılmasının, kaynak akım şiddetine bağlı olarak DOH üzerine etkisi [2]



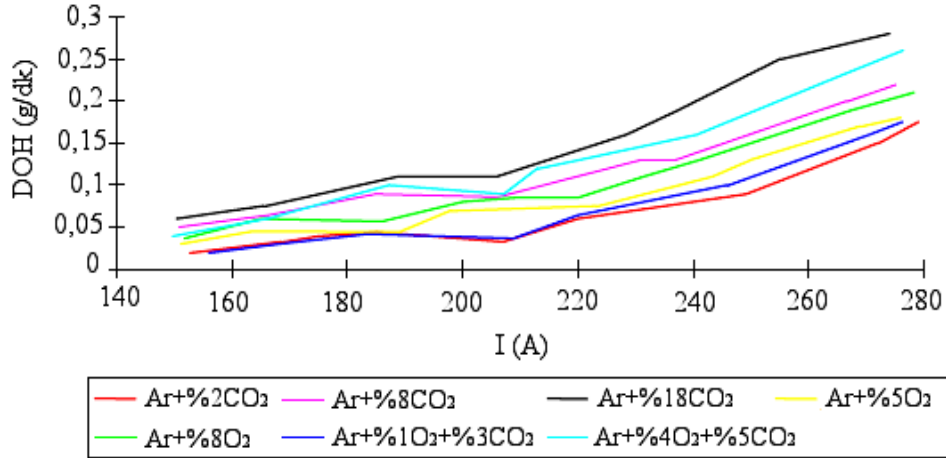
Şekil 6. Koruyucu gaz olarak $\text{Ar} + 8\% \text{CO}_2 + 0,03\% \text{NO}$ ve ilave tel olarak 1,2 mm çaplı AUTROD 12.50 kullanımında CMT ve MIG-MAG kaynaklarında akım şiddetine bağlı duman oluşum hızlarının karşılaştırılması [2]



Şekil 7. Koruyucu gaz olarak $\text{Ar} + 8\% \text{CO}_2$ ve 0,8 mm çaplı AUTROD 12.50 kaynak teli kullanımında, CMT, darbeli MIG-MAG ve geleneksel MIG-MAG yöntemleri için, akım şiddetine bağlı duman oluşum hızı grafiği [2]

Pires vd. [3], yaptıkları diğer bir çalışmada yumuşak çelik ana malzeme ($0,1\% \text{C}$, $0,13\% \text{Si}$, $0,35\% \text{Mn}$), yumuşak çelik tel elektrot (AWS ER70S-6) ve yedi farklı koruyucu gaz kullanarak kaynak işlemleri gerçekleştirmişler ve koruyucu gazların metal transfer modları ve duman oluşum hızları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Şekil 8’de, araştırmacıların elde ettiği, farklı koruyucu gaz karışımları için akım şiddetine karşı duman oluşum hızı grafiği görülmektedir.

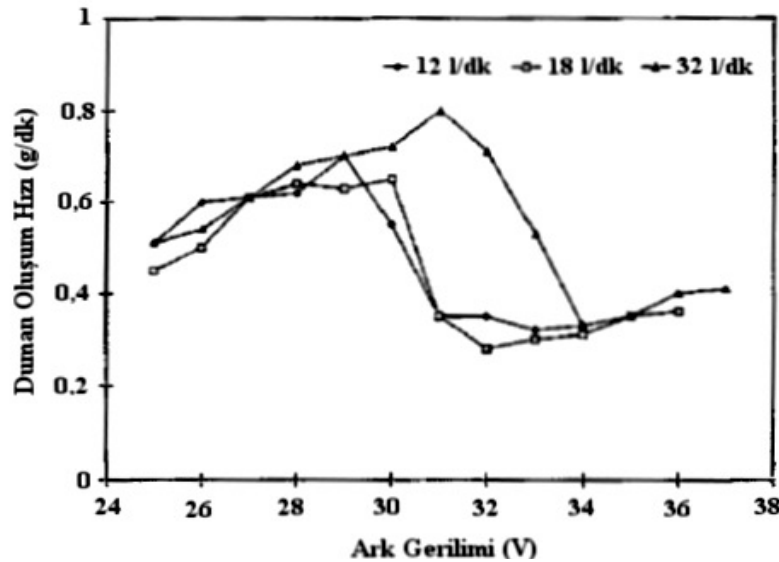
Araştırmacıların elde ettiği sonuçlara göre, karışımdaki CO_2 ve O_2 miktarı, ark sıcaklığı ve ark dengesizliği, karışımın aktif bileşeni ve ısı iletkenliği ile damlacıkların hacmi arttıkça, duman oluşum hızı artmaktadır. Aynı oksidasyon potansiyeline sahip karışımlarda, CO_2 ’li olanların O_2 ’li olanlara göre daha fazla duman meydana getirdiğini de gözlemlemişlerdir [3].



Şekil 8. Farklı koruyucu gaz karışımları için akım şiddetine bağlı duman oluşum hızı grafiği [3]

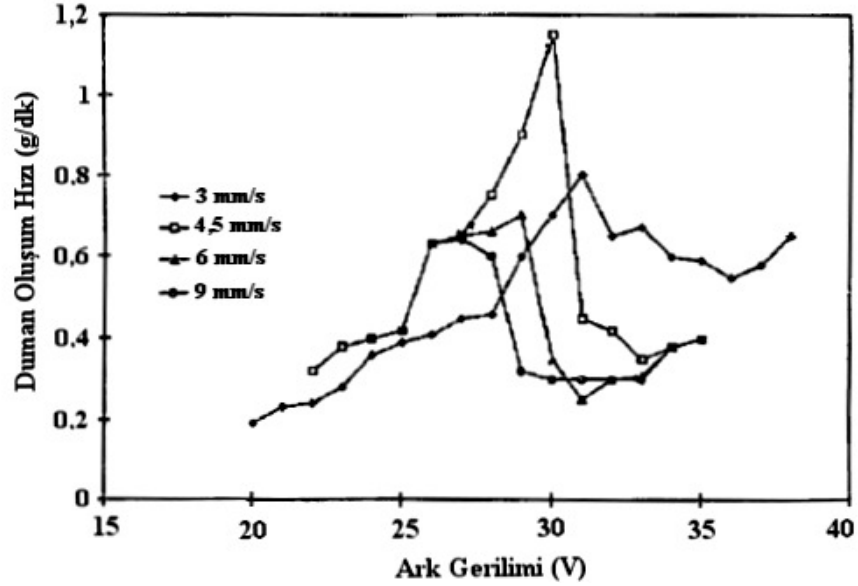
Ioffe et al. [12], 316 L paslanmaz çelik malzeme üzerine %60Ar+%38He+%2CO₂ koruyucu gaz kullanarak 1,2 mm çaplı Bostrand 309L tel elektrot ile kaynak işlemleri gerçekleştirmişler ve küresel metal transferinden spreylere geçişte duman oluşumunu incelemişlerdir. Araştırmacılar gerçekleştirdikleri deneylerde, çeşitli koruyucu gaz debileri, kaynak hızları ve serbest tel boyları için kaynak gerilimine bağlı olarak duman oluşum hızı grafiklerini elde etmişlerdir.

Araştırmacıların çizdirmiş olduğu şekil 9'daki grafikten görüldüğü üzere koruyucu gaz debisinin ideal olan değerden düşük veya yüksek olması durumunda arkın karakteristiği değiştiği ve stabilitesi bozulduğu için duman oluşumunda artış görülmektedir; bu etki özellikle çok yüksek gaz debisi için geçerli olmaktadır. Ark gerilimi ise belli bir değerin üzerine çıktığında, metal transferi, küreselden spreylere geçiş gösterdiği için her üç koruyucu gaz debisi için de duman oluşumunda azalma görülmektedir.

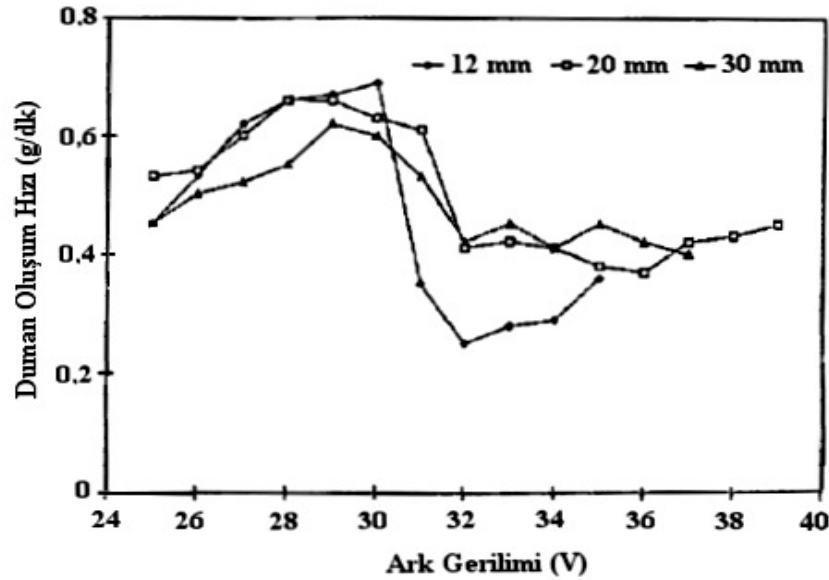


Şekil 9. Farklı koruyucu gaz debileri için ark gerilimine bağlı duman oluşum hızı grafiği [12]

Ioffe et al.'nin [12] elde ettiği şekil 10'daki grafik incelendiğinde, ark gerilimi belli bir değerin üzerine çıktığında duman oluşumunun azaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin yine, metal transfer modunun değişerek spreylere dönüşmesi olduğu düşünülmektedir. Ark gerilimi değeri uygun seviyelerde ve ark stabil olduğunda, kaynak hızı ne kadar düşükse yani ısı girdisi ne kadar yüksekse ve ne kadar çok kaynak metali yığılırsa duman oluşumu da o kadar artmaktadır.



Şekil 10. Farklı kaynak hızları için ark gerilimine bağlı duman oluşum hızı grafiği [12]



Şekil 11. Farklı serbest tel boyları için ark gerilimine bağlı duman oluşum hızı grafiği [12]

Bilindiği üzere, serbest tel uzunluğunun artması elektrik direncinde artışa sebep vermektedir. Bu artış ise direnç ısıtmasının artmasına ve bu da elektrot sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Artan elektrik direnci, akım memesi ile iş parçası arasında daha büyük gerilim düşümüne yol açmaktadır ve bu da kaynak makinası tarafından algılanmakta ve sonuç olarak akım azaltılmaktadır [13]. Aynı araştırmacılar, ark gerilimi düşük seviyelerde iken serbest tel boyunun uzun tutulmasının, duman

oluşum miktarını azalttığını; ark gerilimi değeri 30V'un üzerine çıktığında ise bu etkinin tersine döndüğünü ve uzun serbest tel boyu ile daha fazla duman oluştuğunu gözlemlemişlerdir (şekil 11) [12]. Sprey transfer bölgesinde, uzun serbest tel boyu nedeniyle akım şiddetinin azaltılmasının arkın karakteristiğini bozduğu ve bunun da daha fazla sıçrama meydana getirerek duman oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir.

Bosworth ve Deam [14], 1,2 mm çaplı AWS ER70S4 kaynak teli ve Ar-%16CO₂-%1,6O₂ koruyucu gaz kullanarak plaka üstü dikiş kaynaklarını, darbeli akım kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar duman oluşum hızlarını hem deneysel olarak ölçmüşler hem de Deam vd.'nin geliştirdiği yarı-ampirik formüllerle hesaplamışlar ve bu sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Duman oluşum hızının hesaplandığı modelde üç adım bulunmaktadır. Bunlar: metal damlacığının aşırı ısısını hesaplamak, buharlaşma hızını hesaplamak ve duman oluşum hızını hesaplamak için yoğunlaşma için düzeltme yapmak. Bosworth ve Deam, Deam vd.'nin geliştirmiş olduğu formülleri kullanarak demir kaynak teli (iron wire) ve argon koruyucu gaz için hesaplamalar yapmışlardır.

Damlacık sıcaklığı aşırı ısısı, ΔT şu şekilde verilmektedir:

$$\Delta T = \frac{(Wd_{mm})^{\frac{1}{2}} \cdot D}{1 - (Wd_{mm})^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{E}{2}} \quad (3)$$

W, m/s cinsinden tel besleme hızını, ρ_l sıvı demirin yoğunluğunu, ΔH oda sıcaklığındaki demiri eritmek için gerekli entalpiyi, C_{pl} sıvı demirin özgül ısısını, k sıvı demirin ısı iletkenliğini ve d_{mm} ise mm cinsinden damlacık çapını göstermektedir.

burada saf demir (pure iron) için,

$$D = \frac{\rho_l \cdot \Delta H \cdot 10^{-3}}{208k} = 1256$$

ve sıvı demir (liquid iron) için,

$$E = \frac{\rho_l C_{pl} \cdot 10^{-3}}{208k} = 0,7884$$

Sıvı damlacığın aşırı ısınmış yüzeyinden oluşan metal buharına ait oluşum hızı, $\dot{M}_{VGR}$ (g/sa) şu şekilde verilmektedir:

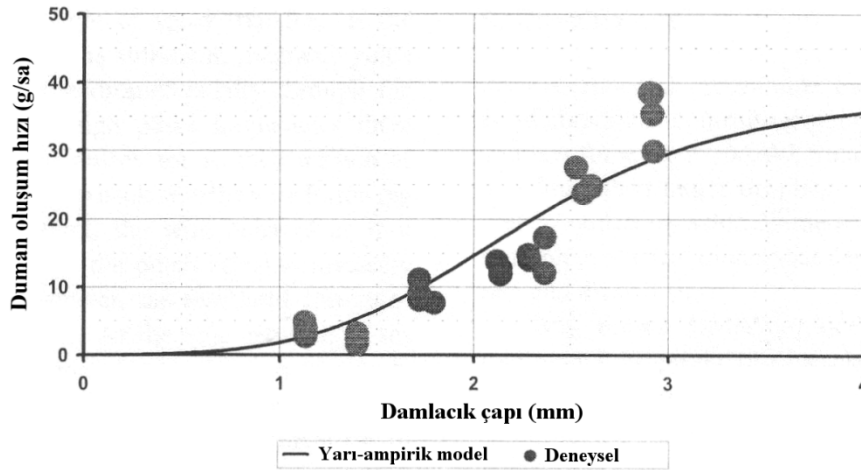
$$\dot{M}_{VGR} = C(d_{mm})^{\frac{3}{2}} \cdot (3809W)^{\frac{1}{2}} \cdot T^B \cdot e^{-\frac{\lambda}{T}} \quad (4)$$

burada $T = \Delta T + T_m$ ve $T_m = 1813K$ (saf demir için ergime sıcaklığı); $A = 42.924K$; $B = 0,817$, $C = 0,0232 \times 3,6 \times 10^6$

Kaynak banyosu ve ana malzeme üzerinde yoğunlaşan metal buharı için düzeltme $\dot{M}_{FFR}$ ile verilmektedir. Burada, yoğunlaşmayan tüm metal buharının, saf demirden, duman oluşturan demiroksit (FeO) partiküllerine dönüştüğü farzedilmiştir.

$$\dot{M}_{FFR} = 1,29 \frac{\dot{M}_{VGR}}{(1 + \frac{\dot{M}_{VGR}}{30})} \quad (\text{g/h}) \quad (5)$$

burada 1,29 sabiti FeO'nın Fe'ye olan moleküler ağırlık oranını göstermektedir. Denklem (3)'teki 30 g/sa sabiti, argon koruyucu gaz altında demir buharının yoğunlaşmasının düzeltilmesinin modellenmesi için uygundur. Şekil 12'de Bosworth ve Deam'in [14], damlacık çapına göre duman oluşum hızı grafiği hem deneysel hem de yarı-ampirik modele göre hesaplanmış olarak verilmektedir.



Şekil 12. Yarı-ampirik modelle hesaplanmış ve deneysel olarak ölçülmüş, damlacık çapına karşılık duman oluşum hızı grafikleri

Yarı-ampirik modelle ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar arasındaki uyum kabul edilebilir seviyededir. Burada önemli olan husus, damlacık çapı arttıkça duman oluşum hızının da önemli ölçüde arttığıdır.

4. Sonuçlar

MIG-MAG kaynak prosesinde ergimiş kaynak banyosu ve aşırı ısınmış ana malzemenin, tel elektrot, koruyucu gaz ve atmosferle etkileşimleri sonucu oksit partikülleri meydana gelmekte ve sonuç olarak duman oluşmaktadır. Bu partikül dumanının içinde, kaynak prosesi esnasında meydana gelen karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O₃) gibi sağlığa zararlı gazlar da mevcut bulunmaktadır.

Çeşitli araştırmacıların yaptığı çalışmalar, kaynak dumanı oluşumunun, kaynak yöntemi, koruyucu gaz kullanımı, kaynak akım şiddeti ve ark gerilimi gibi elektriksel parametreler ile kaynak hızı ve serbest tel elektrot boyu gibi proses parametrelerinden etkilendiğini ortaya koymuştur. Bunun yanında metal transferi sırasındaki damlacık çapının da duman oluşumunu önemli ölçüde etkilediğini araştırmalar ortaya koymuştur. Dolayısıyla bir kaynak işleminde bu ve benzer parametrelerin bileşke etki gösterebileceği unutulmamalıdır.

MIG-MAG kaynak prosesinde açığa çıkan dumanın kompozisyonu kadar miktarı da, hem kaynakçının sağlığı hem de çevreye etkileri açısından önem arz etmektedir. Özellikle yeterli havalandırmanın bulunmadığı işletmelerde, dar alanlarda kaynak yapılması ve gerekli iş sağlığı güvenlik önlemlerinin alınmaması durumunda bu olumsuz etkiler daha ciddi hal almaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde ve A.B.D.'de, yürürlüğe koyulan ve sürekli olarak daha sıkı hale getirilen yeni düzenlemeler, kaynak prosesinde açığa çıkan gaz-duman emisyonlarının azaltılması için itici güç teşkil etmektedir. Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde, benzer bazı düzenlemeleri çıkartmak zorunda olacak olan ülkemizde de kaynak prosesinde insan sağlığına ve çevreye zararlı çıktılarının ilişkin araştırmalar yapılması ve hem bu prosesi kullanan işletmelerin hem de çalışanların bilinçlendirilmesi ve gerekli önlemleri almalarının sağlanması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Oğuz, B., **Ark kaynağı**, Oerlikon Yayını, İstanbul, (1986).
- [2] Pires, I., Quintino, L., Amaral, V. ve Rosado, T., Reduction of fume and gas emissions using innovative gas metal arc welding variants, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 50: 557-567, (2010).
- [3] Pires, I., Quintino, L. ve Miranda, R.M., Analysis of the influence of shielding gas mixtures on the gas metal arc welding metal transfer modes and fume formation rate, **Materials&Design**, 28: 1623-1631, (2007).
- [4] Norrish, J., Fume generation and control in GMA welding, **6th International Trends in Welding Research Conference Proceedings**, 349-356, Pine Mountain, GA, U.S.A., (2002).
- [5] Carpenter, K.R., Monaghan, B.J. ve Norrish, J., Influence of shielding gas on fume size morphology and particle composition for gas metal arc welding, **ISIJ International**, vol.48, no.11, 1570-1576, (2008).
- [6] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), AP42 Volume I, Fifth Edition, Chapter 12.19 Electric Arc Welding Final Section, (1995) <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s19.pdf> 17.12.2012
- [7] Pires, I., Quintino, L., Miranda, R.M. ve Gomes, J.F.P., Fume emissions during gas metal arc welding, **Toxicological & Environmental Chemistry**, 88 (3): 385-394, (2006).
- [8] Zimmer, A.T. ve Biswas, P., Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes, **Journal of Aerosol Science**, 32, 993-1008, (2001).
- [9] ISO 15011-1:2009 (E) – Health and safety in welding and allied processes – Laboratory method for sampling fume and gases – Part 1: Determination of fume emission rate during arc welding and collection of fume for analysis, **European Standard**, Brusses, (2009).
- [10] AWS F1.2:1999 – Laboratory method for measuring fume generation rates and total fume emissions of welding and allied processes, **American National Standard**, Miami, (1999).
- [11] Carpenter, K.R., Monaghan, B.J. ve Norrish, J., Analysis of fume formation rate and fume particle composition for gas metal arc welding (GMAW) of plain carbon steel using different shielding gas compositions, **ISIJ International**, vol.49, no.3, 416-420, (2009).

- [12] Ioffe, I., MacLean, D., Perelman, N., Stares, I. ve Thornton, M., Fume formation rate at globular to spray mode transition during welding, **Journal of Physics D: Applied Physics**, 28, 2473-2477, (1995).
- [13] Eryürek, B.İ., **Gazaltı kaynağı**, Askaynak Yayını. İstanbul, (2004).
- [14] Bosworth, M.R. ve Deam, R.T., Influence of GMAW droplet size on fume formation rate, **Journal of Physics D: Applied Physics**, 33, 2605-2610, (2000).