

ELEKTRON IŞIN KAYNAK YÖNTEMİ

M. AYDIN*

Özet

Elektron ışın kaynak yöntemi ergitme ve katı hal kaynak yöntemleri ile elde edilemeyen mekanik ve mikroyapı özelliklerin elde edilmesi için kullanılan bir ileri kaynak teknolojisidir. Elektron ışın kaynak teknolojisinde düşük ısı girdisi ve elde edilen kaynak mukavemetleri dikkatleri bu kaynak yönteminin kullanımına yöneltmiştir. Yöntemin pahalı olması endüstrideki kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu yöntemin daha iyi tanıtılması, avantaj ve dezavantajlarının bilinmesi, mevcut kullanım alanlarının artmasına yardımcı olacaktır.

1. Giriş

Elektron ışın kaynağı diğer geleneksel kaynak yöntemleri ile elde edilemeyen teknik özellikleri elde etmek için kullanılan bir teknolojidir [1]. Bu kaynak yöntemi, oluşan düşük ısı girdisi ile, kalıntı gerilmeler ve distorsiyonların ve de mikro yapısal değişimlerin minimize edilmesi bakımından bazı durumlarda vazgeçilemez [2,3].

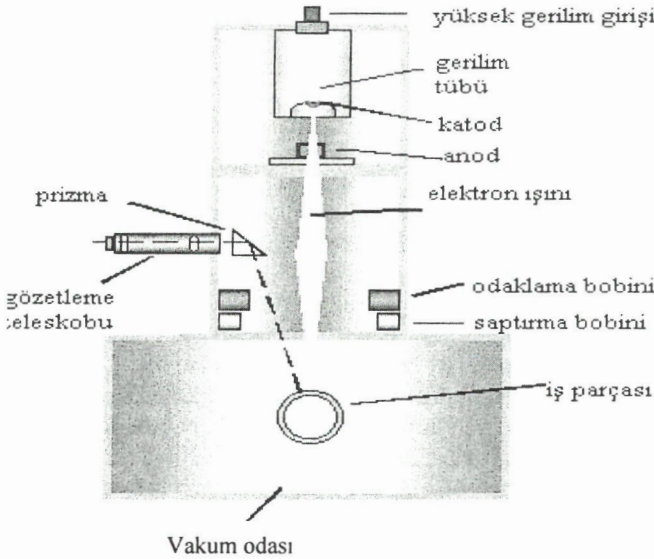
Elektron ışın kaynağı uygulamaları ilk olarak 1950'li yıllarda nükleer alanda kullanılmaya başlanmış, refrakter ve reaktif malzemeleri birleştirmek için uygulamalar yapılmıştır. Daha sonraları otomotiv endüstrisinde 1967 yılında ABD ve sonra da diğer Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv sektöründe ise ilk olarak volan üzerine dişlileri kaynaklamak için Michigan'da kullanılmıştır. Avrupa'da da üçlü hız dişli kutusunda frenleme bandının iki parçasını kaynatmak için Almanya'da uygulanmıştır. Transmisyon, hız dişlilerinin ve senkronize dişlilerinin kaynağını içeren uygulamalar bu yöntemle yapılmıştır [4].

Elektron ışın kaynak yöntemi gelişmekte ve bir çok endüstrilerdeki uygulamaları artmaktadır. Farklı metallerin elektron ışın kaynağı (EBW) kullanılarak birleştirilmesi son yıllarda ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. EBW'nin yüksek enerji yoğunluğu, kontrol edilebilir ışın boyutu ve kaynak bölgesi, benzer veya farklı metallerin kaynağında bu kaynak yöntemini önemli hale getirmiştir [5].

Elektron ışın kaynağı bir ergitme kaynak yöntemi olmasına rağmen, geleneksel kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında üstün özelliklere sahiptir [6]. Kaynak işlemi esnasında az sayıdaki kaynak pasosu büyük bir avantaja olup, toplam maliyet açısından ekonomiktir [7].

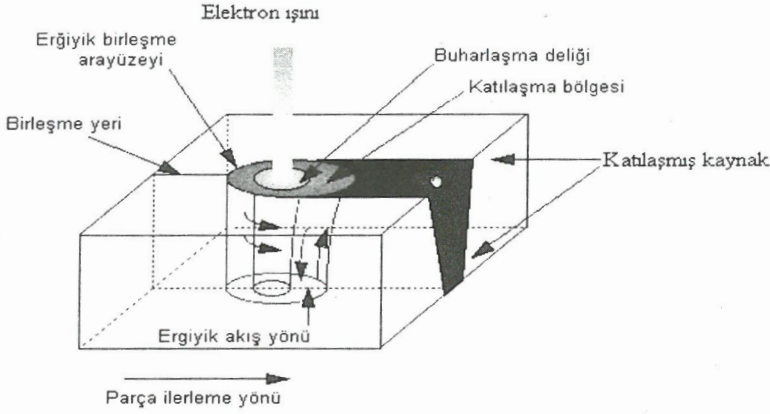
2. ELEKTRON IŞIN KAYNAK YÖNTEMİ

Elektron ışın kaynağında diğer ergitme kaynak yöntemlerinden farklı olarak derin bir nüfuziyet elde edilir [8]. Elektron ışın kaynağında elde edilen derin nüfuziyet, yüksek hıza çıkartılmış olan elektronların ana metale vuruşuyla elde edilir (Şekil 1). Elektronların çarptığı noktalarda önemli sıcaklık artışı, ana metalde ergimeye ve buharlaşmaya neden olur. Oluşan metal buharı içerisinde elektron ışınları katı metalde olduğundan çok daha kolayca hareket ederler [9]. Bu da ana metalde daha derinlere nüfuziyeti sağlar (Şekil 2) [10].



Şekil 1. Elektron ışın kaynak yönteminin şematik olarak gösterilmesi.

Elektron ışın kaynak yöntemi ile diğer ergitmeli kaynak yöntemlerinin nüfuziyet karşılaştırması ve kaynak işlemi için parça kalınlığına bağlı olarak kaynak yöntemlerinin gerektirdiği kaynak pasosu karşılaştırması Çizelge 1 de verilmiştir [11].



Şekil 2. Elektron ışın kaynağının ergime bölgesi.

Çizelge 1. Parça Kalınlığına Bağlı Olarak Kaynak Yöntemlerinde Kaynak Pasosu Adetleri.

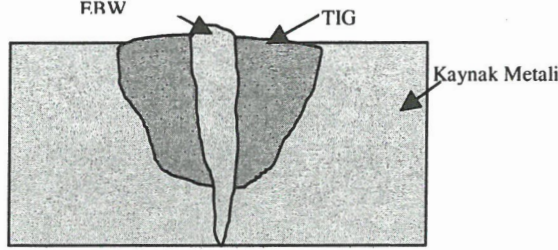
Kaynak Yöntemlerine Göre Kaynak Pasosu Adetleri					
Parça Kalınlıkları	EBW	TIG	Elektrik Ark	MIG	Tozaltı
200 mm	1	280	180	80	60
100 mm	1	140	80	32	25
35 mm	1	50	30	25	--

Elektron ışın kaynağı, yüksek performans istenen malzemelerin kaynağı için özellikle kullanılan bir kaynak yöntemi olup avantajları aşağıda verilmiştir.

1- Derin nüfuziyeti; bu kaynak yönteminde ergime bölgesi, kaynaklı bölgenin sadece %5- 10 kadar bir bölgesini kapsar. Şekil 3.'de geleneksel Tungsten Inerts Gas (TIG) kaynak yöntemi ile Elektron ışın kaynağı yöntemleri ile yapılan kaynağın ergime bölgesi ve nüfuziyeti karşılaştırılmış.

2- Kaynak yapılacak plakaların kalınlıkları sınırlı bile olsa yüksek güç yoğunluğu ve düşük güç yoğunluğu sağlanabilmekte, ark kaynağına göre yüksek dayanım ve düşük iç gerilmeler elde edilmektedir. Şekil 3.'de TIG kaynağı ile 30mm HY130 çeliğini 48 pasoda kaynaklanabilirken, EBW ile bir pasoda kaynak yapma imkanı vardır. Başka bir önemli avantajı da, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, düşük ısı girdisi sayesinde kaynak bölgesinde oluşan kaynak çatlağı riski azaltılmaktadır. Ayrıca kaynak sonrası gerilme giderme tavlama işlemine gerek kalmamaktadır. Çizelge 2'de çeşitli kaynak yöntemlerine göre ısı girişi ve enine

büzülme değerleri verilmiştir. Burada EBW ile yapılan kaynaklardaki ısı girdisi ve enine meydana gelen büzülmedeki farklılık açıkça görülmektedir [11].



Şekil 3. TIG kaynağı ile elektron ışın kaynağının kaynak bölgesi genişlik ve nüfuziyet karşılaştırması [11].

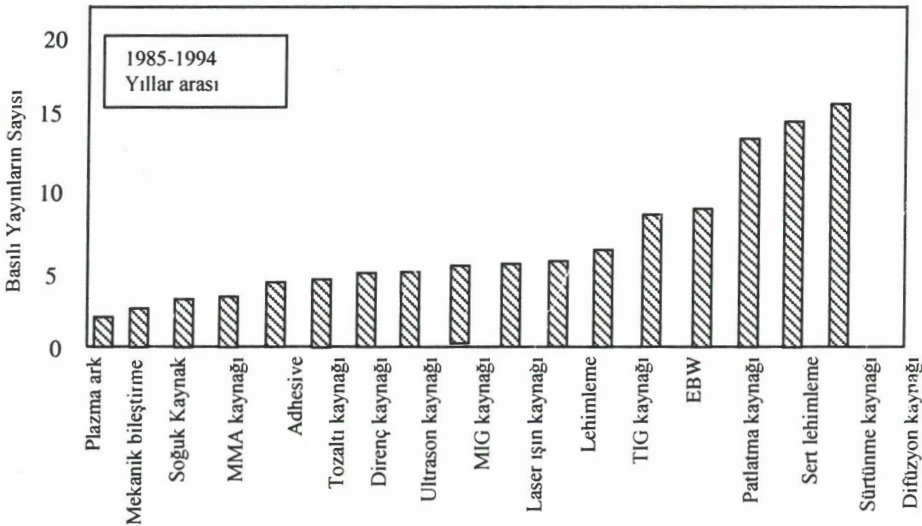
- 3- EBW ile yapılan kaynaktaki enine ve boyuna büzülme değerleri, ark kaynağı ile yapılan kaynağın %10'u kadardır.
- 4- Ark kaynağı ile karşılaştırıldığında, EBW kaynağı bütün malzemelerin kaynaklı birleştirmesine uygundur. Ayrıca benzer veya farklı malzemelerin kaynağına elverişlidir.

Çizelge 2. Çeşitli Kaynak Yöntemleri İle Yapılan Kaynaklardaki Isı Girdileri Ve Kaynaktaki Enine Büzülme Miktarları

Kaynak metodu	Parça kalınlığı (mm)	Isı Girişi (kJ/mm)	Enine Büzülme (mm)
EBW	12	0.2-0.5	0.06-0.07
Elektrik Ark Kaynağı	12	3.0-3.2	0.8-0.9
Daldırma Ark Kaynağı	12	5.6-6.0	0.75-0.8
TIG	12	1.2-1.3	0.38-0.42

Bu kaynak yönteminin görülen bu avantajları yeni kullanım alanlarının artmasına neden olmuştur. Alüminyum ve alaşımlarının da geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynaklanması zordur. Geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynatılmayan malzemelere 7075 alüminyum alaşımları örnek verilebilir. Bu alaşımın geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağında, kaynakta aşırı çekme ve kaynak çatlakları meydana gelmektedir. Özellikle 7075 alaşımının EBW ile kaynağında nüfuziyet ana alaşım elementi Cu olan 2XXX serisi alüminyum alaşımından çok daha iyidir. Bu da yüksek buharlaşma basıncına sahip olan çinko ve magnezyumdan dolayı sağlanmaktadır. Diğer yandan mekanik özelliklerine bir göz atıldığında, ana metalin uzama gerilmesi ile elektron ışın kaynaklı 7075 alaşımı karşılaştırıldığında, küçük uzama ile oldukça sünek bir kırılma meydana gelmiştir. Kaynağın kırılma tokluğunun, ana malzemeden daha yüksek olduğu belirtilmektedir [12].

Günümüz teknolojisi hızla gelişmekte ve yeni malzemeler üretilmektedir. Metal matrisli kompozitler de (MMC) bu yeni malzemelerdendir [13]. MMC yapı malzemeleri olarak popülaritesini gittikçe artırmaktadır ve kompozit malzemelerin birleştirilmelerinin önemi de gittikçe artmaktadır [14,15,16]. Kompozit malzemelerin kullanım alanları arttığı için optimum birleştirme tekniklerinin belirlenmesi gerekir [17]. Bu malzemelerin birleştirilmesi için de; tungsten inert gaz kaynağı, elektron ve lazer ışın kaynağı, direnç kaynağı, plazma kaynağı, difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı, lehimleme, adhesiv birleştirme yöntemleri vb uygulamalar vardır [17]. MMC'lerin ve farklı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinin 1985-1994 yılları arasındaki kullanımlarındaki artış Şekil 4 de gösterilmiştir. Farklı metalleri birleştirmek için sürtünme, basınç, direnç, difüzyon, lehimleme gibi kaynak yöntemleri kullanılmakta olup birleştirme esnasında ana metal katı halde olduğu için ergime problemleri elimine edilebilir [16]. Bu bakımdan bu kaynak yöntemleri ergitme kaynak yöntemlerinden daha avantajlıdır [18]. Son yıllardaki elektron ışın kaynağının kullanımındaki artışa sebep olarak; EBW ekipmanlarındaki hızlı artış, EBW ile gerçekleştirilebilen yüksek kalite, diğer geleneksel kaynak yöntemleri ile gerçekleştirilemeyen özel işlemler, toplam üründe bu yöntem ile elde edilen ekonomik avantajlardır [18]. Genellikle, EBW yüksek vakum altındaki (1×10^{-4} torr) basınç koşullarında uygulanmaktadır. Çünkü elektron ışınının elde edilmesi için vakum odası gereklidir. Fakat bunun yanında büyük parçaların kaynağında kaynak odası vakum basıncının, kaynak tabancası bölgesindeki kadar yüksek olmasına gerek yoktur. İş parçasının bulunduğu bölge bazı durumlarda vakumsuz ortam olabilir [19].



Şekil 4. 1985-1994 yılları arasında farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemlerinin yıllara göre kullanımlarındaki artışı görülmektedir.

2.1. Elektron Işın Kaynak Yönteminin Çalışma Prensipleri

Genel olarak elektron ışın kaynağı (EBW), magnetik lensler vasıtasıyla odaklanmış olan bir anot içerisinde elektronların pozitif voltaj eğilimi ile oluşan ışınlar kullanılarak yapılır veya manyetik lenslerle odaklanmış bir anot içerisinde pozitif voltaj kullanılarak elde edilen ışınlar kullanılır [17]. Kaynak işleminde kullanılan tabancalar, X-ışınları tüplerinde kullanılan tabancalara benzer olup, X-ışını tüpü elektronları tungsten veya molibden ile hedeflenip odaklanır. Kaynakta hedef parça aşırı sıcak olup su soğutmalıdır. Elektron ışın kaynağı makinalarının üç ana elemanı vardır. Bunlar; 1-Elektron ışın tabancası, 2-Güç sağlayıcı kontrolü, 3-İş parçası vakum odası ve el takımlarıdır [10]. Elektron ışın kaynağının ısı girişi ise dört şekilde kontrol edilebilir. Bunlar; 1- ışın akımı veya iş parçasına ikinci elektron vuruşunun yüzdesi, 2- dakikada vuruş yapan elektronların hızı, artırılmış voltaj, 3-ışın ile iş parçası arasındaki mesafe, 4- kaynak hızı veya elektronların ilerleme hızıdır. Normalde elektron ışını akımı 250-1000 miliamper oranlarında olup, ışının akımı 25 miliampere kadar düşürülebilir. Işınların ilerleme hızı ana metalin kalınlığına bağlı olarak ayarlanabilir. Malzemeye nüfuziyet, ışının akımı ile ilgilidir. Işın akımı arttıkça nüfuziyeti artar. Diğer bir değişken ilerleme hızı arttıkça da nüfuziyeti azalır. Güç yoğunluğu 4-400 kw/mm² ile ifade edilir ve bu işlem bir vakum içerisinde yapılır. Oluşan ısı sebebiyle elektronların metal yüzeyine hücum etmesiyle bir enerji oluşur ve bu enerji kaynak işlemi için kullanılır. Bu elektronlar metal yüzeyine ısının etkisiyle nüfuz ederler ve kaynak işlemi için enerji elde edilmiş olur. Elektron ışınlarının güç yoğunluğu yaklaşık 10⁶ Wcm⁻² dir ki bu TIG kaynağında 10² W cm⁻² dir [17]. Elde edilen bu güç yoğunluğu ile tabancadan bir metre uzaklıklara kadar çalışma imkanı sağlanır. Elektron ışın kaynağında çok düşük ısı girişi ile bu yüksek nüfuziyet, ısıdan etkilenen bölgede ark kaynağında olduğundan çok daha küçüktür. İlave paralel alın kaynaklarda distorsiyon hemen hemen minimumdur. Soğuma oranı bir çok malzeme için çok yüksektir ve yüksek karbonlu çelikler için bu bir dezavantaj olup, çatlama ile sonuçlanabilir. Normal çalışmalarda ilave dolgu malzemesi kullanılmamasına rağmen, kullanılması gerektiği durumlarda, ilave metal kullanımına müsaittir. Elektron ışınlarının ısı konsantrasyonu, gaz alevi ve elektrik arkı ile oluşan ısı yoğunluğunun 10000 misli daha yüksektir. Elektrik ark kaynağında yüzeye bırakılan ısı yarım daire şeklinde bir yüzeye dağılırken, elektron ışınının yüksek ısı yoğunluğu sebebiyle, parçanın derinliklerine nüfuz eden kanal şeklinde bir ısı dağılımı ortaya çıkar [20]. Elektron ışın kaynağında, ışının elektronları yaklaşık ses hızının %70'i bir hızla hareket ederler [21]. Elde edilen toplam enerjinin %65'i ısıya dönüşür. Bu oran Lazer ışın kaynağında da (LBW) yaklaşık aynıdır. Diğer geleneksel kaynak yöntemlerinde bu oran çok daha düşüktür ve de yüksek enerji yoğunluğu diğerlerinde olduğundan çok daha yüksektir [22]. Çizelge 3'de kaynak yöntemlerine göre ısı kaynaklarının güç yoğunlukları görülmektedir [17]. EBW de elde edilen yüksek ısı yoğunluğunda elektronlar ısılarını bırakmadan önce, parçanın derinliklerine nüfuz eden bir buhar teşekkül ettirirler. Bu yüzden kaynak profili derinliğinin ortalama genişliğine oranı, 25/1'e kadar çıkar. Elektron ışını ile mikron mertebesinde 100 mm kalınlıklara kadar levhaların tek paso ile kaynağı mümkün olmaktadır. Diğer kaynak yöntemleri ile bu kadar kalın levhaların tek paso ile kaynaklanması mümkün değildir [20].

Elektron ışın kaynağının iki temel çeşidi vardır. Birincisi düşük voltajlı sistemlerdir ki bunlar 30 kV (30.000 Volt) - 60 kV (60.000 Volt) değerleri arasındadır. İkincisi de yüksek voltajlı sistemlerdir. Bunlar da 100 kV (100.000 Volt) – 200 kV (200.000 Volt) oranları arasında bir voltajla çalışırlar. Işın ise 100 kW gücündedir. Düşük voltajlı cihazlar daha çok yüksek ve orta vakum işlemleri için uygundur. Vakumsuz elektron ışın kaynağında minimum 130–175 kV yüksek voltaj kullanılır [23].

Çizelge 3. Kaynak Yöntemlerine Göre Isı Kaynaklarının Güç Yoğunlukları

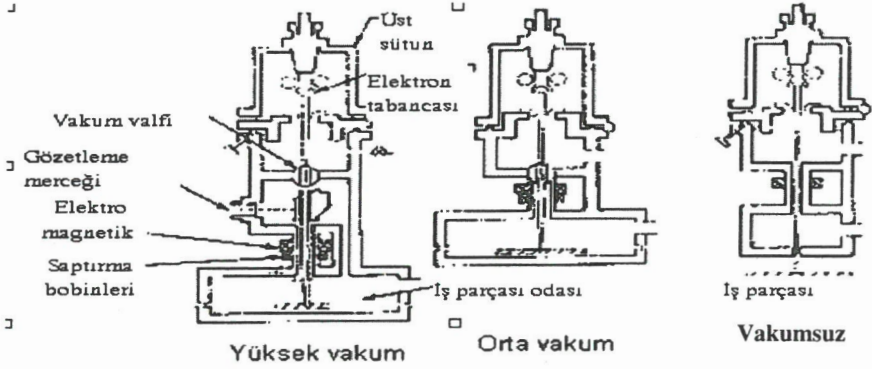
Kaynak işleminin ısı kaynağı	Güç yoğunluğu (W/mm ²)
Oksi-gaz kaynağı (O ₂ +C ₂ H ₂)	10
Hidrojen kaynağı (O ₂ +H ₂)	30
Argon ark kaynağı (200A)	150
Elektron ışın kaynağı (darbeli)	≥10 ⁵ -10 ⁶
(sürekli)	10 ⁴ -10 ⁷
Laser ışın kaynağı (darbeli)	10 ⁵ -10 ¹¹
(sürekli)	10 ³ -10 ⁷

Bir elektron ışın kaynağının kontrolü için temel elamanlar olarak; voltaj, ışın akım ayarı, kaynak hızı, odaklama akımı, tabanca kolu ve ayarlama kolu sayılabilir. İş parçasının yerine konulduktan sonra ayarı yapılan spot boyutu şunlarla belirlenebilir; elektron kaynak tabancasının karakteristikleri, merceğin odaklanma mesafesi ve ışının odağa yerleştirilmesi ile kontrol edilebilen odaklama akımı, tabanca ve iş parçası arasındaki mesafe, hızlandırma voltajı, ışın akımıdır. Bu sayılanların her biri ışının son spot boyutunda etkilidir. Voltajın hızlandırılması veya ışın akış hızının artırılması ile nüfuziyette artar. Işının gücü girilen işleme süresi ile metal ergiyik miktarını belirler. Kaynak hızının artışı, iş parçası ile ışın spotu arasındaki ilerleme hızı ilişkisi diğer işlem değişkenlerinin hiçbirinde değişmezken, nüfuziyetin derinliği ve kaynak genişliği uygun şekilde azalır. Şekil 5'de EBW kaynak yönteminin çeşitleri ve ana parçaları şematik olarak görülmektedir [24].

2.2. Elektron Işın Kaynağı Yönteminin Çeşitleri

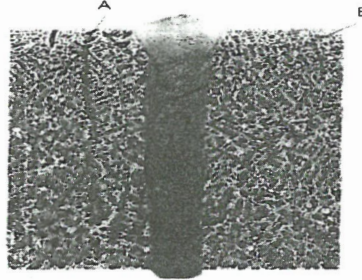
2.2.1. Yüksek vakumlu elektron ışın kaynağı (HV-EBW)

Elektron ışın kaynağı, elektron ışınları havayla kolaylıkla saptıkları için ilk olarak vakumda yapılmıştır. Yüksek vakumlu sistemde iş parçasından 662 mm'ye kadar elektron ışınları toplatılabilmektedir. Yüksek vakumla kaynatılabilecek malzeme kalınlığı 150mm'ye ulaşmaktadır. Bu yöntemde iş parçasının olduğu bölgede basınç 10⁻⁶–10⁻⁴ torr aralığındadır. Burada hem ışın hem de kaynakla birleştirilecek malzeme bu vakum içerisinde. Basınç odası, ideal bir birleşme için çevrenin oksijen ve hidrojeninden korunmakta kullanılır. Bu tür kaynaklar genellikle nükleer sanayi, uçak sanayi, uzay sanayi, füze yapımı, elektronik sanayi ve jet motoru parçalarının kaynağında kullanılır. Zirkonyum ve titanyum gibi oksijen ve hidrojen ile reaksiyona girebilen metallerin, vakumsuz veya orta vakum üzerindeki basınç ortamlarında kaynaklanması gerekir. Basınç değeri sadece 10⁻³ torr altında olduğunda çevrenin oksijen ve hidrojeni kaynağa olumsuz etki eder [19,22].



Şekil 5. Elektron ışın kaynağı çeşitleri ve ana parçalarının şematik görünümü.

Yüksek vakumlu elektron ışın kaynağı ile yapılan bir kaynakta, kaynak genişliğinin kaynak nüfuziyetine oranının 50/1'e ulaştığı cihaz üreticisi firmalar tarafından belirtilmektedir. HV-EBW kaynak yöntemi ile yapılmış bir kaynağın mikro yapısı Şekil 6'da görülmektedir.



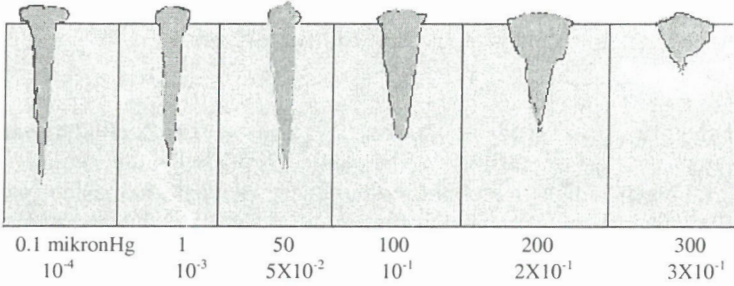
Şekil 6. HV-EBW kaynak yapılmış bir parçanın mikro yapısı. A-Düşük distorsiyon ve minimum mikro yapıdaki değişim-minimum ısı girişi. B-EBW ışınlarının yoğun ısı girişi ile dar ergime ve kontrol edilmiş nüfuziyet derinliği.

2.2.2. Orta- kısmi vakumlu elektron ışın kaynağı (MV-EBW)

Orta vakumda EBW kaynak yönteminde 75×10^{-3} torr kaynak çalışma basıncı uygulanır veya diğer bir deyişle 3×10^{-3} - 3×10^{-1} torr basınç aralığında toplam parçalı vakum basınç ortamı seçilir. Işının üretildiği tabanca ünitesi, yüksek vakumda olduğu gibi 10^{-5} - 10^{-4} torr basınç aralığında tutulur [25]. Buradaki basınç bir difüzyon pompası ile sağlanır. Orta vakumlu sistemde iş parçası-tabanca mesafesi 304 mm civarındadır. Bu yöntem ile kaynaklanacak parça kalınlığı 50 mm'dir. Orta vakumda elektron tabancası ile iş parçası odası küçük bir delik ile birbirinden ayrılmıştır [10]. Yüksek vakumlu EBW ile karşılaştırıldığında, orta vakumda kaynağın en önemli avantajı, kaynak için kısa süreli bir vakumlama yapılmasıdır. Bu da genel amaçlı bir ünite için genellikle 40 sn'yi geçmez. Özellikle özel tasarlanmış üniteler için en kısa pompa vakum süresi 5 sn'den daha fazladır. Buna göre MV-

EBW minimum hacimli bir ünite kullanarak kütle parça üretimlerine uygundur [19]. Üretilen parça boyutuna bağlı olarak elle kumanda edilen cihazlarda yaklaşık olarak saatte 60 parça, otomatik kontrollü makinalarla 600-1500 civarında parça birleştirilebilmektedir.

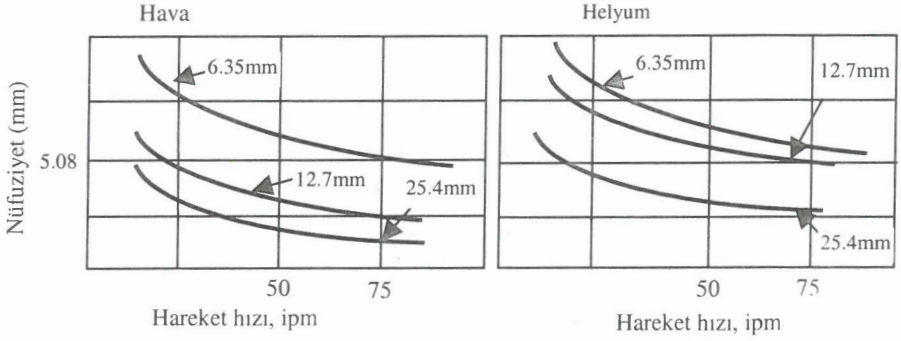
Orta vakumlu ile vakumsuz elektron ışın kaynağı karşılaştırıldığında, orta vakumlu kaynak yönteminde kaynak odası ve vakum pompası ihtiyacı nedeni ile parça boyutu sınırlıdır. Ayrıca ışın demeti sapması ve titreşimi vakumsuzda olmadığından, orta vakumluda bu bir dezavantajdır. Elektron ışın kaynağında kaynak işlemi esnasındaki kaynak odası basıncının kaynak nüfuziyetine etkisi Şekil 7 de verilmiştir [19].



Şekil 7. Elektron ışın kaynağında kaynak işlemi esnasındaki kaynak odası basıncının kaynak nüfuziyetine etkisi.

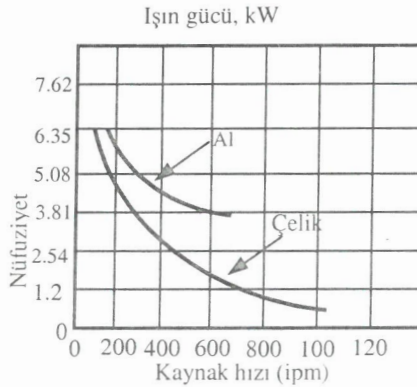
2.2.3. Vakumsuz elektron ışın kaynağı (NV-EBW)

Elektron ışın kaynağı hakkında yapılan son çalışmalarda, vakumsuz elektron ışın kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Yüksek ve orta vakumlu kaynaklarda vakum ile koruma sağlanırken, bu yöntemde kaynak korumasızdır. Vakumsuz elektron ışın kaynağı ünitesi yatay ve düşey olarak montaj edilip kullanılabilir. Ünitenin ışın gücü seviyesi 35 kW'dan daha büyüktür. Bu sistemde iş parçası ile elektron ışın tabancası mesafesi 37mm olmak zorundadır. Maksimum kaynaklanabilecek parça kalınlığı 50 mm kadardır. Işının %90'ı verimli olarak kullanılır. Vakumsuz elektron ışın kaynağı (NV-EBW) ile üretilen parça sayısı, orta vakumlu ve yüksek vakumlu kaynak yöntemleri ile üretilenden daha fazladır. Bu avantajı, kaynak tabancası ve kaynak odasının her bir parça için vakumlanması gereken süre ve işçilikten dolayıdır. Parçalar tek başına atmosfer şartlarında kaynak yapıldığında, pratik olarak vakumsuz işlemde çalışma uzaklığı, 9-22mm gibi bir oranla sınırlandırılır. Bu çalışma aralığı helyum gibi koruyucu gazlar ile korunduğunda 25-50mm civarındadır [26]. Bu yüzden bir çok ticari NV-EBW üniteleri helyum korumalı olarak kullanılırlar. Bu da elektron ışınlarının havadaki yayılımını azaltır. Şekil 8.'de farklı güç seviyeleri ve parça-tabanca uzaklıkları için, hava ve helyum ortamında kaynak hızının nüfuziyete etkisi verilmiştir.

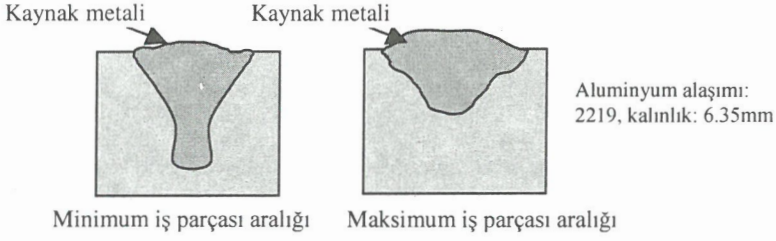


Şekil 8. Farklı güç seviyeleri ve parça uzaklıkları için, hava ve helyum ortamında kaynak hızının nüfuziyete etkisi

Vakumsuz elektron ışın kaynağı ile yapılan kaynağın, kaynak özellikleri vakumda yapılan kaynaktan daha düşüktür. Genellikle NV-EBW 'de dolgu metali kullanılmaz. Uygun dolgu metalinin kullanılması, kaynak kalitesine yardımcı olacaktır. Bununla birlikte birleşme uyumsuzluğu veya kaynak çatlamasına karşı ilave metal seçimi çok önemlidir. Vakumsuz elektron ışın kaynağında, kuru filtrelenmiş hava veya helyum, argon gibi inert gazlar, iş parçası ile elektron tabancası arasındaki bölümden geçirilir. NV-EBW'da nüfuziyet yaklaşık olarak 3/8 -1 in. arasındadır. Maksimum nüfuziyete ulaşmak için kaynak hızının azaltılması gerekir. Bu işlem de maliyeti artıracaktır [27]. Şekil 9 da kaynak hızının nüfuziyete etkisini göstermektedir. Burada kaynak hızının artmasına paralel olarak nüfuziyette de azalma görülmektedir. Ayrıca Şekil 10'da değişen iş parçası ile tabanca mesafesinin kaynağa etkisi görülmektedir. Tabanca iş parçasından uzaklaştırıldıkça kaynağın nüfuziyetinde azalma görülmektedir.



Şekil 9. Elektron ışın kaynak yönteminde kaynak hızının nüfuziyete etkisi.



Şekil 10. EBW'de değişen iş parçası ile tabanca mesafesinin kaynağa etkisi

Kaynakta oluşan büzülme bakımından karşılaştırma yapıldığında, 2219 alüminyum alaşımları yüksek vakumlu kaynakta 0.003 – 0.005 in, vakumsuz yüksek ısı girdili kaynakta 0.014 in. ve normal bir tungsten ark kaynağında 0,030 in. olarak tespit edilmiştir [19].

2.3. Elektron Işın Kaynak Yönteminin Avantajları

Elektron ışın kaynağının en önemli avantajlarından birisi, elektrik ark kaynağında gerekli olandan daha az bir toplam ısı girdisi ile kaynak yapılabilmesidir. Isıdan etkilenen bölgede (HAZ- Heat effected zone) çok düşük ısı girişi ve iş parçasında daha az bir termal etki fark edilmektedir [19,22]. Bu yöntemin avantajları olarak [4,21];

- 1- Kaynak esnasında minimum distorsiyon ve çekme, kaynak ile mekanik özelliklerin değişmemesi, kaynak bölgesindeki bileşenlerde ısıya duyarlılığın azaltılması,
- 2- Ark kaynak işlemi ile kaynaklanamayan farklı metallerin kaynaklanabilmesi,
- 3- Refrakter malzemelerin kaynağının yapılabilmesi,
- 4- Diğer kaynak yöntemlerine nazaran kaynak hızının daha yüksek oluşu, toplam üretimde zamandan ve maliyetten avantaj sağlaması, kaynak genişliğinin ve nüfuziyetinin ayarlanabilmesi,
- 5- Yüksek enerji yoğunluğu ve kontrol edilebilir ışın boyutu ve kaynak bölgesi sayesinde benzer veya farklı metallerin kaynağına en uygun kaynak yöntemi olması,
- 6- Vakumsuz elektron ışın kaynağının atmosferde yapılabilmesi,
- 7- Ayrıca tel besleme sistemine de adapte edilebiliyor olması, delik ve boşluk problemlerinin uygun şekilde kaynakla birleştirilmesine olanak vermesi,
- 8- Elektron ışın kaynağı ile kaynak işleminde diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynak bölgesinde bir mikroyapı dönüşümü meydana gelmemesi olarak sayılabilir,

2.4. Elektron Işın Kaynağının Dezavantajları

Elektron ışın kaynağı diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında, ilk yatırım maliyeti oldukça pahalıdır [10]. Fakat yüksek enerji yoğunluğu ile diğer yöntemlerin toplam ürün adedine bakıldığında o kadar da pahalı olmadığı görülecektir.

Parça ve takım hazırlığı maliyeti ark kaynağından daha fazladır. Çünkü birleştirme boşluğu ve pozisyonu elektron ışınının spot boyutu ile ilişkilidir, bu da süreyi ve maliyeti artıracaktır.

Kullanılan vakum odası, iş parçası boyutunu kısıtlar. Ulaşılabilecek maksimum nüfuziyet 25-35mm kalınlıklar için 60-165 kV'luk bir makine ile sınırlandırılmıştır,

Ergitme kaynak yöntemleri ile farklı metallerin kaynağındaki problemler, EBW yönteminde de ortaya çıkabilir, vakum odası, malzeme dizaynı veya tasarımını kısıtlar, az sayıdaki parçaların üretiminde süre daha da artacaktır,

İş parçası ve elektron ışın tabancası arasındaki maksimum çalışma aralığı NV-EBW'de yaklaşık olarak 9.5 mm ile sınırlandırılmıştır,

Kaynaktan bir problem ise, sade karbonlu çeliklerin kaynağında vakum ortamında ergiyikte meydana gelen, metalin orijinal bünyesindeki gazlar, gözenek oluşumuna neden olur. Eğer dezokside metaller kullanılmamışsa işlem uygun değildir [10].

2.5. Elektron Işın Kaynak Yönteminin Kullanım Alanları

Elektron ışın kaynağının potansiyel kullanım alanlarına genel olarak; uzay sanayi, uçak sanayi, otomotiv endüstrisi, elektronik ve bilgisayar endüstrisi, spor malzemeleri, gemi sanayi, roket ve füze yapımı vb alanları sayabiliriz [28]. Elektron ışın kaynağı katalitik konvertörlerde, dökülmüş alüminyum manifoldlarda, direksiyon kolunda, senkronize dişlilerde, kırıklarda, vb yerlerde kullanılmaktadır. Yine bu kaynak yöntemi ile düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler, takım çelikleri, ısı dirençli alaşımlar, refrakter metaller, alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları, titanyum ve alaşımları, zirkonyum ve alaşımları, farklı metallerin kaynağı, süper alaşımlar, reaktif malzemeler ve paslanmaz çelikler ve diğer bir çok malzemenin kaynağı mümkün olmaktadır [29]. Hemen hemen bütün metaller ve kompozit malzemeler elektron ışın kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir [10].

3. SONUÇLAR

Elektron ışın kaynak yöntemi hakkında yapılan bu derlemede, bu kaynak yönteminin bir ergitme kaynak yöntemi olmasına rağmen diğer yöntemlerden daha üstün mekanik ve mikroyapı özellikleri verdiği görülmüştür. Oluşan yüksek ısı girdisi ile otomatik kaynaklarda daha fazla sayıda parça üretilebildiği, dolayısıyla daha ekonomik olduğu görülmüştür. Geleneksel kaynak yöntemleri ile bazı malzemelerin kaynağı yapılamamaktadır. Elektron ışın kaynak yöntemi ise hemen hemen her tür malzemeye uygulanabilmektedir. Bu ise endüstrideki bir çok alanda uygulanabileceğini göstermektedir. Bu ileri kaynak yönteminin günümüzde ve gelecekte kullanım alanlarının giderek artacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Lim, S. C., Gupta, M., Ren, L. and Kwok, J. K. M., *The Tribological Properties of Al-Cu/SiCp Metal Matrix Composites Fabricated Using the Rheocasting Technique*, Journal of Materials Processing Technology, Journal of Materials Processing Technology, 89-90, 1999, 591-596.

- [2] Ma, Z. Y. and Tjong, S. C., *In Situ Ceramic Particle Reinforced Al Matrix Composites Fabricated by Reaction Pressing in the TiO₂ (Ti)-Al-B (B₂O₃) Systems*, Metallurgical and Materials Transactions A, 28A,1997,1931-1942.
- [3] Surappa, M. K. and Rohatgi, P. K., *Preparation and Properties of Al-Ceramic Particle Composites*, Journal of Materials Science, 16, 1981, 983-993.
- [4] Rizkalla, H. L. and Abdulwahed, A., *Some Mechanical Properties of Metal-Nonmetal Al-SiO₂ Particulate Composites*, Journal of Materials Processing Technology, 5, 1996, 398-403.
- [5] Aghajanian, M. K., Burke, J. T., White, D. R. and Nagelberg, A. S., *A New Infiltration Process for the Fabrication of Metal Matrix Composites*, Sample Quarterly, July 1989, 43-46.
- [6] Sukumaran, K., Pillai, S. G. K., Pillai, R. M., Kelukutty, V. S., Pai, B. C., Satyanarayana K. G. and Ravikumar, K. K., *The Effects of Mg Additions on the Structure and Properties of Al-7Si-10SiCp Composites*, Journal of Materials Science, 30,1995, 1469-1472.
- [7] Seo, Y. H. and Kang, C. G., *The Effect of Applied Pressure on Particle-dispersion Characteristics and Mechanical Properties in Melt Stirring Squeeze-cast SiCp/Al composites*, Journal of Materials Processing Technology, 55,1995, 370-379.
- [8] Kuruvilla, A. K., Prasad, K. S., Bhanuprasad, V. V. and Mahajan, Y. R., *Microstructure-property Correlation in Al/TiB₂ (XD) Composites*, Scripta Metallurgica et Materialia, 24, 1990. 873-878,
- [9] Gül, F., *Seramik Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri ve Özellikleri*, M. Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 15, 1999, 101-114.
- [10] Arsenault, R. J. and Wu, S. B., *A CoMParison of PM vs. Melted SiC/Al Composites*, Scripta Metallurgica, 22,1998, 767-772.
- [11] Türker, M., Özdemir, A. T., Ögel, B. ve Yavuz, A., *Al-SiC Tozlarının Mekanik Alaşımlama Değirmeninde Öğütme Zamanının Kompozit Toz Yapısına Etkisinin Araştırılması*, Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı,1999.425-432.

- [12] BY D. Powers and G. Schubert, *Electron beam welding: A useful tool for the Automotive Industry*, February 2000, p 35-38.
- [13] ASM Handbook, *Welding, brazing and soldering*, 7th edition, v 6, Mat. Park, Ohio p 427, 1983,
- [14] M B D. Ellis, *Joining of aluminium based metal matrix composites*, International Materials Reviews 1996, vol 41, no 2, p 41.
- [15] S. Anık, *Kaynak tekniği el kitabı yöntemler ve donanımlar*, Gedik holding 1991, İstanbul, 47-54.
- [16] By E. Gaydusek, *Advances in non-vacuum electron beam technology*, Welding journal, 1980, 17.
- [17] BY D. E. Powers, *Nonvacuum elektron beam welding enhances automotive manufacturing*, Welding journal, November 1997, p 59.
- [18] G. Mladenov, K. Vutova and S. Wojcicki, *Experimental investigation of the weld depth and thermal efficiency during electron beam welding*, Vacuum, v: 51, No:2, 1998, 231.
- [19] Z. Sun, R. Karppi, *The application of electron beam welding for the joining of dissimilar metals: an overview*, Journal of materials processing technology, no 59, 1996, p 257.
- [20] S. Tosto and F. Nenci, *Electron beam welding and post-weld treatments of 2219-T6*, Journal of physics IV, vol 3, November 1993, p 1029.
- [21] P S. Wei, C Y. Chang, C T. Chen, *Surface ripple in electron beam welding solidification*, Journal of heat transfer, vol 118, november 1996, p 960.
- [22] By A. Munitz, C. Cotler, H. Shaham, and G. Kohn, *Electron beam welding of magnesium AZ91D plates*, Welding journal supplement, July 2000, p 202.
- [23] P. Petrov, C. Georgiev and G. Petrov, *Experimental investigation of pool formation in electron beam welding*, Vacuum 1998, V 51, p 339.

- [24] W A. Baeslack and F H. Froes, *Joining similar and dissimilar advanced engineered materials*, Journal of materials science, 1995, March, p 13.
- [25] M C. Chaturvedi, N L. Richards, Q. Xu, *Electron beam welding of a Ti-45Al-2Nb-2Mn+0.8 vol.%TiB₂ XD alloy*, Materials science and engineering A239-240,1997,p 605.
- [26] E.Koleva, G. Mladenov, K. Vutova, *Calculation of weld parameters and thermal efficiency in electron beam welding*, Vacuum 53, 1999, 67.
- [27] Welding Handbook, *Resistance and solid-state welding and joining processes*,v, 6,1980,128-136

ELECTRON BEAM WELDING

*M.AYDIN

Abstract. Electron beam welding is an advanced welding technique used to achieve technical features which can not be achieved by using solid state and fusion welding methods.This advanced welding method is used due to its lower heat entry and welding strength features. The use of method is limited due to the high cost. An extensive overview of this method including pros and cons, and higher features of current use of this method will increase the use of this method.

Keywords: Electron Beam Welding, Fusion Welding Method.

* Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Merkez Kampüsü/ KÜTAHYA
maydin43@hotmail.com

