

Elektron Işını ile Kaynağın Uygulama Alanları

Selâhaddin ANIK *)

Lutz DORN **)

Bahadır GÜLBAHAR ***)

ÖZET

Elektron ışını ile yapılan kaynağın ilk pratik uygulaması, reaktör tekniği, roket ve uçak inşası gibi, tekniğin yeni açılan alanlarında kendini göstermiştir. Burada kullanılan özel malzemelerin işlenmesi, şimdiye kadar alışılmış vasıtalarla tatmin edici bir şekilde yapılamamış ve parçaların şekillendirilmesi genellikle zor mümkün olmuştur.

ZUSAMMENFASSUNG

Die erste praktische Anwendung fand das Elektronenstrahlschweißen in den neuerschlossenen Gebieten der Technik, wie der Reaktortechnik, dem Raketen- und Flugzeugbau. Die Bearbeitung der hier verwendeten Sonderwerkstoffe konnte mit bisherigen Mitteln nicht befriedigend durchgeführt werden, und auch bei der Formgebung der Teile liess sich eine Rücksichtnahme auf die Fertigung oftmals nur schwer ermöglichen.

1. — GİRİŞ

Belirli bir uygulama için uygun bir usulün seçiminde, genel olarak, aşağıdaki noktalar bakımından bir değerlendirme yapılmalıdır.

- a — Bağlantı için gerekli olan teknolojik kalite özellikleri (statik ve dinamik mukavemet, şekil değiştirme kabiliyeti, korozyona dayanıklılık, bir ön veya nihai tavlama şartı... gibi);

*) İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Profesör.

**) T.U. Berlin, Fügetechnik - Schweißtechnik, Professor.

***) İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Mühendis.

- b — Özellikle şekil ve boyut gibi konstrüktif şartlar (büzülme, kendini çekmeler, çarpılmalar ve kaynak yerinin ulaşılabilirliği);
- c — Uygulamanın usul tekniği bakımından ekonomikliği (yatırım maliyeti, işletme ücretleri, enerji, bakım ve tamirat, ilâve metal).

2. — YENİ TEKNİK ALANLAR

2.1. — Çekirdek tekniği

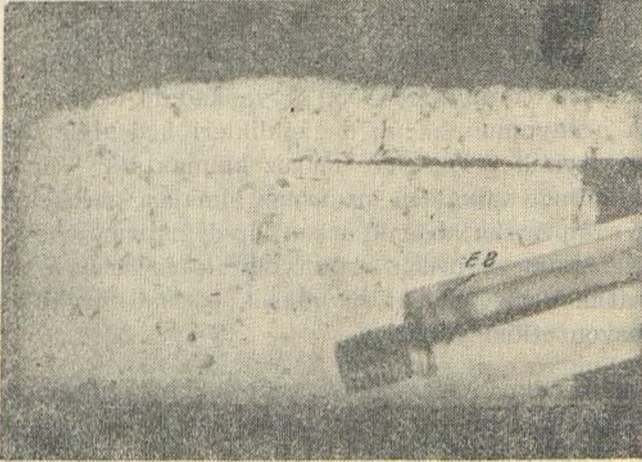
Reaktör tekniğindeki çeşitli kaynak problemlerinden önde geleni, uranyum çubuğunu çevreleyen yakıt elemanı koruma zarfı kapağının kaynak vasıtasıyla kapatılmasıdır. Burada koruyucu zarfın görevi, uranyum malzeme ile soğutma maddesi arasındaki bir reaksiyonu önlemek, radyoaktif bölünme ürünlerinin soğutma ortamı içerisine sızmasını önlemek ve yakıt elemanının mekanik stabilitesini yükseltmektir. Faydalı ısıdan en yüksek verimi elde etmek için, reaktör elemanları büyük basınç ve sıcaklıklara (uranyumda 550° C ye kadar) ve bölünme işleminin dolayısı ile uranyumun hacim değişiklikleri nedeniyle ilâve mekanik zorlamalara ve termik gerilmelere maruz kalmaktadır. Bir reaktör, öngörülen rejim halinde tamamen sızdırmaz olmaları gereken binlerce yakıt elemanına sahiptir, bu nedenle erken bir değiştirme çok masraflı olabilir. Yakıt elemanını soğutucu ortam olarak çevreleyen madde, örneğin yüksek saflık derecesindeki su yüksek işletme sıcaklıklarında kuvvetli bir korozyon etkisi yapar.

Nötron bombardımanı vasıtasıyla çekirdek bölünmesinde, bunlardan gerektiği kadarı, en az biri yeni bir bölünmeyi başlatmak için kalacak şekilde zincir reaksiyonunu devam ettirmek üzere yapı malzemesi tarafından veya başka bir şekilde yakalanabilen (tutulabilen), ortalama 2,5 nötron serbest kalır. Az miktarda nötron tutma kesidinin talebine göre (reaktör tipine ve yerleştirilen yakıt maddesine bağlı olarak), koruma zarfları için zirkonyum (Zirkalloy serisi), alüminyum, magnezyum (Magnox serisi), berilyum ve krom-nikel çeliği gibi, yalnız sınırlı bir sayıda malzeme dikkate alınır. Alüminyum ve krom-nikel çeliğinin dışında, bu malzemeler nispeten kötü bir kaynak kabiliyetine sahiptir. Ayrıca güçlük çıkararak, nötron absorpsiyonu bakımından çok yetersiz olan 1 mm. lik duvar (cidar) kalınlığıdır. En küçük bir gözenek cidarın sızdırmazlığını kuvvetli bir şekilde zayıflatarak gerekli mutlak yoğunluğu

azaltacağından dolayı, kaynak birleştirmelerinin tamamen gözeneksiz olması gerekir. Kaynak bağlantısı korozif etki nedeniyle meneviş renklerinden arî bulunmalı ve düzgün bir yüzey sağlanmalıdır.

Zirkonyum ve berilyum gibi malzemeler oksijen, azot, hidrojen, kürt ve diğer halojenler ile çok kolay bileşik oluştururlar. Örneğin zirkonyum 400 ilâ 500°C nin üzerinde atmosferden gazları gayet hızlı olarak alır. Bunlar, mekanik özellikleri, korozyona dayanıklılığı ve nötron tutma kesidini olumsuz etkilediğinden, kaynak sırasında bu reaksiyonların gerçekleşmesi istenmez.

Alüminyum ve magnezyumdan mamul koruma zarflarının kaynağında, elektron ışını ile kaynağın yanında, WIG (TIG) usulü ve sıcak basınç kaynağını da nazarı itibara almak gerekir. Fakat berilyum ve zirkonyumun kuvvetli kimyasal aktivitesinden dolayı, bunların elektron ışını ile kaynağı büyük avantaj sağlar, Şekil 1 ve 2.

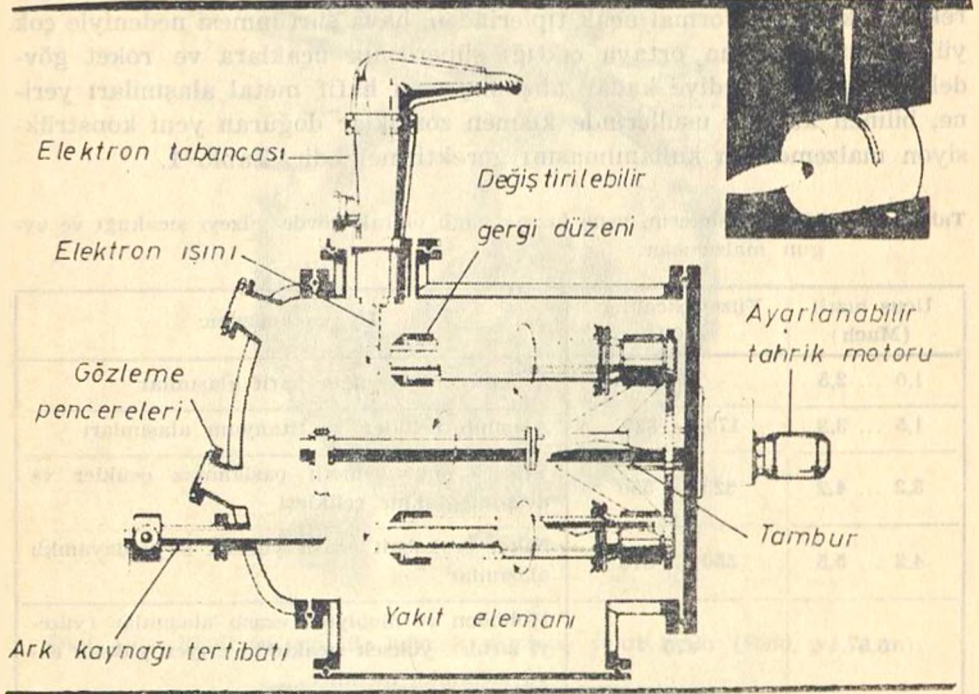


Şekil 1. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış Zirkalloy-2'den mamul yakıt elemanı koruma zarfı.

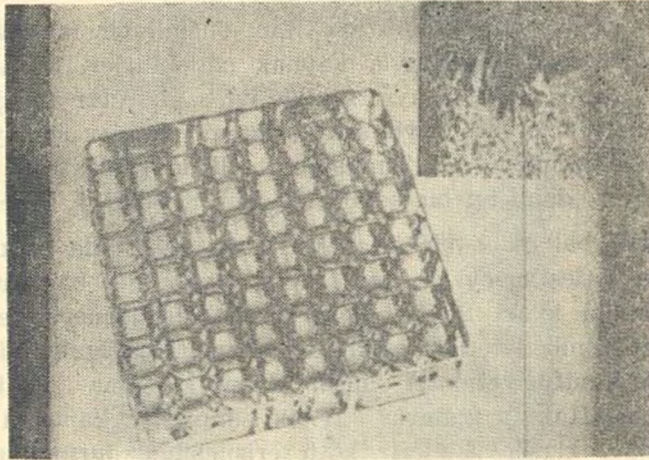
Reaktör inşasında elektron ışını ile kaynağın diğer bir uygulaması da, yakıt çubukları için aralık parçalarının kaynağıdır. Burada herşeyden önce ölçü hassasiyeti söz konusudur, Şekil 3.

2.2. — Uçak ve Uzay aracı inşası

Uçak ve uzay aracı inşasındaki sürekli artan istekler, daha uygun malzemelerin artan ölçülerde kullanılmasını, son sınıra kadar bunlar-



Şekil. 2. — Yakıt elemanı zarfının kaynağı için elektron ışını ile kaynak makinası



Şekil. 3. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış Cr - Ni çeliğinden mamûl aralık parçası. Kalınlığı takriben 0.2 mm dir.

dan istifade edilmesini, yapısal ve aerodinamik tasarımların ıslahını gerektirmektedir. Normal uçak tiplerinden, hava sürtünmesi nedeniyle çok yüksek sıcaklıkların ortaya çıktığı süpersonik uçaklara ve roket gövdelerine geçiş, şimdiye kadar alışılmış olan hafif metal alaşımları yerine, bilinen kaynak usullerinde kısmen zorluklar doğuran yeni konstrüksiyon malzemesinin kullanılmasını gerektirmektedir, Tablo 1.

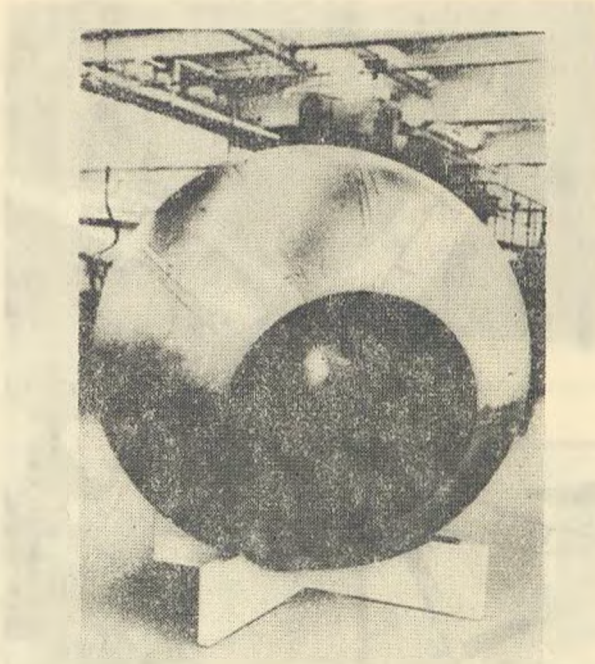
Tablo. 1. — Uçan cisimlerin, uçuş hızına bağlı olarak gövde yüzeyi sıcaklığı ve uygun malzemeler.

Uçuş hızı ¹⁾ (Mach)	Yüzey sıcaklığı (°C)	Uygun malzeme
1,0 ... 2,5	175	Alüminyum ve diğer hafif alaşımlar
1,5 ... 3,2	175 ... 325	Alaşımlı çelikler ve titanyum alaşımları
3,2 ... 4,2	325 ... 550	Yüksek mukavemetli paslanmaz çelikler ve alaşımlı takım çelikleri
4,2 ... 5,5	550 ... 875	Nikel ve kobalt esaslı yüksek ısıya dayanıklı alaşımlar
5,5	875	Molibden ve niobiyum esaslı alaşımlar (yüzeyi zırlı), yüksek sıcaklıkta eriyen yüksek ısıya dayanıklı metaller

1) Bir Mach, havadaki ses hızıdır; yani zeminde yaklaşım olarak 1190 Km/h. lik bir uçuş hızıdır.

Yüksek mukavemetli çelikler ve titan, önemli bir mukavemet kaybına uğramadan elektron ışınıyla kaynak edilebilirler. Isıya dayanıklı nikel - krom alaşımlarında da aynı şekilde iyi bağlantılar amaçlanır. Termik açıdan ekstrem derecede yüksek zorlanan parçalar için, yüksek ısıya dayanıklı malzemeler de (Tungsten, molibden) elektron ışınlarıyla, bilinen usullerden daha iyi bir şekilde işlenirler, Şekil 4, 5 ve 6.

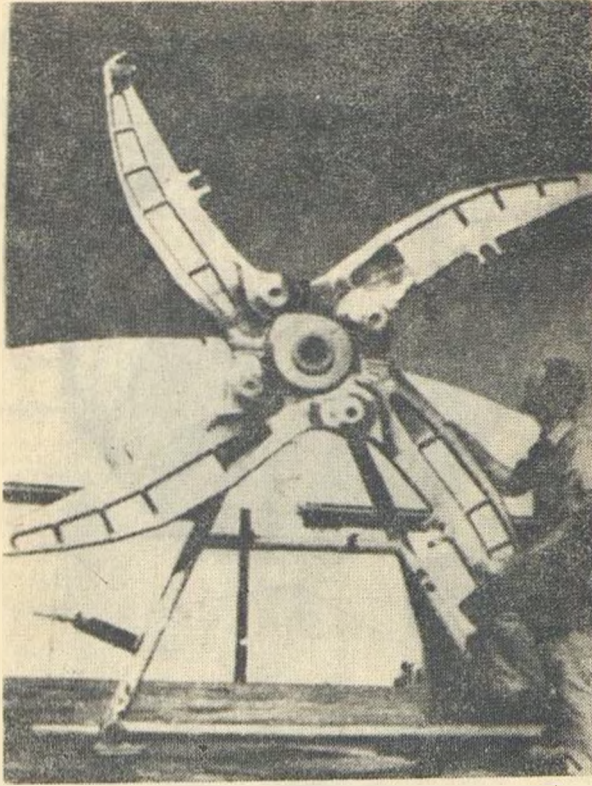
Konstrüktif bakımdan elektron ışın, kafes inşasında farklı kalınlık-taki parçaları birleştirmeyi ve zor erişilen yerlerdeki bağlantıları oluşturmayı mümkün kılar. Böylece elverişli şekillendirmeye geniş ölçüde uyabilirlik ve önemli derecede ağırlıktan ekonomi sağlanır. Elektron ışını ile kaynakta nüfuziyetin iyi olması (masif kaplama levhalarının erimesi ve alt taraftaki parçalarla kaynak edilmesi); kaplama levhalarının kaynağında, klasik usullerle kötü erişilebilme durumundan dolayı ortaya çıkan zorluklar, uçak inşasında az ağırlıktaki rijit petek konstrüksiyonlar için önemlidir, Şekil 7.



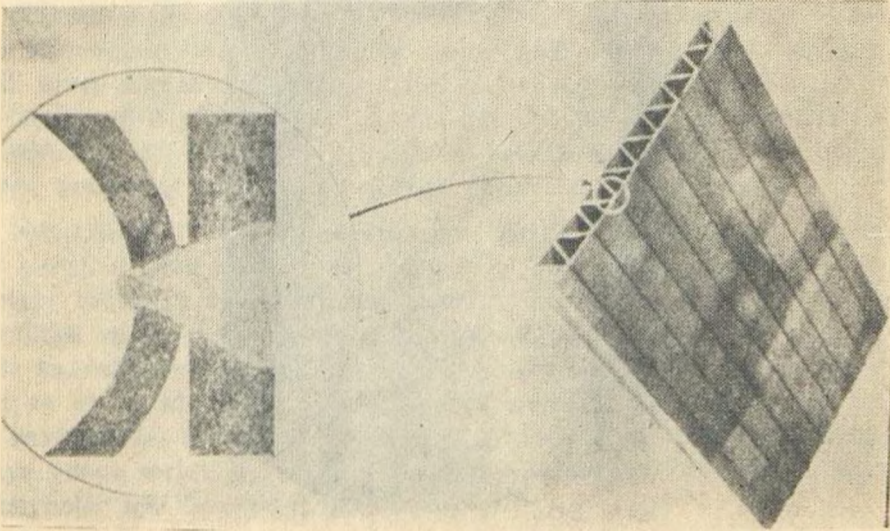
Şekil. 4. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış yakıt tankı (Eldo, ρ 1,72 m).



Şekil. 5. — Elektrik ışını ile kaynak yapılmış meme. (Eldo) Cr - Ni çeliği, infilâkla şekillendirilmiş.



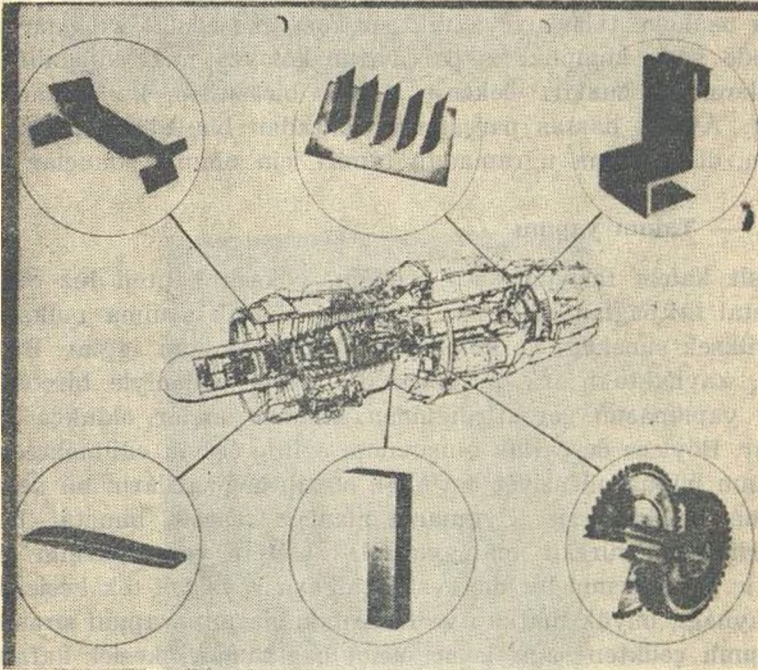
Şekil. 6. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış Tl Al 6 V4 (Cheyenne) helikopter rotoru kafası.



Şekil. 7. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış hafif inşa elemanı (İyi nüfuz etmiş kaynak).

2.3. — Jet ve gaz türbinalerinin inşası

Jet ve gaz türbinlerinin inşasındaki gelişmeler, daha ziyade verimleri işletme sıcaklığının yüksekliği ile arttığından, çalışma ortam sıcaklığını, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler kullanarak sürekli bir şekilde yükseltmeyi amaçlar. Islah edilmiş kromlu çelikler, sürünmeye dayanıklı nikel alaşımları (Nimonic ve Inconel serisi) gibi, kobalt ve molibden alaşımları kullanılır. Bu yüksek ısıya dayanıklı malzemelerde çatlama meyli bahis konusu olduğundan zor kaynak edilirler. Bu malzemelerde elektron ışını ile kaynak, şimdiye kadar uygun sonuçlar verdiği için, elektron ışını için geniş bir uygulama alanı açılmıştır, Şekil 8.



Şekil 8. — Bir jet türbini elemanlarının elektron ışını ile kaynak edilmiş komponentleri.

Uygulamada, malzeme kombinasyonlarına istek oldukça fazladır. Örneğin ostenitik çeliklerin ferritik çeliklerle birleştirilmesi, elektron ışınıyla iyi bir şekilde gerçekleşmektedir. Birleştirilecek parçalar örneğin kanatlar, geniş ölçüde tamamen imal edilmiş ve ısıl işleme tabi tu-

tulmuş durumda bulunur. Elektron ışını ile kaynak işlemi, ölçü hassasiyeti ve ısı işlem üzerindeki hafif etkisi ile uygun şartları yaratmaktadır.

3. — KLÂSİK TEKNİK ALANLAR

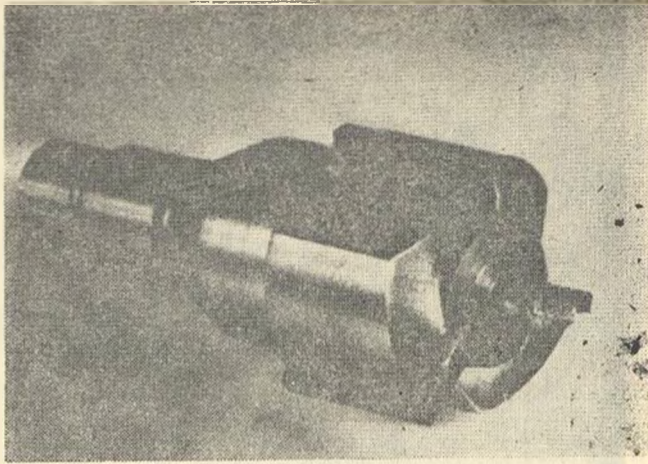
Kaynak tekniğinin bilinen kullanma alanlarında, kendine özgü bir uygulama alanı bulunduğu halde, elektron ışını ile kaynak kendini önceleri tereddütle kabul ettirmiştir. Bağlantının yüksek kalitesine rağmen, klâsik kaynak usullerinin şimdiye kadar kendilerinden istenenlerden uzaklaşması yalnız tâli derecede bir rol oynamıştır. Büzülmeler ve kendini çekmeler dolayısıyla, konstrüksiyon üzerindeki daha az dezavantajlı etkisi, tamamen yeni kaynak işlemlerine sevk etmiştir. Yeni imâlatta bu usulden, talahı veya talahsız komplike işleme safhalarını basitleştirmede veya komplike iş parçalarını kolayca imal edilebilir elemanlara bölerek ve bunları elektron ışınıyla birleştirip, kullanmada yararlanabilir. Ayrıca hassas parçaların, sonradan bir işleme gerek göstermeksizin, distorsiyona uğramadan tamiri için olumlu sonuçlar verir.

3.1. — Takım yapımı

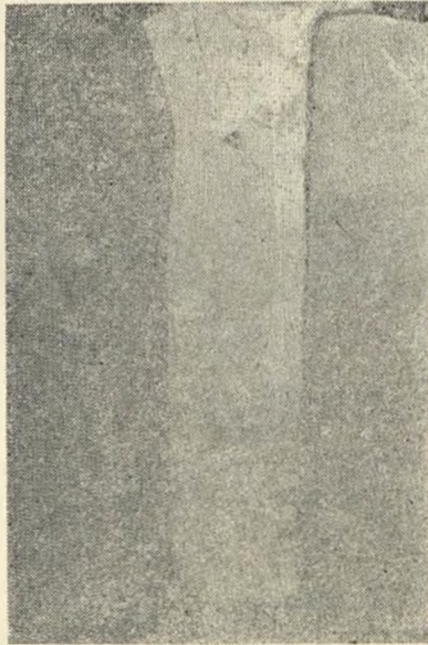
Basit kalem taşıyıcı (sap) çeliğin, yüksek kaliteli hız çeliği veya sert metal ile bağlantısı, kesici ağızların yüksek aşınma mukavemetini, sapın yüksek sünekliği ile kombine edilmesine imkân sağlar. Böyle bağlantılar, kaynaktaki ark nüfuziyetinin azlığı nedeniyle birçok seferde kaynak yapılmasını gerektirdiğinden, şimdiye kadar oldukça az kullanılmıştır. Böylece de çatlak oluşumuna eğilim teşvik edilmektedir. Elektron ışının büyük nüfuziyet derinliği, bu tip bağlantıların bir seferde yapılmasına imkân verir. Uygulama alanları olarak, bimetal-band testere şeritlerinin sürekli imâli, yuvarlak testere yapraklarının disk şeklindeki iç parçalarının bir dış kesici halkaya veya tek tek kesici segmanlarla kaynağı, büyük matkap ve freze takımlarının yapımı sırasında, hafif alaşımli çelikten sapa kesici ucun bağlanması, kesici kafaların bir zımba ile birleştirilmesi veya zımba takımlarında matrislere büyük plâkaların kaynak edilmesi gösterilebilir. Ara tabakaların kullanılmasıyla, örneğin nikel veya kobalt gibi, bağlantının darbe mukavemeti artar. Eu ara tabakaların yüksek erime noktaları, bilinen sert lehimlemeye karşı, yüksek işletme sıcaklıklarına izin verir, Şekil 9.

3.2. — Makina yapımı

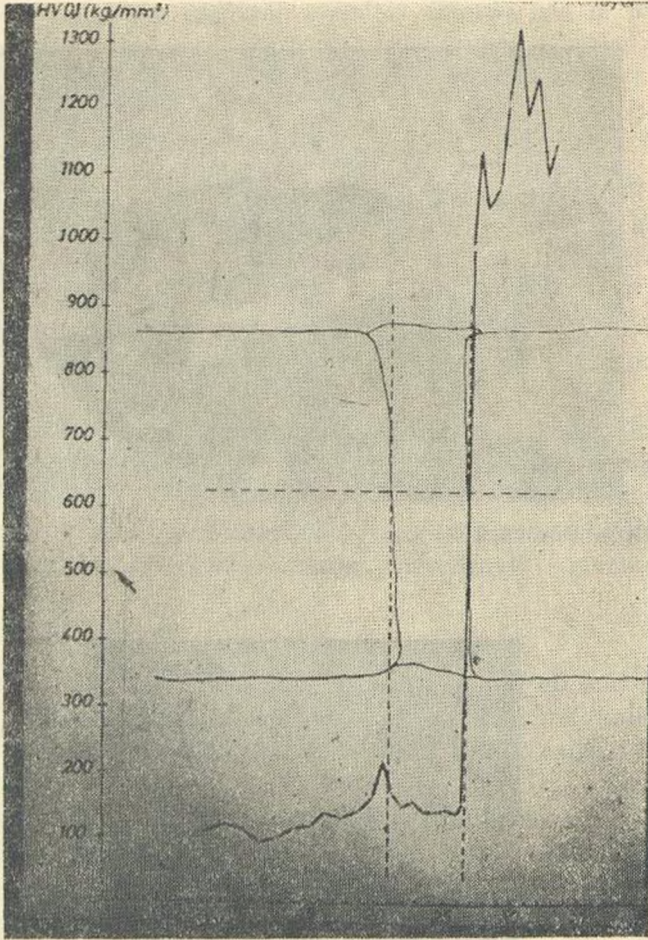
Makina yapımında sağladığı distorsiyonsuz kaynakla, rulmanlı ya-



a — Görünüşü



b — Birleştirme yeri



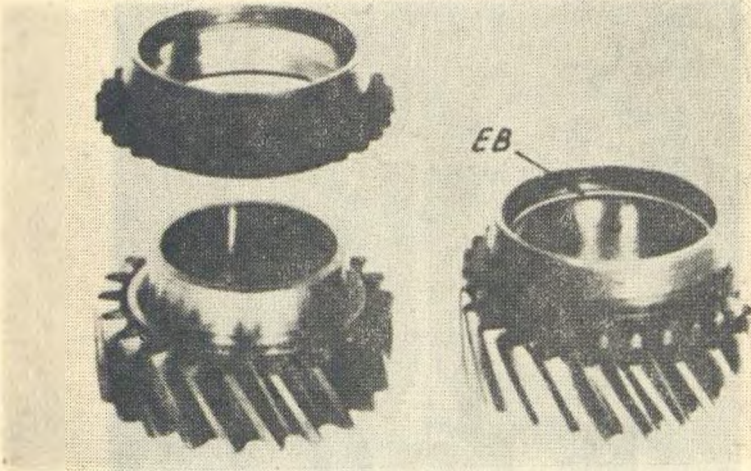
c — Sertliğin dağılışı

Şekil 9. — Sert metal kesici ağızı elektron ışını ile kaynak yapılmış bir freze bıçağı (kobalt ara tabakalı).

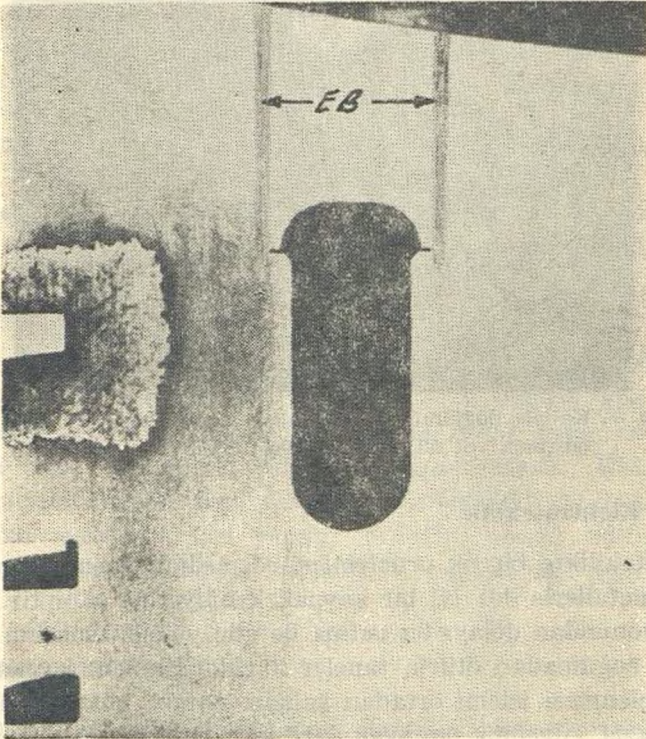
tak mahfazalarının, dişli mekanizmaların, pistonların, silindirlerin, mil-lerin, kazıcı dişlerin... yeni imalatı ve tamirâtı bakımından yeni imkânlar açmaktadır, Şekil 10, 11 ve 12.

3.3. — Kap ve cihaz yapımı

Kap ve cihaz yapımında önce ısıya ve korozyona dayanıklı malzemelerin, örneğin krom ve krom-nikelli çelikler, nikel alaşımları ve tityum ile tantal gibi özel metallerin kaynağı hatıra gelir.

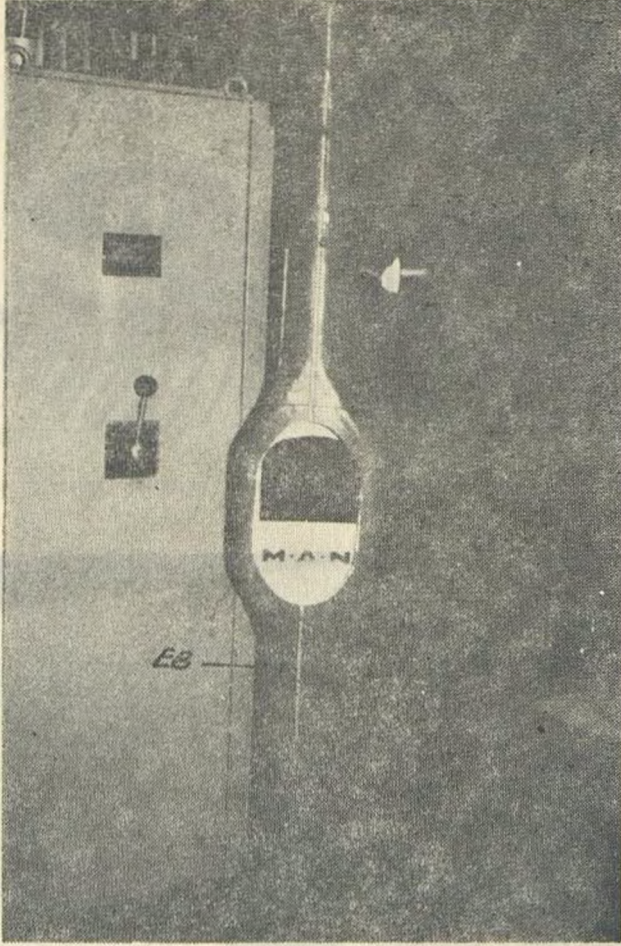


Şekil. 10. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış senkron bilezikli otomobil vites dişlisi.



Şekil. 11. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış su soğutmalı motor pistonu. Alüminyum alaşımı.

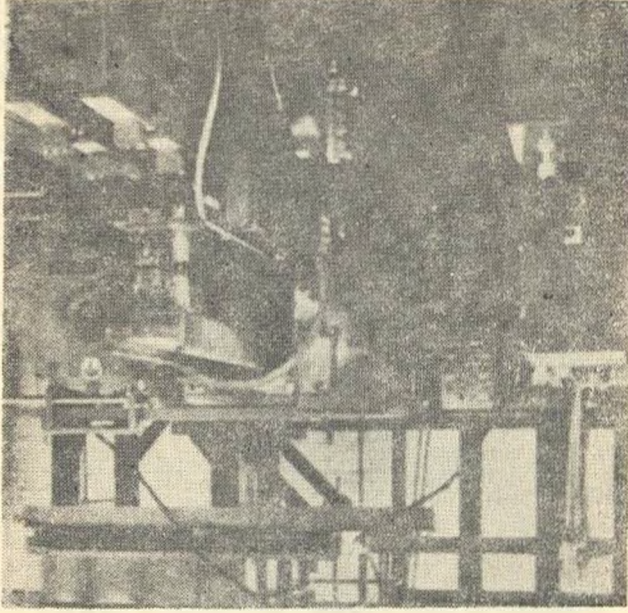
- a — Bütün kesit resmi
- b — Kaynak yeri



a — Kalıpla döğülmüş parçalı aksın boylamasına kaynak dikişi (2,1 m boyunda) St 52, max. 45 mm kalınlıkta

3.4. — Elektroteknik

Elektroteknikte birçok problemleri çözmeye de kendini gösterir. Bakır (diğer metallerle de) iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptir. Yüksek ısı konsantrasyonundan dolayı ön ısıtma ile güç yükseltilmesine gerek yoktur. Çabuk soğumadan ötürü, taneler küçüldüğünden, kaynaktan sonra dikişin çekiçlenmesi işlemi ortadan kalkar. Ayrıca yüksek işletme sıcaklıklarında fazla güvenilir olmayan sert ve yumuşak lehimlemenin yetersizliğinin tamamlanması ile mevcut boşluğu doldurur. Wolfram (tungst-



b — 12 kW. lık iki yatay tabanlı aks kaynak donanımı
Süre: 7 dakika

Şekil. 12. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış kanyon arka aksı (Avrupa - aks).

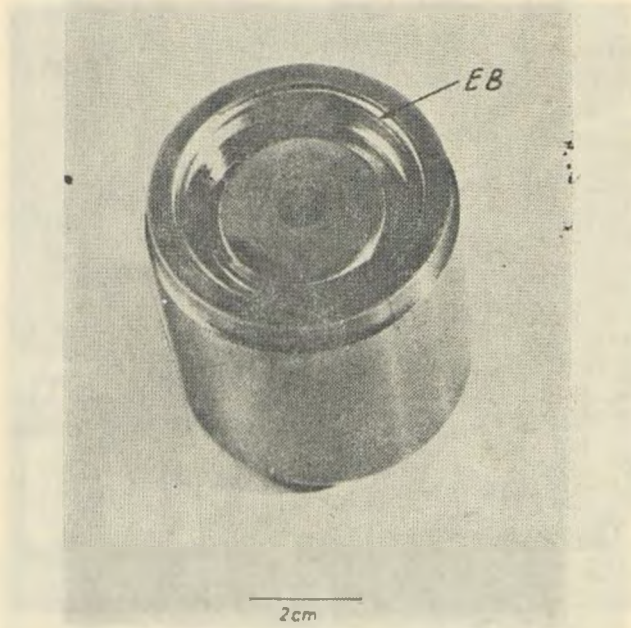
ten), molibden, gümüş ve diğer malzemeden mamul kontakların kaynağı, elektron ışını ile gayet iyi bir şekilde yapılmaktadır. Şekil 13 ve 14.

3.5. — Elektronik

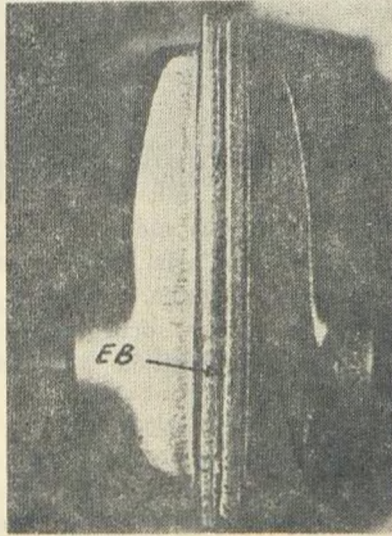
Elektroteknikte, bilinen ısı menbalarına karşılık, sürekli küçülen boyutların gelişiminde kesin kumanda edilebilir ve yüksek güç yoğunluklu hassas enerji demetinin avantajları sonuna kadar kullanılır. İlk adımda yapılacak olan, elektronik ünitelerin kapatılmasıdır. Elektron tüpü imalinde emniyetli bağlantılar, tungsten, molibden, tantal gibi yüksek ısıya dayanıklı malzemelerden yapılır; örneğin, massif katotların imalinde wolfram tellere doldurma kaynağı ile kaplamanın yapılması gibi, Şekil 15.

4. — EKONOMİKLİK

Elektron ışını ile kaynak usulünün birçok malzeme tekniği ve konstrüktif avantajları, olağanüstü yüksek görünen ekonomik durumuna

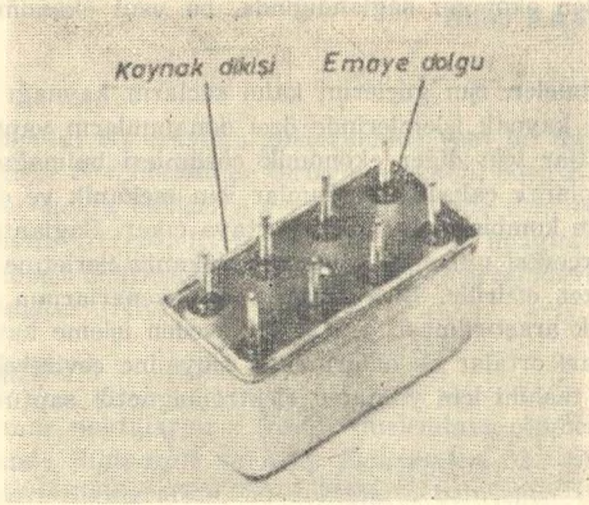


Şekil. 13. — Vakumda kapsüllenmiş, elektrik ocağı tenceresi magnetinin elektrin ışını ile kaynağı.
Malzeme: Cr - Ni çelîği



Şekil. 14. — Elektron ışını ile kaynak yapılmış röle gövdesi (10 mm boyunda).
Derin çekme çelîği 1 mm

(maliyetine) rağmen, öncelikle kullanılmasını gerektirir. Seri üretim için uygun bir donanımın imalât maliyeti, klasik 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 lâle gibi) alın-



Şekil. 15. — Elektron ışını ile tam vakumda kaynak yapılan yarı iletken gövdesi.

kaynak ağızlarının hazırlanmasındaki hassasiyet, klasik 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 geniş ise, ışın birleştirme yerinden etkimeksizin geçer. Işının enlemesine salınımıyla 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.

5. — SONUÇ

Usulü, tümünde elverişli veya gayri ekonomik olarak ifade etmek mümkün değildir; aksine uygulanması, her bir kullanma yerinde, kul-

lanma durumuna ve parça sayısına bağımlı olarak ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Eğer hiçbir usul ortadaki problemin çözümü değilse, uygulama zorunlu olarak kendini gösterir. Reaktör ve roket inşasında olduğu gibi, teknolojik avantajlar, örneğin bağlantıdan beklenen yüksek emniyet, oluşan yüksek maliyetten daha ağır bastığında, kullanma hakkı gösterilebilir. Sonuç olarak, yeni birleştirme tekniği vasıtasıyla diğer komplike işleme usulleri basitleştirildiğinde veya yüksek kaynak hızı ile işçilik ücretinden ekonomi sağlandığında, bu usul ekonomik bir görünüm arzeder.

Diğer gelişmeler, ışın güçlerini kalın sacların kaynağı için yükseltmeğe ve belirli kaynak işlemlerinde özel donanımların yapılmasıyla, büyük seri imalâtlar için diğer ekonomik çözümleri bulmağa yöneltmiştir. Otomatik olarak çalışan donanımlar için mekanik ve elektromagnetik ışın sevkinin kombinezonu imkânı ortaya çıkar. Bağlantı yerinin teorik (kesin) çerçevesi nümerik kontrollü mekanik ilerletme birimleri tarafından hareket ettirilir. Birleştirme (alın) kenarlarının mekanik veya optik olarak araştırılması, pratik çerçeveden işleme hatalarına bağlı olarak sapmaları ortalar ve onları akım sinyaline çevirerek, ışın sevkinin uygun bir tashihi için yükümlü elektromagnetik saptırma bobinlerine verir.