

# Elektron Işını ile Kaynağın Diğer Rakip Kaynak Usulleriyle Mukayesesi

Lutz DORN \*)

Selâhaddin ANIK \*\*)

Bahadır GÜLBAHAR \*\*)

## 1 — Giriş.

Çeşitli malzeme işlemenin amacı; mekanik, termik veya elektriksel enerjinin verilmesiyle iş parçasında, belirli bir form veya şekil değişikliği elde etmektir. Talaşlı şekil vermede, kesme ağzının yüksek bir keskinliğe sahip olması, işleme sonucunu kolaylaştırır. Buna mukabil kör bir ağız çok yüksek bir kuvvete gerek gösterir ve yüzey kalitesinin şekil ve ölçü hassasiyetinin bozulmasına yol açar. Aynı husus, kaynak cihazı ve ısı menbaı için de geçerlidir. Kaynak sırasında daha fazla malzeme ısıtıldığı ve eritildiği için (bir birleştirmenin oluşumunda mutlaka gerekli sayılan), üfleç alevi veya kaynak arkı gibi, enerji menbaının şiddeti ne kadar az ise, gerekli olan enerji miktarı da o kadar fazladır.

Bu düşünceler, yüksek yoğunluklu enerji menbalarının kaynak için kullanılmasındaki araştırmaları teşvik etmiştir. Laser ışınlarıyla elde edilen sonuçlara, ince ve hassas kaynak işleri için özel bir uyum göstermelerine rağmen; kalın kesitlerde şimdilik herhangi bir işleme olanağı tanınmamaktadır. Buna mukabil elektron ışınları için 100 mm'den kalın kesitlerde geniş bir uygulama alanı açılmıştır.

## 2 — Kaynak için ısı menbaı olarak elektron ışını

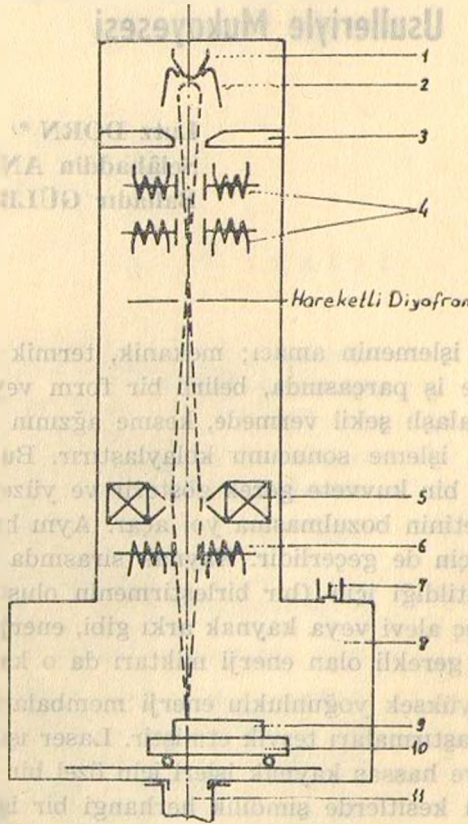
Kaynak tekniğinde elektron ışını, asetilen alevi, ark ve elektrik direnci ile ısıtma, sürtünme ve laser ışını gibi, hemen hemen yıllardan be-

\*) Lutz DORN : Technische Universitaet Berlin. Fügetechnik / Schweisstechnik, Profesör.

\*\*) Selâhaddin ANIK : İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Profesör.

\*\*) Bahadır GÜLBAHAR : İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Mühendis.

ri, kullanılan birçok ısı menbaının yanında yerini almıştır. Yukarıda belirtilen ısı menbalarıyla elektron ışınının bu çerçeve içerisinde bir karşılaştırılması yapılmamalıdır. Kullanma alanları usullerle çok yakından ilişkili olduğundan, arka ve laser ışınına göre en önemli özelliklerin gerçekleşmesi sınırlanmıştır.

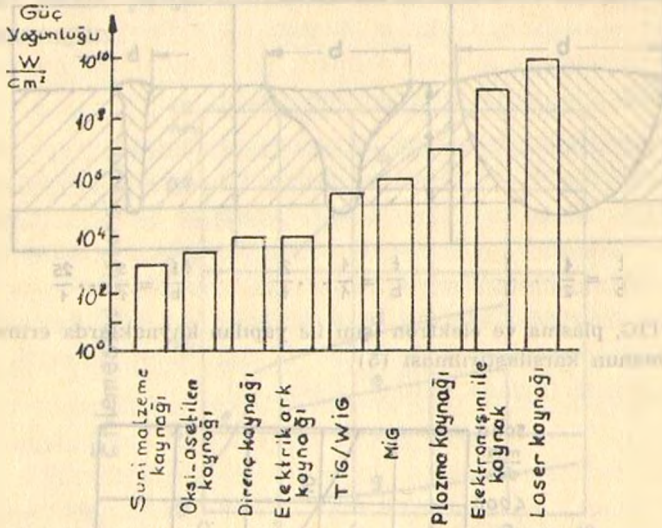


Şekil. 1. — Bir elektron ışını ile kaynak makinasının yapısı (şematik)

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1 : Katot            | 2 : Wehnelt silindiri  |
| 3 : Anot             | 4 : Ayar bobinleri     |
| 5 : Magnetik merceği | 6 : Saptırma bobinleri |
| 7 : Hava girişi      | 8 : Kaynak hücresi     |
| 9 : Iş parçası       | 10 : Hareketli masa    |
| 11 : Vakum flanşı.   |                        |

Işın uzun ve zayıf bir yapıdadır ve tabancanın çıkışından sonra kendini yeniler. En dar ışın kesitinin çapı 0,1 ilâ 0,5 mm. dir. Işın odağında yüksek bir güç yoğunluğu mevcut olup, takriben  $10^8$  W/cm<sup>2</sup> dir ve ta-

bancadan 1 m. uzaklığa kadar çalışma mesafesine sahiptir. Isı menbaı olarak elektron ışınının en önemli üstünlüğü, gaz alevi ve elektrik arkına karşılık, kaynak yerinde 10.000 misli daha yüksek bir ısı konsantrasyonunun elde edilmesidir (Şekil. 2).

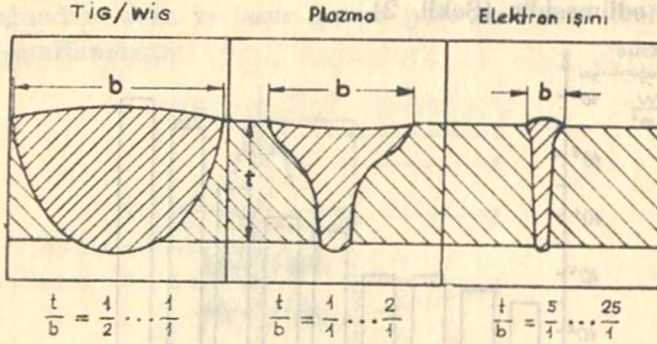


Şekil. 2. -- Kaynak ısı menbaının güç yoğunluğu (1).

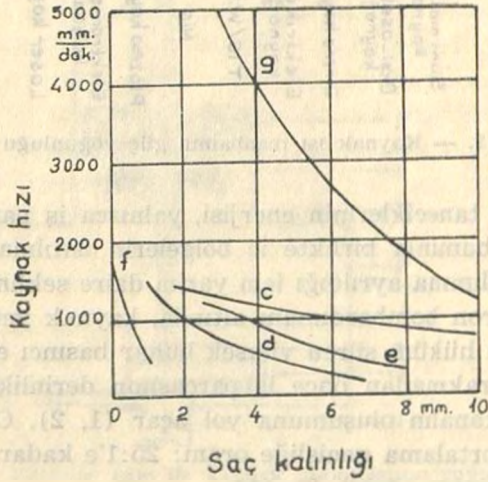
Arkın plazma taneciklerinin enerjisi, yalnızca iş parçasının yüzeyinde bırakıldığı ve bununla birlikte iç bölgelerin ısıtılmasında her yönde gelişen bir ısı dağılımına ayrıldığı için yarım daire şeklinde bir erime bölgesi oluşur. Elektron bombardımanı altında, kaynak yerinin kuvvetli bir şekilde ısınmasıyla hüküm süren yüksek buhar basıncı eriyikte, elektronların enerjisini bırakmadan önce iş parçasının derinliklerine kadar nüfuz edebildikleri kanalı oluşumuna yol açar (1, 2). Oluşan erime bölgesi derinliğinin, ortalama genişliğe oranı: 25:1'e kadar olan dar bir kamanın şekline sahiptir (Şekil. 3) (4).

100 - mertebesindeki folyelerden 100 mm. kalınlığın üzerindeki levhalara kadar kaynak yapılabilen sac kalınlıklarına başka hiçbir usul ile erişilemez. Odaklanmış elektron ışınının yüksek güç yoğunluğu, birkaç cm. mertebesindeki iş parçalarının, alışıla gelmiş tersine olarak birçok paso da değil, bir işlemden kaynak yapılabilme imkânını verir. Burada erişilebilen kaynak hızları, diğer birleştirme usullerinden çok daha yüksektir; elektron ışını ile kaynak, özellikle toplam kaynak süresinin azlığı bakımından kendini gösterir (Şekil. 4).

Düşük ısı girdisi nedeniyle iş parçasındaki distorsiyon, ark kaynağı-  
nın takriben onda biri mertebesindedir (Şekil. 5).



Şekil. 3. — TIG, plazma ve elektron ışını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun karşılaştırılması (5).



Şekil. 4. — Sac kalınlığına bağlı olarak çeliklerin kaynağında çeşitli birleştirme usullerindeki maksimum kaynak hızları (5).

a — Gaz kaynağı

b — Açık elektrik arkı

c — MIG

d — TIG/WIG

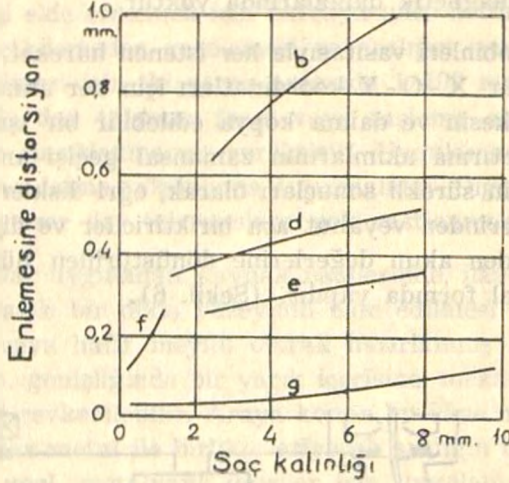
e — Plazma

f — Mikroplazma

g — Elektron ışını

Yapı elemanlarında form ve ölçü hassasiyetinin artması, hassas parçalarda kaynak tekniğinin kullanılması için yeni ufuklar açmıştır. Yeni

imalâttâ bu usul, karışık iş parçalarını basit elemanlara ayırıp elektron ışını ile birleştirerek, ağır talaşlı veya talaşsız imalâttan sakınmayı sağlamıştır. Diğer taraftan çatlak, gözenek ve bu gibi kaynak hataları içeren montaj parçalarının gecikmeden tamiri, imalâttaki fire yüzdesini ve hasarlardaki yedek parça temininde artan bekleme sürelerini kısaltma imkânını tanımıştır.



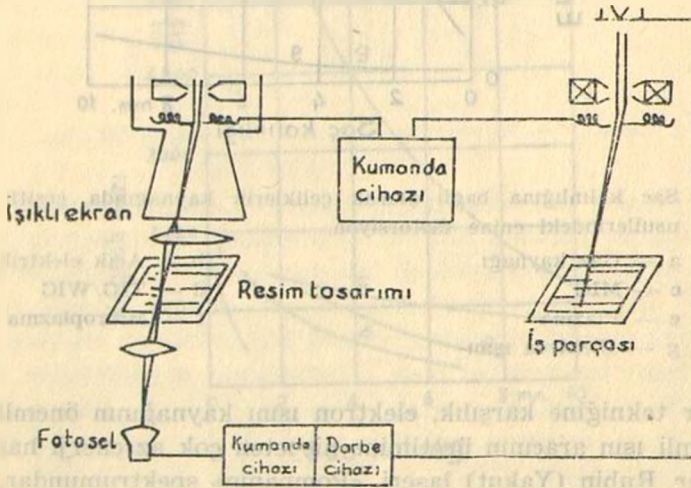
Şekil 5. — Sac kalınlığına bağlı olarak çeliklerin kaynağında, çeşitli birleştirme usullerindeki enine distorsiyon.

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| a — Gaz kaynağı    | b — Açık elektrik arki |
| c — MIG            | d — TIG/WIG            |
| e — Plazma         | f — Mikroplazma        |
| g — Elektron ışını |                        |

Laser tekniğine karşılık, elektron ışını kaynağının önemli bir avantajı, verimli ışın aracının üretimine nispeten çok az enerji harcanmasında görülür. Rubin (Yakut) laseri, «Pompanın» spektrumundan, genellikle bir ksenon lamba, yeşil ışının alanı içerisinde, yalnız belirli bir frekansı kendi kromatomunun tahriki için kullanmaya muktedirdir. Bunun için verimi bugüne kadar % 0,1 ilâ 2,0 değerlerinde sınırlı kalmıştır. 3 kW'lık bir elektron ışını üretmek için, yüksek gerilim jeneratörünün ve yardımcı gerilim cihazının güç harcaması takriben 5 kW'tır. Vakum üretimi için pompalara verilen enerji; orta büyüklükteki tesislerde, güç ihtiyacını takriben 10 kW'a yükseltir. Böylece toplam verim % 30 civarında ki bir değeri taşır.

Kaynak işlemi için gerekli olan ve diğer ısı menbalarına kıyasla birkaç bin Watt'a varan gücün üretimi, sarfiyat anında görünür bir şekilde yüksek olmasına rağmen, yük taşıyan iletken demet, elektrik veya manyetik alanlar vasıtasıyla her şekilde etkilenebildiğinden, elektron ışınının kumandası (yönetilmesi) mekanik hareketli bir ısı membana kıyasla nispeten basittir. O halde burada elektriksel değerlerin mekanik hareketlere dönüşümü gerekli değildir. Böyle basit bir kumanda olanağı Laserin elektromagnetik dalgalarında yoktur.

Saptırma bobinleri vasıtasıyla her istenen hareket, iş parçasının üzerine nakledilebilir. X - O - Y koordinatları için her akım değeri, iş parçasının üzerinde, kesin ve daima kopya edilebilir bir ışın pozisyonuna tekabül eder. Saptırma akımlarının zamansal geçişi analog formda yani akım değerlerinin sürekli sonuçları olarak, eğri diskler veya ışık noktası yoklayıcıları üzerinden veyahut ara biriktiriciler ve dijital analog değiştirgeçler üzerinden akım değerlerine dönüştürülen nümerik pozisyonlar vasıtasıyla dijital formda yapılır, (Şekil. 6).



Şekil. 6. — Işık noktası yoklayıcısının sematik yapısı: Resmin yoklayıcılar vasıtasıyla, ışınlarla oluşan aydınlık - karanlık sinyalleri fotosel büyütücüler üzerinden saptırma akımlarına çevrilir (6).

Dış oluşumunun çok taraflı etkinliği, ışının kaynak yönündeki bir salınımı veya buna dik bir hareketi, birbirine dik olarak yerleştirilmiş bir bobin çiftiyle sağlanır. Boylamasına salınımında (her alanın tekrarlanan hareketler vasıtasıyla), malzemede bir ön tavlama ve yavaş soğuma amaç-

lanır. Aynı anda düzgün ve dar bir dikiş yüzeyine erişilir. Enine salınımlarda ise geniş bir dikiş elde edilir. Örneğin, ağızları iyi hazırlanmamış parçaların kaynağı kolaylaşır.

Elektron ışınları ile yapılan kaynakta birleştirilecek parçalar I - Alın şeklinde hazırlanır ve ilâve metal kullanmadan kaynak yapılır. Derin nüfuziyetten ötürü erimiş banyonun akmaması için bir altlık kullanılmaz. Bu nedenle tüm kaynak dataları, akmış (fışkırmış) veya yetersiz erimiş bir kaynak dikişi elde etmemek için parçaya iyice iletilmelidir. Işının birleşme yerlerini etkilemeden geçmemesi ve aralığın erimiş hacimle tamamen doldurulabilmesi için iki parça arasında 1/100 mm'den fazla aralık kalmamalıdır. Bu dar tolerans freze veya taşlama suretiyle itinalı bir şekilde ağızların hazırlanmasını gerektirir. Uygulamada, hassas parçalar için bu husus daima gözönünde tutulmalıdır. Diğer birçok kaynaklı imalatta buna benzer dar toleranslara pek rastlanmaz.

Şimdiye kadar uygulanan kaynak usullerinde, ilâve bir metalin kullanılmasıyla kabarık bir dikiş yüzeyinin elde edilmesi gayet tabidir. Bu amaçla paralel veya hafif meyilli olarak hazırlanmış kenarların arasındaki, 1 ilâ 2 mm. genişliğinde bir yarık içerisine, mekanik olarak bir ilâve tel veya band sevkedilebilir. Araya konan bu ilâve metal, elektron ışınının etkisiyle esas metal ile birlikte eriyerek aralığın tam olarak dolmasını sağlar. Bu usul, metalurjik gayeler için uygulanır. Örneğin, birleştirmenin kalitesini yükseltmek için kaynak dikişini ince taneli yapacak elemanlar, ilâve metal vasıtasıyla katılır. Bu usulün diğer bir avantajı da, şimdiye kadar alışılmış usullerde olduğu gibi; çok pasolu kaynak yapılabilmesinde ve bununla birlikte birleştirilecek sac kalınlıkları için kesin bir üst sınıırın mevcut bulunmamasındadır.

Elektronlar, kaynak alevinin kızgın gaz tanecekleri ve ark plazmasının iyonları gibi bir madde karakteri arzetmediklerinden, radyasyon veya endüksiyonla tavlama da olduğu gibi, elektron ışınlarıyla ısı üretiminde de hiçbir maddesel ortam iş parçası ile temas halinde değildir. Bunun için kaynak yerinde kimyasal olarak saflığı bozacak hiçbir işlem meydana gelmez. Kaynakta ilâve metal kullanılmadığından, kaynak metalinin bileşimi, esas metalin bileşimiyle aynı olup, bir homogenlik sağlanmıştır.

Elektron ışınlarının üretimi  $10^{-4}$  Torr'dan daha küçük bir yüksek vakuma bağlıdır. Vakumdan istenenler, malzeme - kaynak tekniği açısından, çalışma kamarasında çok farklıdır. Belli başlı çelikler ve nikel, baktır, alüminyum gibi bazı demir olmayan metaller için  $10^{-1}$  ilâ  $10^{-3}$  Torr'

luk hassas vakum ve koruma etkisi bakımından da kullanılan gazların yüksek derecedeki saflığı yeterlidir. Diğer taraftan, kimyasal bakımdan aktif metallerin kaynağı için de yüksek vakumlu ( $10^{-6}$  Torr'a kadar) donanımlar arzu edilir.

Diğer kaynak usullerine nazaran kapalı bir hücrede (kamarada) çalışma zorunluğu özellikle dezavantaj olarak görülür. Gerçi vakum tekniğinin bugünkü durumunda, yeterli büyük hacimlerin boşaltılması prensip güçlüklerine sebep olmamasına rağmen, önemli bir ek donanım masrafına yol açmaktadır. Büyük donanımlar da, çalışma kamarası ile birlikte vakum tesisinin, fiyatı, toplam yatırımın yarısından fazladır. Bundan başka, vakum kamarasının hacmi, iş parçasının büyüklüğünü sınırlar. Sonuç olarak gerekli boşaltma (vakum için) süresi, sürekli çalışmayı ve bununla birlikte yüksek güçlü bir imalâtta elektron ışını ile kaynak işleminin kullanılmasını güçleştirir.

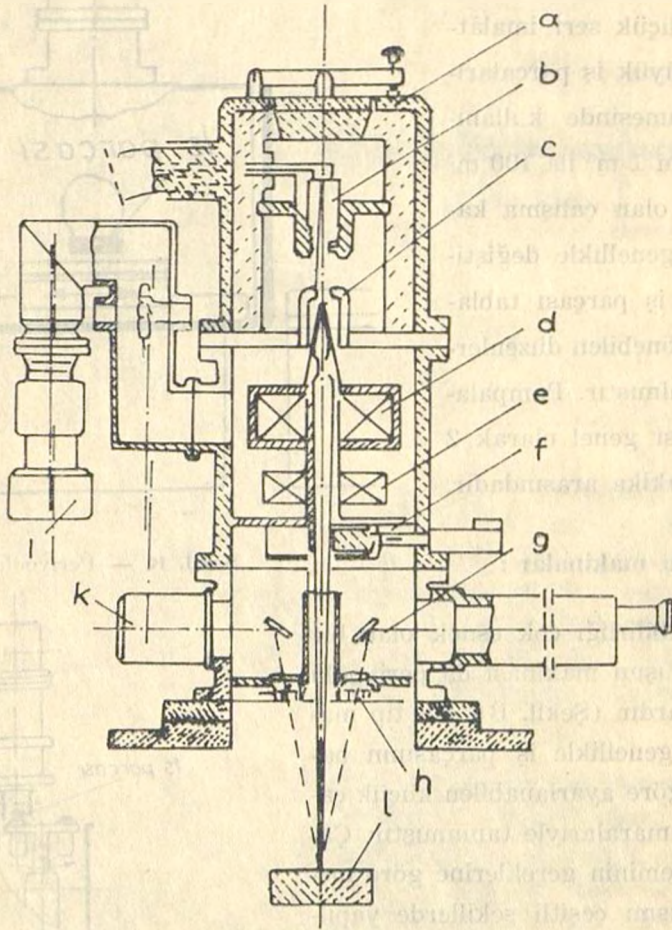
İş parçasının alınması için en basit çözüm, vakum tekniği bakımından ışın üretici, ile doğrudan doğruya bağlantılı olan bir kamaradır. Bu sistemin dezavantajı, ışın üreteç sisteminde iş parçasının ısınmasında oluşan buharın bir basınç artışı ve gerilim yoğunluğunda da bir azalmaya neden olmasıdır. Bu yüzden, güç dalgalanmalar ve kayıpları, biriken metal buharı sayesinde ani değişimler ve izolasyon arızalarının meydana çıkması tehlikesi artar. İyonize olan metal buharı atomlarının bombardımanına maruz kalan katodun ömrü azalır.

İşin tabancası ve çalışma kamarası birbirleri ile yalnız elektron ışınının geçebileceği gayet dar (çok ince) bir geçiş deliği ile bağlanır ve her iki hacim ayrı pompalarla tahliye edilirse yüksek vakumda üretilen elektron ışını,  $10^{-2}$  ilâ  $10^{-1}$  Torr'luk normal vakum bölgesindeki çalışma parçasına sevkedilebilir, Şekil 7. Burada yüksek vakumdaki Kamara basınçlarına çok kısa pompalama süresinde erişilir. Artık gaz molekülleriyle elektron ışınının değişken etkisi, ışını indirekt görülebilir yapan fluorensans görünümünü sağlar. Ayrıca elektronların, güç yoğunluğunun ve bununla birlikte nüfuziyetin az miktarda azalmasına neden olan önemli bir dağılımı ortaya çıkar (7). Yüksek buhar basınçlı ve çok kirli malzemelerin kaynağında, vakum tekniği bakımından ayrılma çok önemlidir. Elektron ışını ile kaynağın, alışılmış makina inşası malzemelerinde kullanılması, «yarı vakumda» ki kaynağın önem kazanmasına neden olmuştur.

Çalışma kamarasının büyüklüğü iş parçasının boyutuna göredir ve örneğin dişli çark kaynak makinaları için takriben 1 litreden, uçak ve roket inşası için de  $50 \text{ m}^3$ 'e kadar hacimler söz konusudur. Seri imalât-



ta küçük iş parçaları için kamara yarı vakum makinaları ile bir dakika veya daha kısa sürede boşaltılırken, yüksek vakum tesislerinde pompalama süreleri 5 ilâ 30 dakika arasındadır. Elektron enerjisinin  $\frac{1}{2}$  den az bir kısmı röntgen ışınlarına dönüştüğünden, iş parçasının alınıp verilmesinde çalışan personelin röntgen ışınlarından korunması için, vakum kamarasının kurşunla kaplanması gerekir.



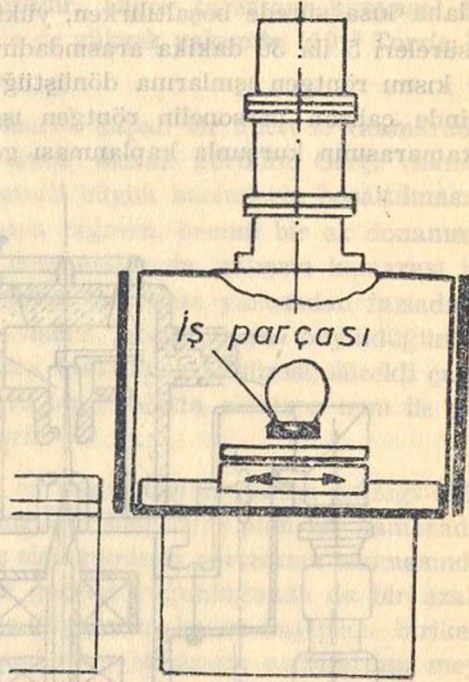
Şekil. 7. — Ayrı tahliyelı elektron ısını tabantası.

- |                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| a — Kapak               | b — Katot taşıyıcı             |
| c — Anot diyaframı      | d — Mağnetik merceğ            |
| e — Saptırma sistemi    | f — Ventil                     |
| g — Büyütücü bakış yeri | h — Buhar koruyucusu           |
| ı — İş parçası          | k — Işıklıandırma (Aydınlatma) |
| l — Difüzyon pompası    |                                |

Şekil. A. — Kamaralı makina.

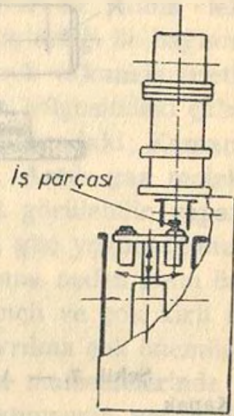
**Kamaralı makinalar :**

Elektron ışını makinasının bu temel şekli (Şekil. A.), öncelikle genel amaçlar ve küçük seri imalâtlar ile büyük iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. Hacmi 1 m<sup>2</sup> ilâ 100 m<sup>2</sup> e kadar olan çalışma kamarası, genellikle değiştirilebilen iş parçası tabloları ve dönebilen düzenlerle donatılmıştır. Pompalama süresi genel olarak 2 ilâ 20 dakika arasındadır.

**Periyodlu makinalar :**

Kullanılabilirliği çok esnek olan bir elektron ışını makinası da periyodlu makinelerdir (Şekil. B). Bu tip makineler genellikle iş parçasının boyutuna göre ayarlanabilen küçük çalışma kamaralarıyla tanınmıştır. Çalışma işleminin gereklerine göre mekanik kısmı çeşitli şekillerde yapılmıştır. Periyodlu makineler yalnız seri imalâtta kullanılır.

Şekil. B. — Periyodlu makina.

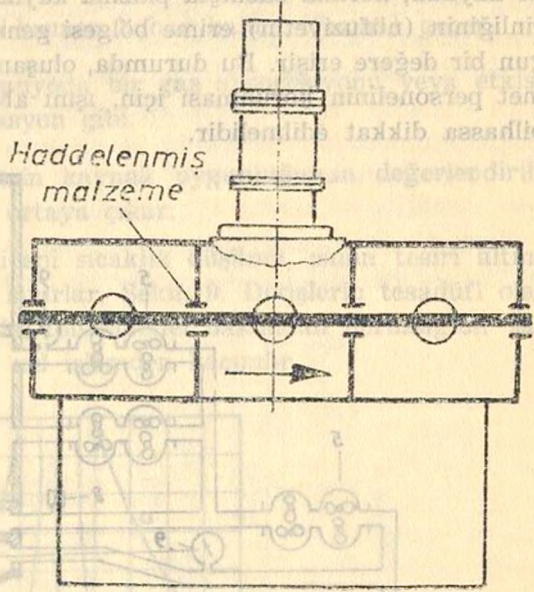


Sonsuz uzunluktaki malzemede, elektron ışını ile kaynak işlemi, sür-tünmesiz sürekli bir imalâtle kendini gösterir. Burada, kayan sızdırmaz yataklar vasıtasıyla kaynak işlemi sürekli bir bant üzerinde yapılır.

Sekil. C. — Sürekli makina.

**Sürekli makineler :**

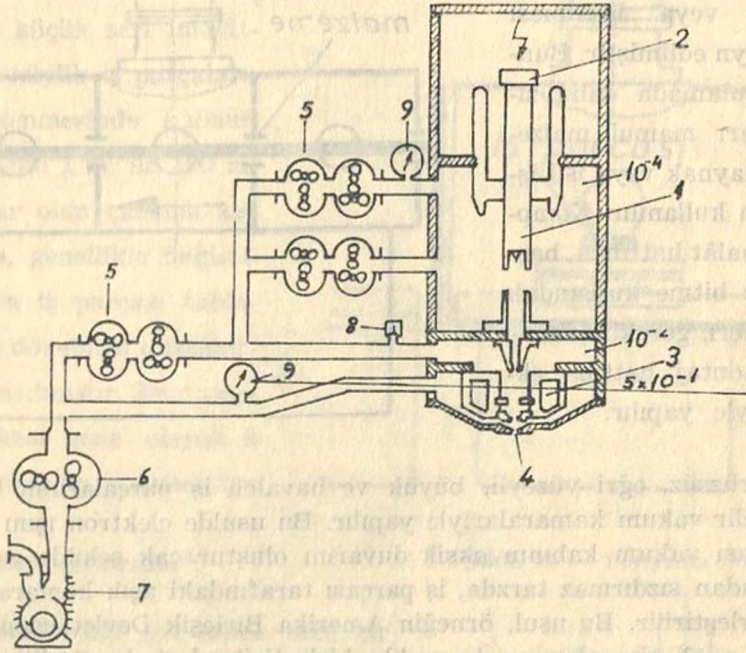
Sürekli makineler bant veya çubuk şeklindeki malzemenin sürekli olarak kaynak veya işlenmesi için dizayn edilmiştir. Bunlar uygulamada daha ziyade yarı mamul malzemenin kaynak veya ısıl işlemi için kullanılır. Komple bir imalat hattında, başlama ve bitme kumandalı iş süreçleri, gerekli takımların montaj hattına eklenmesiyle yapılır.



Pürüzsüz, eğri yüzeyli, büyük ve havaaleli iş parçalarının kaynağı, taşınabilir vakum kamaralarıyla yapılır. Bu usulde elektron ışını menbaı, iş parçası vakum kabının eksik duvarını oluşturacak şekilde ve vakum bakımından sızdırmaz tarzda, iş parçası tarafındaki açık kamaranın üzerine yerleştirilir. Bu usul, örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde büyük yüzeyli uçak parçalarının kaynakla birleştirilmelerinde, özellikle süper-sonik uçaklarda taşıyıcı yüzeylerin ve kaburgaların birleştirilmesinde kullanılır.

Elektron ışını ile kaynağın uygulamasını biraz etkileyen vakum şartlarının getirdiği kısıtlamalar, elektron ışınının, duruma göre, kendiliğinden boşalan basınç kademeleri üzerinden serbest atmosfer basıncına ve sonra da iş parçası üzerine sevk edilmesiyle ortadan kaldırılır. 150 kV'la ivmelendirilen elektron ışını atmosferde 15 mm.  $\geq$  bir mesafeye kadar derin nüfuziyet kaynağına yeterli bir güç yoğunluğunu içermektedir. Bu nedenle iş parçası, çıkış memesinin yakınına, mümkünse 4 ilâ 6 mm. ye kadar yaklaştırılmalıdır. Çıkış memesinin metal buharlarıyla kirlenmesini önlemek için, yüksek ilerleme hızı kullanılmalı ve aynı zamanda iş parçasını atmosferden gelen impuritelere koruyan bir koruyucu gaz mahfazası ile çalışılmalıdır. Kuvvetli elektron dağılımı ne-

deni ile güç yoğunluğu hissedilir bir şekilde azaldığından, elektron ışını ile kaynak, normal basınçta plazma kaynağı ile yarışmaktadır. Dikiş derinliğinin (nüfuziyetin) erime bölgesi genişliğine oranı 7:1 gibi daha uygun bir değere erişir. Bu durumda, oluşan röntgen ışınları nedeniyle hizmet personelinin korunması için, ışını absorbe eden ayırma perdelerine bilhassa dikkat edilmelidir.



Şekil. 8. — Elektron ışını jeneratörü (şematik) Normal basınç altında kaynak için (1).

- 1: Işın üretici
- 2: Yüksek gerilim bağlantısı
- 3: Elektromagnetik odaklama merceği
- 4: Çıkış memesi (basınçlı gaz penceresi)
- 5: İki kademeli pompa
- 6: Pompa (Root)
- 7: İki kademeli ön pompa
- 8: Magnetik taşıma ventili
- 9: Vakum ölçme yerleri

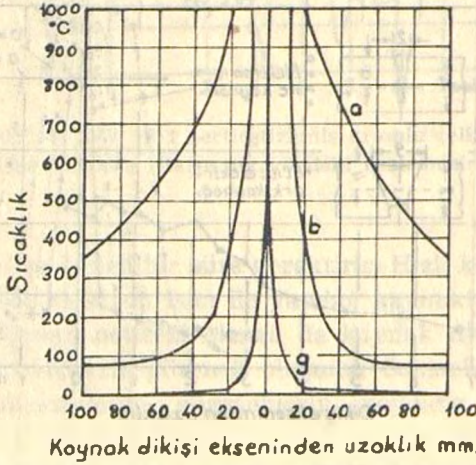
### 3 — Kaynak metalurjisi açısından özellikler

Elektron ışını ile kaynakta, metalurjik işlemleri aşağıdaki tipik özellikler etkiler :

- Ekstrem hızlı ısınma ve soğuma çevrimi (9);
- Metal erime bölgesinde kısmen buhar haline (fazına) geçer.
- Pratik olarak erimiş banyoda bir gaz absorpsiyonu veya etkisi yoktur. Örneğin, oksidasyon gibi.

Buradan, çeşitli malzemelerin kaynak uygunluğunun değerlendirilmesinde, birkaç görüş noktası ortaya çıkar.

Dikişin her iki tarafındaki ani sıcaklık düşümü, ısının tesiri altındaki bölgeyi gayet dar olarak sınırlar, Şekil. 9. Dikişlerin tesadüfi olarak düzenlendiği birçok hallerde, fonksiyonel bakımdan herhangi bir zarara meydan vermeden, ek bir ısı işleminden kaçınılır.



Şekil. 9. — Çeliğin tek pası ile çeşitli kaynak usullerinde, dikişe dik istikametteki sıcaklık dağılımları (5).

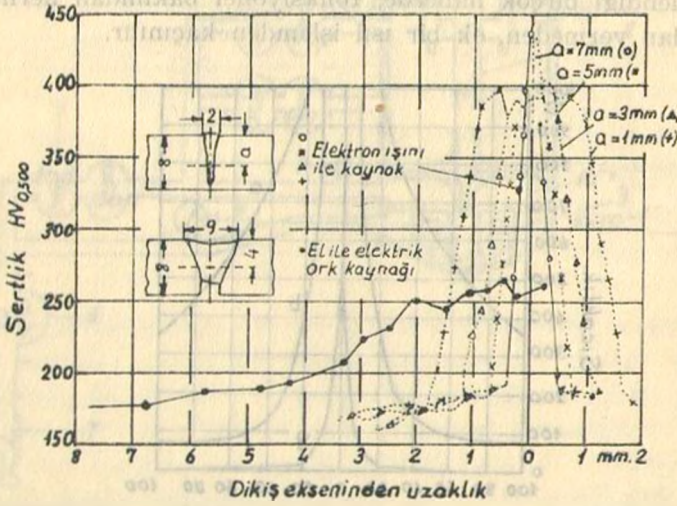
- a : Gaz kaynağı
- b : Açık ark kaynağı
- c : Elektron ışını ile kaynak

Kavvetli ısı konsantrasyonu dolayısıyla, örneğin Tungsten (Wolfram) gibi yüksek sıcaklıklarda eriyen metallerde, kolayca erime derecesinin üzerine çıkılır (3400°C) ve kaynak yapılır. İşlenecek malzeme kalınlığının burada önemli şekilde azalacağı da doğaldır.

Kaynağın bir işlemle yapılabilmesine bağlı olarak, çabuk soğuma ile, klasik kaynakta ortaya çıkan ve arzu edilmeyen metalurjik birçok olay,

olumlu yönde etkilenir. Çabuk soğuma sonucu tane büyümesi az miktardadır. Yüksek sıcaklıkta eriyen metallerde kaynak yerinin elektron bombardımanı ile çabuk ısınması ve bunu takiben de hızlı soğuması, özellikle avantaj olarak ortaya çıkar. Bu malzemeler, rekristalizasyon sıcaklığının üzerinde uzunca süre tutulursa, mukavemet ve şekil değiştirme özelliklerinin önemli miktarda kötüleşmesine yol açan iri tane oluşumuna eğilim gösterirler (10).

Alçak ve yüksek alaşımli, dönüşme sertleşmesiyle sertleşen  $\geq 0,2$  % C lu çeliklerde martenzitik sert bir yapı oluşur (Şekil. 10).



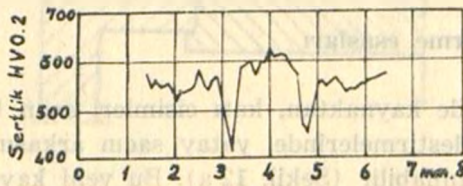
Şekil. 10. — 8 mm. kalınlığındaki St 52 çelğğinin, elektron ışını ve elektrik ark kaynağında elde edilen sertliğın dağılımı (11).

Çatlak oluşumuna yol açan sertlik değeri, klâsik kaynak usulünde olduğu gibi, 400 Vickers'lik kritik sınırın üzerindedir. Bu durum meydana gelen martenzit bölgesinin, darlığı nedeniyle, şekil değıştirme kabiliyeti üzerine, olumsuz bir etkisinin olmayacağını göstermiştir (2).

İslâh edilmiş çeliklerin kaynağında, yüksek soğuma hızı dolayısıyla erime ve bunun bitişindeki geçiş bölgesinde yine sert bir iç yapı oluşur. Sert dikış bölgesinin her iki yanında, dönüşme sıcaklığına tam olarak erişemiyen dar temperleme bölgeleri meydana gelir (Şekil. 11).

Işınlarmın toplandığı (odaklandığı) yerdeki yüksek sıcaklığın, vakum şartları altında yüksek bir buharlaşma derecesi vardır. Bunun için kolay buharlaşan elemanları havi alaşımlarda, alaşım bileşiminin değişeceğini gözönünde tutmak gerekir. Örneğin, pirincin kaynağında, dikiş bölgesindeki çinko hemen hemen tamamiyle buharlaşır.

Gaz içeren metallerin elektron ışını ile işlenmesi, kaide olarak güçlükler doğurur. Erimiş metaller yüksek bir gaz eritme kabiliyetine sahiptir. Katılma sırasında bu eritme kabiliyeti belirli miktarda azalır, ve gazlar büyük çapta tekrar ayrışır. Bu olay kolayca (hızlı olarak) mey-



Şekil. 11. — X20 Cr Mo WV 12 I sertleştirilmiş kromlu çelgin elektron ışını ile yapılan kaynağında, dikişe dik yöndeki (enlemesine) sertlik dağılımı (13).

dana gelmez, aksine belirli bir süre gerektirir. Hızlı katılan kaynak banyolarında, özellikle elektron ışını ile yapılan kaynakta, bu süre her zaman gerçekleşemez. Bunun neticesi olarak da kaynak dikişi gözeneklidir. Bu çok defa, klâsik usullerle gözenek oluşumu önlenemeyen (örneğin imalât çeliklerinde) malzemelerde, gözeneklerin meydana gelmesine yol açar (14).

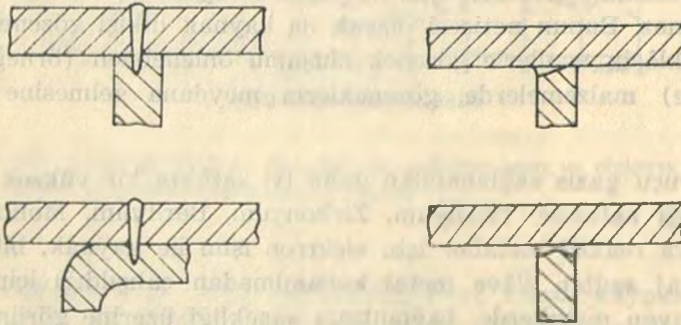
Koruyucu gazla sağlanandan daha iyi saflıkta bir yüksek vakumun elde edildiği hallerde. Titanyum, Zirkonyum, Berilyum, Molibden, Tantal v.b. gibi reaktif metaller için elektron ışını ile kaynak, bilhassa büyük avantaj sağlar. İlâve metal kullanılmadan çalışıldığı için, özellikle demir olmıyan metallerde, bağlantının sünekliği üzerine görünür zararlı etkisi olan impürítelerin kaynak banyosunda toplanma eğilimi azalır (15, 16).

Farklı metallerin birbirleriyle birleştirilmesinde bu usul, bilhassa büyük bir uygunluk gösterir. Işınlarmın odak noktalarının hassas bir şekilde lokalize edilebilme kabiliyeti, kalınlık farkları ekstrem parçalar ile ısıl özellikleri çok farklı malzemeleri birbirleriyle kusursuz bir tarzda kaynak yapmayı sağlar. Örneğin bakırın çelikle kaynağında, bakır ısıyı da-

ha çok iletmişti için, her iki parçanın aynı anda erimesini sağlamak üzere, ışınların odak noktası daha ziyade bakır tarafına kaydırılır. Faz diyagramına göre farklı malzemelerin birbirleriyle metaller arası gevrek bileşikleri oluşturduğu yerde (halde), doğrudan doğruya yapılan kaynaklarda, şekil değiştirebilen bağlantılar elde edilemez. Bu gibi durumlarda her iki malzemeye (parçaya) uygun gelen bir metalden, milimetrenin kesrinden daha az kalınlıktaki bir ara folyenin, araya yerleştirilmesi uygun bir çözüm yoludur. Çeliğin molibden ile kaynağında, ara varak nikel folidir. Böylece çeliğin molibden ile birleştirilmesi kombine bir kaynak usulüdür (17, 18).

#### 4 — Şekillendirme esasları

Elektron ışını ile kaynaktan, katı cisimleri aşan bir nüfuziyet elde edildiği için, T- birleştirmelerinde, yatay sacın arkasındaki dikey sacın kaynağında faydalanılabilir (Şekil. 12 a). Bu yeni kaynak yapma imkânı, bilhassa uçak inşasında kaplama saclarının ve petek konstrüksiyonlarda da takviyelerin birleştirilmesinde büyük kolaylıklar sağlar. T- bağlantısının klâsik iç köşe kaynağına daha çok benzeyen diğer bir kullanma imkânı da, birleşme yerine paralel olarak yönlendirilmiş elektron ışınlarının kullanılmasıyla ortaya çıkar. (Şekil. 12 b).

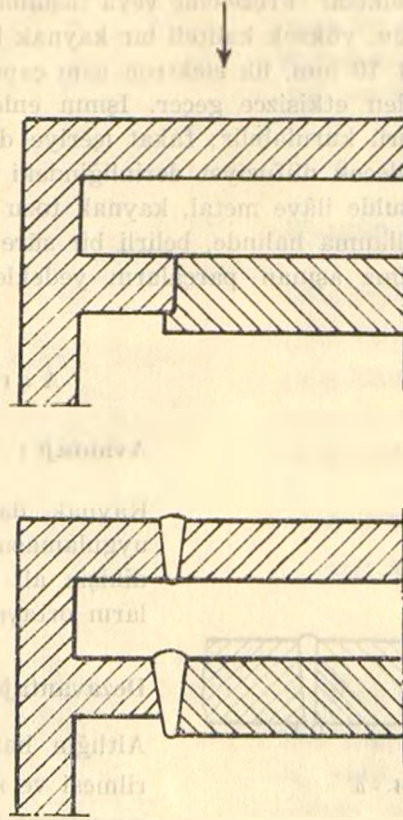


Şekil. 12. — T ve bindirme birleştirmelerin elektron ışını ile kaynağı.

Elektron ışınının (elektronların ısıtma için kullanılmıyan kısmı), dikeyin alt tarafından demet halinde yeniden dışarı çıkması özelliği, yeterli enerji sevki halinde, hacımsal olarak ayrılmış yerlerin kaynağının aynı anda yapılmasını mümkün kılar. Zaman ve maliyet ekonomisinin yanında, alışılmış usuller için ulaşılmaz zor yerlerin, örneğin E- profilleri-



nin karşılıklı yerleştirilmiş orta basamağının kaynağında, yeni birleştirme imkânları ortaya çıkar, (Şekil. 13) (19-.



Şekil. 13. — Hacim aralıklı kaynak dikişine alt örnek.

Üst şekil : kaynaktan önce

Alt şekil : kaynaktan sonra

## 5 — Ekonomiklik

Elektron ışını ile kaynak usulünün birçok malzeme tekniği ve konstrüktif avantajları, olağanüstü yüksek görünen ekonomik durumuna (maliyetine) rağmen, öncelikle kullanılmasını gerektirir. Seri üretim için uygun bir donanımın imalât maliyeti, klâsik kaynak donanımlarının ortalama bir katından daha yüksektir. Buna rağmen işletme maliyeti ile ilgili farklar o kadar fazla değildir. Elektron ışını ile kaynak donanımının, mekanizasyon ve otomatizasyonu ile işçilik ücreti önemli derecede

azalır. Elektron ışını ile kaynakta (örneğin V, U, X veya Jâle gibi) alın kaynak ağızlarının hazırlanmasındaki hassasiyet, klâsik kaynak usullerine nazaran daha komplikedir. Frezeleme veya taşlama ile itinalı bir kaynak ağızı hazırlığı bugün, yüksek kaliteli bir kaynak bağlantısı için şarttır. Öngörülen aralık 1/10 mm. lik elektron ışını çapından daha genişse, ışın birleştirme yerinden etkisizce geçer. Işının enlemesine salınımlı böyle bir aralıkta köprü kurulabilir; fakat içeriye doğru çöken bir kenarın yanında erişilebilecek nüfuziyet derinliğindeki kayıp da gözönünde tutulmalıdır. Bu usulde ilâve metal, kaynak tozu veya koruyucu gaz yoktur. Uygun bir kullanma halinde, belirli bir süre sonra katodun yenilenmesi dışında, yalnız aşınan parçaların yedekleriyle değiştirilmesi masrafı vardır.

### Açıklamalar

#### Avantajı :

Kaynak datalarının tespit ve uygulamasında masraf azlığı; dikişin alt tarafında fışkırmaların ortaya çıkmaması



Şekil. 14. - a

#### Dezavantajı :

Altlığın hazırlanması, yerleştirilmesi ve sökülmesi için yapılan yüksek işletme masrafı; altlığın sökülmemesi halinde dikişin altında çatlak ve korozyon eğiliminin ortaya çıkması

#### Çift taraflı

#### Alın dikişi



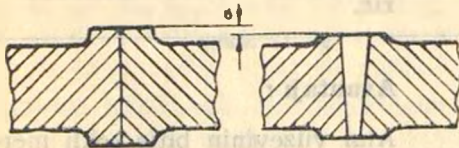
Şekil. 14. - b

#### Avantajı :

Işın menbaı gücünün yetersiz olması halinde uygulanır.

#### Dezavantajı :

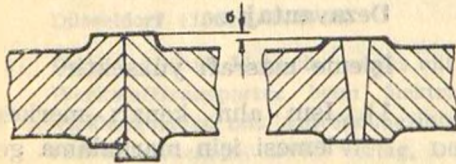
İş parçasının bozularak israfı



Şekil. 14. - c

Ölçü fazlalıklı ve merkezleme çıkıntılı

I — Alın dikişi



Şekil. 14. - d

ve ve birbiri üzerine gelen erime bölgesinde gözenek ve birleşme hatalarının oluşma tehlikesi; İki parça arasındaki aralık nedeniyle ikinci dikişin kaynağı zordur.

#### Avantajı :

Metalurjik çentikler ölçü fazlalığı ile kompanse edilir; Dış dikiş hatası sonradan işlenerek bertaraf edilir (a ölçüsü). İyi bir kontrol edilebilme kabiliyeti.

#### Dezavantajı :

Yüksek işleme masrafı.

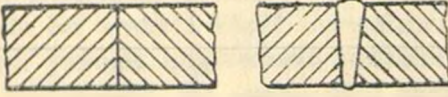
#### Avantajı :

Alın (birleştirme) yüzeyinin bitiş şekli merkezlemeyi kolaylaştırır ve tertibat ihtiyacını azaltır; örneğin dönel parçalarda, çevre dikişlerinin kaynağında olduğu gibi. Dikişin alt tarafındaki yetersiz nüfuziyet, korozyon tehlikesini arttırmaz.

#### Dezavantajı :

İşleme masrafı yüksektir; dikişin alt tarafında ortaya çıkan fişkırmaların karşı bir tedbiri yoktur.

## I — Alın dikişi



Şekil. 14 - e

**Avantajı :**

İşleme masrafı azdır.

**Dezavantajı :**

Metalurjik çentikler kompenze edilmemiştir; Dış hataların işleme suretiyle bertaraf edilmesi mümkün değildir; Kaynak detalarının tespit ve uygulanması yüksek masrafı gerektirir.

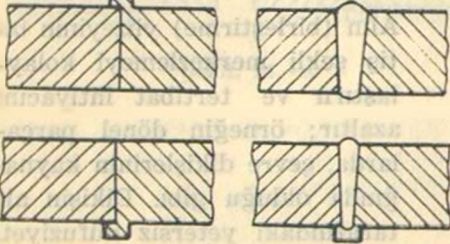
**Avantajı :**

Alın yüzeyinin bitiş şekli merkezlemeyi kolaylaştırır ve tertibat ihtiyacını azaltır; Örneğin dönel parçalarda, çevre dikişlerinin kaynağında olduğu gibi.

## Dış merkezleme çıkıntılı

## I — Alın dikişi

Markalama



Şekil 14. - f

- 1) Dış hatalar bir ilâve kaynakla bertaraf edilebilir (merkezleme çıkıntısı)
- 2) Dikişin alt tarafında fışkırma veya sarkma meydana gelmez.

**Dezavantajı :**

İşleme masrafı yüksektir.

- 1) Işın - alın kenarı - merkezlemesi için markalama gereklidir.
- 2) Dış hata dolayısıyla oluşan az nüfuziyetli kaynak, yüksek korozyon tehlikesi doğurur ve mukavemet kaybı meydana gelir.

İç merkezleme çıkıntılı

1 — Alın dikliği



Şekil. 14. - g

#### Avantajı :

Alın yüzeylerinin bitiş şekli merkezlemeyi kolaylaştırır ve tertibat ihtiyacını azaltır; örneğin dönel parçalarda, çevre dikişlerinin kaynağında olduğu gibi.

#### Dezavantajı :

Alın yüzeylerinin karşılıklı uygunluğu; ışın - alın kenarı - merkezlemesi için markalama gereklidir. Alın yüzeylerinin temizlenmesi güçlük arzeder.

#### Dikkat :

Merkezleme çıkıntısı erime bölgesinin geniş kısmına gelecek şekilde düzenlenmelidir.

### L İ T E R A T Ü R

- 1) Born, K., Dorn, L. und H. Herbrich : Plasma-, Laser-, Elektronenstrahl drei Strahl - Schweiß - und Schneidverfahren im Vergleich. Blech, Rohre, Profile (1973), H. 9, S.
- 2) Dorn, L. : Über die Wechselwirkung zwischen Elektronenstrahlung und Materie. DVS - Berichte Nr. 5 «Strahltechnik III». Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf (1969), S. 9/26.
- 3) Dorn, L. : Zum Mechanismus des mit der Dampfkapillarenbewegung verknüpften Werkstofftransportes beim Elektronenstrahlschweißen. DVS - Berichte «Entwicklungsstand und Anwendungsmöglichkeiten neuzeitlicher Schweiß-, Löt- und Prüftechnologien». DVS - Verlag, Düsseldorf (1975), S. 15/18.
- 4) Dorn, L. : Untersuchungen zum Aufschmelzverhalten beim Elektronenstrahlschweißen. Schw. u. Schn. 22 (1970), H. 2, S. 73/82.
- 5) Dorn, L. : Merkmale und Anwendungen moderner Schweißverfahren. Maschinenmarkt 76 (1970), Nr. 89, S. 1988/92.
- 6) Stelgerwald, K.H. : Elektronenstrahlen als thermisches Werkzeug Neue Züricher Zeitung (27. Februar 1963), Nr. 763/66.

- 7) Meyer, E. und L. Dorn : Elektronenstrahlschweißen bei unterschiedlichem Gasdruck. Schw. u. Schn. 20 (1968), H. 6, S. 261/266.
- 8) Kluger, H. und W. Dietrich : Elektronenstrahlschweißen an freier Atmosphäre. Schw. u. Schn. 16 (1964), H. 10, S. 477/78.
- 9) Dorn, L. : Die Wärmevorgänge bei der Elektronenstahl - Werkstoffbearbeitung. VDI - Z. 112 (1970), Nr. 17, S. 1143/48 u. Nr. 23, S. 1575/79.
- 10) Beitrag zur Elektronenstrahlbearbeitung hochvermefester Werkstoffe. Hochtemperaturwerkstoffe. 6. Plansee Seminar (1968), S. 988/97.
- 11) Hofmann, W., Koch, H. u. H. Seeler : Studien zum Elektronenstrahlschweißen. Verfahren und Werkstoffe. Schw. u. Schn. 15 (1963), H. 5, S. 213/21 und 13 (1961), H. 12, S. 581/85.
- 12) Matting, A., Koch, H. und L. Dorn : Beitrag zur Aufhärtung und Rißbildung beim Elektronenstrahlschweißen abschreckender Stähle. Schw. u. Schn. 22 (1970), H. 2, S. 154/56.
- 13) Bakish, R. : Introduction to Electron Beam Technology. John. Wiley and Sons, Inc. 1962.
- 14) Dorn, L. : Erfahrungen mit dem Elektronenstrahlschweißen allgemeiner Bau- stähle, Schw. u. Schn. 21 (1969), H. 2, S. 60/63.
- 15) Dorn, L. : Erfahrungen beim Elektronenstrahlschweißen von Titan in der Luft- und Raumfahrt. Luftfahrttechnik, Raumfahrttechnik 16 (1970), Nr. 6, S. 150/58.
- 16) Dorn, L. : Zur Schweißbarkeit von Molybdän mit Elektronenstrahlen. DVS - Berichte, Bd. 1, Elektronenstrahlschweißen. Deutscher Verlag für Schweißtechnik. Düsseldorf 1967, S. 1973/88.
- 17) Matting, A., Koch, H. und L. Dorn : Beitrag zum Verschweißen verschiedenartiger Metalle mit dem Elektronenstrahl. Metall 24 (1970), H. 4, S. 345/53 u. H. 10, S. 1086/91.
- 18) Wiesner, W. A. : Elektronenstrahlschweißen von Werkstoffkombinationen. Schweißtechnik 17 (1967), H. 9, S. 412/15.
- 19) DVS - Merkblatt 2703 : Elektronenstrahlschweißen in der Luft- und Raumfahrt. Verfahrensübersicht und Maschinen (1975).
- 20) DVS - Merkblatt 2803 : Elektronenstrahlschweißen in der Mikrotechnik (1974).