

28856

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRO - EROZYON İLE KALIP İMALATI VE UYGULAMA ALANLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜH. OMAR KADIBBAN

İSTANBUL - 1993

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON BİRİMİ

TEŐEKKÖR

Bu çalışmada bana sonsuz yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Yard.Doç.Dr.Mesut ÖZGÖRLER'e ve ayrıca Yard.Doç.Dr.Hüseyin SÖNMEZ'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

J.Kadib BAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET

SUMMARY

1- GİRİŞ

1.1. ELEKTRİKSEL İŞLEME PROSESLERİ

- 1.1.1. Elektro-Erozyon (Elektriksel Boşaltma) ile İşleme Yöntemi
- 1.1.2. Elektro-Erozyon ile İşlemenin Tanımı ve Endüstriyel Önemi
- 1.1.3. Elektro-Erozyon ile İşlemenin Esası
- 1.1.4. Elektro-Erozyon Makinasının Prensibi ve Kivircim Oluşumu
- 1.1.5. Talaş Kaldırma Oranları
- 1.1.6. Elektrod (Takım) Aşınması
- 1.1.7. Kesme Aralığı
- 1.1.8. Yüzey Perdahlama (Finish)
- 1.1.9. EDM Prosesinin Avantajları
- 1.1.10. Sınırlamalar
- 1.1.11. Ark Erozyonu (Elektro-Erozyon) Yönteminin Teknolojik Esasları

2- ÜRÜN UYGULAMALARI

2.1. EDM İLKELERİ

- 2.1.1. Fiziksel Kuruluş
- 2.1.2. Güç Kaynakları
- 2.1.3. Dielektrik Sıvı
- 2.1.4. Elektrod Malzemesi
- 2.1.5. Elektrod Aşınması
- 2.1.6. Aşınmasız (ya da Düşük Aşınmalı) Elektrodlar
- 2.1.7. Elektrod İmalatı
- 2.1.8. Elektrod Çeşitleri
- 2.1.9. Elektrod Yerleştirmesi
- 2.1.10. Kesim Aralığı (Overcut)
- 2.1.11. Muhtemel Sınırlamalar

- 2.1.11.1. Elektrod Aşınma ve Kesim Aralığı
- 2.1.11.2. Metal Kaldırma Hızları
- 2.1.11.3. Isı Oluşumlu Tabaka
- 2.1.12. Ürün Tasarım Faktörleri
 - 2.1.12.1. Sivrilme ve Çekme
 - 2.1.12.2. Yüzey Bitirme
 - 2.1.12.3. Konfigürasyon-Düz Delikler
 - 2.1.12.4. Karmaşık Kavimler

3- ELEKTRO-EROZYON TEZGAHINI MEYDANA GETİREN ANA BÖLÜMLER VE İŞLEYİŞLERİ

- 3.1. ANA BLOK (MEKANİK KISIM)
- 3.2. DİELEKTRİK SİSTEMİ
- 3.3. JENERATÖR
- 3.4. HİDROLİK SİSTEM
- 3.5. GÜÇ DEVRESİ

- 3.5.1. Elektriksel Boşalma Devrelerinin Tipleri
 - 3.5.1.1. Direnç-Kondansatör Güç Kaynağı Üniteleri
 - 3.5.1.2. Darbeli Tip Güç Üniteleri
 - 3.5.1.3. Dönel Sevk (İmpuls) Jeneratörlü Güç Üniteleri
 - 3.5.1.4. Sabit Sevk (İmpuls) Jeneratörlü Güç Üniteleri
- 3.5.2. Elektriksel Boşalma İşlemi Prosesi
 - 3.5.2.1. Servo Kontrol Mekanizması
 - 3.5.2.2. Kesme Akımı (Amperaj)
 - 3.5.2.3. Darbeli Tip Devrelerin Karakteristikleri
 - 3.5.2.4. Boşaltma Proses

4- DİELEKTRİK SIVI

- 4.1. ELEKTRO-EROZYON İLE İŞLEMEDE DİELEKTRİK SIVILARIN GÖREVİ
- 4.2. ELEKTRO-EROZYON İLE İŞLEMEDE KULLANILAN DİELEKTRİK SIVILARIN BAŞLICA ÖZELLİKLERİ
- 4.3. KULLANILAN DİELEKTRİK SIVILAR

4.4. DİELEKTRİK SIVILARIN TİPLERİ

4.5. DİELEKTRİK DOLAŞIM YÖNTEMLERİ

4.5.1. Elektrodun İçinden Aşağı Doğru

4.5.2. İş Parçasının İçinden Yukarı Doğru

4.5.3. Vakum Akışı

4.5.4. Titreşim (Salınım)

5- ELEKTROD

5.1. ELEKTROD MALZEMELERDEN BEKLENEN ÖZELLİKLER

5.2. EDM İŞLEMİNDE ELEKTROD MALZEMESİ OLARAK BAŞLICA
KULLANILAN ELEKTROD MALZEMELERİ

5.3. ELEKTROD MALZEMELERİNİN İŞLEMEDEKİ AVANTAJLARI VE
DEZAVANTAJLARI

5.4. ÇEŞİTLİ AKIM DEĞERLERİNDE BAKIR VE GRAFİT ELEKTROD-
LARIN KARŞILAŞTIRILMASI

5.4.1. Akım Şiddetinin Etkisi

5.4.2. Darbe Süresinin Etkisi

5.4.3. Ölü Sürenin Etkisi

6- ELEKTRO-EROZYON UYGULAMA ALANLARI

6.1. EDM UYGULAMASINI ÜÇ ANA GRUPTA TOPLAMAK MÜMKÜNDÜR

6.1.1. Takım Endüstrisi

6.1.2. Özel Parça İmalatı

6.1.3. Laboratuvarlar İçin

7- TEL EROZYON İLE İŞLEME YÖNTEMİ

8- ELEKTRO-KİMYASAL İŞLEME YÖNTEMİ

8.1. PROSES

8.2. ELEKTROLİT

8.3. ELEKTRODLAR

8.4. ECM'İN AVANTAJLARI

9- ELEKTROLİTİK TAŞLAMA YÖNTEMİ

9.1. ELEKTROLİTİK TAŞLAMA PROSESİ

9.2. TAŞLAMA TEKERİ

9.3. İŞ PARÇASI

9.4. AKIM

9.5. ELEKTROLİT

9.6. PERDAHLAMA

9.7. ELEKTROLİTİK TAŞLAMA YÖNTEMLERİ

9.7.1. Silindirik Taşlama

9.7.2. Form Taşlama

9.7.3. Dalma Taşlaması

9.7.4. Yüzey Taşlama

9.7.5. Travers Taşlama

9.8. ELEKTROLİTİK TAŞLAMANIN AVANTAJLARI

9.9. DEZAVANTAJLARI VEYA SINIRLAMALARI

10- UYGULAMA

ÖZGEÇMİŞ

KAYNAKLAR

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1. Teste tabi tutulan dielektrik sıvılar. Özellikleri, Yoğunluk, Viskozite, Parlama Noktası, Kaynama Noktası İçindeki Aromatik Maddi miktarı	70
Tablo 5.1. Elektrod Çeşitleri ve İş Parçasına Göre Kullanılan Elektrodlar	78
Tablo 5.2. Günümüzde Kullanılan Elektrod Malzemelerin Fiziksel Özellikleri	85
Tablo 5.3. Elektrod Malzemelerinin Elektrod Yüzeylerine Göre Uygulama Alanları	86
Tablo 5.4. Çeliğin İşlenmesinde Darbe Akım Süreleri (MSAN) ve Yüzey Pürüzlülüğü	87
Tablo 5.5. Elektrod Malzemelerinin İşlenecek Maddelere Göre Uygulama Alanları	88
Tablo 5.6. Elektrod Malzemelerinin İşleme Şekline Göre Uygulama Alanları	89
Tablo 5.7. Başlıca EDM Elektrodlarının Uygulamadaki Özellikleri	90
Tablo 5.8. EDM Elektrodları (Takımlar) için Kullanılan Çeşitli Malzemelerin Üstünlük ve Eksiklikleri	91,92,93
Tablo 6.1. EDM Seçimini Kolaylaştıran Özellikler	94
Tablo Uygulama Soyut Kalıpların Yapımında Toplam Zaman (Standart)	105
Tablo Uygulama zıvanalı Kalıpların Yapımında Toplam Zamanı	106

ÖZET

Elektro-Erozyon takım ile iş parçası arasında kısa süreli ve yüksek akım yoğunluğunda bir elektriksel boşalmayı oluşturan talaş kaldırma işlemidir.

Bu yöntem 1889 yılından beri araştırılmaktadır ve bir çok gelişmeler elde edilmiştir. Bu yöntem sert ve işlenmesi zor malzemelerden karmaşık şekilli kalanlar graverlerin deliklerin hassas ve ekonomik olarak elde edilmesinde kullanılır. Bu çalışma elektro-erozyon yönteminin esas donatımları takımlar ve uygulama alanları araştırılarak işlemin verimi ve elde edilen parçaların kapasitesi için öneriler getirilmektedir. Tel erozyon teknolojisi ise günümüzde, metallerin kesilmesi suretiyle şekil verme esnasında çok değişik ve karmaşık istekler ile karşılaşılmaktadır. Bu sebeple yüksek performanslı tel erozyon tezgahlarına giderek daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır ve yeni teknoloji ile geliştirilen CNC tel erozyon tezgahları yüksek hız, ölçü hassasiyeti ve otomasyon ile yüksek verimlilik sağlamaktadır.

SUMMARY

The electro-erosion is a method to remove scale by forming an electric discharge between the tool and workpiece, for a short time and at a high current density.

Researches are being conducted on this method since 1889, and many developments have been achieved. This method is used for making gravure holes in complex shapes from hard materials, which are difficult to process, in a sensitive and economic manner. This work submits suggestions about the process efficiency and capacity of the pieces to be made, based on researches conducted on the main equipment, tools and application fields of the electro-erosion method.

As for the wire erosion technology, presently there are too many different and complex demands for the metal shaping by cutting. Therefore, demand for high performance wire erosion benches increase day after day. And the CNC wire erosion benches developed by applying the said new technology provide a high efficiency thanks to their high speed, measurement sensitivity and automation.

1. GİRİŞ

EDM (Elektro-Erozyon) hassas bir metal çıkarma işlemidir ve metali yok etmek için hassas bir şekilde kontrol edilen bir elektrik akımı (kıvılcım) kullanılır.

EDM işlemi ne kadar zor olursa olsun elektriği ileten tüm metallerin işlenmesini sağlar. Bu işlemi gözünüzün önüne getirmek için bir dielektrik yağı banyosu içine daldırılmış negatif akım yüklü bir elektrodan (-) pozitif akım yüklü bir elektrodada (+) elektrik kıvılcımı geçtiğini düşünün, kıvılcım bir enerji uygular. Bu enerji metalin parçacıklarını buharlaşma konumuna getirir. Bu parçacıklar anında yeniden katılaşıp küçük oyuk küreler haline getirir ve dielektrik yağı onları alıp götürür (Buna yıkama işlemi adı verilir). Geriye iş parçasının üstünde bir oyuk ya da cep kalır. Bu işlem saniyede binlerce kere tekrarlanır ve elektrodun (Erkek veya dişi) Tam tersi bir görüntü, iş parçası üzerinde oluşturuluncaya kadar devam eder.

Türkiye'de ise Elektro-Erozyon olayı daha çok yenidir. Fakat kalıpcılık sanayiinin de hızla gelişmesi Elektro-Erozyon'un kullanımını arttıracığından kuşku yoktur. Üstün özelliklerinden dolayı diğer yöntemlere ağır basan Elektro-Erozyon Türkiye'de çok kısa süreç içinde gerçek yerini alacaktır.

1.1. ELEKTRİKSEL İŞLEME PROSESLERİ

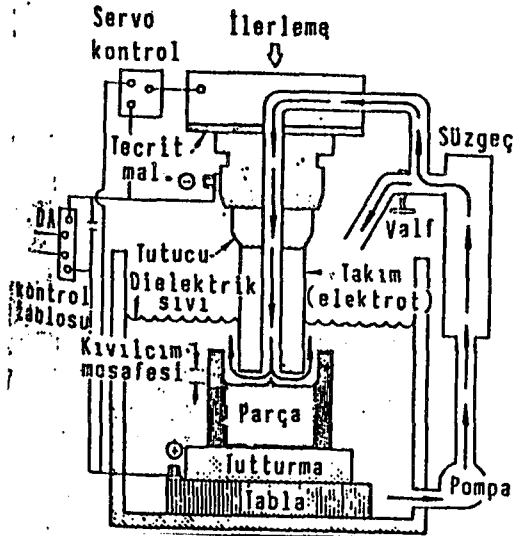
Son yıllarda özel mekanizmalar ve yabancı malzemelerle gittikçe daha çok karşılaşılmaması sebebi ile metallerin etkili bir şekilde işlenebilmesi için yeni metodların geliştirilmesinin gerektiği ortaya çıkmıştır. Sementid-karbid veya işlenmesi zor metallerden mamul parçaların çok pahalı bir işleme yöntemi olan bünyelerinde elmas parçacıkları bulunan elmas-zımpara taşları ile taşlanması bu türde gerçekleştirilmesi güç ve pahalı imalat yöntemlerine örnek olarak gösterilebilir. Elektro-Erozyon işleme Elektro-Tel Erozyon yöntemi kimyasal işleme ve Elektrolitik Taşlama yöntemleri işte bu gereksinimler sonucu geliştirilmiş olan üç metottur.

1.1.1. Elektroerozyon (Elektriksel Boşaltma) İle İşleme Yöntemi

Elektroerozyon ile işleme yönteminde talaş kaldırmanın esası; takım işlevini gören bir elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan kıvılcımların malzeme kaldırmak istenilen bölgeleri yakması ve bir erozyon (çürüme) oluşturması yardımı ile bu bölgelerin boşaltılması şeklindedir.

İşlem çalıştırılırken saniyede oluşan binlerce kıvılcım, erime ve buharlaşma yolu ile küçük kraterler oluştururlar ve bu kraterlerin her saniye büyümesi ile takım olarak kullanılan ve istenilen gravür şeklindeki elektrodun geometrisi iş parçasına işlenmiş olur.

Sistemin işletilişi esnasında kullanılan dielektrik sıvı (gazyağı), çapakların iş parçası yüzeyinden uzaklaştırılması ile birlikte bir tür soğutma fonksiyonu sayılabilecek şekilde kıvılcımların etki alanını sınırlar. Şekil 1 'de şematik olarak gösterilen elektroerozyon yöntemi, şimdiye kadar incelenmiş olan fiziksel ve kimyasal ileri işleme yöntemlerinin endüstride en çok uygulama alanı olanıdır.



Şekil.1. Elektroerozyon ile işleme yönteminin şematik gösterimi (Tabla X-Y düzleminde hareket edebilir).

Elektroerozyon yönteminde her kıvılcım ölçülebilir ve kontrol altında tutulabilir miktarda enerji içerdiği için işlem sonrası elde edilecek yüzey kalitesi, eğer tüm parametreler dikkate ayarlanırsa önceden tahmin edilebilmektedir.

Elektriksel boşaltma işleminin esası ise şu şekildedir : Kıvılcımlar tarafından oluşturulan ısı metalin ergimesine sebep olurken, kıvılcımların bu yüzeylere çarpması eriyen metal zerreciklerinin buharlaştırılarak uzaklaştırılmasına neden olmakta ve böylece istenen metalsel boşaltma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Elektriksel iletkenliğe sahip her sertlik değerindeki metaller elektroerozyon yöntemi ile kolayca işlenebilmektedir. Talaş kaldırılarak iş parçasına verilecek olan şeklin geometrisi, aynen elektrot şeklindeki takıma da verilmekte, böylece istenen şekiller kolayca gerçekleştirilebilmektedir.

Elektriksel boşaltma işlemi esnasında oluşturulan kıvılcımların kararsızlığı ve yüzeyden uzaklaştırılamayan çapaklar, istenmeyen bir şekilde takımın da (elektrot) aşınmasına neden olmaktadır. Bu yüzden işlenen parçanın boyutlarında bir değişme olmaması için elektroerozyon işlemi, nümerik kontrollü tezgahlarda gerçekleştirilir.

Uygulamada görülen elektroerozyon işlemlerinin çoğu; döküm, basma ve ekstrüzyon kalıpları içindir. Yöntemin uygulanmasında hiçbir mekanik kuvvetin uygulanmamasından dolayı gevrek yapıdaki iş parçaları hiçbir çarpılma görülmezsizin işlenebilmektedir. Ayrıca gevrek yapıdaki malzemelerden oluşan takımlar ve hatta özel teller bile takım olarak kullanılabilir. Yöntemin kontrol altında tutulabilirliği, değişkenliği ve tamlığı, sonuç olarak süper bir dizayn esnekliği kazandırır ki bu da birçok uygulamacı için istenen bir özelliktir. İşlemin bir diğer pozitif yönü ise, takım maliyetindeki düşük değerler ve karbürler dahil her tür malzemenin bu düşük maliyetli takımlar ile kolayca işlenebilmesidir.

Şekil 2'de bir elektron mikroskobu ile yapılan taramada, metalsel malzemenin buharlaşma ve erime esnasındaki iç yapısı görülmektedir. Elektroerozyon yönteminde görülen bir negatif yön ise, işleme sürelerinin diğer yaygın talaş kaldırma yöntemlerine göre çok uzun olmasıdır.



Şekil 2. Elektroerozyon yöntemi ile işlenen çelik malzemenin yüzeyindeki kraterler ve buharlaşan metal malzeme kürecikleri (X750)

İşlem sonrası oluşan yüzeyin kalitesi ile kıvılcımların frekansına, voltaj ve akım değerlerine bağlı olarak değişme göstermektedir.

Elektrot ile iş parçasının yüzeyi arasındaki boşluğa, kesme aralığı adı verilir ve değer olarak genel olarak kıvılcımların boyu kadardır. Bu da 0.0005 - 0.020 değerleri arasında değişmektedir. Ayrıca kesme aralığı, voltaj ve çapak boyutlarına da bağlıdır.

Elektroerozyon ile işleme yöntemi uygulanırken tezgah üreticileri tarafından düzenlenen kesme aralığı ve güç değerlerini içeren tablolar, takım üreticilerinin ürettiği tablolar ile kombine olarak dikkate alınırlarsa, işlemin verimliliği gerçekten çok yükselmektedir.

İşlemden kullanılacak olan elektrot boyutları en basit şekli ile iş parçası yüzeyine işlenecek gravür derinliğinden, kesme aralığı kadar küçük değerlerdedir. Değişik malzemeler, elektrot malzemesi olarak kullanılırken, grafit elektrotlar en çok uygulama alanı bulanlardır. Fakat elektrot malzemesi seçiminde, elektrot malzemesinin işlenebilirliği; aşınma

değerleri, kesme hızı ve işlem sonrası elde edilen yüzeyin kalitesi, güç kaynağı ve ekonomiklik değerleri etkin şekilde rol oynamaktadır.

Grafit dışında elektrot malzemesi olarak; bakır, pirinç, bakır-wolfram, alüminyum 70/30 çinko-kalay ve diğer alaşımlar da kullanılmaktadır.

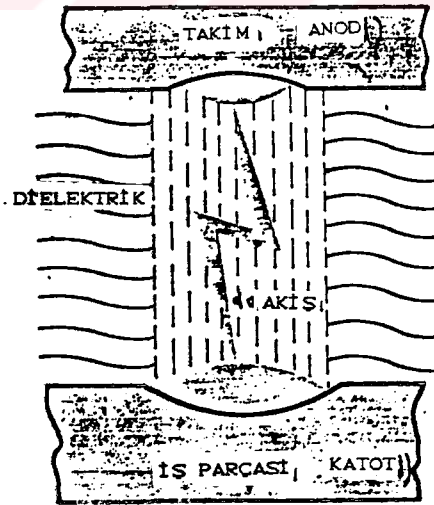
Elektro-Erozyon işleminde devrede dolaştırılan dielektrik sıvının ise temel 4 görevi vardır :

- 1- Takım (elektrot) ve iş parçası arasındaki izolasyonun sağlanması,
- 2- Kıvılcımların yüzeye iletilmesi,
- 3- Soğutuculuk,
- 4- Çapak ve talaşların yüzeylerden uzaklaştırılması.

Deneylerle gösterilmiştir ki 90/10 oranında gliserin ve su artı tri- etilen yağ türü uçucu özellikteki karışımlar dielektrik sıvı olarak kullanıldığında, yaygın kullanılan gazyağına göre malzeme kaldırma oranı artmakta, bunun tersine ise takım aşınması azalmaktadır./2/.

1.1.2. Elektro-Erozyon ile İşlemenin Tanımı ve Endüstriyel Önemi

Elektriksel Boşalma ile İşleme



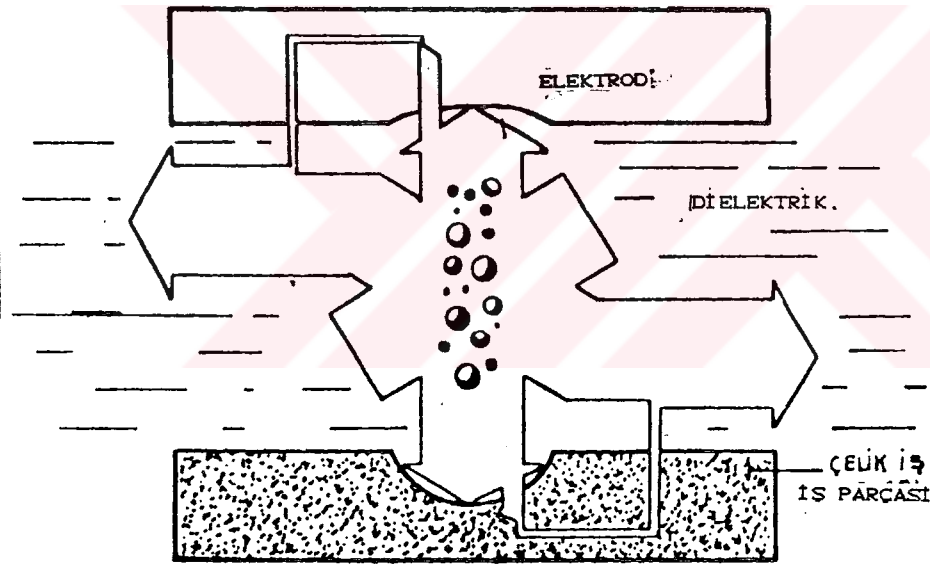
Şekil 3.

Günümüz teknolojisinde genel olarak EDM (Elektrical DISCHARGE MACHINING) diye bilinen giderek yaygınlaşmaktadır. Elektriksel boşalma ile işleme. Takım ile iş parçası arasında kısa süreli ve yüksek akım yoğunluğunda bir elektriksel boşaltım oluşturulmasını ve bu süratle talaş kaldırma işleminin oluşturulması prosesine tanımlanabilir. Elektrik kıvılcımdan yararlanmak suretiyle talaş kaldırılması prensibi uzun zamandan beri bilinmektedir. 1889 yılında Paschen adlı bir araştırma çeşitli malzemelerin ark oluşum kabiliyetini belirleyen ve bu süratte önemli Fenemone açıklık getiren bir formülü ortaya koydu. EDM prosesi özellikler sert ve ısıl işlem görmüş malzemelerin işlenebilmesine olanak sağlaması ayrıca ulaşılan yüksek düzeydeki hassasiyet değerleri ile bir bitirme işlemine genellikle gereksinim göstermeyişi bu yöntemin üstünlüklerindendir. Elektriksel boşalma ile işleme özellikle çok yüksek sertlikteki elektriksel iletkenlik özelliğine sahip yeni uzay çağı alaşımlarının işlenmesinde değerini ispatlamıştır. Bu metaller konvansiyonel imalat yöntemleriyle çok zor işlenebilirler. Fakat buna mukabil EDM ile son derece basit bir şekilde ve büyük kolaylıkla konvansiyonel imalat yöntemlerinde gerçekleştirilmesi hemen hemen imkansız olan son derece girift parça ve mamullerin üretilmeleri sağlanır. Bu işleme yöntemi metal kesme endüstrisinde gün geçtikçe daha çok yer almaktadır. EDM ile işleme bu yönleriyle kalıp üretimi ve havacılık endüstrisinde kullanılmakta olup uygulama alanlarını giderek genişletmektedir. Yöntemin eksiklikleri ise talaş kaldırma hızının düşük olup ve donatımı oldukça pahalıdır./4/.

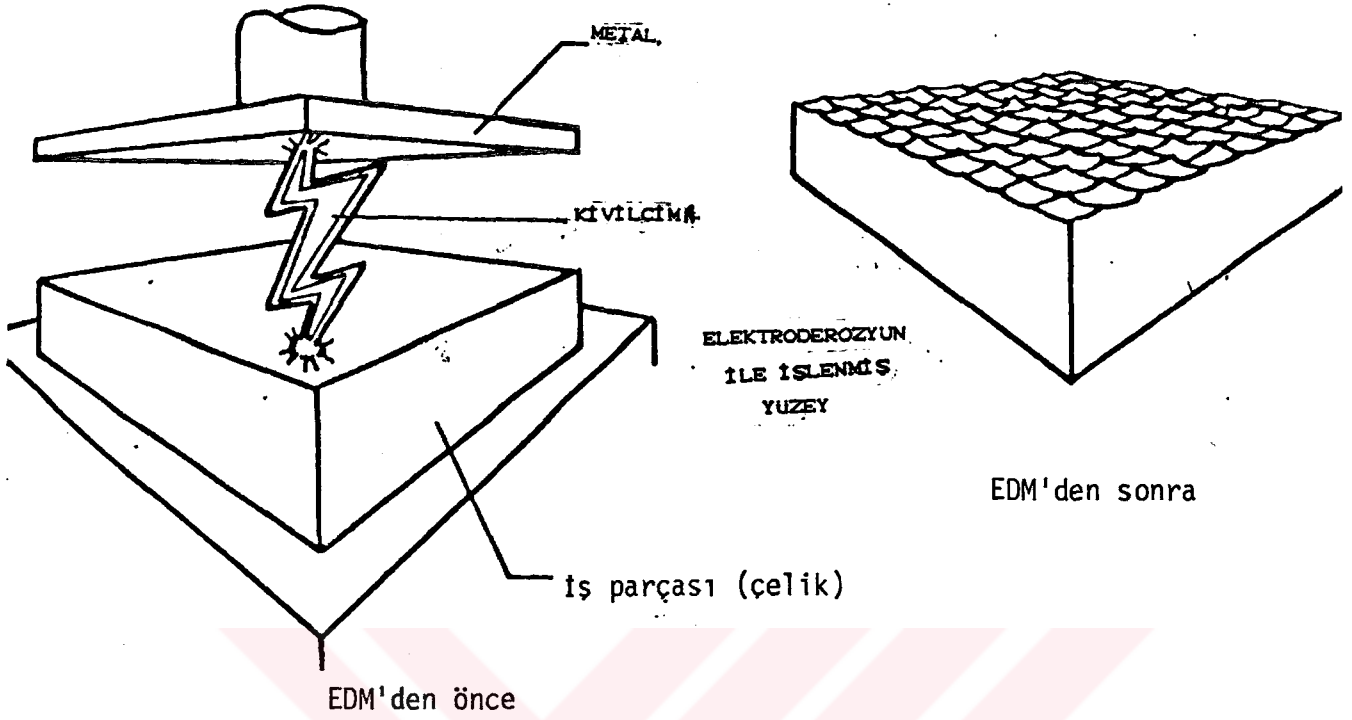
1.1.3. Elektro-Erozyon ile İşlemenin Esası

EDM genellikle (-) kutba bağlanmış elektrodla anot (+) kutba bağlanmış iş parçası arasında oluşturulan elektriksel kıvılcım atlamaları (boşalım)'dan yararlanılarak iş parçası yüzeyinde talaş kaldırma işlemidir. EDM ile işleme elektrik akımı ileten bütün malzemelere (metallere) uygulanabilir. Elektrod ile iş parçası arasında 0,0125 ile 0,5 mm'lik bir ark aralığı mevcuttur. Çalışma esnasında elektrod bombardımandan dolayı oldukça yüksek bir ısı açığa çıkar. Bu nedenle elektrod ile iş parçasının soğutulmasına gerek vardır. Ayrıca açığa çıkan talaşların da ortamdan uzaklaştırılması, kararlı bir arkın teşekkül etmesi sağlanmalıdır.

Elektroerozyonunda bir ısıl-elektrik işleme söz konusudur. Diğer bir adıyla kıvılcımla aşındırma kullanılan iki metal arasında kıvılcımların birbiri ardına oluşması ve ısı mambası oluşturarak metallerden ufak parçaları buharlaştırmasıdır. Metallerin buharlaşması ile yüzeylerde ufak oyuklar, kraterler oluşur. Bu kıvılcımlar gözlenen bir anda yalnız bir tanedir. Yani aynı anda iki kıvılcım oluşmaz, kıvılcımlar teker teker oluşur. (Şekil 4). Bu kıvılcımlar sürekli tekrarlanırsa sonuç olarak metal yüzeyinde birbiri ardına sıralanmış oyuklar oluşur. Oluşan oyuklar çok küçük, kıvılcımların boyu çok kısadır. Kıvılcım oluşumu sırasında metallerin arası milimetrenin yüzde veya onda biri kadardır. Oyukların da derinliği milimetrenin bindebiri veya ondabiri mertebesindedir. Buraya kadar hep oluşan kıvılcımlardan bahsettik, şimdi de kıvılcımların oluşum şeklini ve gerekli şartları inceleyelim. /3/.



Şekil 4.

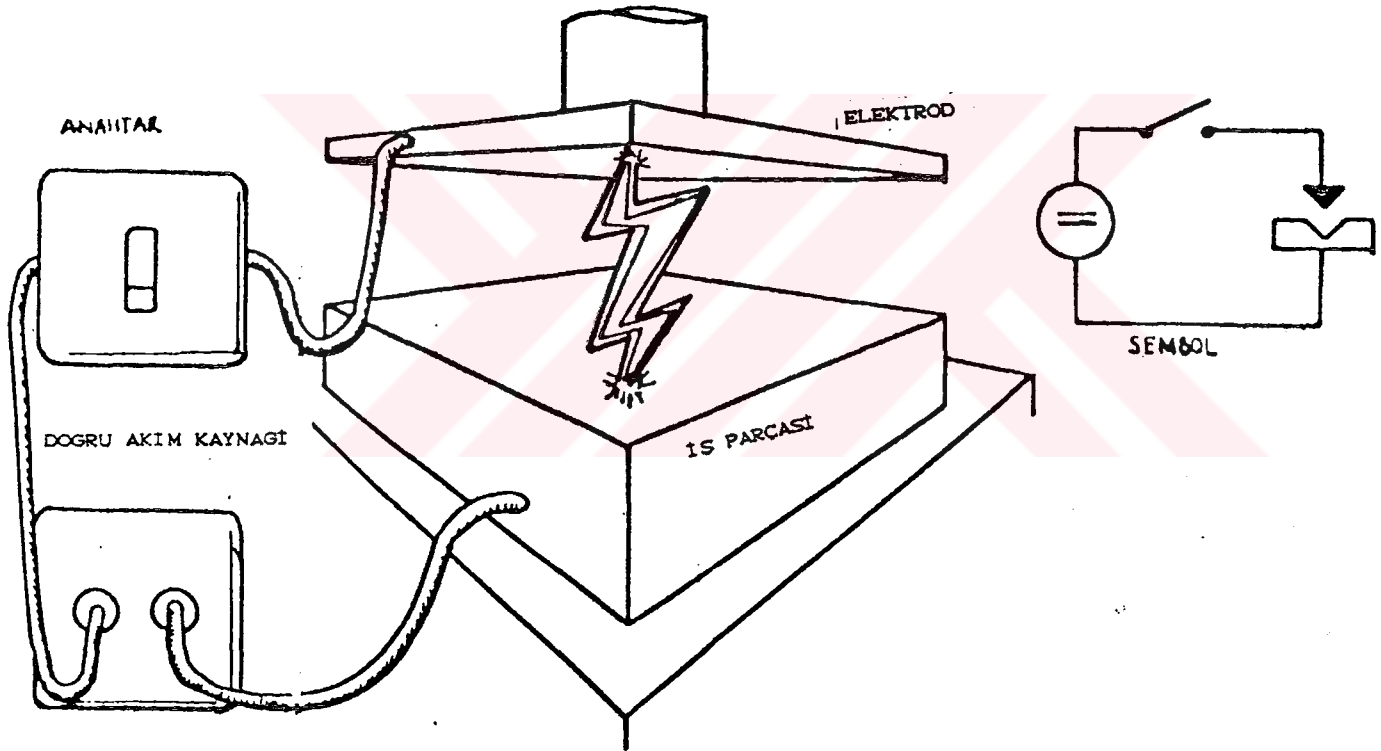


Şekil 6.

1.1.4. Elektroerozyon Makinasının Prensibi ve Kıvılcım Oluşumu

Şekil 5'de görüldüğü gibi sistem doğru akım kaynağı ve anahtardan oluşmuştur. Kıvılcım oluşması için metaller arası uzaklığın belli bir değerde olması gerekmektedir. (Yani metaller birbirlerinden kıvılcım boyu kadar mesafede olmalıdır). Şekilde de görüldüğü gibi kablolardan biri direkt olarak metal parçalardan birine diğeri de önce anahtara daha sonra da diğeri metal parçaya bağlanmaktadır. Anahtarı kapadığımız zaman metal parçalardan birinden, diğeri doğru bir kıvılcım (Yıldırım) etkileyecek ve bu durum anahtarı yeniden açana kadar etkisini sürdürecektir. Daha evvel anlattığımız gibi kıvılcım her iki parçadan ufak parçalar buharlaştırarak krateri oluşturacaktır. Bu işlem için metaller arası belli bir uzaklığın olması şarttır. Eğer metal parçalar birbirine değerse akım kablolardan geçtiği gibi metal parçalar üzerinden geçip gidecektir. Metaller arasında oluşacak aralıkta, hava olsun istenmez. Genellikle parçalar akım geçirmeyen sıvılar içine daldırılırlar. Bu sıvıları da biz DİELEKTRİK diye adlandırıyoruz. (Bk.IV.Dielektrik sıvılar). Genellikle organik bileşik dielektrikler kullanılır. Bu dielektrikler kıvılcımlardan dolayı ateş almamakta çünkü ortamda yanmanın oluşması için

gerekli oksijen bulunmamaktadır (Şekil 6) Erozyon öncesi ve sonrası metal parçaların durumu görülmektedir. Biraz evvel bir kraterin oluşumunu anlattık ama şekilde birçok krater (oyuklar) görmekteyiz. Bütün bu kraterlerin oluşması için anahtarın hızlı ve devamlı bir şekilde açılıp kapanması yeterlidir. Yani her anahtar kapanmasında bir krater oluşacak, anahtar açıldığı zaman bu oluşum duracak, anahtar yeniden açıldığı zaman yeni kraterin oluşumuna başlanacaktır. Böylece bir anahtarın sürekli açılıp kapanması ile metallerin yüzeylerinde kraterler oluşacaktır. Kullanılan anahtarın bu görevleri yerine getirmesi için otomatik çalışması gerekir. Biz bu anahtarı GENARATOR diye adlandırıyoruz.



Şekil 5. Elektroerozyon makinasının prensip şeması.

Kullanılan metal parçalardan biri ELEKTROT diğeri se İŞPARÇASIDIR. İşparçasının aşınmasını buna rağmen elektrotun az aşınmasına hatta hiç aşınmamasını isteriz. Örneğin malzeme, akım değeri ve diğer çalışma parametrelerini uygun seçersek çelik işparçası üzerinde bakır elektrotu nazaran daha çok aşındırma yaparız. Çelik işparçasından 30 mm kalınlığında metal aşındırırken, bakır elektrottaki harcını 0.3 mm civarındadır.

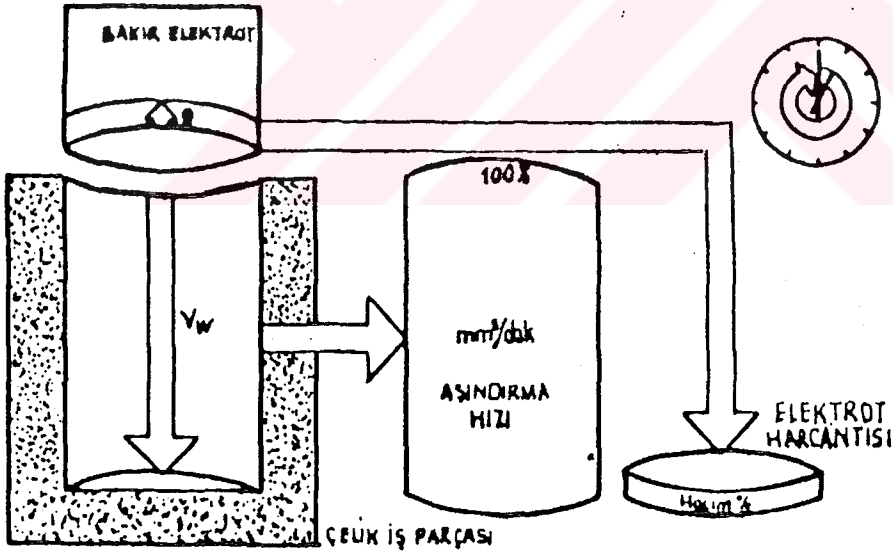
Şekil 7'de basit olarak elektroerozyonda işlenmiş bir parça görülmektedir. Elektroerozyon yardımıyla bakır elektrotun şekli ters (oyuk) olarak çelik işparçasına aktarılmıştır. Hemen aklımıza elde edilen bu oyuğun neden diğer talaşlı üretim yöntemleriyle elde edilmediğidir.

Elektroerozyonun bir üretim yöntemi olarak tercih edilmesi işparçası malzemesi, elde edilmek istenen biçim-istenen hassasiyet ve kaldırılmak istenen malzeme miktarı gibi birçok faktöre bağlıdır. Aşağıda sıralanan koşullarda elektroerozyon talaşlı üretim yöntemlerine göre daha iyidir:

İŞPARÇASI MALZEMESİ : Yüksek sertlik, su verilmiş çelik, yüksek çekme dayanımı, düşük talaşlı işlenme kabiliyeti

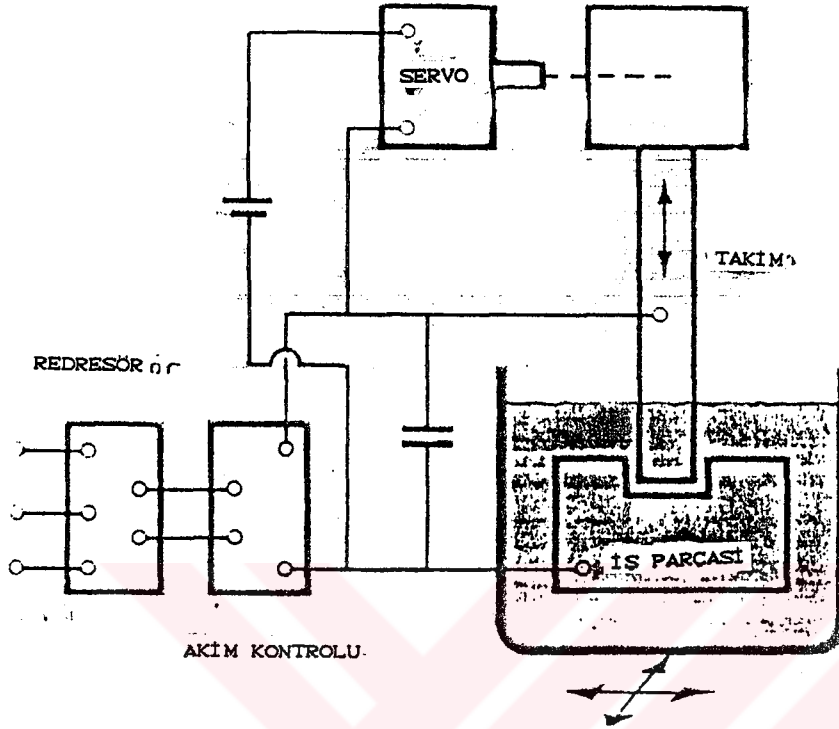
İŞPARÇASI BİÇİMİ : Karmaşık biçim, kırılması kolay biçim, deliklerde "derinlik/çap" oranının büyük olması, dar ve karmaşık kanallar vs.

ÜRETİMLE İLGİLİ FAKTÖRLER : Kalip ve zımbanın tam uyumunun istenmesi, çapak oluşumunun istenmemesi. /3/.



Şekil 7

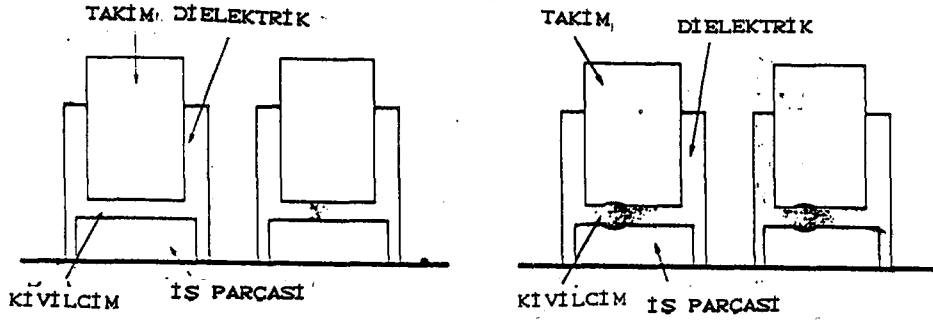
EDM'nin Prensipleri :



Şekil 8. EDM sisteminin ana elemanları.

Elektriksel boşalma ile işleme iş parçasını kesmek için (aşındırmak için) bir elektrik kıvılcımının kullandığı ve iş parçasının kesme takımı ve elektrodun pozitif (+) biçimini aldığı kontrollü bir talaş kaldırma yöntemidir. Kesme takımı (Elektrod) elektriksel bakımdan iletken malzemelerden genellikle de karbondan yapılır. İstenen biçimde bir çukur açan elektrod ve iş parçası genellikle yağlama işlemlerinde kullanılan yağlardan ibaret olan dielektrik sıvı içersine daldırılırlar. Bu dielektrik sıvılar elektriği ya hiç ya da çok az iletmelidirler. Bir servo kontrol mekanizması yardımı ile elektrod ve iş parçası arasında sürekli olarak 0,02 mm'lik bir mesafe bulundurmak suretiyle bunların birbirleriyle temas etmelerinin önlenmesi sağlanır. Düşük voltaj ve yüksek amperaj değerleri taşıyan doğru akım elektroda yaklaşık olarak 20.000 HZ'lik bir frekans ile tevzi edilmektedir. Bu elektriksel enerji impulsları elektrod ve iş parçası arasında dielektrik sıvıdan geçerek atlamalar yapan kıvılcımların oluşmasını sağlarlar. Sınırlandırılmış bir bölge üzerinde kıvılcım etkisi ile yoğun bir ısı oluşumu gerçekleşir ve bunun sonucunda da meta-

lin ergimesini takiben küçük bir parça ergiyik metal iş parçası yüzeyinden kopar. Dielektrik sıvı sürekli olarak sirkülasyon içerisinde hareket ederken aşındırılan metal parçacıklarını da uzaklaştırır ve kıvılcımın oluşturduğu ısının yayılarak etkisini yitirmesini sağlar.



Şekil 9. Bir kıvılcım boşalımının kademeleri.

1.1.5. Talaş Kaldırma Oranları

EDM yönteminde metal kaldırma oranları (talaş kaldırma oranları) diğer geleneksel işleme yöntemlerine göre nispeten daha yavaştır. Talaş kaldırma oranları şu aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- a) Her boşalmadaki akım miktarı
- b) Boşalmanın frekansı
- c) Elektrod malzemesi
- d) İş parçası malzemesi
- e) Dielektrik sıvısının temizleme koşulları

Normal talaş kaldırma oranı her saat başına ve her 20 A'lık işleme akımı için yaklaşık olarak 16.38 cm^3 iş parçası malzemesi şeklindedir. Ancak, kaba talaş işleme oranlarında ve özel güç kaynağı ünitelerinin kullanıldığı durumlarda $245.8 \text{ cm}^3/\text{h}$ değerine ulaşabilmektedir.

1.1.6. Elektrod (Takım) Aşınması

Boşalma prosesi esnasında, elektrod da (Takım) iş parçası gibi aşınma veya erozyon etkisine maruz kalır. Sonuç olarak, takım işleme sırasında şeklini tecriden kaybeder ve bu yüzden dedar toleranslar içinde çalışılması zorlaşır. Bazı durumlarda bir boşluğun istenen biçim ve tolerans-

larda oluşturulabilmesi için kullanılan elektrod sayısı beşi bulabilir. Boyuna delik delme operasyonlarında kaba işleme ve yüzey bitirme işlemlerinin tek pasoda yapılmasını sağlamak amacı ile kademeli (basamaklı) elektrodlar kullanılır.

Takım üzerinde oluşan aşınma iş parçasının aşınması ile karşılaştırıldığında oldukça düşük oranlarda kalmaktadır. İş parçası ile elektrodun metalik takımlardaki birbirlerine göre ortalama aşınma değerleri karşılaştırıldığında, bunun 3/1 gibi bir oran oluşturduğu görülür. (Takım malzemesi olarak bakır, pirinç, çinko alaşımları gibi çeşitli metaller kullanılabilir). Grafit elektrod kullanıldığı durumlarda ise bu aşınma oranı 10/1 gibi yüksek bir değere ulaşır.

Çoğu gelişme ve araştırmalar elektrodun aşınma oranını azaltmayı hedeflemektedir. Oldukça yeni bir yöntem olan ters kutuplama yardımı ile elektrodlardaki aşınmayı azaltıcı yönde önemli bir aşama sağlanmıştır. Bu yöntemde iş parçasından ergiyen metal aşınmakta olan elektrodun üzerine aynı hızla yığılmaktadır. (Bu yöntemde elektrod malzemesi olarak grafit kullanılmaktadır.) İşlem sırasında aşınan elektrod malzemesinin yeri sürekli olarak iş parçası tarafından doldurulmaktadır. Ters kutuplama ile işleme düşük boşalma frekansı ve yüksek amperaj değerlerinde en iyi sonuçları verir. Talaş kaldırma oranlarında büyük artış sağlar ve elektrod aşınmasını önemli miktarda azaltır.

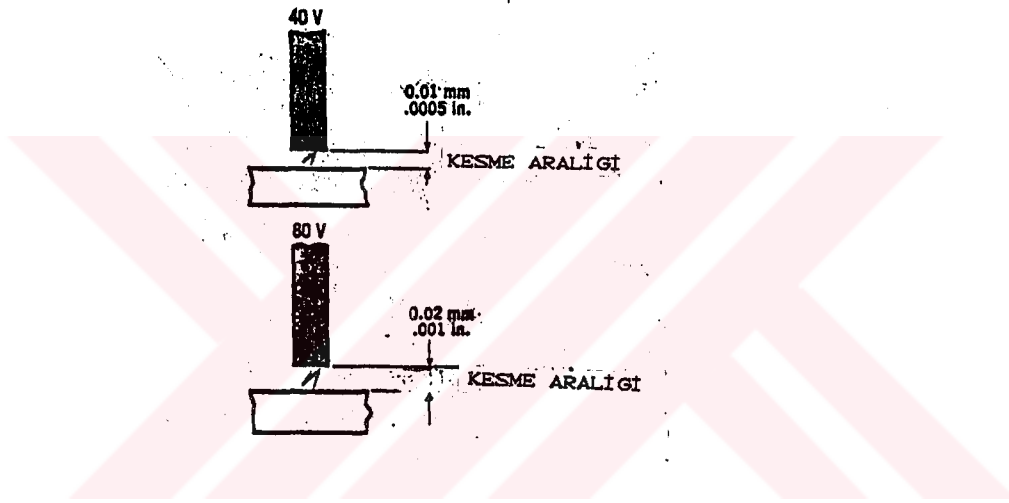
1.1.7. Kesme Aralığı

Kesme aralığı işleme prosesi sonucu oluşturulan boşluğun ölçülerinin kullanılan elektrodun ölçülerinden daha büyük olarak ortaya çıkması ile meydana gelir. İş parçasının yüzeyi ile elektrodun yüzeyi arasındaki mesafe, elektrodun bütün çevresinde sabit bir şekilde oluşan, boşalım kıvılcıklarının boylarına eşittir. İşte bu da kesme aralığıdır.

EDM işlemlerindeki kesme aralığı 0.005 mm ile 0.17 mm arasında değişmekte ve bu aralıkta oluşan voltaj miktarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 10'da da görülebileceği gibi kesme aralığı mesafesi aralıktaki vol-

tajın artması ile orantılı olarak artmaktadır. Bu yüzden kesme aralığı miktarı hassas bir şekilde kontrol edilebilir. Talaş kaldırma aralığı miktarı talaş kaldırma oranına ve kaldırılan talaşın biçimine ve boyutlarına göre oluşan son yüzeyinin hassasiyetine bağlıdır.

Çoğu EDM makinası üreticisi çeşitli akım değerleri için gerekli kesme aralığı değerlerini gösteren tabloları da üretim sonrası hizmeti olarak hazırlamışlardır. Bunların yardımı ile istenen elektrod boyutları 0.002 mm'lik bir aralıkta yapılacak işlemi gerçekleştirebilecek kadar hassas olarak seçilebilir.



Şekil 10. EDM'de farklı voltaj değerlerinde kesme aralığı değişimini gösteren bir örnek.

Kaldırılan talaş boyutları kesme aralığının belirlenmesinde önemli bir faktör oluşturur. Bunun sebepleri şöylece sıralanabilir:

- Elektrod ve iş parçası arasındaki boşlukta bulunan talaş parçacıkları elektriksel boşalma için iletken vazifesi görürler.
- Yüksek amperaj değerlerinde oluşan daha büyük talaş parçacıklarının etkili bir şekilde uzaklaştırılmalarının gerçekleştirilebilmesi için daha geniş bir aralığa ihtiyaç vardır.

Bütün bu nedenlerden dolayı kesme aralığı kullanılan amperaja bağlı olarak değişen işlem aralığındaki voltaja ve talaş boyutlarına göre ortaya çıkar.

1.1.8. Yüzey Perdahlama (Finish)

Son yıllarda son işlem olarak geliştirilen yüzey perdahlamada önemli başarılar gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Düşük talaş kaldırma oranları için 0.05 - 0.10 mikrometreye kadar yüzey hassasiyeti değerleri elde edilmiştir. Yüksek talaş kaldırma oranlarında ise ($245.8 \text{ cm}^3/\text{h}$ gibi) bu değer 25 mikrometre civarında gerçekleştirilebilmektedir.

İstenen perdahlama işleminin yapılabilmesi için gerekli kapasite, frekans ve voltaj değerleri kullanılabilen amper sayıları ile sınırlıdır.

Hızlı talaş kaldırma işlemi için (kaba yüzey oluşturma) yüksek amperaj, düşük frekans, yüksek kapasite ve minimum aralık voltajı gereklidir.

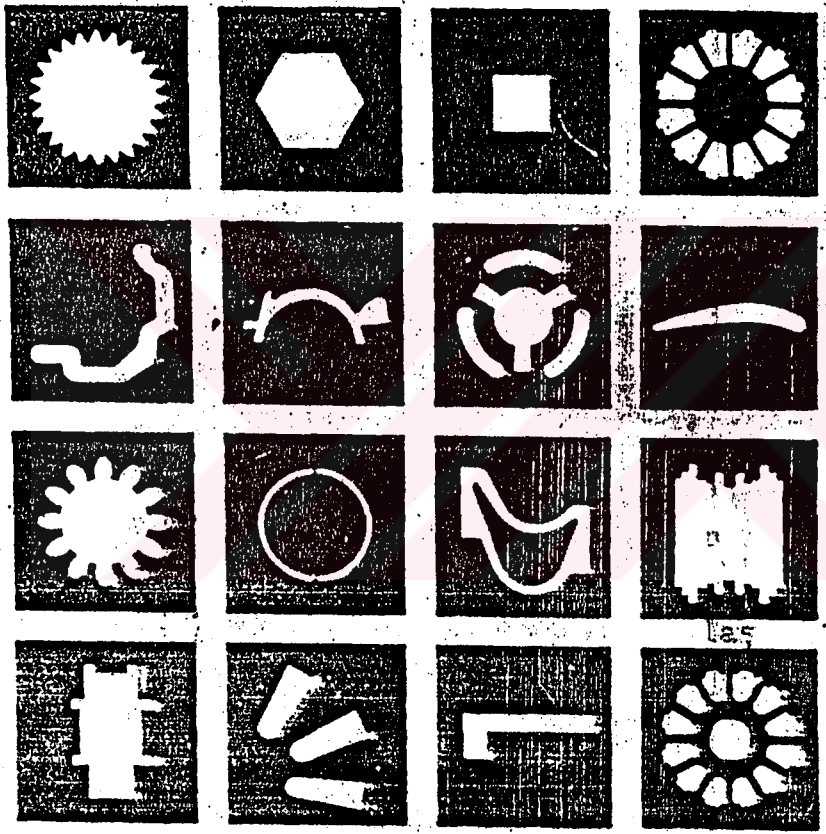
Yavaş talaş kaldırma işlemi içinse (bitirme yüzeyi oluşturma-perdahlama) iyi kalitede bir son yüzey elde edebilmek için düşük amperaj, yüksek frekans, düşük kapasite ve yüksek aralık voltajı gereklidir.

1.1.9. EDM Prosesinin Avantajları

Elektriksel boşalma ile işleme diğer konvansiyonel (geleneksel) işleme yöntemlerine göre pek çok avantaja sahiptir.

- a) Her türlü malzeme, elektriksel iletkenliğe sahip olduğu takdirde sertliğe bakılmaksızın kesilebilir. Bu yüzden de sementid-karbidlerin ve işlenmeleri gerçekten çok zor olan yeni uzay çağı alaşımlarının rahatlıkla şekillendirilebilmelerini sağlaması bakımından çok kıymetlidir.
- b) İş parçası sertleştirilmiş durumdayken işlenebilir ve bu suretle de sertleştirme işleminden doğabilecek çeşitli deformasyonların önüne geçilmiş olur.
- c) Kırık pim ve matkap uçları bu yöntemle hiçbir probleme sebep olunmadan kolaylıkla uzaklaştırılabilir.
- d) Takımın (elektrodun) iş parçasına hiç bir şekilde temas etmemesi sebebiyle iş parçası malzemesi bünyesinde istenmeyen gerilmeler oluşmaz.
- e) İşlemde herhangi bir çapak oluşumu söz konusu değildir..
- f) İnce ve kolay kırılabilir kısımlar herhangi bir tahribata sebep olunmadan kolayca işlenebilir.

- g) Pek çok iş parçası için genelde ikinci bir perdahlama işlemi elimine edilebilir.
- h) İşlem otomatik olup, servo mekanizması talaş kaldırma esnasında elektrodu iş parçasının içine doğru besler.
- i) Pek çok EDM makinası bir kişi tarafından ve aynı anda işletilebilir.
- j) Geleneksel yöntemlerle imal edilmeleri çok güç karmaşık şekiller yekpare bir parçadan büyük bir kolaylıkla oluşturulabilirler (Şekil 11).



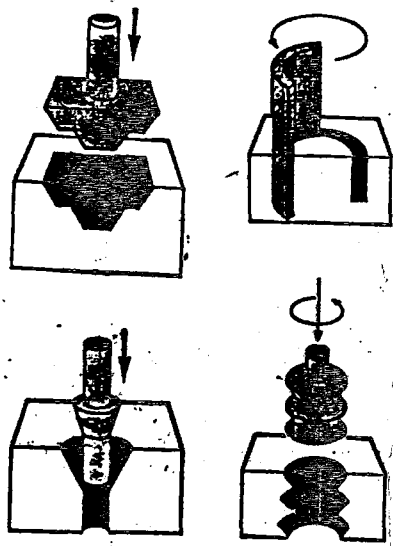
Şekil 11. EDM ile imal edilmiş çeşitli iş parçası örnekleri.

- k) Daha iyi erkek ve dişi kalıp imalatı oldukça düşük masraflarla gerçekleştirilebilir.
- l) Elektrod yerine kullanılan zımba kalıbı yardımı ile bunun dişi kalıbı da tam istenen hassasiyette imal edilebilir.

1.1.10. Sınırlamalar

Elektriksel boşalmayla işleme makinalarının günümüzde geniş bir kullanım alanı bulmuş olmalarına rağmen, bazı sınırlamaları da mevcuttur. Bunları şöyle sınıflayabiliriz:

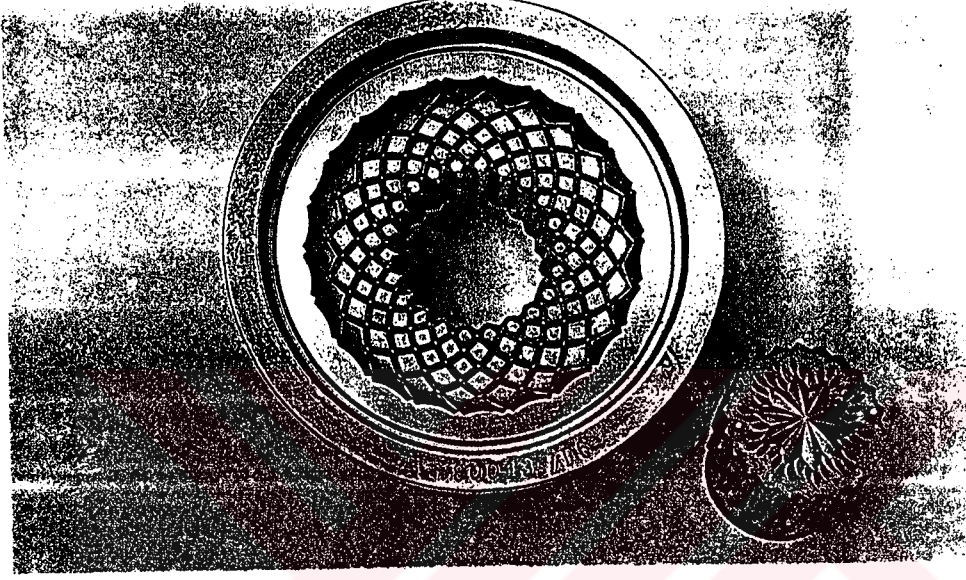
- Talaş kaldırma oranları düşüktür.
- İşlenecek olan malzemenin elektriksel iletkenliğe sahip olması zorunluluğu vardır.
- Oluşturulan boşlukların cidarlarında önemsiz de olsa bir koniklik meydana gelir. Fakat, bu oluşumun her 6.35 mm'de bir 0.002 mm'yi aşmaması kontrol edilebilir.
- Bazı EDM ekipmanı tiplerinde hızlı elektrod aşınması yüksek masraflara yol açabilir.
- Çap değerleri 0.07 mm'den küçük olan elektrodların kullanımı pratik değildir.
- İş parçası yüzeyinden itibaren 0.005 mm'lik bir kısım işlem sırasında hasar görür, fakat sonradan kolaylıkla temizlenip uzaklaştırılır.
- Önemsiz sayılabilecek bir sertleşme durumu ortaya çıkabilmektedir. Fakat, bu oluşum bazı durumlarda bir avantaj olarak da sınıflandırmaya dahil edilebilir. /4/.



Şekil 12- Farklı biçimlerdeki boşluklardaki takım hareketleri.

1.1.11. Ark Erozyonu (Elektro Erozyon) Yönteminin Teknolojik Esasları

Ark erozyonu sağladığı üstün avantajlardan dolayı gittikçe genişleyen bir kullanım alanına sahip modern bir talaş kaldırma yöntemidir. Bu yöntemle işlenen sayısız parça arasından bir örnek şekilde verilmiştir.



Şekil 13.

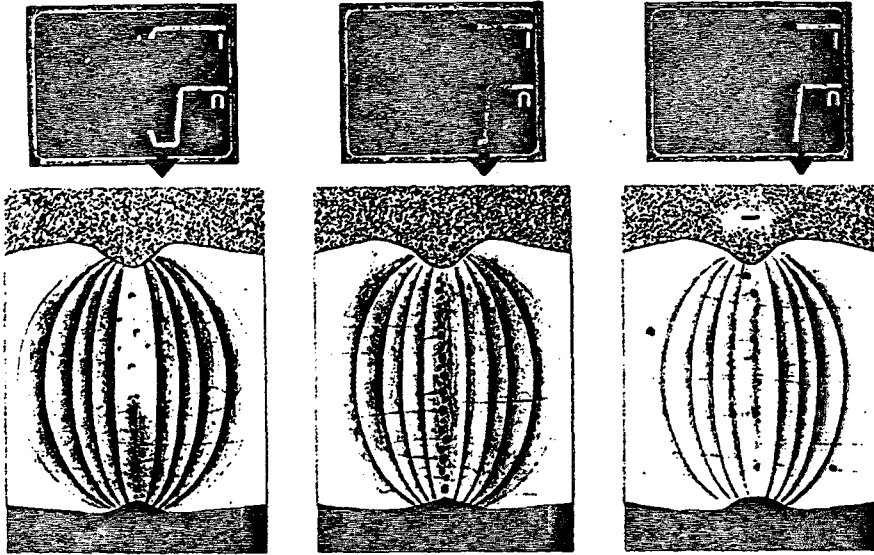
Şekildeki parça camdan yapılacak bir malzemenin kalıbıdır. Parçanın yanında ise kalıp içine açılan delik boyunca hareket eden ve parçanın kalıptan çıkmasını sağlayan çıkarıcı görülmektedir. Her iki parçada tek bir kademede işlenmiştir. Verilen örnekteki gibi işlenmesi güç olan parçalar bu yöntemle çabuk ve hassas bir şekilde işlenebilmektedir. Ancak bu yöntemle diğer yöntemlerin aksine malzemedan talaş kaldırılışını gözle takip etmek mümkün değildir. Bu yüzden yöntemin uygulanışı modeller diyagramlar yardımıyla resimlendirilmeye çalışılacaktır.

Ark erozyonu yönteminin esası basittir. İşlenecek parça ve takım birbirleriyle temas etmeyecek şekilde belirli bir açıklıkla işlenecek pozisyonda tutulur. Parça ve takım birbirlerinden bu aralığı dolduran izole bir sıvıyla ayrılırlar.

Bu sıvı nedeniyle talaş kaldırma işlemi bir kab içerisinde gerçekleşmektedir. Parça ve takım bir kabloyla doğru akım kaynağına doğru bağla-

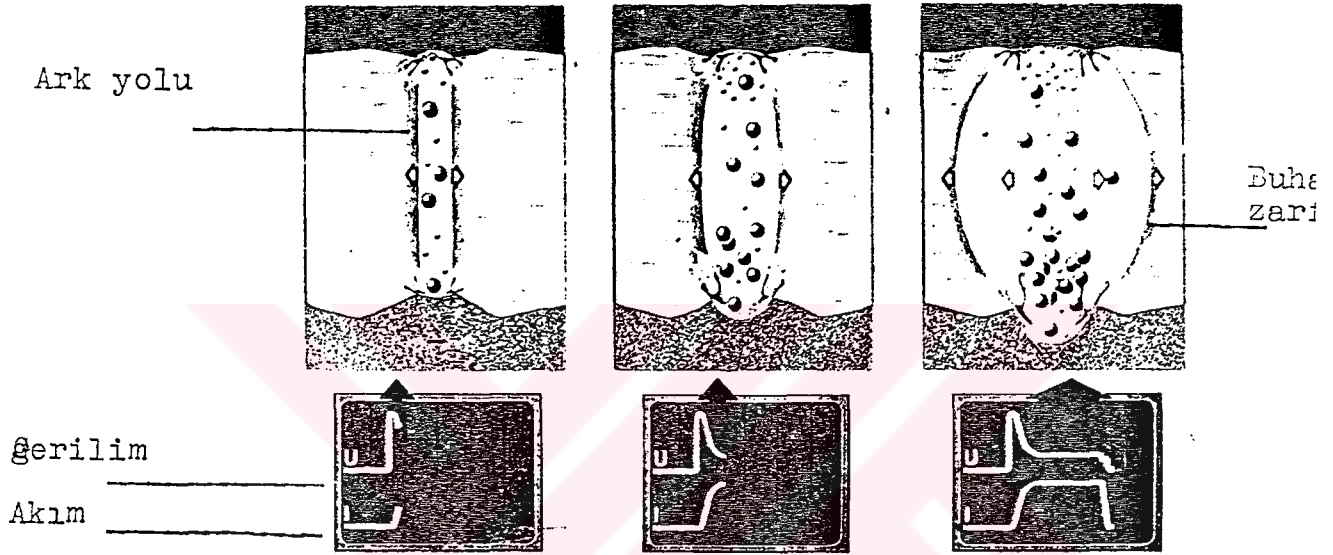
nırlar. Devrede bir anahtar (switch) vardır. Devre kapandığı zaman takım ve parça arasına bir gerilim uygulanır. Parça ile takım arasındaki sıvı nedeniyle akım devreyi tamamlayamaz. Ancak parça ile takım arasındaki aralık düşük tutulursa belirli bir çok küçük boyutu yakalayan bir ark bu aralığı geçmeyi başarır. Deşarj olarak da bilinen bu durumda akım ısıya dönüşür. Malzeme arkın olduğu bu noktada aşırı ısınır. Devreden akım geçişi kesintiye uğrayacak olursa arkın açmış olduğu yol göçer. Netice itibarıyla malzeme yüzeyindeki erimiş haldeki metal patlayarak (tıpkı bir volkan gibi) buharlaşır ve küçük bir krater oluşur. Ark oluşumları birbirini takip ederek gelişirse birbirini peşi sıra yeni krater oluşur ve parça yüzeyi bir aşınmaya uğrar.

Şekil 14'de elektrodla iş parçası arasında uygulanan voltaj ve deşarj akımı, tek tek aşamaları gösterilen bir zaman sıralamasına göre yapılır. Soldan başlayarak voltaj, elektrodlar arasındaki boşluk boyunca bir elektrik alanı oluşturur. Bu alanın gücünün ve yüzeyin geometrik özelliklerinin sonucu olarak, sıvı içinde biriken iletken parçacıklar alanın en güçlü olacağı noktaya kadar yoğunlaşır. Bunun sonucunda resimde görüldüğü gibi bir köprü oluşur. Aynı zamanda negatif akım verilen elektrodun pozitif akım yüklü parçacıklar yayılır. Bunlar elektrodlar arasındaki nötr parçacıklara çarpıp bölünürler. Böylece negatif ve pozitif yüklü parçacıklar oluşur. Bu süreç bir patlama hızı ile yayılır ve darbeli iyonizasyon diye bilinir. Bu gelişme iletken parçacıkların oluşturduğu köprülerle güçlendirilir. (Şekil 14)



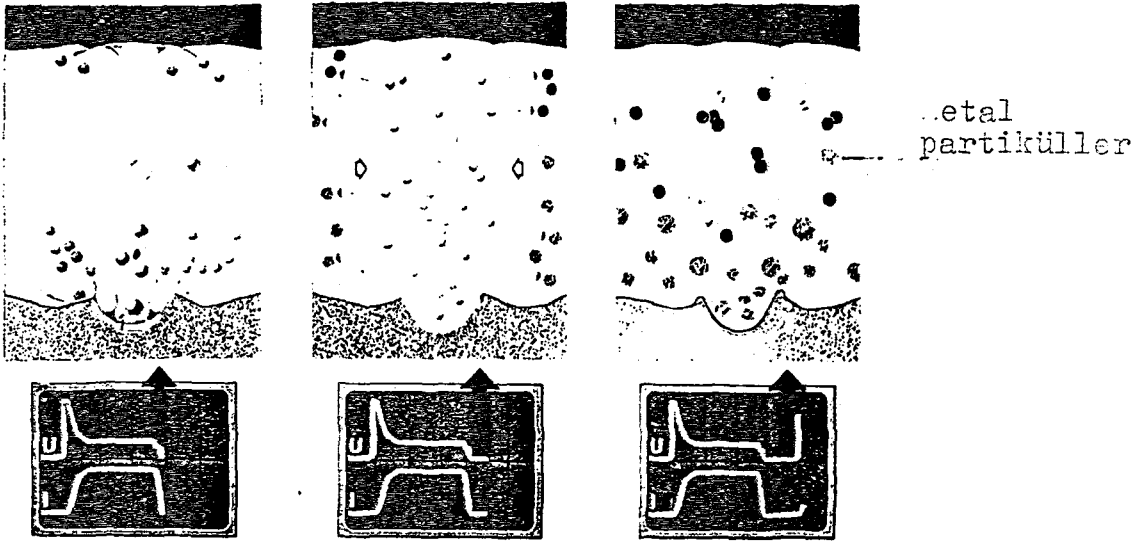
Şekil 14. Elektrodla iş parçası arasında uygulanan voltaj ve deşarj akımı.

Şekil 15'de gerçekte görülemeyen bir şeyi görüyoruz. Pozitif elektrik yüklü parçacıklar negatif elektroda, negatif parçacıklar ise pozitif doğru gidiyorlar. Bir elektrik akımı oluşuyor. Bu akım bir maksimuma ulaşır, ısı ve basınç daha çok artar. Resmin sağında görüldüğü gibi buhar kabarcıkları yayılır. Şekil 15.



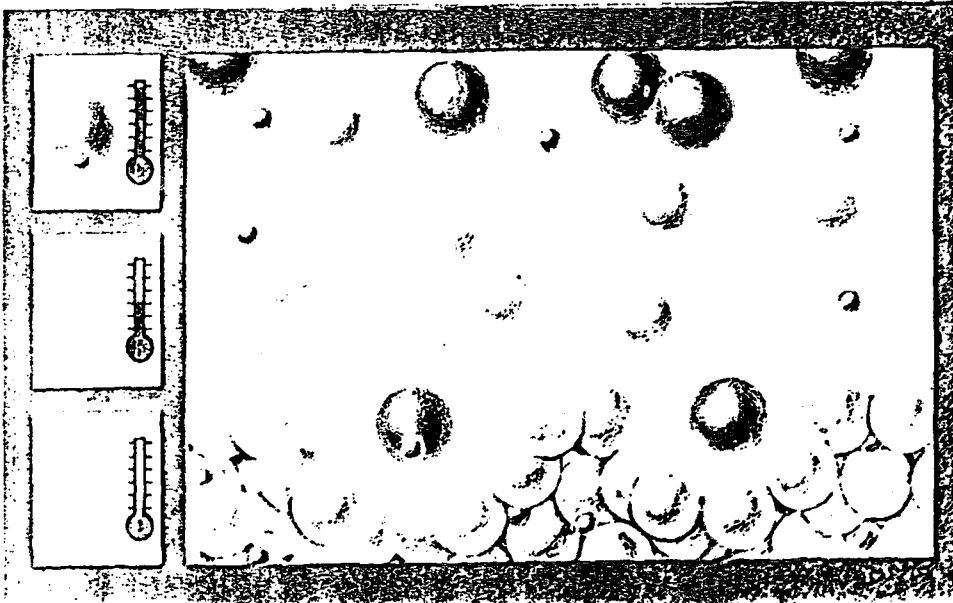
Şekil 15. Pozitif elektrik yüklü parçacıklar negatif elektroda negatif parçacıklar pozitive doğru giderler.

Şekil 16'da bu model, akımı düşürme yoluyla ısıнын nasıl azalttığını göstermektedir. Elektrik yüklü parçacıklar hızla azalır, basınç da deşarj kanalı ile birlikte azalır. Isınmış erimiş metal patlayarak buharlaşır, erimiş maddeyi de birlikte götürür. Buhar kabarcıkları da söner, işleyen sıvıdan geriye metal parçacıkları ve kırılma ürünleri kalır. Bunlar da asıl olarak grafit ve gazdır. Şekil 16.



Şekil 16. Akım düşürme yoluyla ısı nasıl azaltıldığını gösteriyor.

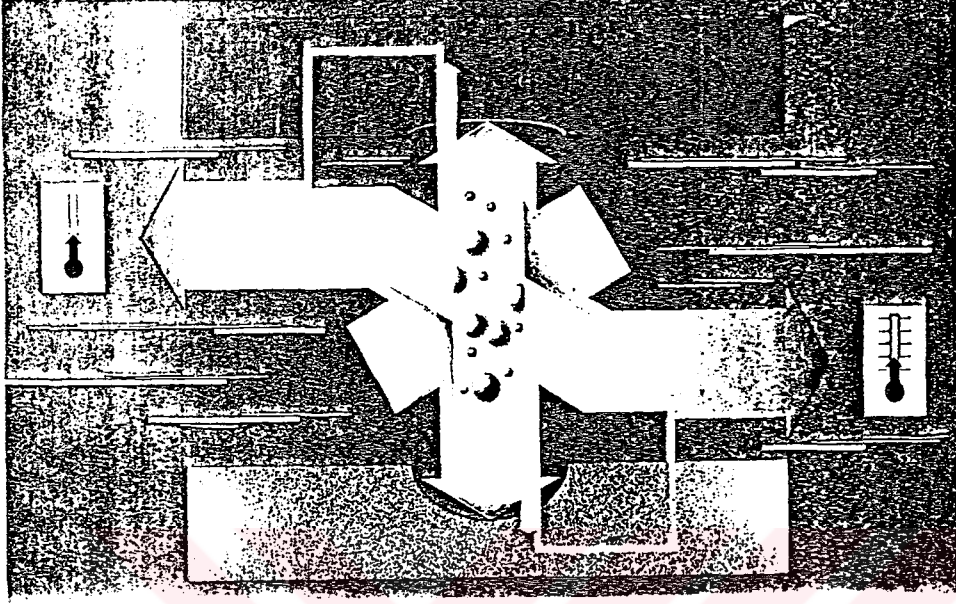
Şekil 17'de bu model aracılığı ile akım ve ısı arasındaki ilişkiyi göstermeye çalışacağız. Aşağıdaki büyütülmüş detaylarda negatif elektrod yüzeyini ve üstünde de deşarj kanalının bir parçasını görüyoruz. Pozitif yüklü parçacıklar metalin yüzeyine vurur. Bu parçalar kırmızı olarak gösterilmiştir. Bunlar metal parçacıklarda güçlü vibrasyonlar yaratır. Buna tekabül eden ısı yükselmeleri görülür. Yeterli bir hıza ulaşıldığında burada gri ve sarı olarak gösterilen metal parçacıkları ufalanabilir. Kırmızı renkli pozitif yüklü parçacıklar ile mavi renkli negatif yüklü parçacıkların kombinasyonu, bu vibrasyonu artırır ve şu anda elektrik yüklü olmayan parçacıkların ısını yükseltir. Şekil 17.



Şekil 17.

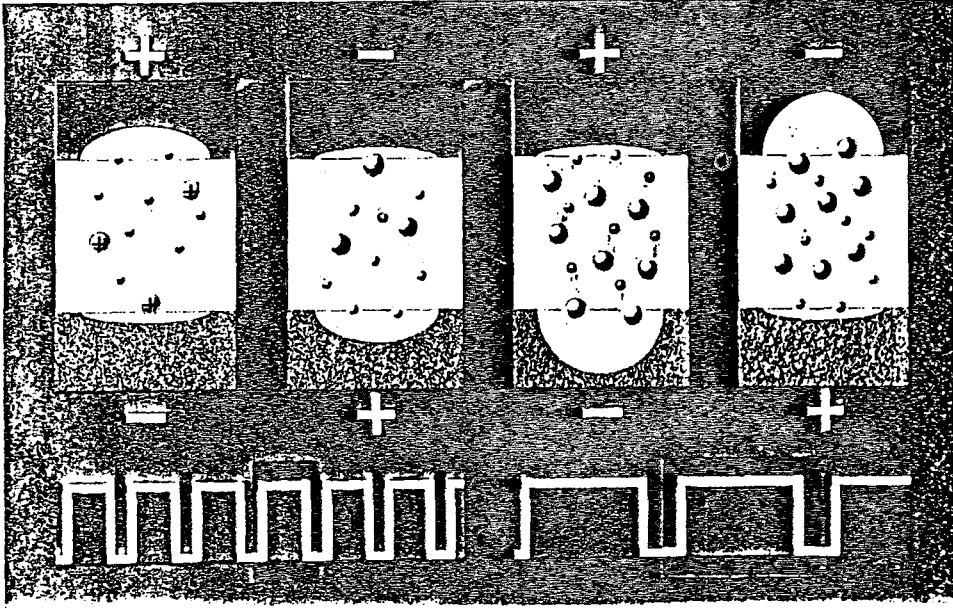
Şekil 17. Bu model aracılığı ile akım ve ısı arasındaki ilişkiyi göstermesi

Elektrik enerjisinin deşarj sırasında ısıya dönüştüğünü biliyoruz. Bu deşarj kanalını oluşturur. Deşarj kraterlerinin oluşmasına yol açar ve dielektrik ısını yükseltir. Şekil 18.



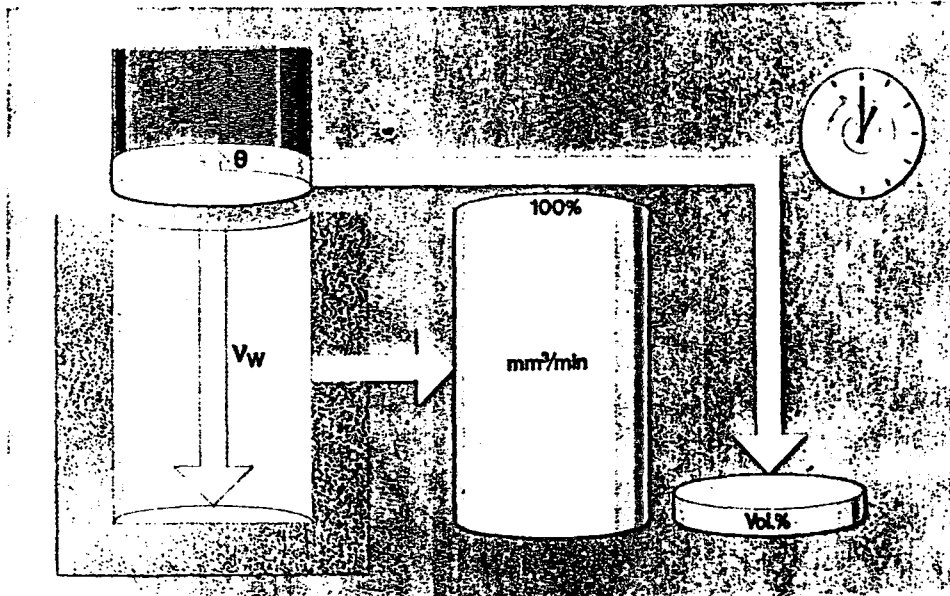
Şekil 18. Elektrik enerjisinin deşarj sırasında ısıya dönüşmesi.

Şimdi polarite sorusunu inceleyelim. Sırasıyla mavi ve kırmızı renklerde görülen negatif ve pozitif yüklü parçacıkların değişimi, deşarj kanalında akım oluşmasına neden olur. Böylece parçacıklar metalin erimesine yol açan ısıyı çıkarır. Çok kısa çarpma süresi ile pozitiften daha çok negatif parçacık harekete geçirilir. Bir türden çok sayıda parçacık hedef elektrodta doğru ilerler. Bunun üzerinde daha çok ısı oluşur. Ayrıca daha büyük olmaları nedeni ile pozitif yüklü parçacıklar aynı vuruş hızında daha çok ısı üretirler. Araç elektrod üzerinden malzeme kaldırmayı veya yıpranmayı minimize etmek amacıyla polarite öyle bir biçimde seçilir ki deşarj sona ererken iş parçası üzerinde mümkün olduğu kadar çok ısı meydana gelir. Kısa vuruşlarla araç elektrod bu yüzden negatif kutba bağlanır. Polaritesi bu yüzden negatiftir. Uzun vuruşlarla, pozitif kutba bağlanır. ve polaritesi pozitif olur. Polariteyi değiştiren vuruş süresi esas olarak araç ve elektrod malzemelerine bağlı olan çok sayıda faktör tarafından belirlenir. Çeliğin bakırla kesilmesi sırasında vuruş süresi 5 mikro saniyedir. Şekil 19.



Şekil 19. Polarite sorusunun incelenmesi.

Bütün işleme metodlarında olduğu gibi ateşleme aşındırma zamanı ve doğruluk önemli faktörlerdir. Aşındırma zamanı iş parçası üzerinden kaldırılan malzemenin hacmi ve kaldırılma hızı tarafından belirlenir ve V_w ile gösterilir. Dakikada metreküp veya saate inç-küp olarak ölçülür. Araç elektrod üzerindeki aşınma işleme doğruluğunu etkiler. Küçük teta ve α v ile gösterilir. Bu sayı elektrodda aşınma ile meydana gelen kaybın hacmidir. İş parçasından kaldırılan malzeme hacminin yüzdesi olarak ifade edilir. Şekil 20.

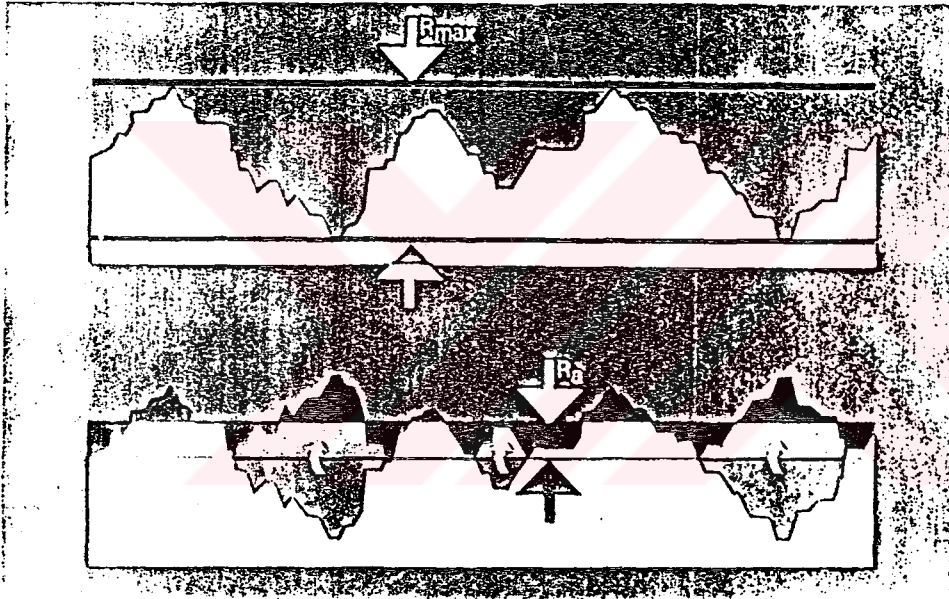


Şekil 20. Bütün işleme metodlarında olduğu gibi ateşleme aşındırma zamanı ve doğruluk faktörleri

Konvansiyonel işleme metodlarına benzer bir şekilde ateşleme aşındırması, tamamen düzgün bir yüzey değil biraz pürüzlü çıkıntılı bir yüzey meydana getirir, ölçme amacıyla, yüzey kalitesini belirlemeye yarayacak bir referans sistemi ve yüzey boyutları oluşturulmuştur. Sıkça kullanılan ölçü ve karakteristikler R_{max} ve R_a dir.

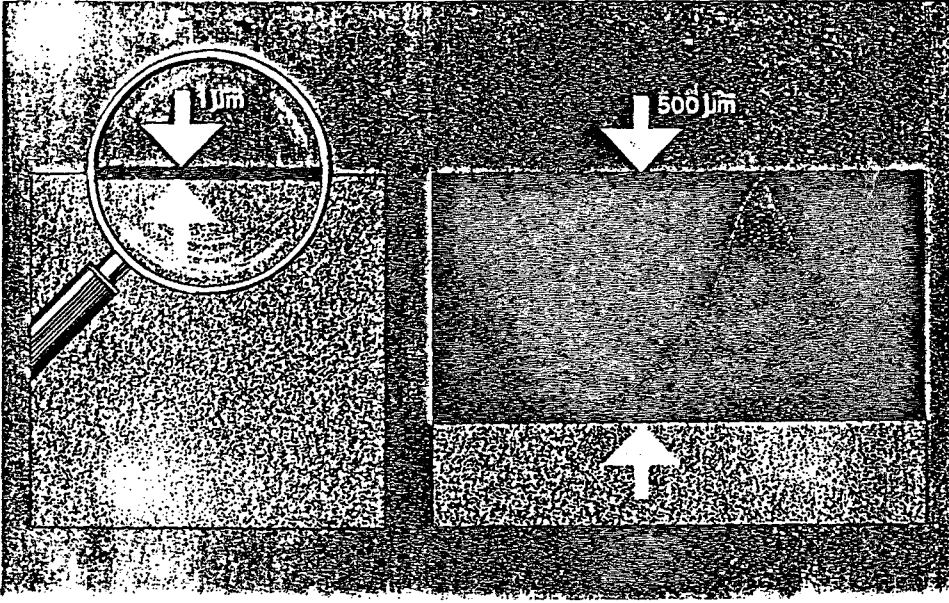
R_{max} en yüksek pürüz yüksekliğini ifade eder. Almanya ve Fransa'da bu değer ayrıca R_t olarak da bilinir. A.B.D.'de ise H_{max} olarak bilinir.

Mesela, bir parça kaplanacak veya cilalanacaksa R_{max} önemli bir özellik haline gelir, pürüzlülük aritmetik ortalaması İngiltere'de CLA ile gösterir. Bu değer işlenen parça bir şeye uymak durumunda ise önemlidir. A.B.D.'de AA ile İsviçre'de R_a ile gösterilir. Şekil 21.



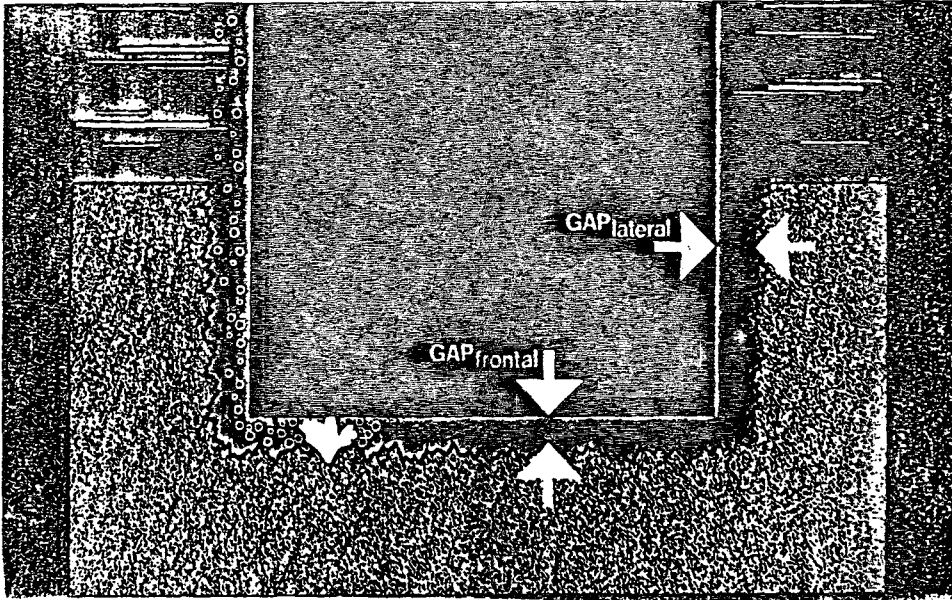
Şekil 21. Konvansiyonel işleme metodlarına benzer bir şekilde ateşleme aşındırması.

Kesme işleminde olduğu gibi kaba veya düzgün yüzeyler de aşındırma ile elde edilir. Aşağıdaki iki örnek aşındırılmış bir yüzeyin ne kadar çok çeşitte pürüz taşıyabileceğini göstermektedir (Şekil 22).



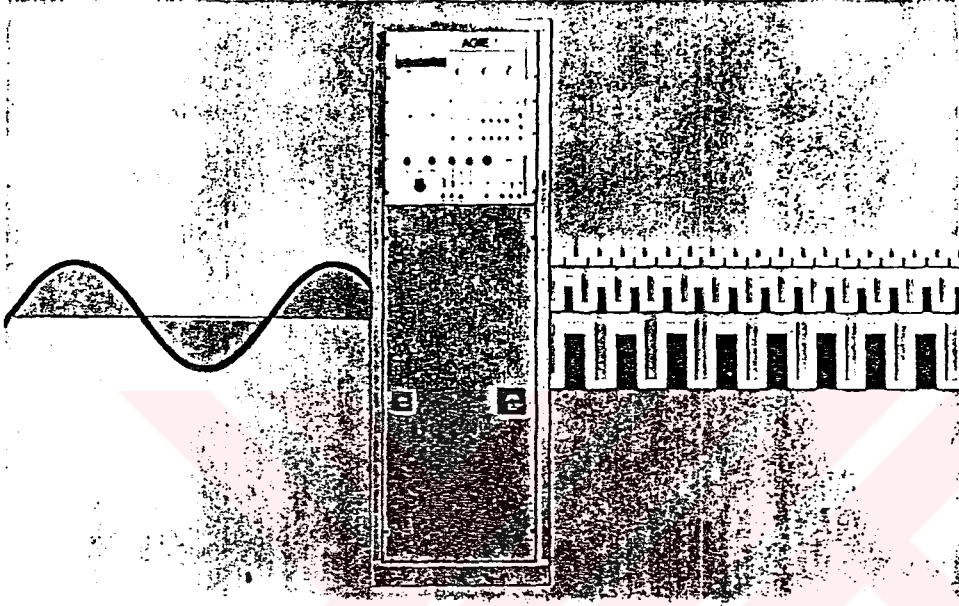
Şekil 22. Kesme işleminde kaba veya düzgün yüzeylerde aşındırma.

Ateşleme aralığı, iş parçasını araç elektroddan ayırır. Küçük bir kesme derinliğinde bile ön ve yan aralıklar arasında bir ayırım yapmak gerekir. Ön aralık kontrol sistemi tarafından belirlenir, yan aralık ise deşarj vuruşlarının süresi ve yüksekliğine, malzeme kombinasyonlarına yüklenmeyen (noload) voltaja ve önceden belirli başka değerlere bağlıdır (Şekil 23).



Şekil 23. Ateşleme aralığı. İş parçasının araç elektroddan ayrılması.

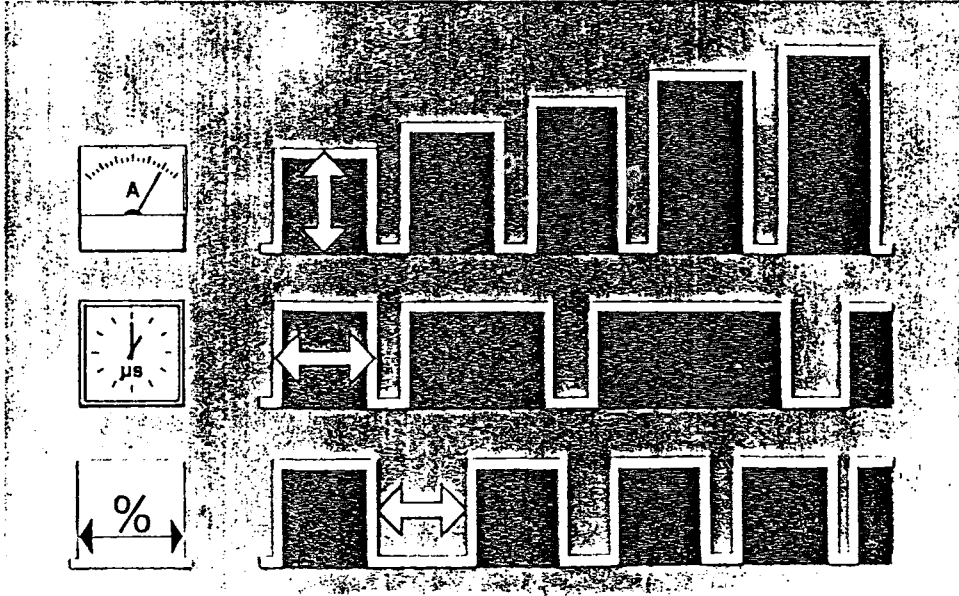
Güç kaynağı, ateşleme aşındırma sisteminin önemli bir parçasıdır. Şebeke akımını kaynaktan alır ve dikdörtgen voltaj çarpmaları sağlar. Bu zamana karşı voltaj değerlerini gösteren bir grafikte gösterilebilir. Birkaç elektrik anahtarı aracılığı ile dörtgenlerin büyüklüğü ve aralarındaki uzaklık değiştirilerek herhangi bir operasyonun gereklerine uydurulabilir. (Şekil 24).



Şekil 24. Güç kaynağı, ateşleme aşındırma sisteminin önemli bir parçasıdır.

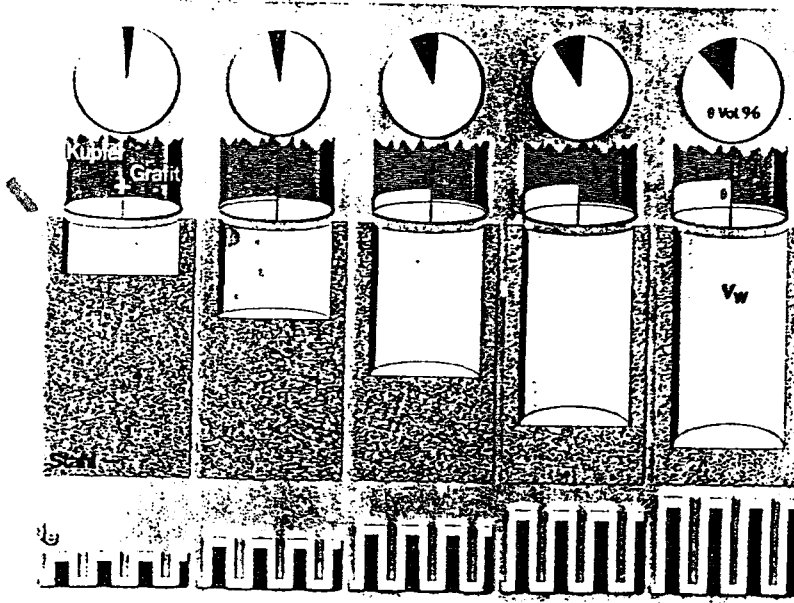
Dikdörtgen sıralaması, anahtarın açılması ve kapanmasının grafik bir gösterimidir, diğer bir deyişle vuruş süresi ve vuruş (darbe) aralığının ya da deşarj süresi ve ara zamanın ayrıca ateşleme aralığındaki voltaj ve akımın AGIEPULS-L güç kaynağı birimlerinde deşarj akımı vuruş süresi ve vuruş aralığı birbirlerinden tamamen bağımsız olarak ayarlanabilir. Deşarj akımı dikdörtgenin yüksekliğine oranlıdır, genişlik de mikrosaniye veya saniyenin milyonda biri ile ölçülen vuruş süresine tekabül eder. Şekil 25.

Vuruşlar arasındaki süre değiştirilerek akımın kesintiye uğradığı aralık uzunlukları ayarlanabilir. Vuruş aralığı vuruş süresinin yüzdesi olarak ifade edilir. Mesela aralık 25 mikro saniye ve vuruş 100 mikro saniye sürüyorsa, Tav % 80'dir. Bunun anlamı, vuruşun açma-kapama devirinin % 80'i kadar zaman aldığıdır, aralık ise devir süresinin % 20'sini kapsar.



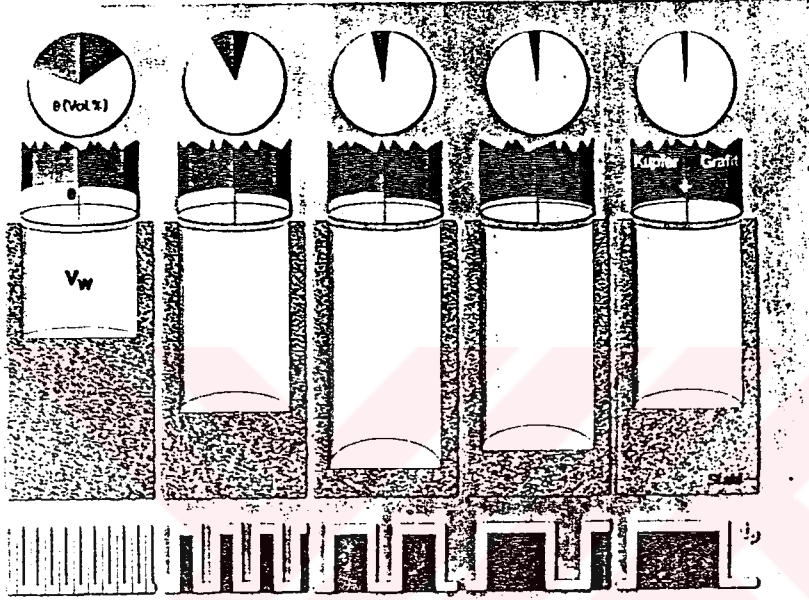
Şekil 25. Hafif bir akımın aşındırması düşük kaldırma hızı verir.

Hafif bir akımın aşındırması düşük kaldırma hızı verir, ağır bir akımda yüksek kaldırma hızı, ama eğer çelik iş parçası bakır elektrod tarafından aşındırılmışsa hacmin yüzdesi olarak ifade edilen araç elektrod aşınma hızı da yükselir. Grafit elektrodlar farklı davranır. Aşınma belli bir akım düzeyine ulaşıncaya kadar azalır ve ondan sonra aşağı yukarı sabit kalır. Şekil 26.



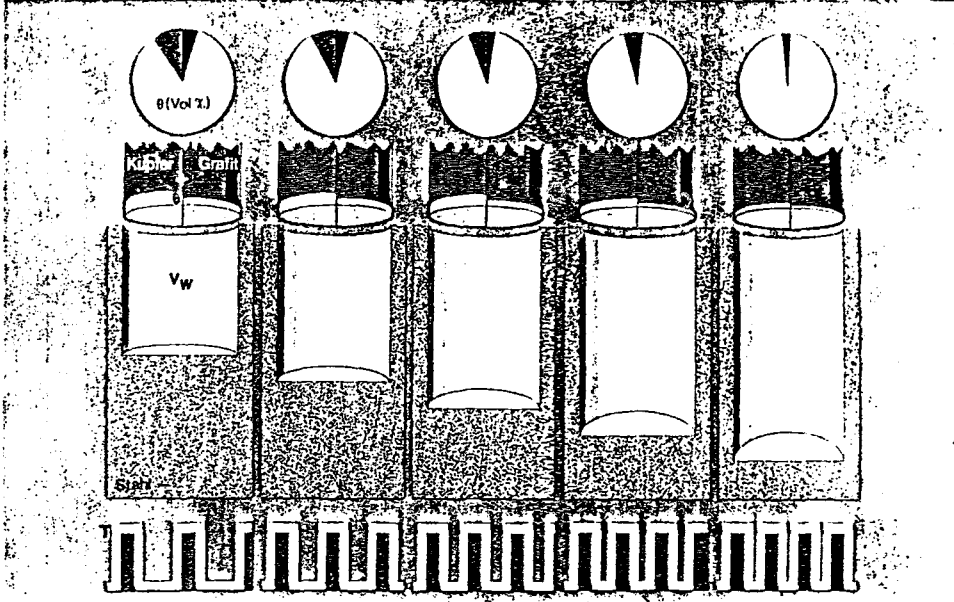
Şekil 26. Hafif bir akımın aşındırması düşük kaldırma hızı

Kısa vuruşlarla aşındırma elektrod aşınmasını artırmak anlamına gelmektedir. Tersine vuruşlar uzun olursa aşınma az olur. Pratikte çelik üzerinde bakır veya grafit elektrodlarla çalışırken maksimum kaldırma ile minimum aşınma arasında bir vuruş uzunluğu seçilir. Şekil 27.



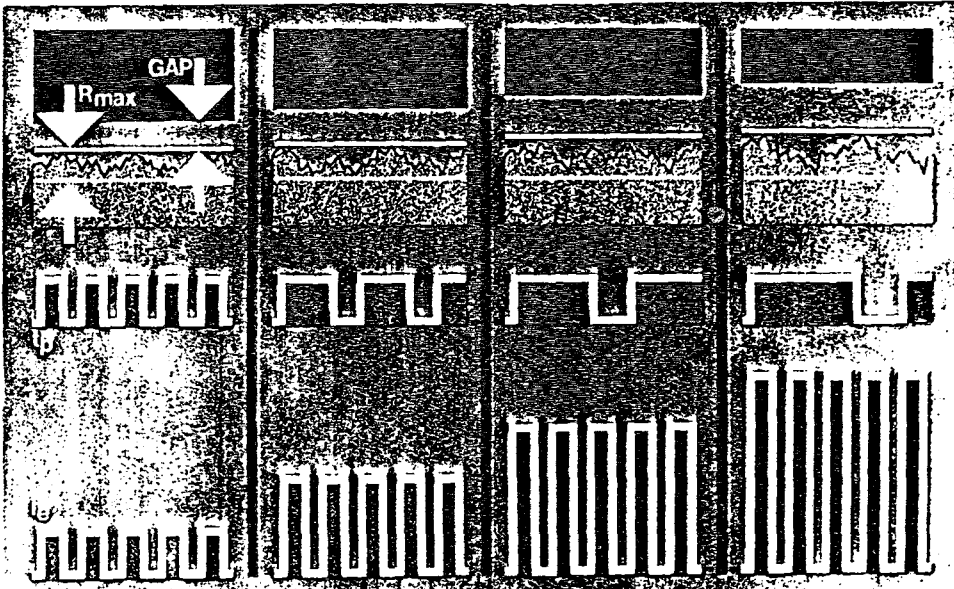
Şekil 27. Kısa vuruşlarla aşındırma elektrod aşınması.

İki deşarj arasındaki aralık, oldukça önemli bir faktördür. Genel olarak düşük aşınma ile hızlı kaldırmanın küçük aralıklarla elde edilebileceğini diğer bir deyişle yüksek verim faktörü olduğunu söyleyebiliriz. Sınırı aşmamak gerekir. Yoksa işlem belli bir noktaya ulaşır ke bu noktadan sonra aşındırma azalır ve aşınma büyür. Bu kritik değer marjinal verim faktörü olarak da bilinir. Şekil 28.



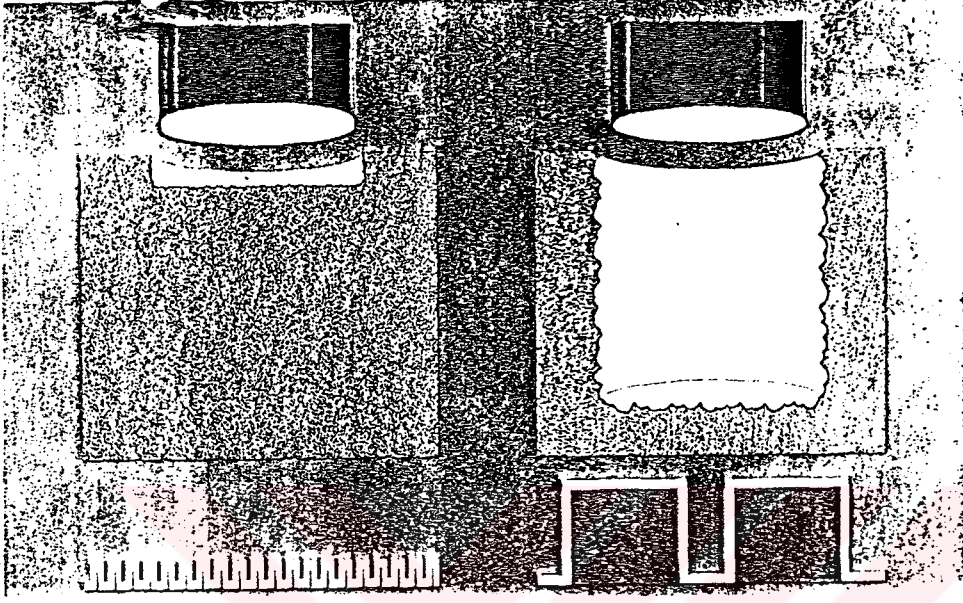
Şekil 28. İki deşarj arasındaki aralık oldukça önemli bir faktördür.

Bu çizim yüzey pürüzlülüğünün ve ateşleme aralığının kesin bir biçimde deşarj enerjisinden etkilendiğini göstermektedir. Bir vuruştaki enerji turuncu-renkli alanla orantılıdır. Düşük deşarj enerjisinin, yüksek deşarj enerjisine göre daha az pürüz yaptığı açıkça görülmektedir. Meselela bir yüzeyin ön finişing ve bitirmede belli bir yüzey kalitesi vuruş yüksekliği ve deşarj zamanı, veya vuruş genişliği ile bulunacak belirli bir deşarj enerjisine tekabül eder. Maksimum aşındırma ile minimum aşınma arasındaki uzlaşma mümkün olan düzenlemeler arasından en uygununun seçilmesi ile sağlanabilir.



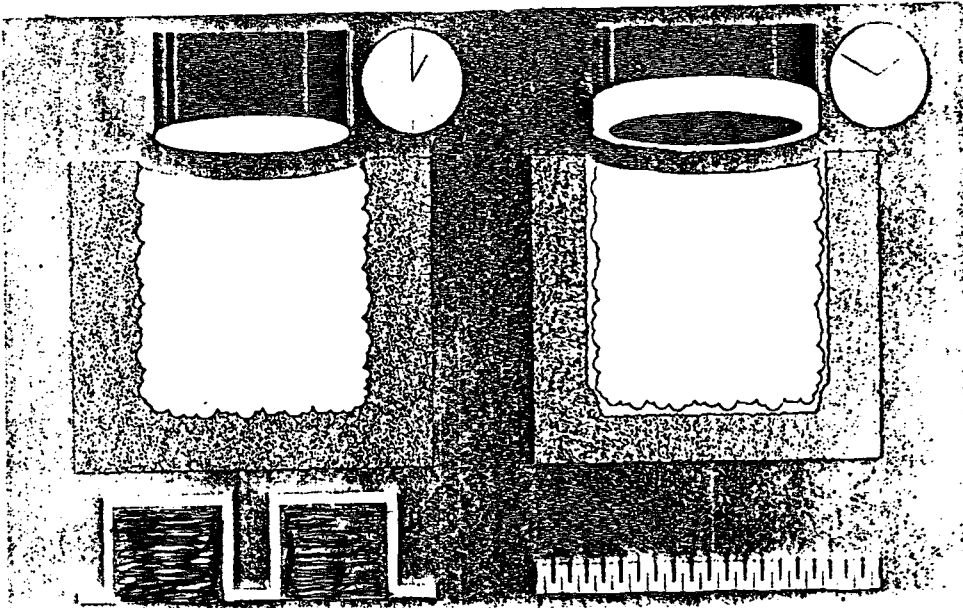
Şekil 29. Çizim yüzey pürüzlülüğünün ve ateşleme aralığının kesin bir biçimde deşarj enerjisinden etkilendiğini göstermesi.

Pürüzlü bir yüz azaltılmış deşarj enerjisi ile aşındırılarak düzgün bir yüz haline getirilebilir. Elektrod aşınması biraz arttırılarak pürüzlülük azaltılır. Resim, pratikte arka arkaya iki işleme aşınması arasında nasıl büyük bir fark olabileceğini gösteriyor. Şekil 30.



Şekil 30. Pürüzlü bir yüz azaltılmış deşarj enerjisi ile aşındırılması.

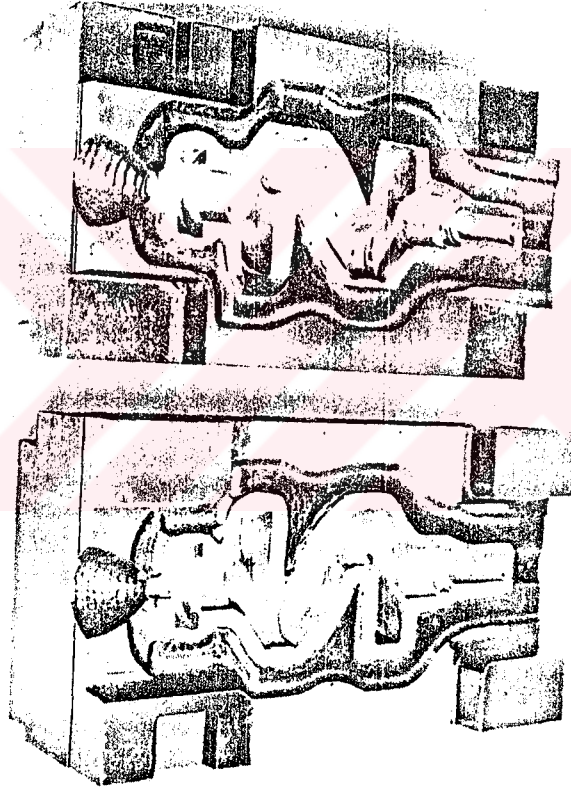
Atelye uygulamasında, kabasını alma ve ön işlemede, daha sonraki işleme aşamasında düzeltilecek olan belli bir pürüzlülük derecesi elde edilir. Deneyler göstermiştir ki arka arkaya gelen aşamaların pürüzlülüğü, başlangıç pürüzlülüğünün üçte biri veya beşte biridir. Bu işlem sonucunda, doğruluk derecesine oranla, çok ekonomik bir ortalama aşındırma zamanı elde edilmiştir. Şekil 31 /7/.



Şekil 31. Atelye uygulamasında kabasını alma ve ön işleme

2. ÜRÜN UYGULAMALARI

Sert, işlenmesi zor, uzay çağı metallerinin kullanımının artması ile EDM'nin bu metaller üzerinde yakın toleransla, pürüzsüz karmaşık konfigürasyonlar, dar yivler, kör yarıklar ve delikler açma kabiliyeti, daha önemli hale geldi. EDM konvansiyonel makineler gibi yüksek kesme hızı ve mekanik gereklimler göstermediği için, boru, petek doku ve diğer ince duvarlı kırılğan kesimine uygundur. Mesela çapı 0.005 in (0,13 mm) ve çapının 20 katı derinliğinde bir deliği, hiç eğilme ve sapma olmaksızın açabilir.

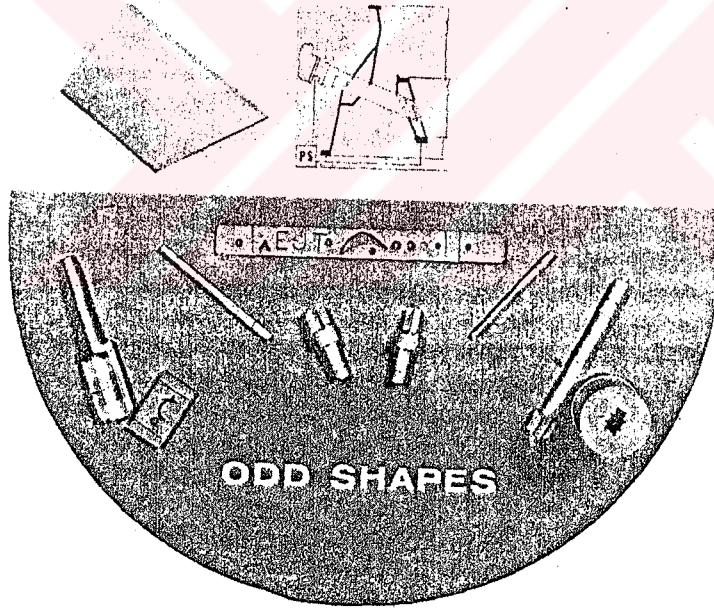


Şekil 32. EDM ile işlenmiş büyük bir demir dövme kalıbı

Kıyaslamak için konvansiyonel delik açmada, burma, burma matkabın uzunluğu deliğin çapının on katı veya daha fazla ise düzgünlük sağlamak zordur. 0,001 n. (0,03 mm) genişliğinde yivler, oluklar giriş yolları, komplike yerlere açılacak delikler, hatta eğimli delikler bu dikkat çekici işleme ile gerçekleştirilebilir.

EDM'nin iyi düzenlenmiş bir uygulaması pres dökümde, plastik kalıplamada, haddeden tel çekmede, kalıptan çekmede sıkıştırmada soğuk perçinde ve dövmede kullanılacak kavite ve kalıpları işleme alanında görülür. Bu geniş uygulama alanında "kalıp dökme" (die sinking) diye bilinir. Şekil 32 de, EDM işlemi ile yapılmış dövme kalıp bölmeleri görülmektedir.

EDM'nin bir diğer önemli uygulaması kalıpları delme şekil verme ve damgalama gibi metal biçimlendirme alanındadır. Bu kategoride yapılacak iş için, sert karbid bir kalıpta genellikle şekil düzgün olmayan, büyüklüğü belirlenmiş düz bir delik yapılması gereklidir. Birbirine yakın zımbalama ve kalıp şekillendirme setleri örnekleri Şekil 33'de görülmektedir. Elektrik deşarj işlemesi bu tür kalıpların imalatı için ideal olduğu gibi düz delik ve kavite kalıpların birleşmesinden oluşan daha gelişmiş ve karmaşık kalıpların imalatı için de uygundur.

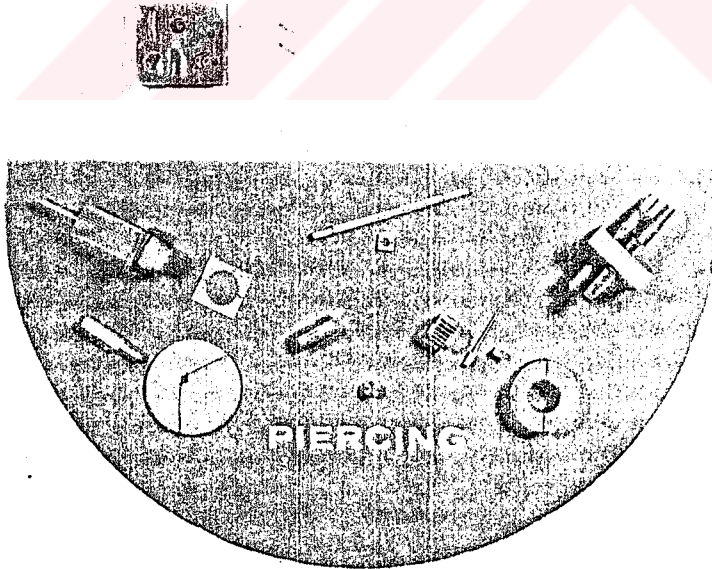


Şekil 33. Kesin büyüklükte deliklerden oluşan Tek (Odd) şekiller EDM ile yapılabilir.

EDM'nin diğer bir kullanımı da, birçok şirkette ekonomik olduğu kanıtlanmış olan aşınmış dövme kalıplarının kurtarılmasıdır. Genellikle bakır çubuklar elektrod malzemesi olarak kullanılır. Önce ana kalıp üzerinde elektrod kaba bir şekilde dövülür. Son aşama, elektrodu kabartma (coining),

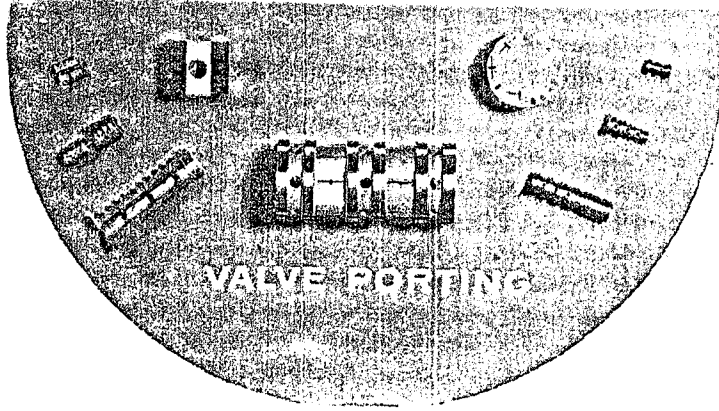
(soğuk işleme yoluyla metalin kalıp içinde akmasını sağlamak) yoluyla daha yakın toleranslar elde edilmesidir.

EDM'nin bir diğer uygulaması Şekil 34'de görülmektedir. Bu işlem konvansiyonel metodların, alet sapmaları, kırmaları ve/veya vurmaları gibi sorunlar çıkardığı saptanmış olan durumlarda uygulanır. Şu anda geniş ölçüde kullanılmamakla birlikte, EDM metal parçalar üzerinde çok güzel dekoratif işlemler yapmakta kullanılabilir. Belli koşullarda, EDM işlemi dağlama ve oyma gibi diğer işleme metodlarına rakip olabilir. Bazı şirketlerde, EDM prototip ve kısa-dönemli parçaların yapımı için kullanılan bir işlem haline gelmiştir. Bir üretim işlemi olarak, EDM özellikle dizel-yakıtı püskürtme memelerinde, uçak türbün makinelerinde hava freni süpablarında küçük delikler veya yarıklar açmak gibi özel operasyonlara uygulanabilir. Düzlük ve yuvarlaklıkta 0,0002 veya 0,0003 in (0,005 - 0,008 mm) ölçülerini tutturan pürüzsüz delikler yapmakta tek telli elektrod kullanılır.



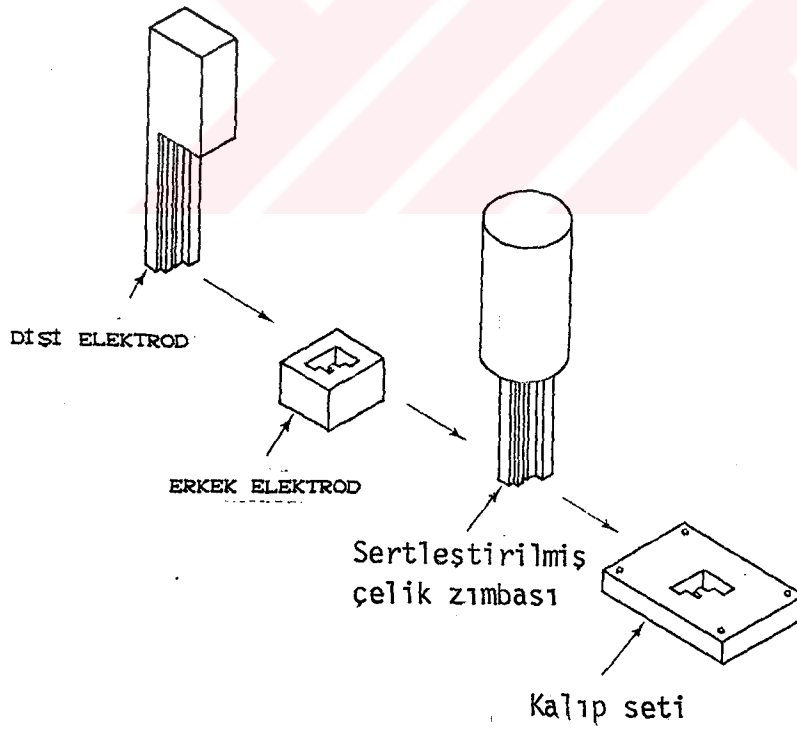
Şekil 34.a

(b)



(b)

Şekil 34. (a) ve (b) özel EDM uygulamaları.



Şekil 35. Zımba ve kalıp seti (punch and die set) EDM uygulamasında aşamalar sıralanması konvansiyonel biçimde işlenmiş elektrod dişi elektrod ve kalıp imalinde kullanılıyor. Dişi elektrod kullanan zımba EDM ile işlenmiş.

EDM elektrodları sürekli bir bobinden beslenir ve mikro burgu ucuna göre daha ucuzdur. EDM, üretim bazında perfore parçalar yapmakta da başarıyla kullanılabilir. EDM işleminin çok yönlü kullanımı, yakınlarda elektrik şalterleri (electrical switch part) yapımında bir bakır-tungsten elektrodun bir başka bakır-tungsten elektrodu işlemekte kullanılması sırasında sergilendi (Şekil 35). Parçaların imali için gereken zımba ve kalıp 0,030 in. (0,76 mm) kalınlığında ve 0,200 in (5,08 mm) uzunluğunda kritik incelikte dikdörtgen bir projeksiyonu olan dikdörtgen parçalardan meydana geliyordu. Bu karmaşık iş, EDM işlemi ile erkek elektrodun, dişi elektroda biçim vermekte kullanılması ile oldukça basit hale getirilmiştir.

2.1. EDM İLKELERİ

2.1.1. Fiziksel Kuruluş

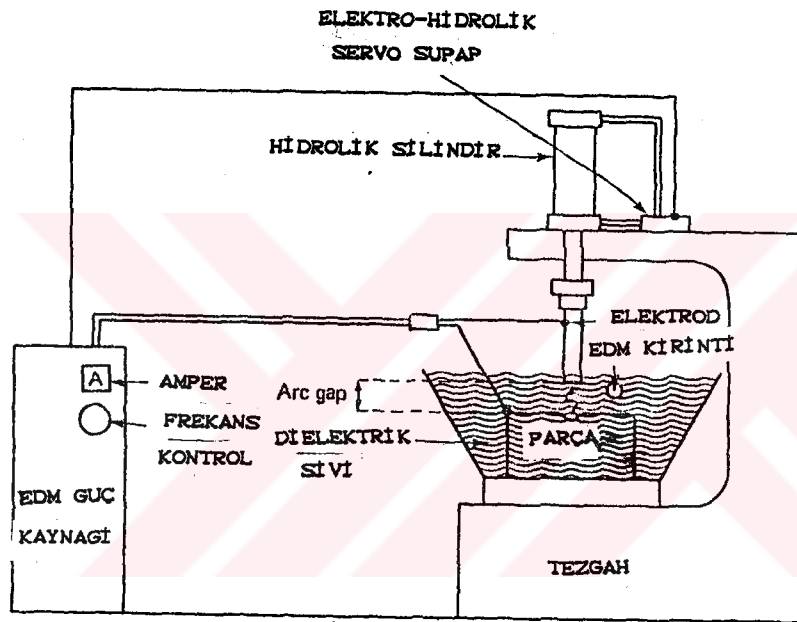
Mekanik sistemin ana bileşenlerini şematik olarak gösteren bir çizim ve elektrik deşarj işlemesi için tipik bir elektrik devresi Şekil 35'de gösterilmiştir. Elektrik akımı genellikle 0,5 ile 400 amper ve 40 voltla 400 volt arasında değişir. Kondansatör kapasitesi 0,0004 ile 400 microfarad (Mfd) arasında değişir.

2.1.2. Güç Kaynakları

Tek parça ve sabit güç kaynaklarının kullanımı güvenilirliğin gelişmesi ve parametrelerin kesin kontrolü ile elde edilen üstün işleme sonuçları nedeniyle yaygınlaşıyor. Devreler tek veya tekrarlanan çarpmalarla herhangi bir şekil yaratabilen akımı ve voltajı kontrol ediyorlar. Çok çıkışlı güç kaynakları, bir makineyi bir çok operasyon için kullanma veya bir güç kaynağı ile bir çok makine kullanma olanağı sağladığı için popüler hale gelmektedir. Şu anda var olan modüler güç kaynağı sistemleri iyi derecede çok amaçlılık ve tasarruf sağlamaktadır. Fişli modüller ana kontrole ve güç konsoluna istendiği gibi bağlanabilir.

2.1.3. Dielektrik Sıvı

Dielektrik, elektrik iletmeyen bir maddedir. Aletin içinde 50 psi ($3,5 \text{ kg/cm}^2$) veya daha az bir basınçta pompalanır. Bu kesme işlemi için kullanılan dielektrik sıvının yerine getirdiği birkaç fonksiyon vardır. (1)- Elektrodu ve iş parçasını soğuk tutmaya yardım eder. (2)- Kesmeden sonra çıkan pisliği temizler ve (3)- İyonize olduğunda boşlukta ince bir biçimde bölünmüş iletken maddelerden oluşan bir yol oluşturarak kesme işlemini stabilize eder.



Şekil 35. EDM işleminin şematik çizimi.

Bilinen petrol esaslı hidrokarbon dielektrik sıvılar buhar basıncını azaltarak kesme hızını artırma eğilimindedirler. Dielektriklerin çoğu yanıcı olduğundan düşük buhar basıncı güvenlik açısından tercih edilir. Genellikle kerosen, madeni yağ veya bu ikisinin karışımı kullanılır. Silikon esaslı yağ gibi diğer dielektrik sıvıları etilen glikol gibi polar sıvılar ve suya karışabilen bileşikler özel amaçlar için zaman zaman kullanılır. Dielektrik sıvılar operatörlere zarar verici ve aleti aşındırıcı olmamalıdır. Bütün dielektrikler zamanla iş parçasından aşındırılan parçacıklar kirlenme eğilimindedirler. Bu parçacıklar elektrik ilettikleri için elektrod/iş parçası boşluğunda kırılma voltajı (Break down voltage)'da dalgalanmalar meydana getirir. Bu aşındırılmış parça-

cıklar temizlenmedikçe kesmeler hatalı ve düzgün olmayan biçimde gerçekleşecek ve boşluk boyunca kısa devreler meydana gelecektir. İyi bir temizleme elde etmek için çeşitli metodlar kullanılır. Makinenin üzerinde bulunan basınç veya emme ile temizleme yapan standart aksesuarlar vardır. Bazı durumlarda yardımcı temizleme aleti de kullanılır. Dielektrik sıvısının kirlenmesini kontrol etmek için normal bir filtre sistemi bulunması da gereklidir.

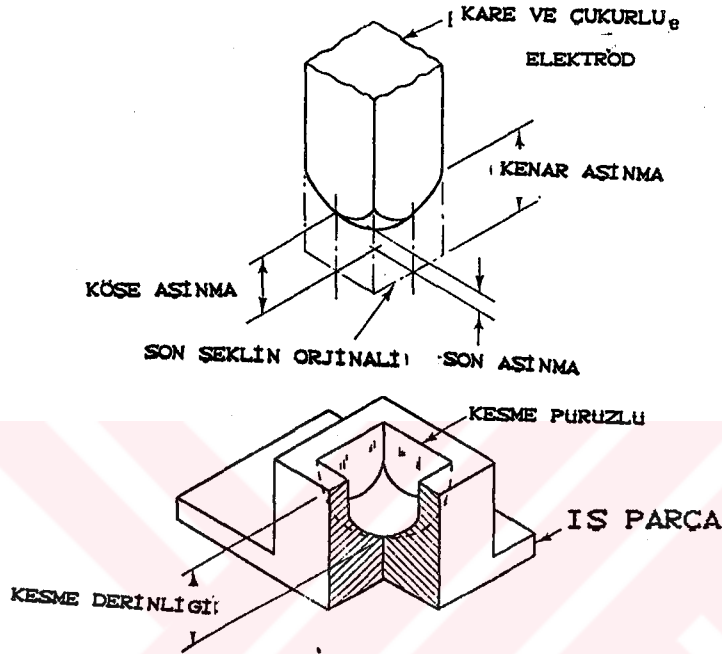
2.1.4. Elektrod Malzemesi

İyi bir elektrod malzemesinin taşınması gereken özellikler elektriksel olarak iletken olması ve iyi bir alet/iş parçası aşınma oranına sahip olmasıdır. Bir elektrikli deşarj işleme için elektrod malzemesi seçimi, konvansiyonel bir makine için kesici takım seçimi kadar önemlidir. Geniş çaplı araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda optimum kesme gereklilikleri (kullanılacak elektrodların istenen özellikleri, büyüklük, şekil, contur (profil) biçimleri ile ilgili olarak) hakkında pek çok şey öğrenildi. Son tahlilde istenen biçimde elektrod imal etmenin maliyetinin EDM kullanıcılarının karşılaştığı en büyük engel olduğu tespit edildi. Düzenli olarak EDM kullanan şirketlerle ilgili yakınlarda yapılan bir araştırma elektrod işleme masraflarının toplam iş maliyetinin % 50'si ile % 60'ı arasında olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Elektrod işleme maddeleri değişik iş parçası maddeleri üzerindeki uygulamaları değişik derecelerde başarı göstermiştir. Elektrod işleme malzemesi seçimi öncelikle kesme uygulamasının özelliklerine ve işlenecek olan malzemeye bağlıdır. Grafit ve bakır, genel kullanım için en uygun bulunan malzemelerdir. Çinko ve kalay alaşımları da yaygın olarak kullanılır. Bakır-Tungsten ve Gümüş-Tungsten küçük delik ve yarıklar için tercih edilir. Elektrod malzemesi seçiminde gözönünde bulundurulması gereken diğer faktörler kolay bulunabilme maliyet ve elektrod işlemesi sırasında istenen formu elde etmek açısından malzemenin özünde bulunan uygulama yetersizlikleri olmalıdır. Daha önce söz edilen malzemelere ek olarak bir çok başka metal, karışım ve alaşım elektrod malzemesi olarak kullanılabilir. İş parçası üzerinde metal kaldırma oranlarını ve işleme iyileştirmek ve elektrod biçimlendirmeyi kolaylaştırarak masrafları azaltmak amacıyla yeni elektrod malzemeleri geliştirme çalışmalarına devam ediliyor. Yeni malzemeleri arasında, çeşitli metal alaşımları kombinasyonları bağlayıcı metalikler ve metalik olmayan karışımlar vardır.

2.1.5. Elektrod Aşınması

EDM'nin sakıncalarından biri kesim işi sürerken elektrodlar üzerinde oluşan aşınmadır. Aşınma oranları bilinir ve tahmin edilebilirler.



Şekil 36. Elektrod aşınmalarının çeşitlerini göstermektedir.

Düz delikler yapılırken elektrod aşınması çok önemli olmaz. Elektrodun ucu aşındıktan sonra bile iş parçası üzerindeki delik açılışı, aşınmış yuvarlaklaşmış uca rağmen devam eder ve elektrod iş parçası içinde ilerler. Elektrod aşınması en çok iş parçası üzerinde karmaşık kör kaviteler açılabilmesi için elektrodla karmaşık contour (profil) olması gerekiyorsa sorun çıkarır. Şekil 36. EDM elektrod aşınması örnekleri pirinç elektrodun aşınma oranı 1/1'dir. Hacim-aşınma oranı kaldırılan iş parçası miktarının harcanan elektrod hacmine bölünmesi ile bulunur. Genel bir kural olarak diğer bir çok metalik elektrod için kabul edilebilir aşınma oranı 3/1 veya 4/1 dir. Bütün bilinen metaller arasında erime noktası en yüksek olan (6300°F, yaklaşık 3500°C) grafit, 5/1 den 50/1'e kadar değişen aşınma oranları sağlayabilir. Birçok elektrod aşınması da kenarlarda oluşur. Hemen hemen üç aşınmasının iki katı kadar. Kenar ne kadar keskin olursa aşınma o kadar büyük olur.

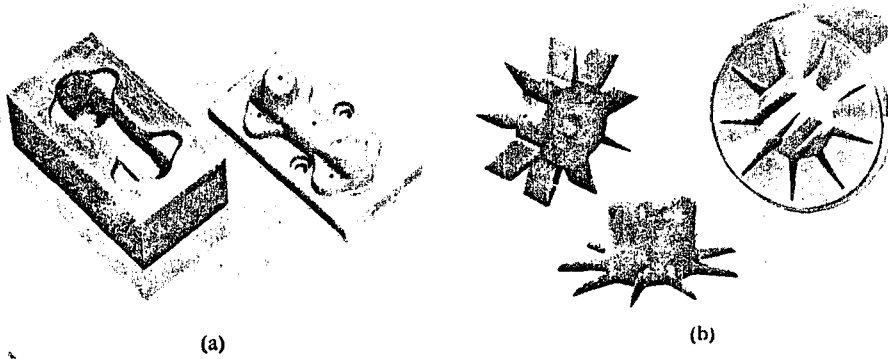
2.1.6. Aşınmasız (ya da Düşük Aşınmalı) Elektrodlar

Alternatif bir EDM tekniği kitlesel metal kaldırması için konvansiyonel EDM yerine uygulanan "aşınmasız" (ya da öz aşınmalı") işleme biçimidir. Bu teknik, ters bir polarite biçimi kullanır, grafit veya bakır elektrod pozitif akım alırken iş parçası negatif akım alır. Aşınmasız EDM sonucunda elektrod/iş parçası boşluğu daha küçük olur ve alet yüzeyindeki ısınma daha fazla olur. Polarite ters çevrilmiş olduğu için erimiş metalin bir kısmı iş parçasından fışkırarak elektrodun yüzeyine çarpar ve ona yapışır. Elektroda yapışan ince metal tabakasının hacmi elektron aşınması ile kaybedilen toplam hacme eşit olursa ideal durum meydana gelir. Bu durumda işleme-aşınma oranı sıfırdır ve aşınmasızlık durumu en fazla yarar sağlayacak durumdadır. Buharlaşan veya eriyen metal fazla miktarda elektrodta birikirse kesme verimliliği etkilenir ve fazlalıkların temizlenmesi gerekebilir. Elektrodlarda işleme aşınmasının tam olarak yok olması nedeniyle düzeltme veya değiştirme gerekliliği ortadan kalkmış olur.

Aşınmasız modelde, metal-kaldırma oranları, konvansiyonel EDM roughing (kabasını alma, düzgünleştirme) teknikleri ile elde edilen oranlardan % 10 - % 20 daha azdır. Bundan başka aşınmasız EDM açık bir biçimde kabasını alma tekniği olup konvansiyonel tekniklerde elde edilen kadar düzgün bir yüzey elde edilemez. Maksimum etkinliği sağlamak için EDM kullanıcılarının çoğu elde etmek istedikleri seviyeye yaklaşıncaya kadar aşınmasız işleme biçimi ile kabasını alıp sonradan konvansiyonel biçime geçerek son işlemi yaparlar.

2.1.7. Elektrod İmalatı

İşleme elektrodları, dökme, silme, kimyasal öğütme elektroforming, istampalama, kabartma veya elektriksel metalurji gibi yollarla olduğu gibi çoğunlukla konvansiyonel metodlarla da yapılır. Bir elektrodun yüzey işlemi parçada olması gereken kadar iyi hatta daha iyi olmalıdır. Şekil 37 grafit elektrod ve tekabül eden kalıp örneklerini gösteriyor. Şekil 37 (a) silindirik paten taşıyıcısı için elektrod ve kalıp bloğu, (b) komplike grafit elektrodları ve elektrodlardan imal edilen mukabil çekme kalıbı göstermektedir.



Şekil 37. (a) Silindirli paten taşıyıcısı için elektrod ve kalıp bloğu, (b) komplike grafit elektrodları ve elektrodlardan imal edilen mukabil çekme kalıbı.

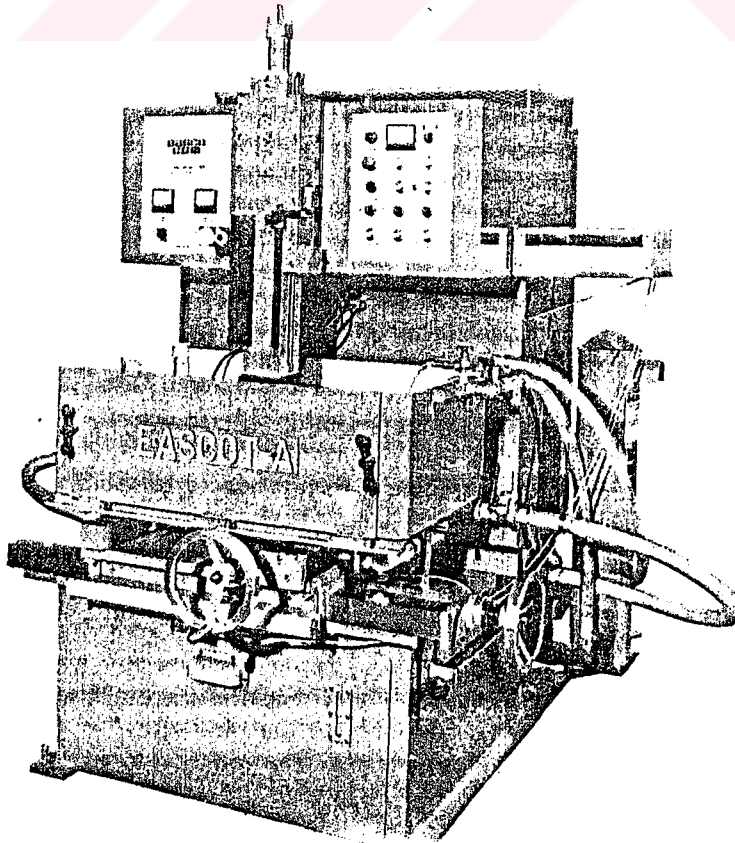
2.1.8. Elektrod Çeşitleri

Bazı uygulamalarda, borular ve teller elektrod olarak kullanılabilir. İş parçasının aşınması sürecinde meydana gelen güçler normal olarak ihmal edilebilir ölçüdedir. Öyle ki elektrod bölümleri ince ve kompleks bir formda olabilir. Elektrodun içinde boydan boya uzanan bir veya daha çok sayıda küçük delik öyle biçimlendirilmiştir ki dielektrik sıvı bunların içinden geçerek aşağıya boş aletin içinden parçasının üzerine gönderilebilir. İş parçası üzerinde akım deliklerinin bıraktığı küçük çıkıntılar sonradan kopartılır ve düzeltilir.

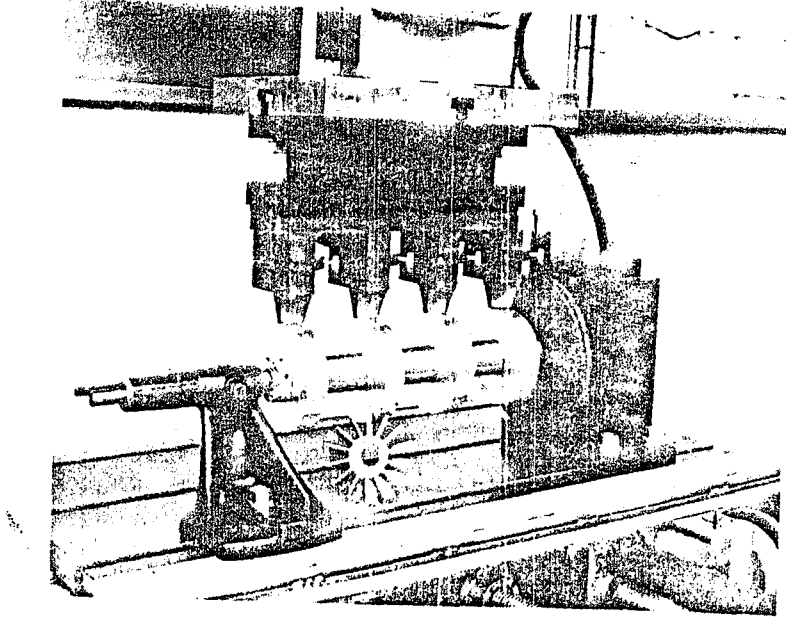
İş parçası üzerinde yarıklar yapmak için bir elektrod imal etmenin en ekonomik yolu, uygun bir malzemeden istenen biçimde bir ucu elektrodun bağlama gövdesinin ucuna kaynakla veya epoksi çimento ile birleştirmektir. Bu durumda iletkenliğin sağlanmış olması önemlidir. Bir başka yol da bir zımba ve kalıp (punch-and-die) setinin asıl zımba bölümü (actual punch) bir işleme elektrodu olarak kullanılabilir. Uygun bir elektrod malzemesi sertleştirilmiş zımbanın ucuna yerleştirilir. Uç sağlam bir biçimde yerleştikten sonra istenen zımba profili (punch contour) zımparalama metoduyla (Girnding) sağlanır. EDM işleminden sonra uç elektrod olarak kullanılan zımbadan ayrılır.

2.1.9. Elektrod Yerleştirmesi

Elektrod yerleştirmenin en basit yollarından biri, şekil 38'de görüldüğü gibi bir kafa içinde bir elektrodun çalıştığı biçimdir. Tek elektrodla bir seferde bir ateşleme yapılabilir. Makinedeki bir çıkış, yalnız bir elektrodu yarıklar ve düz deliklerin özelliklerin uygun olarak biçimlendirilmiştir. Pratikte, prototip bir üretim veya kalıp için yapılmış bazı elektrodların bir tek kesimin gerçekleştirilmesi sırasında defalarca değiştirilmesi gerekir. Bazı kompleks kalıplar için ikiden altıya kadar değişen sayıda, aynı tasarımda, ancak büyüklükleri birbirinden çok küçük farklılıklar gösteren elektrodlar gerekir. Bu tekniğin ana amacı iş parçası yüzey bitirme ve ölçüsel toleranslarına uygun olan en yüksek hızda mümkün olan maksimum miktarda metali aşındırmaktır. Bir diğer yaygın uygulama ise bazı firmalarca "staging" (kademleme) olarak bilinen uygulamadır. Bir tek elektrod, iş parçası üzerinde sırayla kabasını alma yarıbitirme ve bitirme işlerini yapan aşamalı veya kademeli işlemleri uygular. Her kademenin büyüklüğü daha önceden tespit edilmiş belli bir miktar metali kaldırabilecek biçimde hesaplanır. Bu yöntemle kontrol altındaki makine düzenlemesi ile sistematik biçimde büyük miktarlarda metal kaldırmak mümkün olmaktadır.



şekil 38.



Şekil 39. Çoklu EDM sistemi, dört çıkışlı güç kaynağını ve özel donanımını bir araya getirecek üretilen malzemenin dört parçasını aynı anda işler.

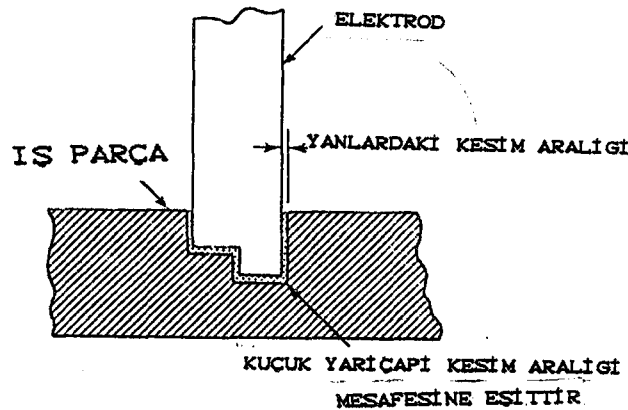
Çoklu EDM kafaları da kullanılmaktadır. Bazı makineler 8 ft (2.43 m) uzunluğundaki kalıpların karşıt iki ucundan aynı anda elektrik deşarj işlemesi uygulaması gerçekleştirebilme özelliğine sahiptirler. Her EDM kafası diğerinden bağımsız olarak çalışır. Makinenin bir ucu finiş işlemesi için kullanılır. Çok çıkışlı makinelerin bir örneği Şekil 39'da görülmektedir. Şu anda kullanılmakta olan makinelerin sekiz veya daha fazla sayıda paralel kafaları vardır. Çok sayıda elektrod aynı anda bir çok parçanın takım işlemesine geçmesinin sağlar. Tek başına kesme yavaştır ama toplu operasyon oldukça yüksek hızlara ulaşabilir. Bu tür düzenlemeler esas olarak uçak jet motorlarında tekrarlanan EDM operasyonları için yapılmıştır. Bu ayarlama, makine kesme işlemine devam ederken operatörün elektrodları değiştirmesine olanak sağlar. Bir taraftaki aşağı pozisyonundaki elektrod kesmeye devam ederken üstteki elektrod dielektrik sıvısının dışındadır ve elektrik devresinden ayrılmıştır.

EDM kullanımının bir türü de, elektrod olarak biçimlendirilmiş bir işleyici yerine bobinden bobine uzanan bir tel kullanmaktır. Şematik çizimi Şekil 39, bu hareketli tel elektrod bağıntısı prensibini göstermektedir. Tel bobinler arasında, kesme sırasında oluşan aşınmayı gidermek için

yavaş yavaş ilerler. EDM'nin "elektronik şerit testere" olarak nitelenebilecek bu yeni uygulaması genel kural olarak tek çıkışlı makineler saatte 1 in^3 ($16,39 \text{ cm}^3$) metal kaldırma hızı ile sınırlıdır. Bu görece yavaş kaldırma hızına rağmen, özellikle bir tipten bir tane (one of a kind) yapılacak kalıplarda, birkaç günlük, hatta bir haftalık gecikmelere itiraz edilmediği için, bu işleme biçiminin kullanımı uygun olmaktadır. Kesme hızı, daha büyük bir kıvılcım çıkararak arttırılabilir. Ne yazık ki, kontrol edilmezse, daha büyük kıvılcım, daha pürüzlü bir yüzeye yol açar bu da ölçüsel toleransların zarar görmesine yol açar. Çalışma sırasında elektrik enerjisini, bir tane yerine bir çok kıvılcım deşarjına (dağıtan) çok çıkışlı makineler vardır. Bu işlem ile pürüzlü finişlere veya düşük toleranslara yol açmadan yüksek güç seviyelerinde çalışma mümkün olur. Bazı çok çıkışlı makinelerde 25'den 50 in^3 (410 'dan 820 cm^3) kadar değişen miktarlarda metal kaldırma hızı elde edilebildiği bildirilmektedir.

2.1.10. Kesim Aralığı (Over Cut)

Kesim aralığı, iş parçası ile elektrod arasındaki boşluk veya büyüklük farkıdır. Bu, bir elektrodun tasarımı sırasında gözönünde bulundurulması gereken bir faktördür. Kesim aralığı miktarı tahmin edilebilir ve yanlardan $0,002$ ile $0,005 \text{ in}$ ($0,05$ ile $0,13 \text{ mm}$) arasında tutulmalıdır. Kesim aralığı miktarı elektrod yüzü boyunca her durumda aynıdır. Konfigürasyon veya büyüklüğe göre değişmez. Şekil 40 kesim aralığı prensibini göstermektedir. Kıvılcım enerji seviyesi ne kadar yüksek olursa, daha yüksek voltaj ve daha büyük kesim aralığı gerekir.



Şekil 40. Kesim aralığı ya da elektrodla iş parçası arasındaki boşluk noktalarıyla belirlenmiştir.

2.1.11. Muhtemel Sınırlamalar

Malzeme, genellikle ciddi bir sınırlama yoktur, ancak elektrod ve iş parçası malzemelerinin iletken olması gereklidir. Sadece metal ve alaşımlar EDM ile işlenebilir. Plastik, seramik veya cam türü metal olmayan maddeler işlenemez.

2.1.11.1. Elektrod Aşınma ve Kesim Aralığı

Belli bir işteki aşınma ve kesim aralığı için, kabul edilebilir limitler içinde telafi imkanları sağlayan optimum elektrod biçimi tespit etmek, bugün elde edilmiş bilgi düzeyinde bile tasarımcılar için bir sorun olmaya devam etmektedir. Hızlı işleme aşınması pahalı bir unsurdur ve birçok firma için EDM'yi kullanıp kullanmamaya karar vermekte belirleyici faktör olmaktadır.

2.1.11.2. Metal Kaldırma Hızları

Ticari literatürde zaman zaman EDM'nin konvansiyonel kalıp işleme (die sinking) tekniklerinden daha iyi veya daha hızlı olduğu konusunda çeşitli kategorik tanımlamalar görülür. Bu tanımların doğruluğu işlem tasarımcısının süreci etkileyen faktörleri kontrol edip edemediğine bağlıdır. EDM, üstün özelliklerine rağmen sıradan bir kitlesel üretim yöntemi değildir. Stok kaldırma hızları görece yavaştır ve frezeleme (milling) ile rekabet edemez. Bu metod daha fazla tekniklerin sonuçlarının sakıncalı olduğu, konvansiyonel metodların gerektirdiği toplam zamanın da istenmediği durumlarda ve daha kesin doğruluk istendiği zamanlarda kullanılmalıdır.

2.1.11.3. Isı Oluşumlu Tabaka

Elektrikli deşarj işleminin muhtemel bir dezavantajı, kesme sırasında çıkan ısı ile iş parçası üzerinde oluşan sertleşmiş yüksek basınçlı zordur. Erimiş metal uzaklaştırılmazsa iş yüzeyinde sert bir tabaka oluşturacak şekilde yeniden sertleşir. Bu durum Şekil 41'de görülür. "Beyaz tabaka" adı verilen bu tabaka 0,00015 - 0,005 in (0,0004 - 0,13 mm) arasında değişir. Yeni yüzey tabakaları, yüksek frekanslı düşük amperli

kıvılcımlar yüksek metal kaldırma hızları elde etmek için kullanıldığında ısıdan oluşan tabakalar 0,015 in (inç) (0,38 mm)'ye ulaşılabilir. Kırılabilir beyaz tabaka ciddi problemlere yol açabilir. İş parçası üzerinde parça hizmete sunulduktan sonra özellikle kullanılması sırasında çarpma ve devresel yüklemelere maruz kalıyorsa, çatlaklar meydana gelebilir. Sertleşmiş tabaka parçanın performansında ters etkilere yol açabilir. Bu etkiler parçanın işi bitirmede düşük metal kaldırma hızı uygulayarak, sertleşmiş tabakayı bindirme veya zımparalama metodları ile kaldırarak veya işleme sonrası yeniden tavlayarak minimize edilebilir. Bazı özel ürün uygulamalarında, sertleşmiş tabaka olumlu bir özellik oluşturur.



Şekil 41. Bu fotomikrograf (a) AISI 4340 çelikten yapılmış bir parça üzerinde EDM işlemesi sırasında meydana gelen sertleşmiş veya beyaz tabakayı gösterir, (b)'de genişletilmiş olarak daha ayrıntılı işaretlenmiş bölge gösteriliyor.

EDM ile tam kare köşeler elde edilemez. Gene de EDM ile konvansiyonel işlemeden daha keskin köşeler yapmak mümkündür. Şekil 41'de görüldüğü gibi en küçük yarıçap (Radius) kesim aralığı mesafesine eşittir.

2.1.12. Ürün Tasarım Faktörleri

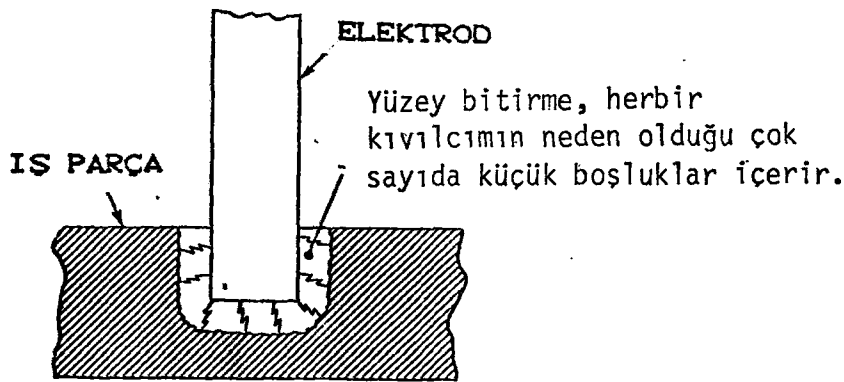
Keskinlik : $\pm 0,002$ ile $0,005$ in. ($0,05$ ile $0,13$ mm) arasında değişen tolerans rutin olarak elde edilir ve ek gayretle $\pm 0,0001$ ile $0,0005$ in. ($0,003$ ile $0,013$ mm) arası toleranslar mümkündür.

2.1.12.1. Sivrilme ve Çekme

İş parçası üzerinde açılan kesik, her zaman kesici aletten büyüktür. Özel önlemler alınmadıkça delik ve yarıkların yanlarında hafif sivrilme veya çekmeler görülecektir. Çoğu durumda, yanlarda derinlik mesafesine göre inç başına $0,002$ in. ($0,05$ mm) sivrilme görülür.

2.1.12.2. Yüzey Bitirme

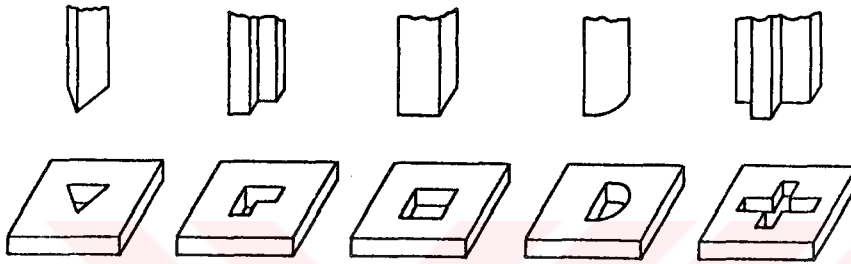
İş parçası Finişingini etkileyen faktörleri, (1) Kıvılcım boşluğu dielektrik sabiti, (2) Kapasitör'de oluşan şarj büyüklüğü ve (3) aşındırılan iş parçası malzemesinin yapısı, yüzey pürüzleri Şekil 42'de gösterildiği gibi tek tek işleme kıvılcımlarının neden olduğu tek tek kraterlerin ve



Şekil 42. EDM yüzey finişinin özellikleri.

uçların bir araya gelmesi sonucu oluşur. Normal kesme işlemi şartlarında bir EDM yüzey bitirme, karışık bir kaba kütle yüzeyine benzer ve 50-150 min. arasında değişir. İyi kontrol edilmiş durumlarda düzlüğü

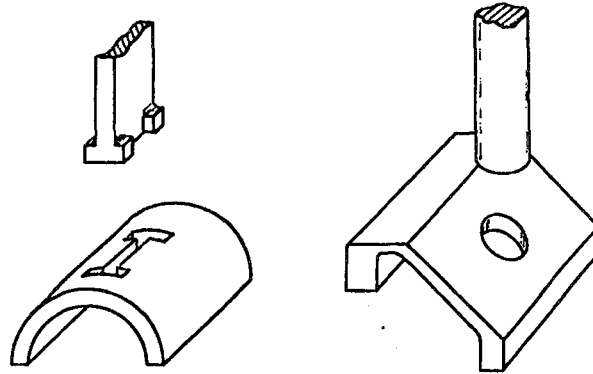
10 min. olan yüzeyler elde edilebilir ama bu bitirmeler ancak küçük alanlara ve düşük metal kaldırma oranları ile uygulanabilir. "Ayna" bitirmesi gereken plastik döküm kalıpları EDM ile 100 min'de elde edilebilir. Ama sonra istenen düzgünlüğü elde etmek için elde finişlenmelidir. Gereken zamanın uzunluğu dikkate alınırsa çok düzgün bir finişing elde etmek için EDM kullanmanın ekonomik olmayacağı anlaşılır.



Şekil 43. Bunlar gibi dairesel olmayan delikler EDM ile bir işleme operasyonunda kolayca üretilir.

2.1.12.3. Konfigürasyon Düz Delikler

EDM'nin üstün özelliklerinden biri, konvansiyonel şileme ile elde edilmesi zor hatta olanaksız olan kesimler sağlamasıdır. Dairesel olmayan delikler, mesela Şekil 43'de görünen delikler, EDM yoluyla, iletken bir malzeme üzerinde, tamamen pürüzsüz bir şekilde, sürekli üretilebilir. Şekil 44'de görüldüğü gibi ince eğimli girişlerde delik açmada kullanıla-

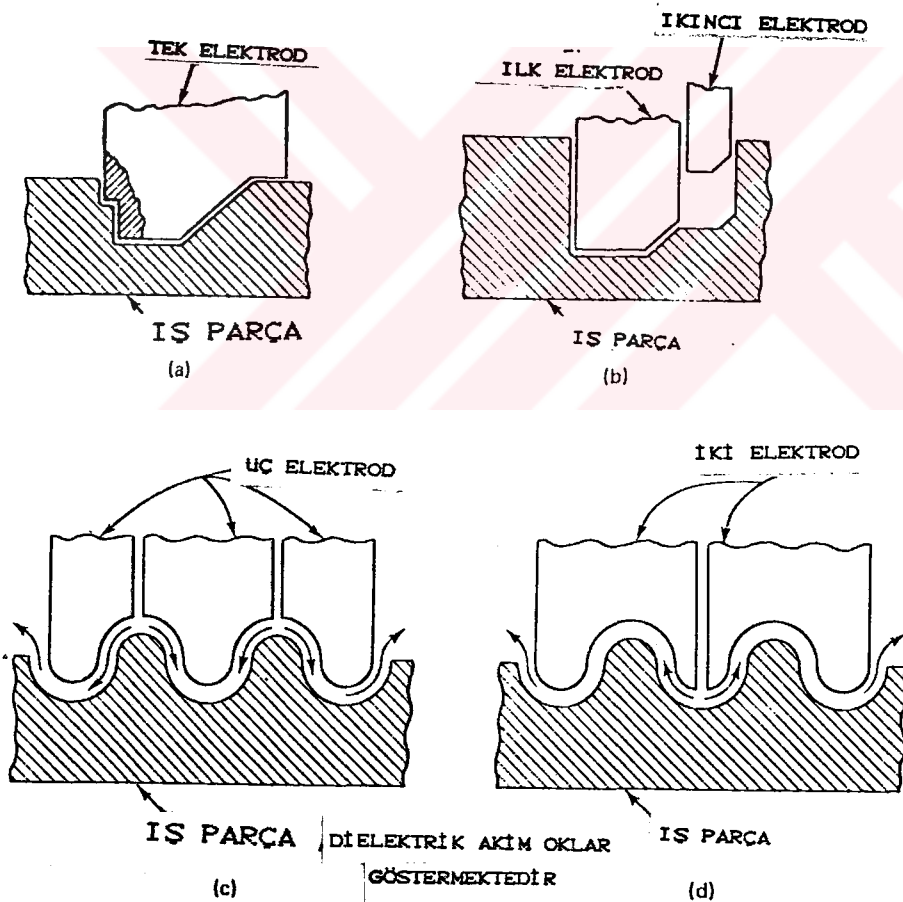


Şekil 44. Konvansiyonel matkap ucu ile çok zor hatta imkansız olan, eğimli ince girişler üzerinde delik açmada kullanılır.

bilir. Kırılğan parçalar, aletin kendisinden veya parça üzerine yerleştirilmesi ve tutturulması gereken teçhizattan kaynaklanan bir hasara yol açmaksızın işlenebilir.

2.1.12.4. Karmaşık Kaviteleler

Elektrodların tasarımında gözönünde tutulan bir nokta da, dielektrik sıvının akmasını önleyecek şartların ve pisliklerin birikeceği kabarcıklar oluşmasını engellemektir. Şekil 32 çok seviyeli bir kavite için birden fazla elektrodun çalışma alanını soğutmakta ve aşındırılan metal parçalarını temizlemekte nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Dik ve dikey kavite duvarları elektrod aşınmasını hızlandırır.



Şekil 45. Karmaşık kaviteleler özel tasarımlı veya çoklu elektrodlar gerektirebilir. (a) Taranmış alanlar en büyük aşınmayı gösterir. Dik ve dikey duvarlar elektrod aşınmasını hızlandırır, (b) ayrı seviyeli karmaşık kaviteleler, yeterli dielektrik akımı sağlamak için çoklu elektrodlar gerektirebilir, (c) yetersiz koşullar, (d) iyileştirilmiş koşullar, (c) ve (d)'deki gibi dielektrik akımlar durağanlıktan ve pislik toplayan ters akımlardan sakınmalıdır. /9/.

3. ELEKTROEROZYON TEZGAHINI MEYDANA GETİREN ANA BÖLÜMLER VE İŞLEYİŞLERİ

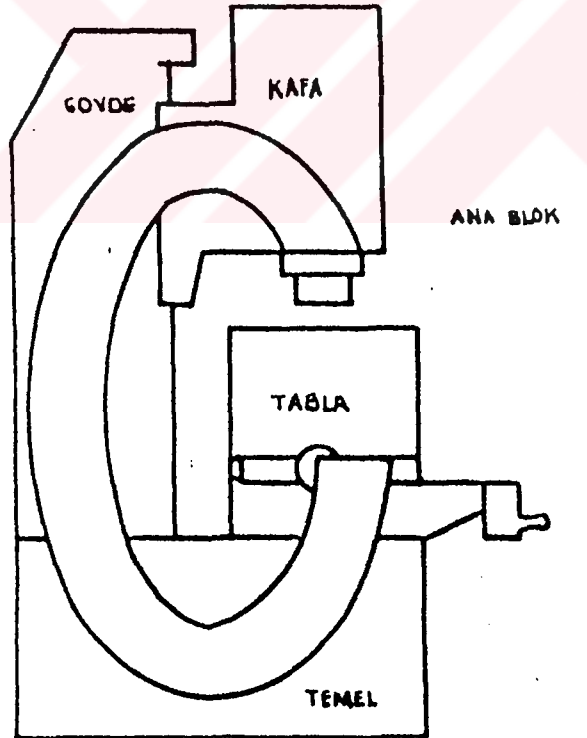
Elektroerozyon tezgahını Ana blok, Dielektrik sistemi, Jeneratör ve Hidrolik sistemi oluşturur.Şimdi bu bölümleri sırayla inceleyelim.

3.1. ANA BLOK (MEKANİK KISIM)

Ana blok dört kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1- Temel
- 2- Gövde
- 3- Kafa
- 4- Tabla

Tabla kısmı enine ve boyuna hareket eden iki arabadan oluşmaktadır. İşparçası tabladaki T yarıklarına tutturulmakta, elektrot ise kafada bulunan ana mile tespit edilmektedir.

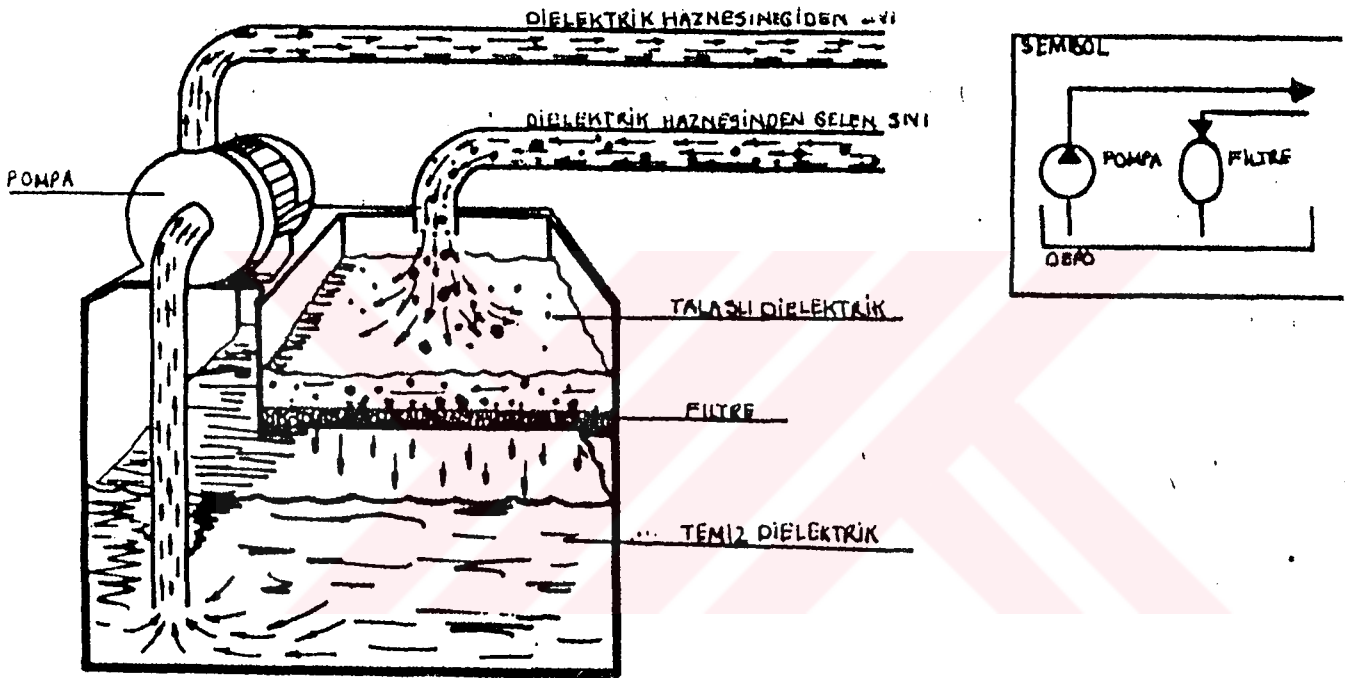


Şekil 46.

Şekil 46'da görüldüğü gibi ana bloğu meydana getiren bölümler C harfini oluşturmaktadır. Bu nedenle ana bloğa C yapısında inşa edilmiş Erozyon makinası da denir.

3.2. DİELEKTRİK SİSTEMİ

Dielektrik sistemi depo, pompa, filtre ve işparçası ile elektrodun bulunduğu dielektrik haznesinden oluşur. Dielektrik haznesinde dielektrik sıvının hareket halinde bulunması, soğutulması ve temizlenmesi bu sistem ile sağlanır. Dielektrik sıvının önemi ve hangi özellikleri taşıması gerektiği ilerde daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

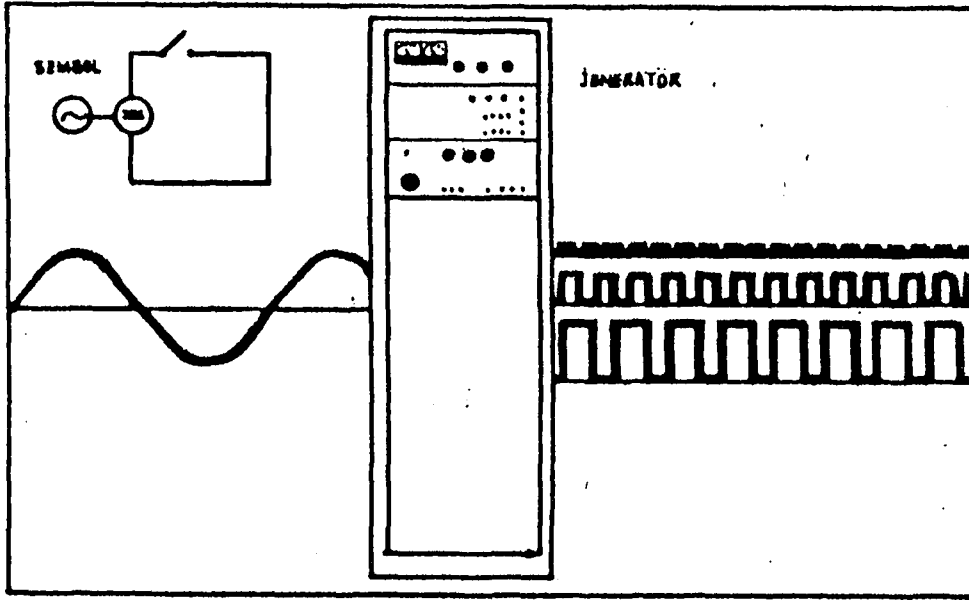


Şekil 4/

3.3. JENERATÖR

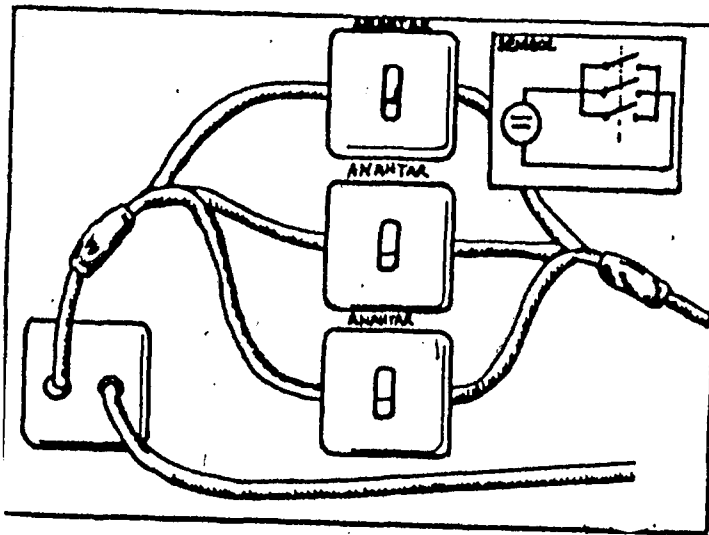
En baştan beri bir anahtardan bahsetmiştir. İşte bu anahtar rolünü jeneratör üstlenir. Jeneratör alternatif akımı önce doğru akıma çevirir, daha sonra doğru akımı yüksek frekanslı darbeleri akıma döndürür. Akımın şiddetini, darbe süresini, boşa kalma (ölü süre) süresini kısaca frekansı ayarlar. Şimdi jeneratörün bu görevleri hangi elemanlarla nasıl yerine getirdiğini görelim.

Jeneratör bir çok anahtar ve elektronik devre elemanlarından oluşur. Çünkü şu anda günümüzde kullanılan elektronik devre elemanları yüksek şiddetli akımları kaldıramazlar. Eğer müsaade edilenden daha yüksek şid-



Şekil 48.

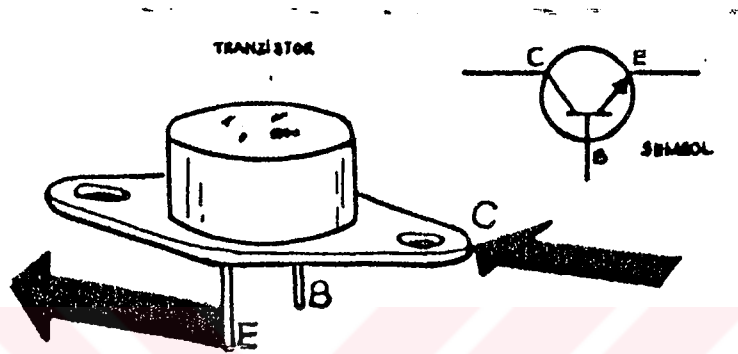
detli akım değerlerinde çalışılırsa elektronik devreler yanar. Elektro-erozyon ile işlemede yüksek şiddetli akım değerleri istenebilir, bu yüzden elektrik akımını birçok devrelere böler ve makinanın işlemlerini devrelerdeki anahtarlarla ayarlar daha sonra bunları birleştiririz. Jeneratörde otuzdan fazla anahtar mevcuttur. Anahtarların çoğu konvansiyonel değil otomat olarak çalışırlar (Şekil 49)'da şematik olarak akımın kollara ayrılması ve daha sonra birleşmesi görülmektedir. Şimdi bu anahtarlardan birkaçını inceleyelim.



Şekil 49.

TRANZİSTÖR :

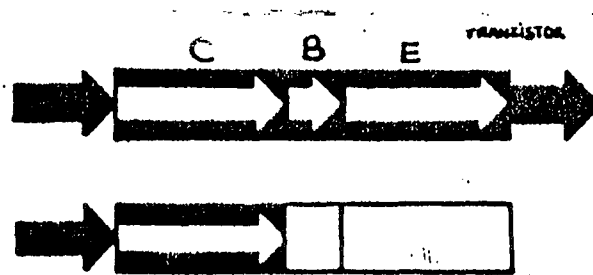
Şekil 50 ve 51'de sembol ve şeması görülmektedir. C ve E iletkenleri arasında B malzemesi yer almaktadır. B malzemesi bazı hallerde iletken bazı hallerde yalıtkan davranır. B malzemesinin iletken davranabilmesi için gerekli şart malzemenin bir akım kaynağı ile bağlantılı olmasıdır. Bu akım kaynağı olarak kullanılan eleman mültivibratördür.



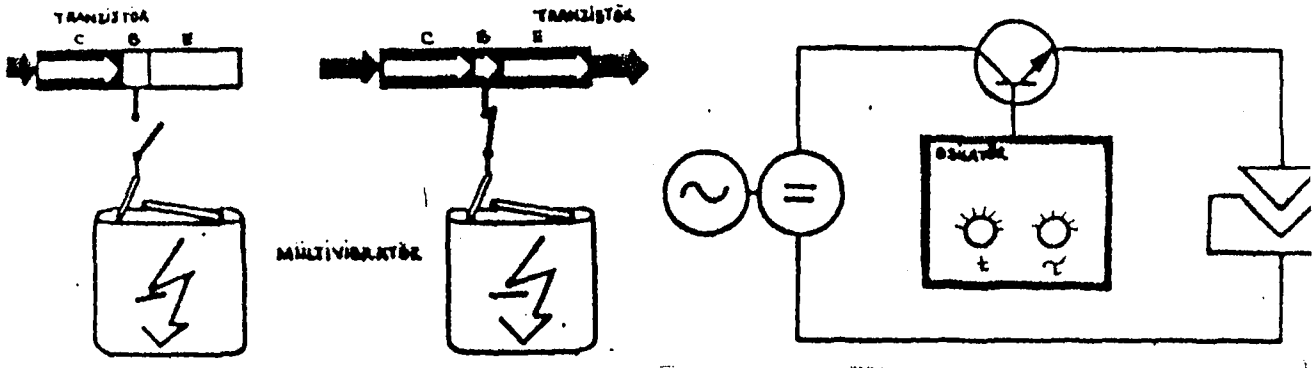
Şekil 50.

MÜLTİVİBRATÖR :

Şekil 52'den de görüldüğü gibi tranzistör ile mültivibratör birarada çayışır. Mültivibratörün iki ayar düğmesi vardır. Bu anahtarlardan biri devrenin açık kalma süresini diğeri de kapalı kalma süresini ayarlar. Kısaca mültivibratör elektronik bir eleman olup istenilen şekilde titreşimler meydana getirerek B malzemesinin iletken veya yalıtkan şekilde davranmasını sağlar.

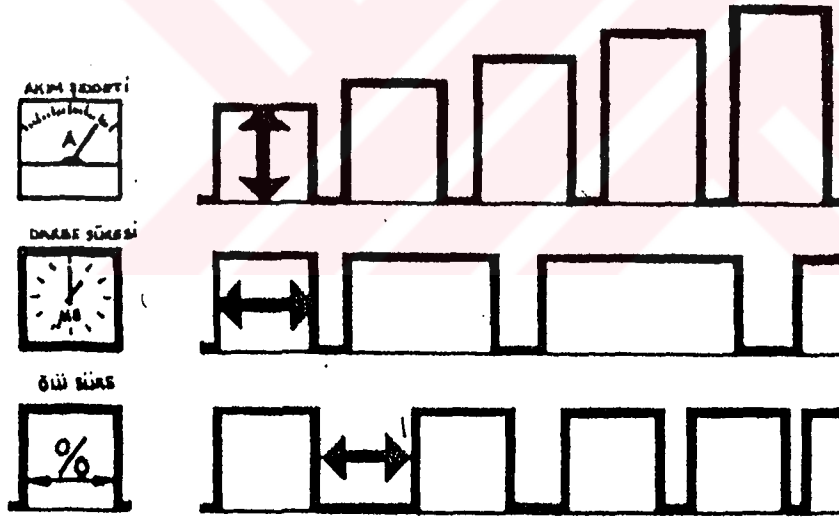


Şekil 51.



Şekil 52

Jeneratör darbeli akımın darbe akım şiddetini, darbe süresini, ölü süreyi yani akım frekansını biraz evvel anlattığımız tranzistör-multivibratör elektronik devre eleman çiftiyle ayarlar Şekil 53'de bu akım parametrelerini daha rahat bir şekilde görelim.



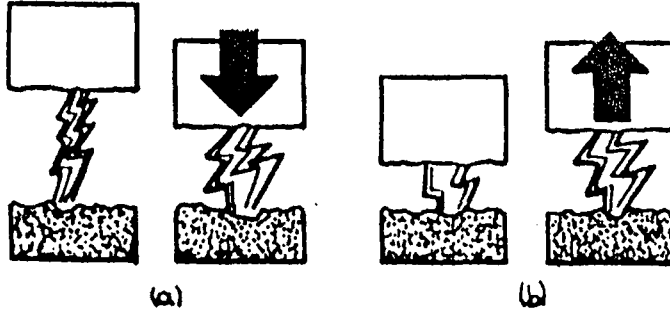
Şekil 53.

METALLER ARASI UZAKLIĞIN TEŞKİLİ VE JENERATÖRÜN İŞLEMDEKİ GÖREVİ

Elektrot ile iş parçası arasındaki uzaklığın kıvılcımın istenen şekilde meydana gelebilmesi için belli bir değerde olması gerektiğini daha evvel belirtmiştik. Biz bu aralığa KIVILCIM BOYU da diyeceğiz. Eşel kıvılcım boyu istenenden büyük ise (a) elektrotu indirmek, ufak ise (b) elektrotu kaldırmak gerekir. Eğer kıvılcım boyu istenen değerde ise elektroda hare-

ket verilmez. Elektrodun bu hareketleri kafada yer alan pistonlu ana mil tarafından kontrol edilir.

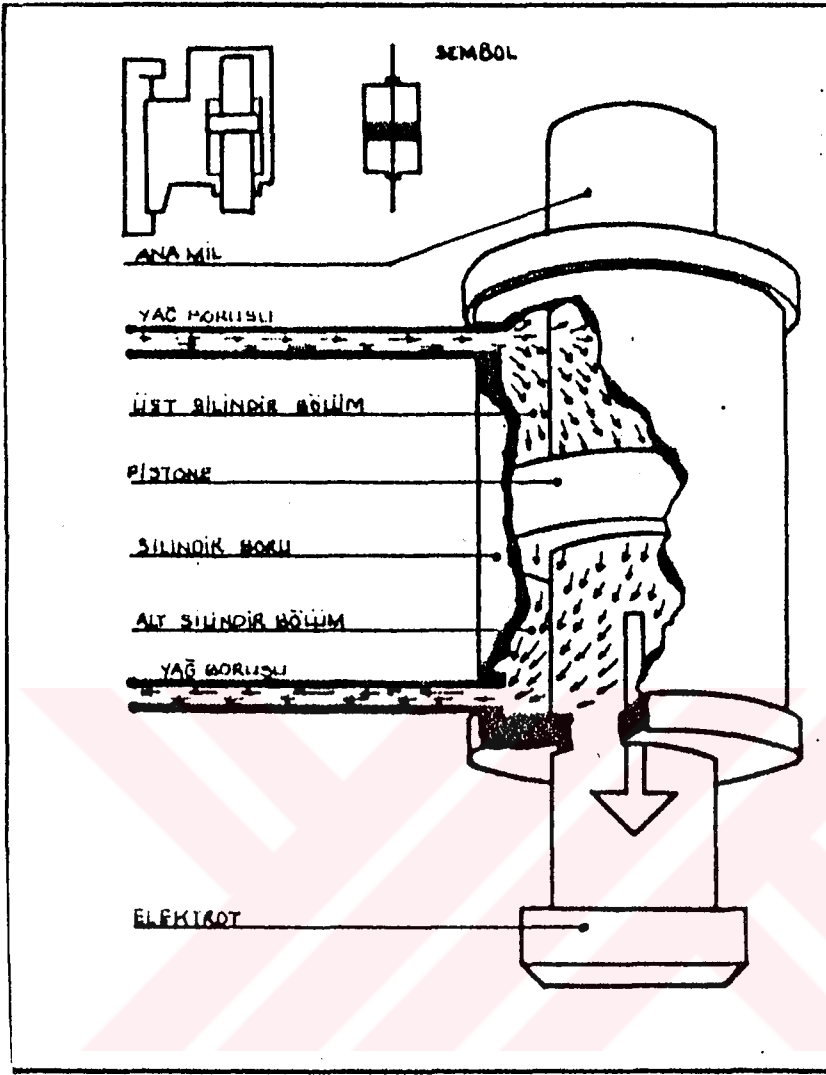
Kıvılcım boyları 0,0125 ile 0,5 mm arasında değişirler.



Şekil 54.

KAFA VE KAFAYI OLUŞTURAN ANA ELEMANLAR

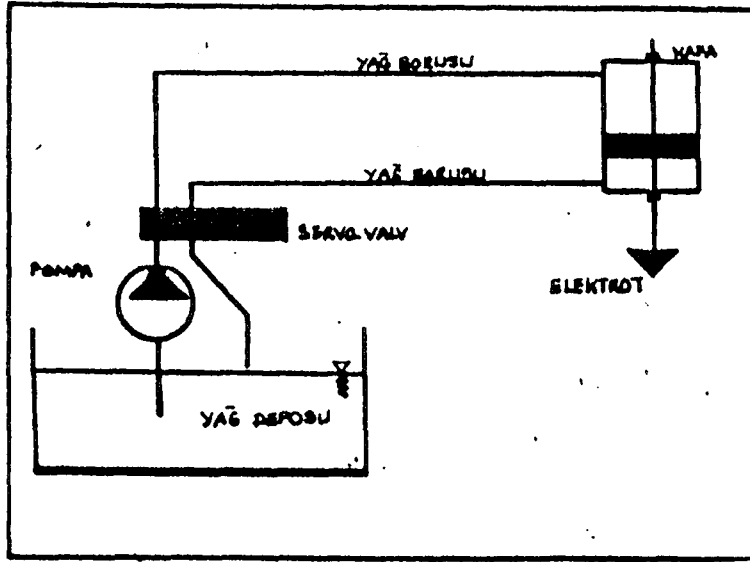
Kafa silindir boru, ana mil ve ana mile kespit edilmiş olan pistondan oluşur. Silindir boru alttan ve üstten kapalıdır. Silindir borunun içinde çift taraflı çalışabilen bir piston mevcuttur. Piston silindir boru içine sızdırmaz bir şekilde yerleştirilmiştir. Silindir boru içinden aynı zamanda ana mil geçmekte ve ana mil pistonu taşımaktadır. Piston böylece silindir boruyu üst silindir bölüm ve alt silindir bölüm olmak üzere ikiye ayırır. Şekil 55'de görüldüğü gibi alt ve üst silindir bölümler yağ borularıyla hidrolik sisteme bağlıdırlar. Eğer alt silindir bölmeye yağ pompalarsak piston yukarı, üst silindir bölmeye pompalarsak aşağı hareket eder, yağ pompalamadığımız takdirde pistonlu ana mil hareket etmez. Elektrotlar da pistonlu ana mile bağlı olduğundan milin yaptığı hareketleri yaparlar.



Şekil 55.

3.4. HİDROLİK SİSTEM

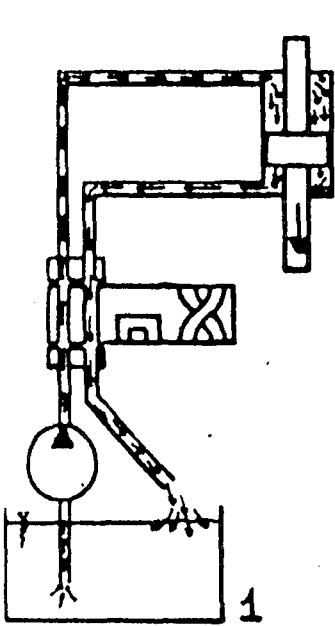
Hidrolik sistem pompa, servo-valv, hidrolik depo ve borulardan oluşmaktadır. Hidrolik pompa depodaki yağı sürekli basmakta yağın yönlendirilmesi ise servo-valv ile sağlanmaktadır. Şimdi servo-valvın bu yönlendirmeyi nasıl yaptığını görelim.



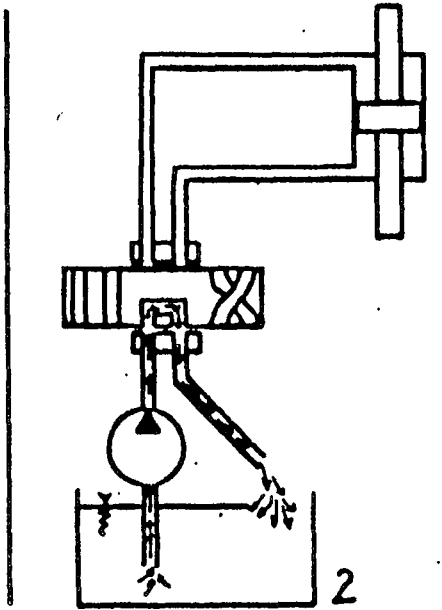
Şekil 56.

Servo-valv üç değişik konumda bulunabilir.

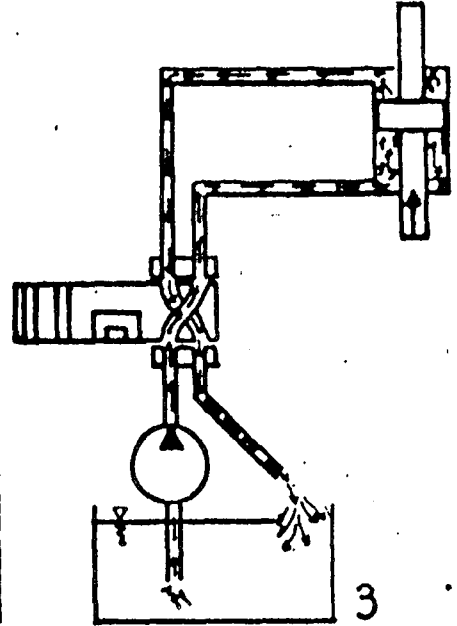
- Servo-valv 1.konumdayken, pompa sıvıyı üst bölmeye basar, böylece piston aşağı doğru hareket eder.
- Servo-valv 2.konumdayken, pompa sıvıyı yeniden depoya basar, böylece piston hareketsiz kalır.
- Servo-valv 3.konumdayken, pompa sıvıyı alt bölmeye basar, böylece piston yukarı doğru hareket eder.



Şekil 57.

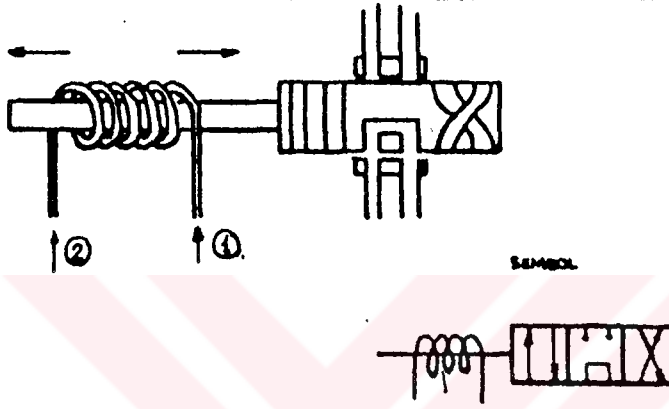


Şekil 58.



Şekil 59.

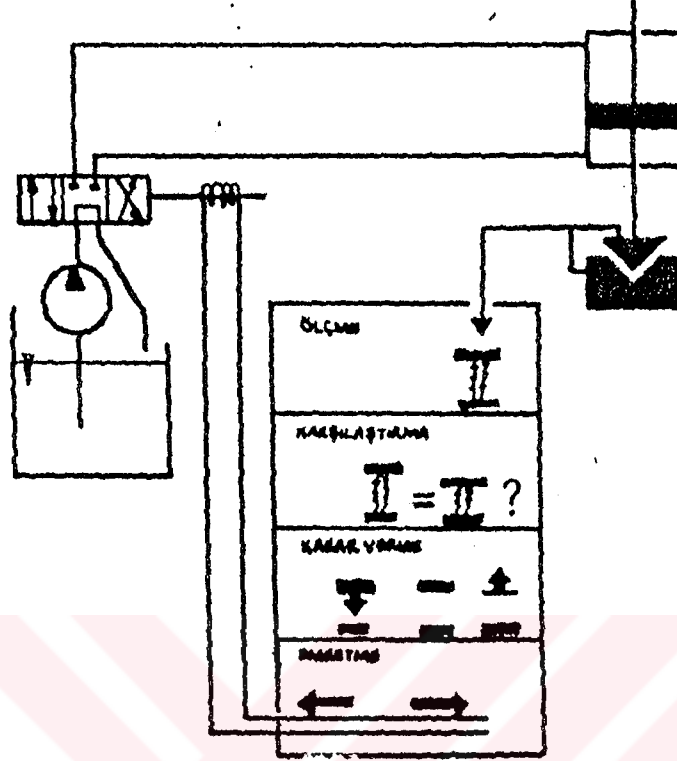
Servo-valvın hareketi için elektromanyetizmadan yararlanılır. Elektromanyetizma demir çubuk, bu çubuğa sarılmış iletken tel ve çubuğun iki yanında duran ve çubuğun hareketini sınırlayan mesnetlerden oluşur. Bobinden geçirilen akımın yönüne bağlı olarak çubuk sağa veya sola doğru mesnetlere değene kadar hareket eder. Akım 1 yönünde verilirse çubuk sola, 2 yönünde verilirse çubuk sağa hareket eder. Çubuk aynı zamanda servo-valvı da taşıdığından aynı hareketleri servo-valv da yaptırır,



Şekil 60.

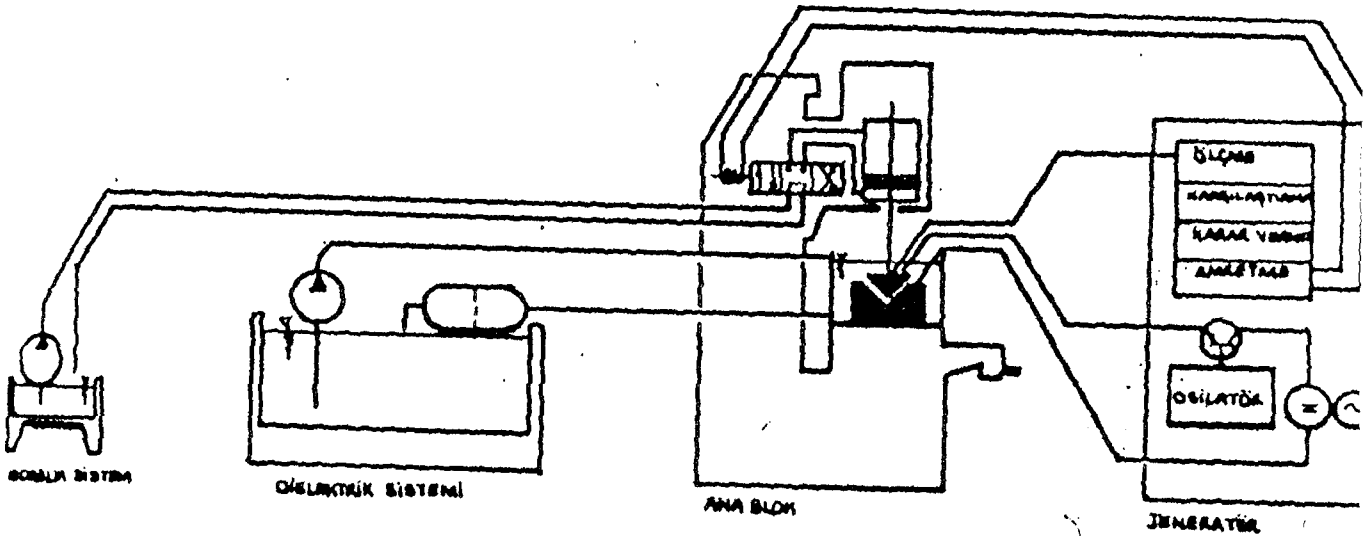
Servo-valv ve elektromanyetizmaya jeneratör kumanda eder. Jeneratör bu kumanda işlemini dört kısımda tamamlar. Bunlar :

- 1) ÖLÇME : Kıvılcım boyu değiştikçe iş parçası ile elektrot arasındaki gerilim de değişir. Bu gerilim değeri ölçülerek kıvılcım boyu tespit edilir.
- 2) KARŞILAŞTIRMA : Ölçülen kıvılcım boyu ile istenen kıvılcım boyu karşılaştırılır.
- 3) KARAR VERME : Karşılaştırma sonucuna göre elektrotun aşağı, yukarı doğru hareketine veya sabit durmasına karar verir. Akımın yönünü tespit eder.
- 4) EMRETMEK : Uygulanması gereken kararı tatbik eder.



Şekil 61.

Şimdi de elektroerozyon tezgahını meydana getiren jeneratör, ana blok, dielektrik sistemi, hidrolik sistemi bir arada görelim.

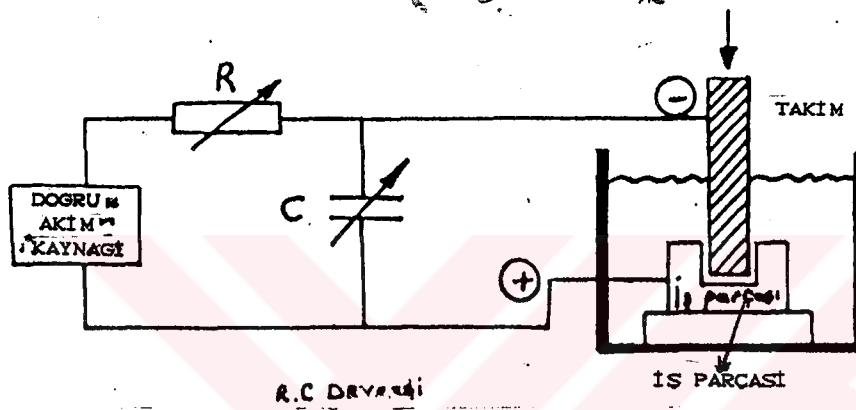


Şekil 62.

Anlatılan elektroerozyon tezgahında elektrik devresi olarak tranzistörlü darbe jeneratörü içeren devreler kullanılmıştır. Bu devrelerden başka vakum tüplü darbe jeneratörü ve R-C devresi mevcuttur.

R-C DEVRESİ :

En basit ve ucuz olan R-C devresi bakır ve pirinç elektrotlarla kullanılır. Kapasitörün dolması belirli bir süre gerektirdiğinden yüksek frekanslara ve yüksek işleme hızlarına ulaşmak mümkün olmaz.



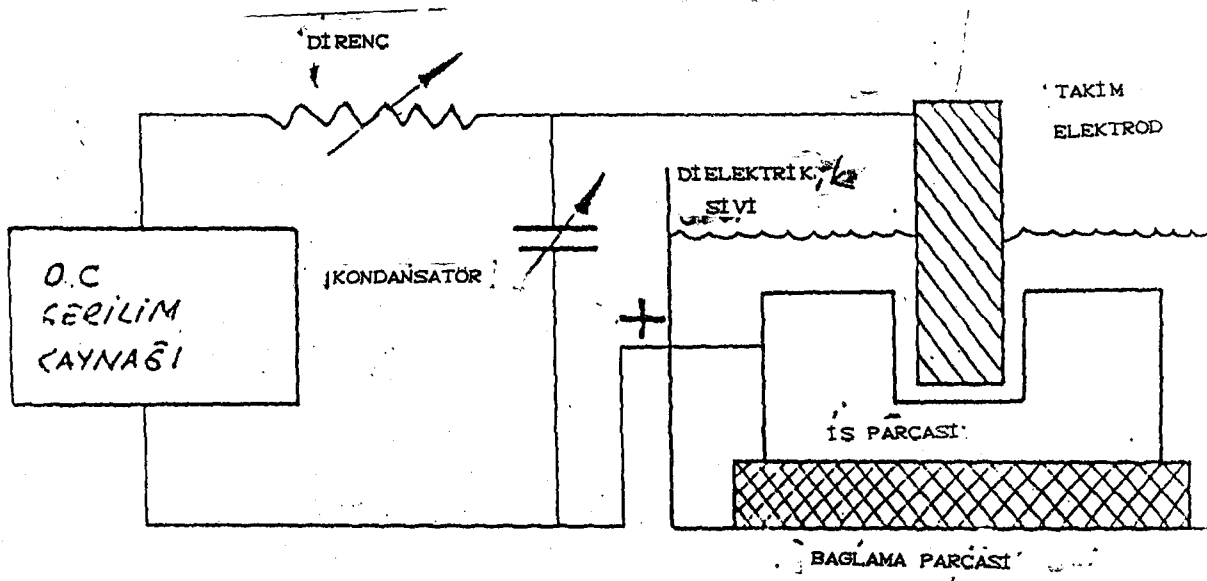
Şekil 63.

3.5. GÜÇ DEVRESİ

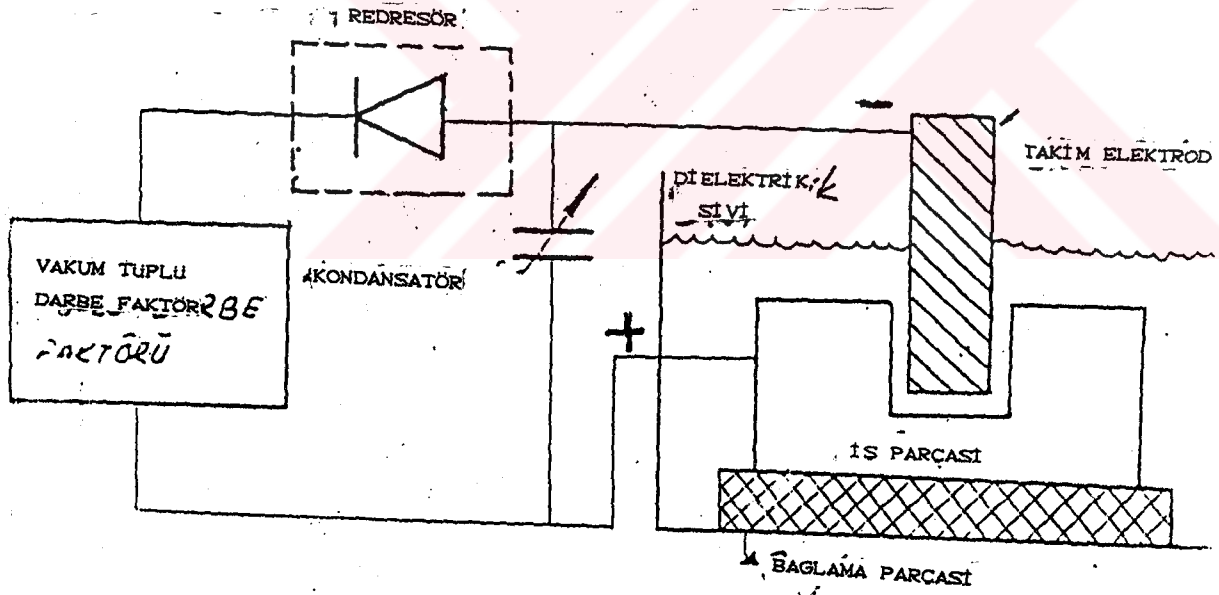
Şekil 64.a'da gösterilen direnç-kapasite devresi çoğunlukla bakır veya pirinç elektrotlarla kullanılan basit ve ucuz bir güç devresidir. R-C Devresi kullanılması halinde imalat oranı düşmektedir. Çünkü kondansatörün dolması için geçen süre frekansın artmasını engellemektedir.

Şekil 64.b'de gösterilen vakum tüplü darbe devresi görülmektedir. Burada dalma süresi çevrimin çok küçük bir parçasını oluşturmaktadır. Bu devre daha basit olan R-C devresiyle karşılaştırıldığında bu tip devre yüksek frekanslarda gelişmiş kumandaya daha yüksek bir metal kaldırma oranına ve elektrodun daha az aşınmasına olanak sağlamaktadır.

Temel darbe devresinin kullanımını kısıtlayan faktörlerden birisi yüksek akımlar elde edebilmesi için çok sayıda vakum tüpüne ihtiyaç olmasıdır. Diğer ise vakum tüpü karakteristiki de (yüksek gerilim düşük akım) ile kıvılcım aralığı karakteristikleri (düşük gerilim, yüksek akım) arasındaki temel uyumsuzluktan ileri gelen sorunlardır.



Şekil 64.a- R-C Devresi



Şekil 64.b- Darbe Devresi.

3.5.1. Elektriksel Boşalma Devrelerinin Tipleri

EDM'de çok çeşitli tipte elektriksel boşalma gücü kaynağı kullanılmaktadır. Bunların arasında pek çok farklar bulunmasına rağmen, her tip aynı temel amaca dönük olarak, yani elektriksel kıvılcım erozyonu ile ekonomik olarak talaş kaldırmak için kullanılırlar. Halen günümüzde kullanılan elektriksel güç sağlama üniteleri şöyle sıralanabilirler :

3.5.1.1. Direnç-kondansatör güç kaynağı üniteleri

3.5.1.2. Darbeli tip güç üniteleri

3.5.1.3. Dönel sevk (impuls) jeneratörlü güç üniteleri

3.5.1.4. Sabit sevk (impuls) jeneratörlü güç üniteleri

Genel olarak direnç-kondansatör ve darbeli tip güç ünitelerinin yüksek sıklıkta kullanılmaları sebebi ile sadece bu iki tip ayrıntılı olarak incelenecektir.

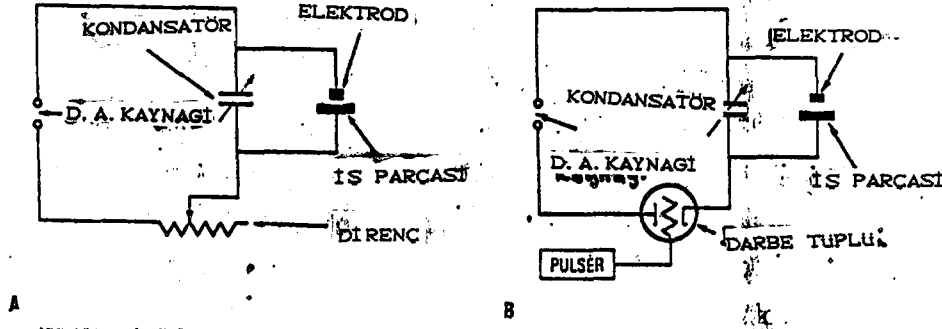
Direnç-kondansatör tipi güç kaynağı üniteleri ilk EDM makinalarında geniş olarak kullanılmışlardır. Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri dışındaki ülkelerde imal edilen EDM makinalarında bu güç kaynağı ünitelerine sıkça olarak rastlanmaktadır. Şekil 65.a'da gösterildiği gibi kondansatör bir doğru akım voltajı kaynağından gelen, ayarlı bir direnç elemanı üzerinden geçirilmiş bir akımla yüklenir. Kondansatöre yüklenen voltaj belirli bir değere ulaştığında dielektrik sıvı bünyesinde meydana gelen başkalaşım sonucu kıvılcım oluşumu gerçekleşir. Nispeten yüksek voltaj (125 V), kaba tür kesme işlemleri için 100 mikrofaraadın üzerinde yüksek kapasite değerleri, düşük kıvılcım frekansı ve yüksek amperaj direnç-kondansatör güç kaynağı ünitelerinin karakteristiklerini oluştururlar.

Direnç-kondansatör devrelerinde talaş kaldırma oranlarındaki artış sanideki boşalım miktarından çok kullanılan amperaj ve kapasite değerlerinin arttırılmasına bağlıdır. Düşük frekans, yüksek voltaj yüksek kapasite ve yüksek amperajın bir arada kullanılması şu sonuçları doğurur:

- a) Oldukça kaba bir yüzey işleme bitimi
- b) Elektrod çevresinde yüksek aşındırma oluşumu
- c) Daha büyük metal parçacıklarının işlenen yüzeyden kaldırılması ve bunların temizlenebilmesi için daha büyük alanı ihtiyaç duyulması.

Direnç-kondansatör güç kaynaklarının avantajları ise şöyle sıralanabilir:

- Devre basit ve güvenilebilirdir.
- Düşük amperaj değerlerinde, özellikle de 0.12 mm'den daha düşük çapa sahip olan deliklerin miliamperlik akım değerleri ile işlenmesi gerektiği durumlarda gayet iyi çalışır.



Şekil 65. EDM güç kaynağı devreleri.

Darbeli tip güç kaynakları halen Amerikalı üreticiler tarafından sık olarak kullanılan bir tiptir. Direnç-kondansatör tipi ile pek çok benzerliği olmasına rağmen, yüksek darbe hızının gerçekleştirilmesinde kullanılan ve şalter vazifesini gören vakum tüplerinin varlığı nedeni ile bu güç kaynağı tipinden ayrılırlar. (Şekil 65.b) Darbe genişlik ve aralıkları bu şalter vazifesi gören araçlarca tam olarak kontrol edilebilirler. Şalterin açıp kapama işlemi aşırı hızlı olup, saniye başına gerçekleşen boşalma miktarı düşük frekanslarda çalışan direnç-kondansatör güç kaynaklarına göre on misli daha yüksektir. Saniye başına düşen boşalma miktarının artması ve aynı akım şiddetinin (10 A) kullanılmasıyla, daha küçük kraterlerin oluşumu sağlanır ve aynı talaş kaldırma oranları ile çok daha kaliteli ve hassas bir yüzey elde edilebilir.

Darbeli tip güç kaynaklarının devreleri çoğunlukla alçak voltaj (70-80 V), yüksek frekans (260 000 Hz), düşük kapasite (50 mikroyarad veya daha az), düşük kıvılcım enerjisi seviyelerinde çalışmaktadır.

Darbeli tip güç kaynağı devrelerinin esas avantajlarını şöyle sıralayabiliriz :

- Çok yönlü çalışma özelliğine sahip olup, kaba yüzey işleme ve bitirme operasyonlarında hassas olarak kontrol edilebilir.

- b) Zaman birimi başına çok sayıda kıvılcım oluşması ve dolayısı ile de kıvılcım başına düşen talaş kaldırma miktarının daha az olması sonucu bitirme işlemi sonucu çıkan yüzeyin çok daha kaliteli bir şekilde meydana çıkması sağlanır.
- c) Elektrod çevresinde oluşan aşırı talaş kaldırma daha düşük oranlarda gerçekleşir.

lerinin hiçbirisi genel kullanım amaçlarına uygun olmayıp, her işleme operasyonu kendi koşullarına göre bir elektrod malzemesi seçimini gerektirir. Sarı pirinç iyi işlenebilme özelliği, elektriksel iletkenliği ve düşük maliyet özellikleri nedeni ile darbeli tip devrelerde ana elektrod malzemesi olarak kullanılır. Bakır ise yüksek voltaj değerleri kullanılan direnç-kondansatör devrelerinde daha iyi sonuçlar verir.

Yüksek yoğunluk ve saflıktaki karbon (grafit) geniş bir şekilde kullanıma açık olup, nispeten yeni elektrod malzemesi türlerinden biridir. Çeşitli şekil ve boyutlarda kullanıma sunulmakta, nispeten ucuz ve kolayca işlenebilir olan bu malzeme mükemmel bir elektrod üretimini sağlamaktadır. Diğer malzemelere göre takım aşınma oranı çok düşük, talaş kaldırma oranı ise neredeyse iki mislidir. Üstün grafit elektrodların geliştirilmesi, bu elektrodların maliyetlerinin düşük olması ve kolay işlenebilmeleri sebebi ile grafit elektrod kullanımı büyük ölçüde artmıştır.

3.5.2. Elektriksel Boşalma İşlemi Prosesi

Kullanım alanları çeşitlenip arttıkça elektriksel boşalma makinalarının sayısı da artmakta ve işlem gün geçtikçe daha çok yararlanılan bir proses olmaktadır. Ekipman ve uygulama tekniklerindeki önemli teknolojik gelişmelere bağlı olarak işlemi benimseyerek kullanan endüstri sayısı gittikçe artmaktadır. İşte bu yüzden elektriksel boşalma makinalarının çeşitli bakımlardan detaylı olarak incelenmesi gerekli olmaktadır.

3.5.2.1. Servo Kontrol Mekanizması

İşlem sırasında elektrod (takım) ile iş parçasının arasında herhangi bir fiziksel kontakt (temas) olmaması özellikle önemli olup, aksi takdirde ark oluşumu sırasında hem elektrod hem de iş parçasında ciddi tahribat meydana gelir. Elektriksel boşalma mekanizmaları elektrod ve iş parçası arasındaki mesafeyi 0.02 mm'de sabit tutan bir servo kontrol mekanizması ile donatılmışlardır. Mekanizma aynı zamanda takımın işlem esnasında iş parçası içerisinde ilerlemesini, hata oluşumunda ve yetersiz işleme durumlarında takımın geri çekilerek gerekli düzeltmenin yapılabilmesini sağlar. Aralığın hassas bir şekilde kontrol edilmesi başarılı bir işleme operasyonunun temelini oluşturur. Aralığın çok büyük olduğu durumlarda dielektrik sıvının iyonizasyonu gerçekleşmez ve sonuçta da işlem yapılamaz. Aksi takdirde ise (Aralık çok küçük olursa) takım ve iş parçası birbirlerine kaynayabilirler.

Hassas aralık kontrolü güç kaynağına bağlı bulunan bir devre yardımı ile ortalama aralık voltajının (geriliminin) belirli bir referans voltajı (gerilimi) ile karşılaştırılması suretiyle gerçekleştirilir. Bu iki voltaj değeri arasındaki fark takımın ne miktarda ve hangi hızla ilerletileceğini belirleyip, iş parçasından ne zaman geri çekileceğini saptamaya yarayan girdi sinyalini oluşturur.

Kıvılcım aralığında oluşan talaşlar voltajı kritik seviyenin altına düşürürlerse servo kontrol mekanizması takımını, talaş artıkları dielektrik sıvı tarafından temizlenene kadar geri çeker. Servo kontrol sistemi aynı zamanda aşırı hassasiyete sahip olmamalıdır. Bu durumda sistem temizlenen talaş artıklarınca oluşturulan kısa ömürlü voltaj değerlerinden etkilenecek ve sürekli olarak takımını geriye çekerek, işleme oranlarını ve süresini ciddi bir şekilde etkileyecektir.

Servo besleme kontrol mekanizması elektrodun (takımın) düşey hareketinin kontrolünde, boşluk içerisinde ilerlerken yardımcı olur. Bu mekanizma aynı zamanda iş parçasının bağlı olduğu tablaya göre elektrodun (takımın) gerekli yatay hareketleri yapmasını da düzenler.

3.5.2.2. Kesme Akımı (Amperaj)

EDM güç kaynakları takım ve iş parçası arasında oluşan elektriksel boşalmayı sağlayan doğru akım elektrik enerjisini meydana getirirler. Darbeli tip güç kaynaklarının Kuzey Amerika'da daha çok kullanılmaları nedeni ile sadece bu tipin karakteristikleri dikkate alınmıştır.

3.5.2.3. Darbeli Tip Devrelerin Karakteristikleri

- a) Düşük voltaj değerleri (Normalde 70 V olan değer kıvılcım oluşumu sonucu 20 V'a kadar düşer).
- b) Düşük kapasite (50 mikrofaraad veya daha az)
- c) Yüksek frekans değerleri (Genellikle 20000-30000 Hz olup, 260000 Hz'e kadar yükselebilir).
- d) Düşük enerjili kıvılcım seviyeleri.

3.5.2.4. Boşalma Prosesi

Elektrod ve iş parçası (Katod ve Anod) yüksek miktarda yeterli elektrik enerjisi kullanıldığında dielektrik sıvı bir gaz haline dönüşür. Bu gazın oluşturduğu iyonizasyona uğramış aralıktan yüksek bir akım boşalması aktararak iş parçasının yüzeyine çarpar. Bu boşalma ile oluşan enerji elektrik ileten çubuğun çevresindeki dielektrik sıvıyı çözündürür ve buharlaşmasına sebep olur. Akım iletimi sürerken, boşalma sütununun çapı gittikçe genişler ve geçen akım miktarı artar. Elektrod ve iş parçası yüzeyi arasında oluşan sıcaklık iş parçası yüzeyinde erimiş metalden oluşan küçük bir birikinti meydana gelmesine yol açar. Akım birkaç mikrosaniye süresince kesildiğinde bu ergimiş metal parçacıkları katılaşır ve dielektrik sıvı tarafından işlem bölgesinden uzaklaştırılırlar.

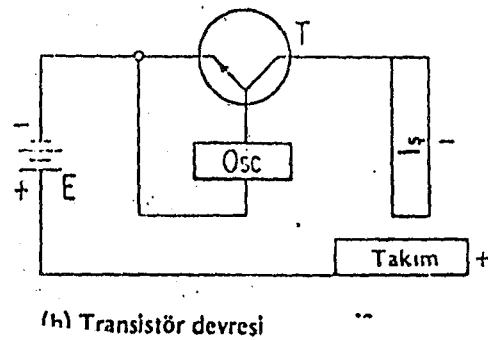
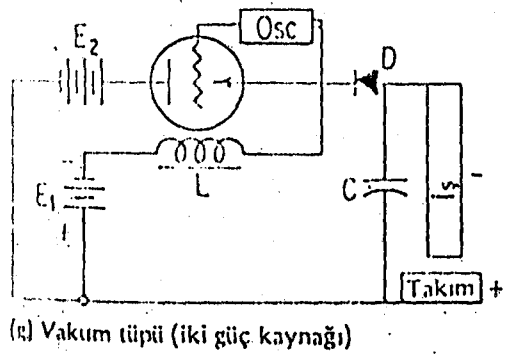
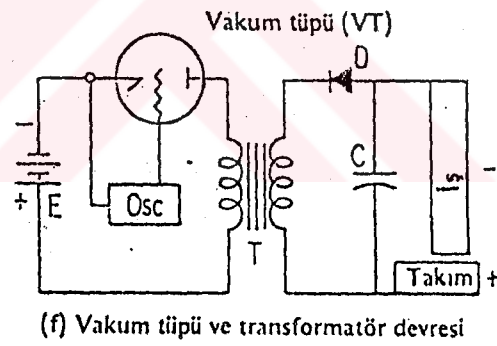
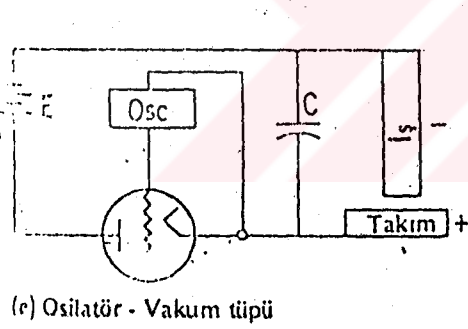
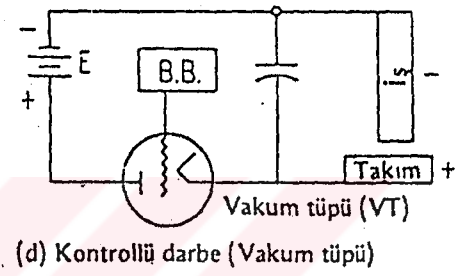
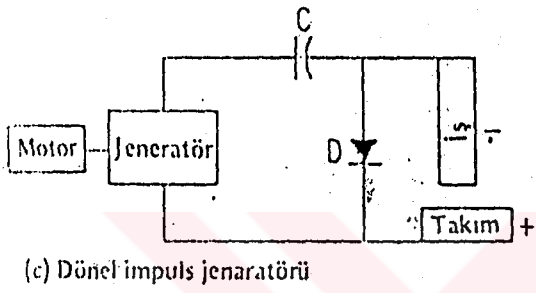
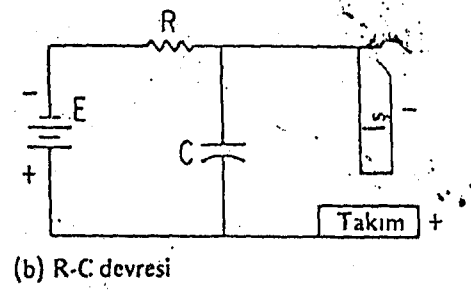
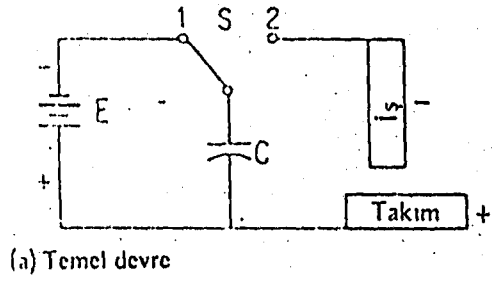


Bu elektriksel boşalma elektrod ve iş parçası arasında 20000-30000 Hz'lik frekans değerlerinde oluşur. Her boşalma küçük bir parça metal çözündürülmüş olur. Voltajın sabit olması sebebi ile kaldırılan talaş miktarı elektrod ve iş parçası arasında meydana gelen şarj miktarı ile orantılıdır. Hızlı talaş kaldırabilmek için, maksimum miktarda metal çözündürülmesi ancak yüksek akım değerlerinin kullanılması ile mümkün olur. Fakat, bu da iş parçası yüzeyinde büyük kraterlerin oluşmasına, dolayısı ile de kaba bir son yüzey meydana çıkmasına sebebiyet verir. Daha küçük kraterler, dolayısı ile de daha kaliteli bir son yüzey oluşturulması amacı ile düşük enerji yüklerinin kullanılması tercih edilir. Bunun sonucu olarak kaldırılan talaş miktarı oranlarında düşmeler görülür. Elektrik akımı sürerken Hertz sayısı arttırılarak daha küçük kraterler ve daha iyi bir son yüzey elde edilebilir. Elde edilecek olan son yüzey kalitesi saniyede oluşan elektriksel boşalımın sayısı ile orantılıdır.

Şekil 66. Farklı frekanslarda kıvılcım boşalımı uygulanmasının krater ve son yüzey oluşumuna etkileri.

GÜÇ KAYNAĞI DEVRELERİ

Şekil 67'de gösterildiği gibi birçok temel elektrik devresi elektro-erozyon tezgahlarında seyiren doğru akım sağlamak için kullanılır.



Şekil 67. Temel güç kaynağı devreleri.

4. DİELEKTRİK SIVI

Elektriksel boşalma işleminde kullanılan dielektrik sıvıdan çok çeşitli şekillerde yararlanılır. Bunları kısaca şöyle sıralamak mümkündür.

- a) Elektrod ve iş parçası arasında kıvılcım oluşumuna yardım eder.
- b) Kıvılcım oluşumunu dar bir kanal ile sınırlar.
- c) Takım ve iş parçası arasında bir yalıtkan görevi görür.
- d) Kısa devre oluşumunu önlemek amacı ile metal parçacıklarının işlem bölgesinden uzaklaştırılmasını sağlar.
- e) Elektrod ve iş parçasının her ikisi için de bir soğutucu olarak görev yapar.

4.1. ELEKTROEROZYON İLE İŞLEMEDE DİELEKTRİK SIVILARIN GÖREVİ

Dielektrik sıvıların görevlerini üç kısımda toplayabiliriz:

- a) Elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan gerilim neticesinde dielektrik sıvıda meydana gelen yırtılma akımın başlamasını sağlar. Sıvının dielektrik sabiti uygulanan voltajda kıvılcım oluşmasını sağlayacak seviyede olmalıdır.
- b) Elektrot ile iş parçası arasında sağlanan aralıkta dielektrik sıvının dolaşması ile işleme esnasında oluşan ufak talaşların ortamdan uzaklaştırılması sağlanır ve çalışma dengesinin kusursuz olması gerçekleştirilir.
- c) Dielektrik sıvının dolaşımı kıvılcımlanma neticesi ile ısınmaya eğilim gösteren elektrot ile iş parçasının soğutulmasını sağlar.

4.2. ELEKTROEROZYON İLE İŞLEMEDE KULLANILAN DİELEKTRİK SIVILARIN BAŞLICA ÖZELLİKLERİ

Elektroerozyon ile işlemede kullanılan dielektrik sıvıların büyük bir kısmı hidrokarbon yağlarıdır. Aşağıdaki özellikleri ile ayırt edilirler.

- Özgül kütle
- Viskozite
- Kaynama noktası

- Parlama noktası
- İçindeki aromatik madde miktarı
- Isısal ve kimyasal denge
- Süzülebilirlik
- Çökelme kapasitesi
- Soğutma kapasitesi
- Kimyasal bileşkenliği
- Toksit durumu
- Koku ve dumanlaşma durumu
- Korozyon etkisi
- Fiyat durumu ve tedarik etme imkanı da dielektrik sıvının seçiminde önemli rol oynar.

4.3. KULLANILAN DİELEKTRİK SIVILAR

Elektro ile işlemede dielektrik olarak kullanılmaya uygun büyük bir hidrokarbon çeşidi mevcuttur. (Yağlar, petrol, gazyağı vs.). Genel olarak, kaynama ve parlama noktaları ile viskozitelerinin ve özgül kütlelerinin aynı zamanda arttığı görülmektedir. Viskozitesi nispeten yüksek ve parlama noktaları yüksek maddelerin kaba işlemede iyi netice verdikleri ve biraz daha yüksek aşındırma hızları elde etmeyi sağladıkları görülmüştür. Bu ürünlerin içindeki aromatik hidrokarbon miktarı genellikle yüksektir.

Bunun aksine viskozitesi düşük olan hidrokarbonlar dielektrikte iyi bir dolaşım sağlarlar ve elektrot ile iş parçası arasındaki mesafenin ufak olduğu hallerde talaşların ortamdan daha iyi bir şekilde uzaklaştırılmasını temin ederler.

Teste tabi tutulan dielektrik sıvılar iki kısımda sınıflandırılmışlardır.

- 1-5 numaralar, düşük viskozite,
- 6-10 numaralar, nispeten yüksek viskozite.

Dielektrik No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yoğunluk (gr/cm ³)	0.778	0.783	0.784	0.785	0.797	0.827	0.829	0.830	0.842	0.874
Viskozite 20°C için	2.5	2.2	1.7	2	2	7.3	7.4	7.4	7.4	7.5
Parlama Noktası (°C)	71	82	62	70	68	118	124	115	120	134
Kaynama Noktası (°C)	198	213	186	187	196	275	281	253	255	292
İçindeki aromatik madde miktarı (% Hacim)	0.5	1	17	3	4	7	5	9	13	20

Tablo 4.1.

Dielektrik sıvı olarak su ve silikon yağları da kullanılır.

SU : Normal su veya deionize su duruma göre bazı elektroerozyon uygulamaları için ideal bir dielektriktir. Örneğin tel elektrot ile kesme ve mikro işlemlerde deionize su kullanılır. Düşük viskoziteli olması ve hidrokarbonlara göre çok ince ve tozumsu talaşlar vermesi çok ufak kıvılcım boyları ile çalışmayı mümkün kılmaktadır. Diğer taraftan eşit enerji koşullarında su ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü hidrokarbonlara oranla % 20-30 daha düşüktür.

SİLİKON YAĞLARI : En büyük avantajları hidrokarbonlarda olduğu gibi çimentolaşmaya imkan vermemesidir. Çünkü bu çimentolaşma ve neticede meydana gelen sertleşme bazı özel hallerde istenmeyen durumlar yaratabilir.

4.4. DIELEKTRİK SIVILARIN TIPLERİ

Dielektrik olarak kullanılan pek çok sıvı farklı oranlarda talaş kaldırılması sonucunu doğurur. Bu sıvılar hızlı bir şekilde iyonize olabiliyor, tekrar aynı hızla eski durumlarına dönebilmeli ve dar işleme aralığından kolayca pompalanabilmeleri için düşük viskoziteye sahip olmalıdırlar.

Dielektrik sıvı olarak kendilerini ispat etmiş olup, en çok kullanılan EDM sıvıları, hafif yağlama yağları, transformer yağlar, silikon bazlı yağlar ve kerosen olmak üzere, çeşitli petrol türevlerinden meydana gelmektedirler. Bu sıvılar özellikle grafit elektrodlarla olmak üzere yüksek performans gösterirler ve maliyet bakımından da ucuzdurlar. Bazı durumlarda dielektrik sıvı olarak karbon-tetraklorid ve belirli sıkıştırılmış (yoğun) gazlarda kullanılabilmektedir.

Talaş kaldırma oranları üzerindeki etkisi ve elektrod aşınması ile yakından ilişkili olması sebebiyle EDM proseslerinde kullanılan dielektrik sıvıların seçimi önem kazanır. Bu işlemlerde kullanılabilecek yeni ve daha iyi dielektrik sıvılarının bulunması amacı ile endüstri kuruluşları tarafından sürekli olarak araştırmalar yapılmaktadır. Trietilen-glikol, su ve monoetil-eterden oluşan bir etilen-glikol sıvısı, özellikle metalik elektrodlarla yapılan işlem araştırmalarında çok başarılı sonuçlar vermiştir. EDM proseslerinde gelişmeyi sağlamak amacı ile pek çok yeni dielektrik sıvısının bulunması muhtemel görülmektedir.

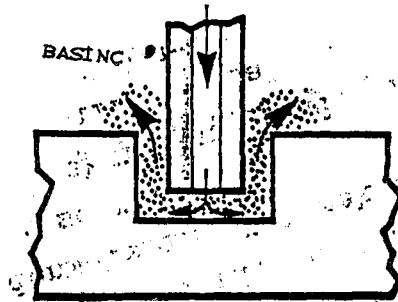
4.5. DİELEKTRİK DOLAŞIM YÖNTEMLERİ

Dielektrik sıvıları işleme prosesine yardım etmek ve metal parçacıklarını işlem bölgesinden uzaklaştırmak amacıyla sabit basınç altında dolaştırılmak zorundadırlar. İşlem sırasında kullanılan basınç genelde 34.4 kPa'dan başlar ve optimum kesme işleri gerçekleştirilene kadar arttırılır. Çok fazla miktarda dielektrik sıvısı kullanılması oluşan talaşların işleme yardımcı olamadan kaldırılmasına ve uzaklaştırılmasına sebep olur. Bunun sonucunda da işleme oranlarında düşmeler ve işleme hızında da yavaşlamalar görülür. Aşırı düşük basınç kullanımı ise talaşların yeterince hızlı bir şekilde taşınıp uzaklaştırılmamasına ve bu yüzden de kısa devrelerin oluşmasına sebep olur.

Dielektrik sıvıların dolaşımında genel olarak dört metod kullanılmaktadır. Bütün metodlarda taşınan metal parçacıklarının tekrar geri dönmelerini önlemek amacı ile ince (hassas) filtrelerin kullanılması zorunludur.

4.5.1. Elektrodun İçinden Aşağı Doğru (Şekil 68)

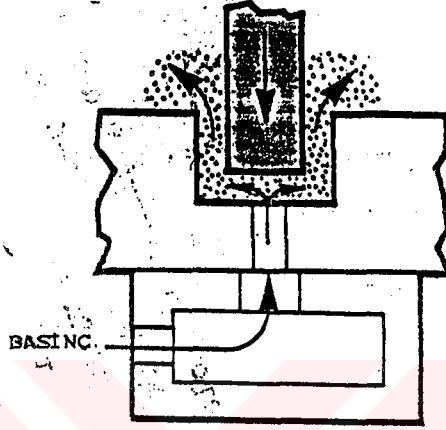
Elektrod boyunca bir veya birkaç kanal açılmış olup, dielektrik sıvı bu kanallardan geçirilerek elektrod ve iş parçası arasına yüksek bir basınçla etki ettirilmektedir. Bu suretle metal parçacıkları işlem bölgesinden uzaklaştırılmış olmaktadır. Oluşturulan çukurların diplerinde (taban kısımlarında) küçük bir işlem kalıntısı veya göbek meydana gelir. Bu oluşum işlem bitimini takiben uzaklaştırılmak zorundadır.



Şekil 68. Dielektrik sıvının elektrodun içinden aşağı doğru geçirilerek dolaştırılması.

4.5.2. İş Parçasının İçinden Yukarı Doğru (Şekil 69)

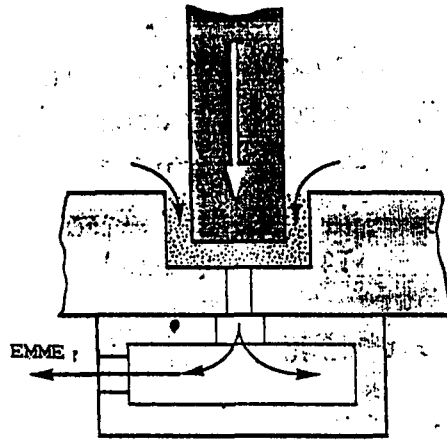
Diğer bir genel metod ise dielektrik sıvının iş parçasının içinden yukarı doğru geçirilerek dolaştırılmasıdır. Bu tip bir uzaklaştırma işlemi doğrusal delik delme uygulamaları ile sınırlıdır.



Şekil 69. Dielektrik sıvının aşağıdan yukarı doğru iş parçasının içinden geçirilerek dolaştırılması.

4.5.3. Vakum Akışı (Şekil 70)

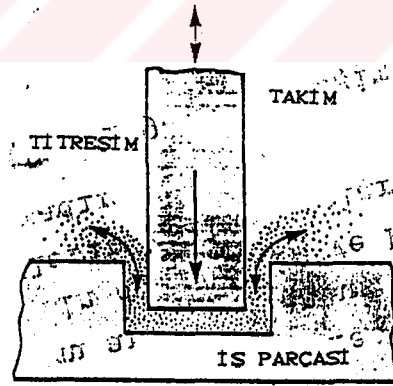
Elektrod ve iş parçası arasındaki 0.02 mm'lik boşluğun bu bölgede oluşturulan negatif basınç (vakum) vasıtası ile dielektrik sıvının akışı sağlanmak suretiyle gerçekleştirilen bir dolaşım metodudur. Akış elektrodun bünyesine açılmış olan bir kanaldan yukarı doğru veya iş parçasına açılan bir kanaldan aşağı doğru olmak üzere iki türlü gerçekleştirilebilir. Vakum akışının diğer yöntemlere göre işlem verimini arttırması, duman ve buhar oluşumunu azaltması, iş parçasında koniklik oluşumunu azaltması veya tamamen ortadan kaldırması gibi önemli bazı avantajlara sahiptir.



Şekil 70. Dielektrik sıvısının iş parçasından geçirilmek sureti ile emilerek dolaştırılması

4.5.4. Titreşim (Salınım) (Şekil 71)

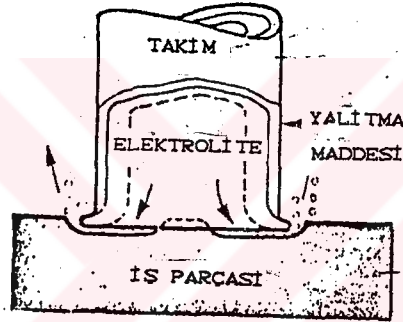
Bir pompalama ve emme hareketi yardımı ile talaş dielektrik sıvısı tarafından kıvılcım oluşumu aralığından uzaklaştırılır. Titreşim yöntemi çok küçük veya derin deliklerin ve kör çukurlukların oluşturulması gibi diğer metodların kullanılmalarının pratik olamayacağı durumlarda önem kazanmaktadır.



Şekil 71. Titreşim yöntemi ile dielektrik sıvısının dolaştırılması

5. ELEKTRODLAR

Elektrod takımı elektrik devresinin daima (-) ucundadır. Bir yalıtılmış takımın boşluklu şekil ve büyüklükte yapılması istenir. Elektrolit çözelti elektrodun merkezindeki delikten makinada işleme bölgesini beslemektedir. Çünkü EDM prosesinin yapılması esnasında elektrod çevresinde elektrolitin tamamen akışına ve kesme aralığına müsadde edilmesi için gereklidir. Takım üreteceği delikten 0.12 mm'lik daha küçük yapılır. Deliklerin içinde kesici takımların uzamasını önlemek için elektrodların çevresi yalıtılmıştır.



Şekil 72.

Elektrod takımının maksatlarından biri de onun şeklini iş parçasının belirlemesidir. Örneğin bir kare elektrod bir kare delik meydana getirmektedir. Yuvarlak delik yuvarlak elektrodla meydana gelir. Boşluklu şekiller baştan başa EDM ile üretilir. Sınırlandırılmış şekiller sadece elektrodla kesilebilir. Elektrod takımı yapımında kullanılan metaller şu karakteristiklere sahip olmalıdır:

- a- Makinada işlenebilmelidir,
- b- Rijit olmalıdır,
- c- Elektriği iyi iletmelidir,
- d- Korozyona karşı direnebilmelidir.

Bakır, pirinç ve paslanmaz çelikler genellikle elektro kimyasal işlemler için iyi bir elektrod malzemesi olarak bulunmaktadır. Bakır mükemmel bir elektrik ileticidir. Derin deliklerin veya ince duvarların elektrodlarla imalatı tavsiye edilmez. Onun yumuşaklığı ve bükme eğilimi sebebiyle o uzun ve ince bölgeyi çarkta zordur.

Paslanmaz çelik geniş hacimdeki akış ve elektrolitteki yüksek basınç için kullanımı gereklidir. O diğer iki malzemeden daha güçlüdür. Fakat onun yüksek başlangıç fiyatı ve sınırlandırılmış işlemlerde bir elektrod malzemesi olarak onun kullanılmasından güçlüklerle karşılaşılacaktır.

5.1. ELEKTROD MALZEMELERİNDEN BEKLENEN ÖZELLİKLER

İyi bir elektrod malzemesinde aranan özellikler şunlardır;

- İyi bir elektriksel iletken olmaları,
- Sürtünme yoluyla aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Kaynama ve ergime noktalarının yüksek olması,
- Isıyı iyi iletmeleri gerekmektedir,
- İyi bir boyutsal dayanıklılık göstermeleri,
- Kolay işlenebilir olmaları,
- Temin edilebilme imkanı yüksek olmalı,
- Fiyat durumu uygun olmalı.

5.2. EDM İŞLEMİNDE ELEKTROD MALZEMESİ OLARAK BAŞLICA KULLANILAN ELEKTROD MALZEMELERİ

Kullanılan elektrot malzemeleri arasında en yaygın olanları şunlardır;

- Bakır,
- Grafit,
- Bakır-Tungsten

Bu elektrod malzemelerinden başka temin edilebilme imkanı ve bazı özel işlemlerde avantaj sağladıkları için aşağıdaki elektrot malzemeleri de kullanılmaktadır.

- Çinko-kalay alaşımları,
- Çinko alaşımları,
- Alüminyum alaşımları,
- Çelik,
- Gümüş-tungsten,
- Gümüş-Tungsten karbür alaşımları.

5.3. ELEKTROT MALZEMELERİNİN İŞLEMEDEKİ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Elektrot malzemesi : GRAFİT

AVANTAJLARI :

- Kolay işlenebilir olması,
- Delici veya tutucuya iletken yapıştırıcılarla kolaylıkla tutturulabilir.
- İş malzemesinde iyi talaş kaldırma özelliği (özellikle kaba işlemede)
- En iyi aşındırma oranına sahiptir (aşındırma hızı/yıpranma oranı)
- Uygun akımlarda elektrot malzemesinde hiç harcantı olmadan pürüzlendirme imkanı
- Elektrot aşınmasında cephe ve yan yıpranmalara dayanıklı
- Hafif

DEZAVANTAJLARI :

- Elektroda şekil verme işlemi tamamıyla makinalarda olmalı çünkü bakırda olduğu gibi asitlerle dağlama imkanı yoktur.
- Çok iyi dielektrik akışı sağlanmalı (bunun için düşük viskoziteli akışkan kullanılmalıdır). Titreşim veya periodik geri çekim gerekebilir.
- Karbürleri işlerken tehlikeli arklara sebebiyet verebilir.
- Dielektrik elektrotu öyle ıslatır ki yeniden kullanmak için grafitin yeniden sementasyonla sertleştirilmesi mümkün değildir.
- Küçük parçaların topraklanması için yeteri kadar kuvvetle tutturmak güçtür.
- Rotasyonsuz 40 mikroiç'den daha hassa bir yüzey pürüzlüğü veremez.
- Jenaratör üzerinde sınırlıayar aralığı.

Elektrot malzemesi : BAKIR-TUNGSTEN ALAŞIMLARI

AVANTAJLARI :

- Bakır veya pırinç lehimleme ile tutturulma imkanı.
- Kenarların kırılmasına karşı yüksek dirence sahiptir.
- 40 mikroiç'den daha az pürüzlüğe sahip yüzeyler elde edilebilir.
- Asitlerle dağlanabilme özelliğine sahiptir.

ELECTRODE	İŞ PARÇASI	POL	ELECTRODE AŞINDIRMA
Graphite	Çelik	REV	1 %
Graphite	Çelik	STD	30 %
Graphite	Inconel 718	REV	1 %
Graphite	Inconel 718	STD	35 %
Graphite	Aluminum	REV	1 %
Graphite	Aluminum	STD	15 %
Graphite	Bakır	STD	40 %
Bakır Graphite	Carbide	STD	62 %
Bakır	Carbide	STD	50 %
Bakır	Çelik	REV	1 %
Bakır	Bakır	STD	40 %
Bakır	Graphite	STD	40 %
Bakır	Aluminum	REV	1 %
Bakır Tungsten	Çelik	REV	6 %
Bakır Tungsten	Graphite	STD	40 %
Bakır Tungsten	Bakır	STD	36 %
Bakır Tungsten	Bakır Tungsten	STD	80 %
Bakır Tungsten	Graphite	REV	70 %
Bakır Tungsten	Carbide	STD	40 %
Brass	Çelik	STD	100 %
Brass	Carbide	STD	500 %
Çelik	Çelik	STD-REV	100 %

Tablo 5.1.

DEZAVANTAJLARI :

- Lehim deliciyi yumuşatabileceğinden tekrar sertleştirmek için yeni işlemler söz konusudur.
- Grafite nazaran maliyeti yüksektir.
- Çeliği yalnız ters kutuplamada işleyebilir.

Elektrod malzemesi : ÇELİK (TERS KUTUPLAMA)

AVANTAJLARI :

- Kısa ömürlü kalıplar için iyidir.
- Küçük deliciler kolay işlenebilir.
- Delici ve delici taşıyıcıyı eşleştirmek için kullanılır.
- Yekpare elektrot ve tutucu yapma imkanı.

DEZAVANTAJLARI :

- Aşındırma ancak bazı çelik kombinasyonları için doyurucudur.
- Malzeme işleme süresi grafit elektrotta nazaran beş kat daha uzundur.
- Grafit elektrotta nazaran daha derinden aşındırabilir.

Elektrot malzemesi : ÇİNKO AĞIRLIKLIL KALIP DÖKÜM ALAŞIMLARI

AVANTAJLARI :

- Çinko alaşımlarının içinde en iyi aşındırma oranına sahiptir.
- Elektrot üretiminde yüksek prodüktivite.

DEZAVANTAJLARI :

- Kalıp-Döküm kalıplarının yüksek masraflı oluşu.
- Dielektrik akışının iyi olması için ek akım deliklerine ihtiyaç vardır.

Elektrot malzemesi : 50-50 ÇİNKO-KALAY ALAŞIMI

AVANTAJLARI :

- İstenilen boyutlarda kolaylıkla üretilebilir.
- Karmaşık şekillerin doğru işlenmesine imkan verir.
- Düşük ergime sıcaklığına sahip (yaklaşık 650 F),bu yüzden dökümü kolay,
- Tekrar kullanabilmek için defalarca eritilebilir.
- Birçok işlenmiş elektrottan daha düşük giderli.

DEZAVANTAJLARI :

- İnce ayrıntı vermez.
- Hızlı köşe yıpranması var.
- 70-30 çinko-kalay alaşımına nazaran düşük aşındırma oranına sahip.

Elektrot malzemesi : 70-30 ÇİNKO-KALAY ALAŞIMI

AVANTAJLARI :

- 50-50 çinko-kalay alaşımına nazaran daha iyi aşındırma oranına sahip
- Akım 150 Ampere kadar yükseltilebilir.

DEZAVANTAJLARI :

- Dökümün doğruluğu kalay miktarındaki düşme ile azalır.
- 50-50 çinko-kalay alaşımına nazaran daha büyük basma basıncı gerektirir.

Elektrot malzemesi : ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI (TERS KUTUPLAMA)

AVANTAJLARI :

- Saatte 15 cubinc aşındırma sağlayacak şeklide akım 270 Ampere kadar yükseltilebilir.
- Aşındırma oranı 70-30 çinko-kalay alaşımındaki gibidir.

DEZAVANTAJLARI :

- Yüksek erime sıcaklığına sahiptir (yaklaşık 1200 F)
- % 5-7 oranında büzülme.
- Kapasitans-darbe tipi devrelerde kullanılması uygun değil.

Elektrot malzemesi : BAKIR

AVANTAJLARI :

- Düşük giderli
- Kolayca işlenebilir
- Pirince nazaran yüksek aşındırma oranına sahip
- Finit programlarında çok iyi sonuçlar verir
- Ufak kesitlerde yüksek aşındırma hızı (Grafite karşı üstün)
- Temin edilebilme kolaylığı
- Jeneratör üzerinde geniş ayar aralığı
- Asitlerde dağlanabilme özelliği.

DEZAVANTAJLARI :

- Grafite nazaran düşük aşındırma oranı
- Yan yıpranmalara karşı dayanıksız
- Yüksek yoğunluktan dolayı ağırlık sorunu var.

Elektrot malzemesi: PİRİNÇ

AVANTAJLARI :

- Ufak borular şeklinde sağlanabilir ve doldurma yapılabilir.

DEZAVANTAJLARI :

- Küçük elektrotlar için ve tungsten işlemede düşük aşındırma oranına sahip.

Elektrot malzemesi : GÜMÜŞ-TUNGSTEN ALAŞIMLARI, GÜMÜŞ-TUNGSTEN KARBÜR ALAŞIMLARI

AVANTAJLARI :

- İyi yıpranma oranı, iyi kesme sağlar.
- Alet kenarı kırılmalarına karşı iyi dirence sahip.
- İnce kesitler kullanmada titreşimlere dayanıklı.
- Gümüş-tungsten karbür fazla derin olmayan kesmelerde dielektrik akışına gereksinme duymaz.

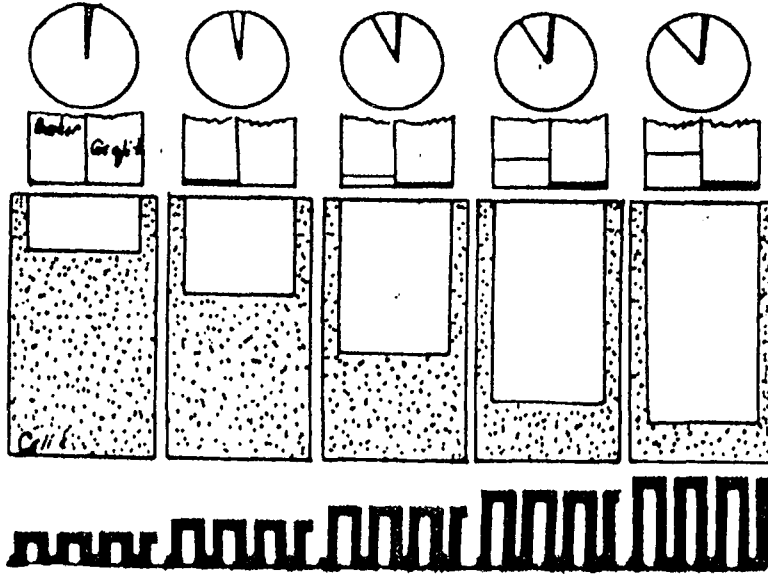
DEZAVANTAJLARI :

- Başlangıç gideri yüksek.
- İşlenmesi zor.
- Magnetik değil.

5.4. ÇEŞİTLİ AKIM DEĞERLERİNDE BAKIR VE GRAFİT ELEKTROTLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

5.4.1. Akım Şiddetinin Etkisi

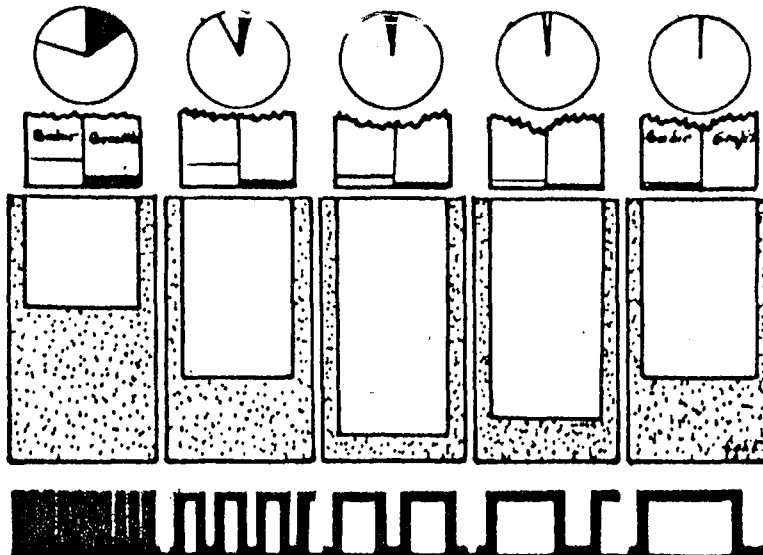
Şekil 73'deki elektrotun sağ tarafı grafit, sol tarafı bakırdan oluşmaktadır. Bakır ve grafit elektrotların yıpranmaları da şekil üzerinde belirtilmiştir. V, talaş kaldırma hızını göstermektedir.



Şekil 73.

Darbe süresini ve ölü süreyi sabit tutalım ve akım şiddetini yavaş yavaş arttıralım. Çok küçük akım şiddetinde yapılan aşındırma azdır. Akım değeri arttıkça metalin aşınması artmakta buna paralel olarak elektrot harcanması da yükselmektedir. Yüksek akım şiddetlerinde bakır elektrotun harcanması grafit elektrota nazaran daha fazladır. Çok küçük akım şiddetlerinde ise diğer akım parametreleri iyi ayarlandığı takdirde bakır elektrotta daha az harcantı söz konusudur.

5.4.2. Darbe Süresinin Etkisi



Şekil 74.

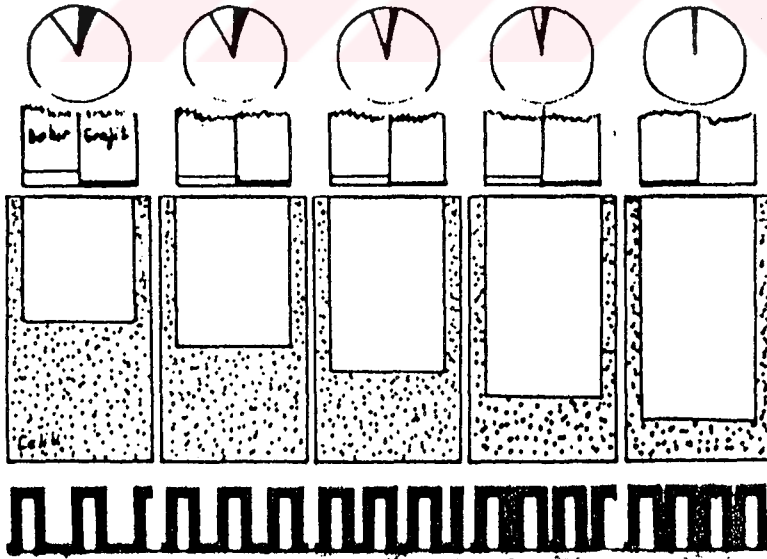
Akım şiddetini sabit tutalım ve akım süresini artırarak değiştirelim. Talaş kaldırma hızı belli bir değerde maksimuma ulaşır, akım darbe süresini daha da arttıırırsak talaş kaldırma hızı (Aşındırma hızı) azalır. Fakat buna nazaran elektrot harcantısı da minimum değerine ulaşır. Kaba işlemede aşındırmanın fazla, buna rağmen elektrot harcantısının az olması bu yoldan gözlenebilir. Uzun darbe süreli akımlarda yüzey pürüzlüğünün çok kötü olduğu unutulmamalıdır.

Yapılan uygulamalardan da görüldüğü gibi grafit elektrot, elektrot harcantısı bakımından bakır elektrota karşı üstünlük sağlamaktadır.

Akım süresini ölü süreden ayrı tutmak yanlışır. Akım süresi diğer akım parametreleriyle birlikte alttaki karakteristik değerlerin saptanmasını sağlar.

- R_{max} (R_t) : Maksimum yüzey pürüzlüğü
- Kıvılcım boyu
- M ölçüsü

5.4.3. Ölü Sürenin Etkisi



Şekil 75.

Ölü süre akımın verilmediği, anahtarın açık kaldığı süredir. Yüzey pürüzlüğü, kıvılcım boyu (çalışma aralığı), M ölçüsü üzerinde pek etkisi yok-

tur. Yukarıdaki şekilde ölü sürenin, aşındırma hızına, bakır ve grafitteki elektrot harcantısına etkisini görmekteyiz. Akım şiddeti ve darbe süresi sabit tutulmuştur. Ölü süre arttıkça aşındırma hızı azalmakta ve aynı zamanda elektrot harcantısı da artmaktadır.

Ölü süre için bilinmesi gereken bir husus da uygulamalarda ölü sürenin akım darbe süresinin fonksiyonu şeklinde değiştiğini ve programlarda verilen değerlerin optimum değerler olduğudur.



GÜNÜMÜZDE KULLANILAN ELEKTROT MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

.. () içindeki değerler süblimleşme değerleridir.

.. (+) tavllanmış (Brinell sertliği)

.. (V) Vickers sertliği

	ÖZ DİRENÇ (MİKRO OHM CM ² /CM)	ÖZGÜL AĞIRLIK (KG/LT)	ERİME NOKTASI (°C)	KAYNAMA NOKTASI (°C)	SERTLİK	ISI İLETİM KAT- SAYISI (KCAL/CM ² HOC)	GENLEŞME KAT- SAYISI (0-100°C) x 10 ⁻⁶ /°C	ÖZGÜL ISISI (CAL/GR °C)	ISIL DEĞER (CAL/CM ³)
GRAFIT POLİKİSTALİN	800-1000	1.5-1.65	(3600)	(3600)	35 (shore)	0.35	4.5	0.20	0.32
NORMAL G.									
YOĞUN G.	1200-1800	1.7-1.9	(3600)	(3600)	65 (shore)	0.20	4.2	0.30	0.54
BAKIR EMDİRİLMİŞ	300	2.5-2.75	(3600)	(3600)	65 (shore)	0.24	5.5	0.25	0.65
ALUMİNYUM	3	2.7	658	2056	17 (Brinell)	0.50	2.3	0.21	0.56
BAKIR	1.7	8.9	1090	2300	80 (Brinell)	0.95	16.6	0.10	0.89
TUNGSTEN	5.5.	19.3	3370	5900		0.35	14.3	0.034	0.65
PİRİNÇ	3-7.5	8.3-8.8	940		50-100+	8.5	19	0.09	0.76
BRONZ	7-16	8.7-9.3	900		64-66 +	0.1-0.2	17.5	0.09	0.81
TUNGSTEN-BAKIR	5.5	15.2			100-160V	0.35	5		
BAKIR-TUNGSTEN	5	8.5			270 V	0.4-0.8	16		
TUNGSTEN-GÜMÜŞ	5,5	15			270 V	0.36	5		

Tablo 5.2.

ELEKTROT MALZEMELERİNİN ELEKTROT YÜZEYLERİNE GÖRE UYGULAMA ALANLARI

1 mm² 1 cm² 1/2 dm² 1 dm² 1/2 dm² 1 m² 1 m²

ELEKTROLİK BAKIR		+	+	+	+	+	+
TELLÜRLÜ BAKIR	0	+	+	+	+		
NORMAL GRAFİK		0	+	+	+	03	+3
YOĞUN GRAFİT	0	+	+	+	+	+3	+3
GRAFİT/BAKIR	0	+	+	+	+	+3	
BAKIR-TUNGSTEN	+	+	+	+	0		

(1) Patlama veya elektriksel şekil verme yolu ile 2 mm kalınlığına kadar

(2) İzostatik yapıştırma yolu ile

(3) Yapıştırarak ekleme yolu ile

0 Kullanılması mümkün

1 Kullanılması tavsiye edilir.

Tablo 5.3.

ÇELİĞİN İŞLENMESİNDE DARBE AKIM SÜRELERİ (MSAN) VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

ELEKTROT

ÇALIŞMA ŞEKLİ

C İ N S İ	K U T U P S A L L I K	KABA İŞLEME	YARI FİNİSAJ	FİNİSAJ	SÜPER FİNİSAJ
BAKIR	+	500	50-100	10-20	1-2
BAKIR	-			5-20	1-2
BAKIR	+	100-1000	50-100	20	
GRAFIT	-				
BAKIR-TUNGSTEN	+	100	20-50	10-20	5
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VDI 3400'e göre RA (µm)		45-39	36-30	27-21	18-12

Tablo 5.4.

ELEKTROT MALZEMELERİNİN İŞLENECEK MADDELERE GÖRE UYGULAMA ALANLARI

88

ELEKTROT MALZEMESİ	ALAŞIMSIZ ÇELİK	ALAŞIMLI ÇELİK	GÜÇ ERGİYEN ÇELİK	TİTANYUM MOLİBDEN	MADENİ KARBÜR	DÖKÜM	ALÜMİNYUM	BRONZ	BAKIR	GRAFİT	PİRİNÇ
Elektrolitik Bakır	+	+	0	0	0	+	+	+	0	0	+
Tellürlü Bakır	+	+	0	0	0	+	+	+	0		
Normal Grafit	0	0				0	0				
Yoğun Grafit	+		+	+1	01	0	+	0	+1		+1
Grafit/Bakır	+	+			+1	+	+	0			+
Bakır-Tungsten	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	+

(1) Zorunlu negatif kutupsallık
0 Kullanılması mümkün
+ Kullanılması tavsiye edilir.

Tablo 5.5.

ELEKTROT MALZEMELERİNİN İŞLEME ŞEKLİNE GÖRE UYGULAMA ALANLARI

	Kesme Kalıbı			Plastik Kalıplar		Kesme Aletleri	Alüminyum Profil Kalıbı	Cam Yapımı için kalıp	Basınçlı Döküm Kalıbı		Delik Delme	
	Büyük	Orta	Küçük	Büyük	Küçük				Büyük	Küçük	>6 mm	<6 mm
Elektrolitik Bakır		0	+		+	0	0	0		+	+	+
Normal Grafit	0	0				+1						
Yoğun Grafit	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	0
Grafit Bakır			+		+	+	+		+2	+	+	2
Bakır-Tungsten					+	-				+	+	+

(1) Tel halinde

(2) Sadece finisaj işlemlerinde

0 Kullanılması mümkün

+ Kullanılması tavsiye edilir

Tablo 5.6.

Elektrod Malzemesi (İşlenebilirlik özelliği)	Ticari Şekli	Maliyeti	Oretec türü Sinyal RC devre	Tavsiye edilen iş parçası Malzemesi	Tavsiye edilmeyen iş parçası Malzemesi	Tavsiye edilen Uygulamalar	Tavsiye edilmeyen Uygulamalar
Grafit (A)*	Kütük, çubuk	Düşük	A* D	Çelik	Karbidler	Takım endüstrisi	Çok ince yüzey kalitesi
Bakır-Grafit (C)	Özel imalat	Düşük	-	-	-	-	-
Bakır (B)	Çubuk tel tevha, kütük	Düşük	B A	Hepsi	Yok	Delikler	Hassas işler ve derin işlemler
Tungsten (D)	Tel, çubuk	Orta	B B	Hepsi	Yok	Küçük kanallar, delikler	Karışık çok detaylı şekiller
Tungsten karbid (D)	Özel imalat	Yüksek	B B	Hepsi	Yok	Tungsten ile aynı	Tungsten ile aynı
Bakır-Tungsten alaşımları (C)	Küçük boyutlu çubuk, tevha	Orta	A A	Hepsi	Yok	Karbid malzemelerde kanallar	Geniş alanlar
Pirinç (B)	Çubuk, kütük tel, levha	Düşük	A C	Hepsi	Yok	Delikler	Hassas işler
Çinko ve alaşımları (B)	Döküm ve tevha	Düşük	C D	Çelik	-	Dövme kalıpları	Delikler (alaşımlar için)
Alüminyum (B)	Döküm ve tevha	Düşük	C D	Çelik	Tungsten karbid	Dövme kalıpları	-
Demir (A)	Her şekilde	Düşük	-	-	-	-	-
Çelik (A)	Her şekilde	Düşük	B D	Demir olmayan	Karbidler	Boydan delikler	-
Çelik (A)	Her şekilde	Düşük	C D	Çelik	Karbidler	Basma kalıpları	-
Gümüş-tungsten (C)	Sinterlenmiş	Yüksek	A A	Hepsi	Yok	-	-
Nikel ve alaşımları (C)	-	Yüksek	A A	Hepsi	Yok	Çok karışık ve hassas şekiller	-

A* : Çok iyi, B : İyi, C : Orta D : Kötü -** : Bilinmiyor

Tablo 5.7. Başlıca EDM Elektrodlarının Uygulamadaki Özellikleri

ELEKTROD MALZEMESİ	ÜSTÜNLÜKLERİ	EKSİKLİKLERİ
Grafit (kaba işlemede ters polaritede) (kutup)	*Kolay işlenir. *Yoğun grafitlerle iyi yüzey sağlanır. *Taşıyıcıya iletken yapıştırıcılar ile kolaylıkla tutturulabilir. *Sertleştirilmiş takım ve taşıyıcıyla birlikte topraklanabilir. *Çok iyi bir talaş kaldırma hızına sahiptir. *Aşınma oranı azdır. *"Aşınmasız" kaba işleme için uygun akım kaynağı ile kullanılabilir.	*Şekil tam olarak işlenmelidir, çünkü asitle dağalmaz. *Dielektrik sıvının akışının, titreşimin ve periyodik geri çekilmenin çok iyi sağlanması gerekir. *Karbon işlerken tehlikeli sıçramalar meydana gelebilir. *Dielektrik sıvı grafiti çok ıslattığından tekrar kullanım için yapıstırılmaz. *Küçük parçalar topraklanacak kadar iyi tutturulamaz. *Dönme olmaksızın 4 µm'den daha düzgün yüzey işleyemez.
Bakır	*Elektrolitik kaplama yapılabilir. *Ucuzdur, bol miktarda bulunur. *Kolay işlenebilir. *Pirinçten daha iyi aşınma oranına sahiptir. *İşlem sırasında çok iyi yüzeyler elde edilebilir.	*Grafitten daha düşük aşınma oranına sahiptir. *Serbest işleme oranları her boyut için uygun değildir.
Bakır-grafit	*Karışık şekilli elektrodlar, grafit tozunun basınç altında tutulması ile imal edilebilir. *İşleme hızı yüksek, aşınma azdır.	*Kırılabılır özelliği işlenmesine engeldir. *İmal metodu basit değildir.

Çinko	*Ucuzdur ve kolay bulunur. *Döküm elektrodlar çok miktarda imal edilebilir. *Çinko,alaşımlarından daha iyi işleme özelliklerine sahiptir.	*İşleme özellikleri çok zayıftır. *Döküm halinde,ek döküm kalıbı gerekir.
Çinko ve alaşımları	*Kolayca ve hassasiyetle preslenerek şekillendirilir. *Dökümü kolaydır. *Karışık şekilleri hassasiyetle işleyebilir. *Tekrar ergitilerek kullanılır. *Ucuzdur.	*70-30 alaşımında en çok 30 A, 50-50 alaşımında en çok 150 A kullanılabılır. *Döküm kalıbı ek masraf gerektirir. *Köşe aşınması problem yaratır.
Alüminyum	*Kolay şekillendirilir. *270 ampere kadar akım çekebilir. *Çinko-kalay alaşımı özelliklerine sahiptir.	*Ergime sıcaklığı yüksektir. *RC devrelerde tavsiye edilmez. *Dökümde büzülme görülür.
Demir	*Aşınması çok azdır. *Kolay bulunur.	*İşleme hızı çok düşüktür. *İyi yüzey sağlamaz.
Çelik	*Kolay bulunur ve ucuzdur. *Küçük kalıplar yapılabilir. *Elektrod ve elektrod başı tek parça imal edilebilir.	*Yüksek güçte özellikleri zayıflar. *İşleme hızı azdır (grafitten 5 defa daha azdır) *İş malzemesi yüzey özelliklerine etki eder.
Nikel	*Kolay bulunabilir.	*Diğer malzemelerle rekabet edecek özellikleri yoktur.
Bakır-boron	*Aşınma oranı çok iyidir. *Yumuşak ve işlenmesi kolaydır.	

Bakır-Tungsten alaşımları (çelik işlerken ters kutuplarda)	*Lehimleme ile tutturulabilir. *Köşe aşınmaları için iyi bir dayanıma sahiptir. *4 µm'den ince yüzey işleyebilir. *Küçük baskılar kolaylıkla işlenebilir. *Tutucu ile elektrod tek parçadır (eğilme yoktur) *Derin işleme mümkündür.	*Lehimleme kalıbı yumuşatır, eski haline dönüştürmek için taşlama işlemi gerektirir. *Grafitten pahalıdır. *Çeliği yalnızca ters kutup halinde işler *Aşınma oranı ancak belirli çelikler için tatminkardır. *İşleme zamanı grafit elektrodlara göre 5 kat daha büyüktür.
Pirinç	*Küçük boru imali için uygundur. *Her malzemeyi işleyebilir. *Kolay bulunur, oldukça ucuzdur.	*Aşınma oranı küçük elektrod için (1-6) ve tungsten işlenmesi için oldukça düşüktür. *Taşlanması güçtür. *Üreteç gücü arttıkça aşınma oranı artar.
Tungsten ve tungsten	*Aşınması çok azdır. *Burulma ve momente dayanıklıdır, ince ve uzun halde kullanılabilir. *Hassas ölçüler sağlar.	*İşleme hızı düşüktür. *İşlenmesi çok zordur, sadece taşlanabilir. *Pahalı ve sağlanması güçtür.
Gümüş-tungsten alaşımları, gümüş-tungsten karbid alaşımları	*İyi aşınma oranlarına sahiptir, hassas işleme yapılabilir. *Köşe aşınmasına karşı dayanımı yüksektir. *İnce kısımlar titreşim için dayanıklıdır. *Gümüş-tungsten karbid geniş yüzeyler için dielektrik sıvı gerektirmez.	*Başlangıç maliyeti yüksektir. *İşlenmesi güçtür. *Manyetik değildir.

Tablo 5.8. EDM Elektrodları (Takımlar) için kullanılan Çeşitli Malzemelerin Üstünlük ve Eksiklikleri.

6. ELEKTROEROZYON UYGULAMA ALANLARI

EDM işleminin uygulanabilirliği iş parçasının malzemesi, istenilen hassasiyet, kaldırılacak talaş miktarı gibi birçok faktöre bağlıdır. Tablo 6.1'de talaş kaldırma işlemlerine göre EDM seçimini kolaylaştıran özellikler gösterilmiştir.

EE YONTEMİNİN KLASİK TALAŞ KALDIRMA İŞLEMLERİNE TERCİH EDİLDİĞİ HALLER:		
İŞLENECEK PARÇANIN MALZEMESİ	İŞ PARÇASININ YAPISI VE İŞİN CİNSİ	İMALAT SORUNLARI
-Yüksek sertlik derecesi, -Yüksek çekme mukavemeti, -Zor işlenebilirlik	-Karmaşık ve düzgün olmayan şekil, -Kırılkan yapı, -Küçük delikler derinliğinin çapına oranı büyük olan delikler, -Dar ve değişik oluklar, dar açılı delik veya oluklar, -Çok sayıdaki delik veya oluklar.	-Çapağın sorun olduğu, -İstampa ile matris arasında hassas toleranslar gereken haller.

Tablo 6.1. EDM Seçimini Kolaylaştıran Özellikler

EDM'nin diğer işleme yöntemlerine göre üstünlükleri şunlardır:

- 1- EDM ile elektriği ileten bütün malzemeler, diğer fiziksel özelliklerine bağlı olmaksızın işlenebilirler. Örneğin Tungsten karbid gibi sert malzemeler bile rahatlıkla işlenebilir. Kırılabilirlik, incelik ve yumuşaklık gibi özellikler işleme için hiçbir engel teşkil etmez.
- 2- EDM'de elektrod (takım) ile iş parçası arasında hiçbir temas yoktur. Bu nedenle iş parçası üzerine kesme kuvveti gelmez. Bu ise EDM işlemi ile kesme kuvvetine dayanamıyacak kadar ince parçaların ve kırılkan malzemelerin işlenebilmesine olanak sağlar. İş parçasının bağlanması diye de bir problem yoktur.
- 3- Çok karışık şekiller, şilt ve süs kalıpları, oyma kalıpları elektrod yapıldıktan sonra kolaylıkla işlenebilir.
- 4- EDM Isıl işlem görmüş veya sertleştirilmiş parçalara uygulanabilir. Diğer tezgahlarda ise ısıtma işlemi ve sertleştirme en son işlem olarak

yapılmaktadır. Bu da ölçü toleranslarını aşan büzülmelere ve uzamalara sebep olmakta, çatlak ve gerilmeler yaratmaktadır. EDM ile ısıtıl işlemin tüm bu sakıncaları ortadan kaldırılmıştır.

- 5- Proje mühendisi yapacağı dizaynda iki yönde esneklik kazanır:
- a- Çok çeşitli malzemeleri, diğer tezgahlarla işlenemiyen yeni alaşımları kullanabilir. Metalurji mühendisine yeni alaşımlar geliştirme imkanı sağlanır.

6.1. EDM UYGULAMASINI ÜÇ ANA GRUPTA TOPLAMAK MÜMKÜNDÜR.

Bunlardan takım endüstrisi ekonomik açıdan uygunluğu nedeni ile son yıllara kadar toplam EDM uygulamasının % 80'ini kapsamakta idi. Son yıllarda ise geliştirilen yeni tezgahlarda uygulanan seri imalat yöntemleriyle bu oran bir miktar düşmüştür.

6.1.1. Takım Endüstrisi

Takım endüstrisindeki EDM uygulamaları da üç grupta toplanır:

- a- EDM ile yüksek kaliteli ve diğer yöntemler ilelenemiyen bütün malzemeler geometrik şekillerine bağlı olmaksızın istenilen kalitede ve daha kalıp imalinde kullanılabilir, kalıplar genellikle tek bir işlem ile ve bir bütün olarak imal edilirler. Bu gruba bütün pres ve basma kalıpları dövme ve derin çekme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları vb. girer.
- b- Yıpranmış kalıplar ısıtıl işlem görmeksizin EDM ile onarılabilir. Başka tezgahlarda hatalı işlenmiş kalıplar rahatlıkla düzeltilebilir, ısıtıl işlem sırasında ölçülerini kaybetmiş kalıplar tekrar eski ölçülerinde işlenebilir.
- c- Kırılmış civata, rayma, matkap, klavuz vb. ana malzemeye zarar vermeden kırıldıkları yerden çıkarılabilir.

6.1.2. Özel Parça İmalatı

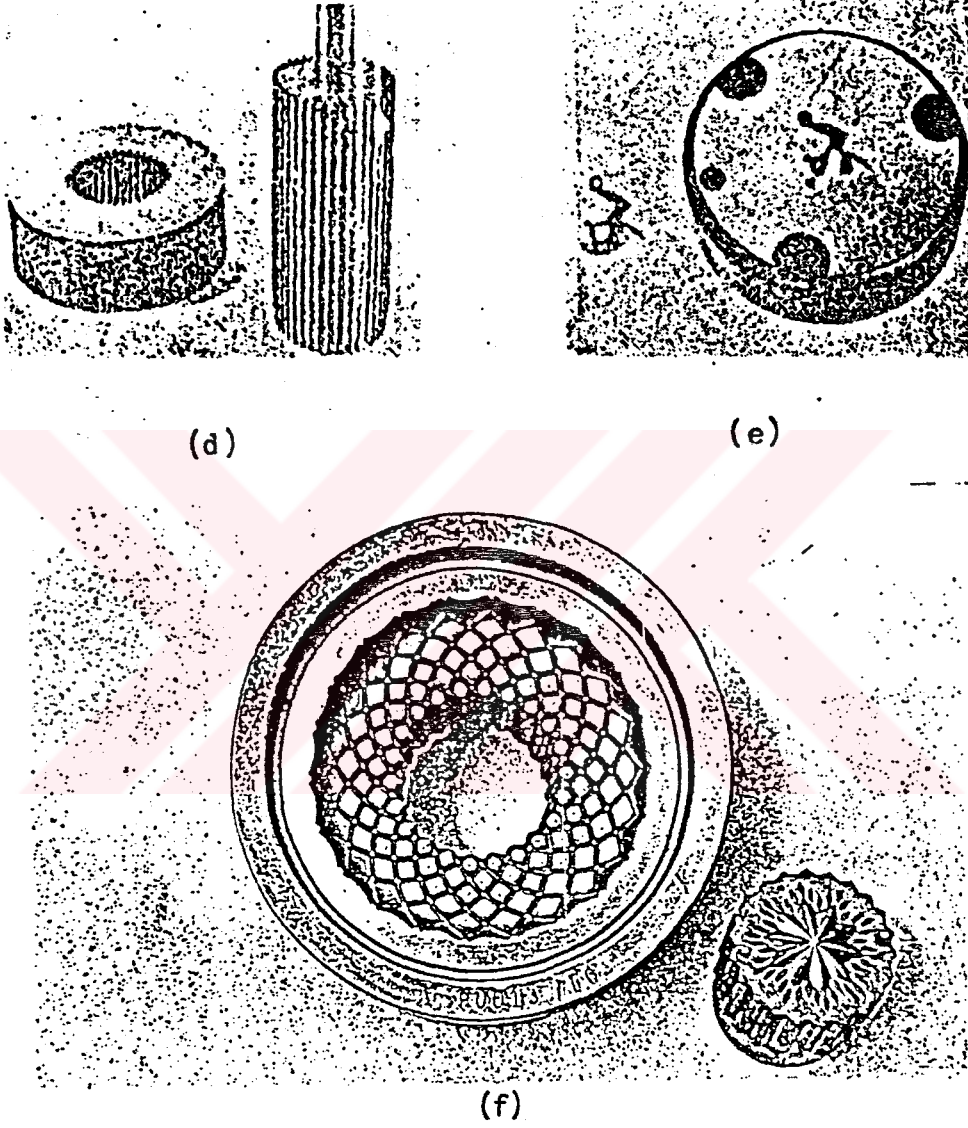
- a) Birkaç R çapındaki küçük delikler ve derin (derinlik/çap oranı yaklaşık 20) delikler, dairesel olmayan boydan veya kör delikler vb. işlemin EDM'den başka yöntemlerle işlenmesi imkansızdır.

- b) EDM ile dar ve derin boşluk oymalar ve kanallar açmak mümkündür. Literatürde 2 mm x 5 m x 5 m'lik bir kanalın açıldığına rastlanmıştır.
- c) EDM ile dairesel ve dairesel olmayan kesintilerde konik delikler açmak mümkündür. Yine literatürde dar çaplı 3 m ve derinliği 200 m olan konik bir deliğe rastlanmıştır.
- d) Dairesel eğri elektrodlar kullanarak, simetri eksenine daire olan delikler açılabilir.
- e) Çok derin ve erişilmesi güç yerlerdeki işlemlerde EDM, özel kolları ile kullanılır. Kesme kuvveti söz konusu olmadığından kolların uzunluğu önemli değildir. Bu yöntem ultrasonik ölçü ve kontrol aletlerinin kalibrasyon ve testleri için uzun boruların iç çeperlerine suni çatlaklar açmada kullanılmaktadır.
- f) İş parçası üzerine herhangi bir kuvvet gelmediğinden EDM, çok kolay kırılabilir ve tesbit edilmesi güç yerlerde kolaylıkla kullanılabilir.
- g) Karışık yapıları, çok fazla malzemeler EDM ile rahatlıkla işlenebilir.
- h) Zehirli ve radyoaktif malzeme işlemede, iş parçası tamamen sıvı içerisine gömüldüğü ve uzaktan kumanda mümkün olduğu için EDM işlemi kullanılabilir.
- ı) Elektronik sanayiinde mikro oyma işlemleri bu iş için geliştirilmiş özel amaçlı EDM tezgahları ile gerçekleştirilebilir.
- j) EDM ile çapaksız yüzey işleme mümkündür. Bu nedenle EDM ince petekli yapı ve tüp imalinde ve çapak alınmasında kullanılır.
- k) Konvansiyonel tezgahlarda işlenirken eksenleri kaymış delikler ve yüzeyler, yine aynı tezgahda düzeltilirken kesme kalemleri elastik esnemenin dolayısı hatalı delikleri ve yüzeyleri takip ederler. Bu EDM söz konusu olmadığından bu tür işler EDM ile düzeltilebilir.
- l) Çok sert malzemede EDM ile ısıtılma işleminden sonra diş açmak mümkündür. Ayrıca sert malzemelerde EDM ile iç dişli de açılabilir.
- m) EDM ile yapılan birçok işin arasında mücevher sanayiinde elektriği ileten altın, platin, gümüş vb. gibi değerli madenlerin işlenmesi matbaa sanayiinde matbaa harflerinin imali sayılabilir.

Büyük EDM tezgahlarında çok sayıda işin aynı anda ve aynı tezgahta yapılması mümkündür.

6.1.3. Laboratuvarlar için

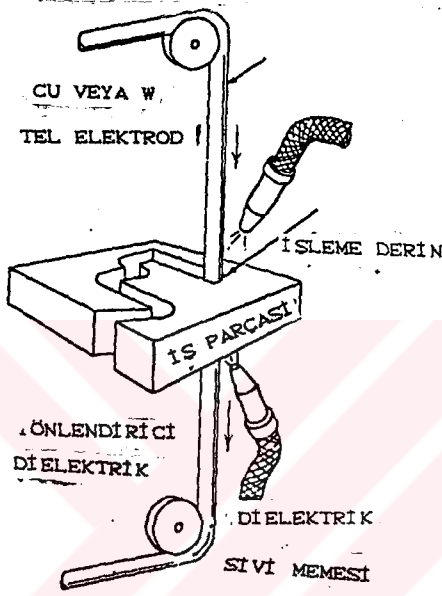
Bu son grup EDM uygulaması ise laboratuvarlar için metal kristallerin hazırlanması, büyük bloklardan ve iş parçalarından örnek deney parçaları alınması gibi bilimsel uygulamaları kapsamaktadır.



Şekil 77. EDM Uygulamalarına Örnekler. /5/.

7. TEL EROZYONU İLE İŞLEME YÖNTEMİ

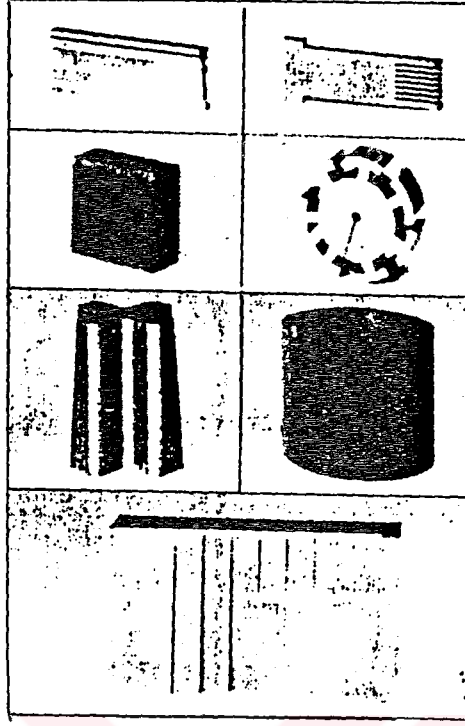
Şekil 78'de gösterilen tel erozyonu yöntemi ile işlemede ise; elektrot olarak, devridaim şeklinde hareket eden, elektrik iletkenliği iyi olan bir tel ile aynı temel esaslarla talaş kaldırılması öngörülmektedir.



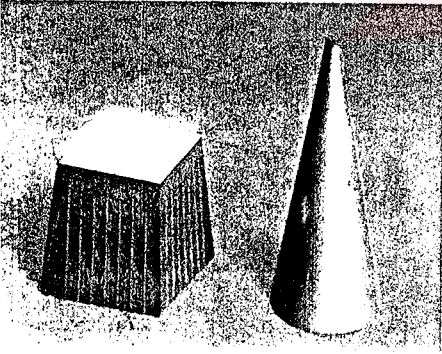
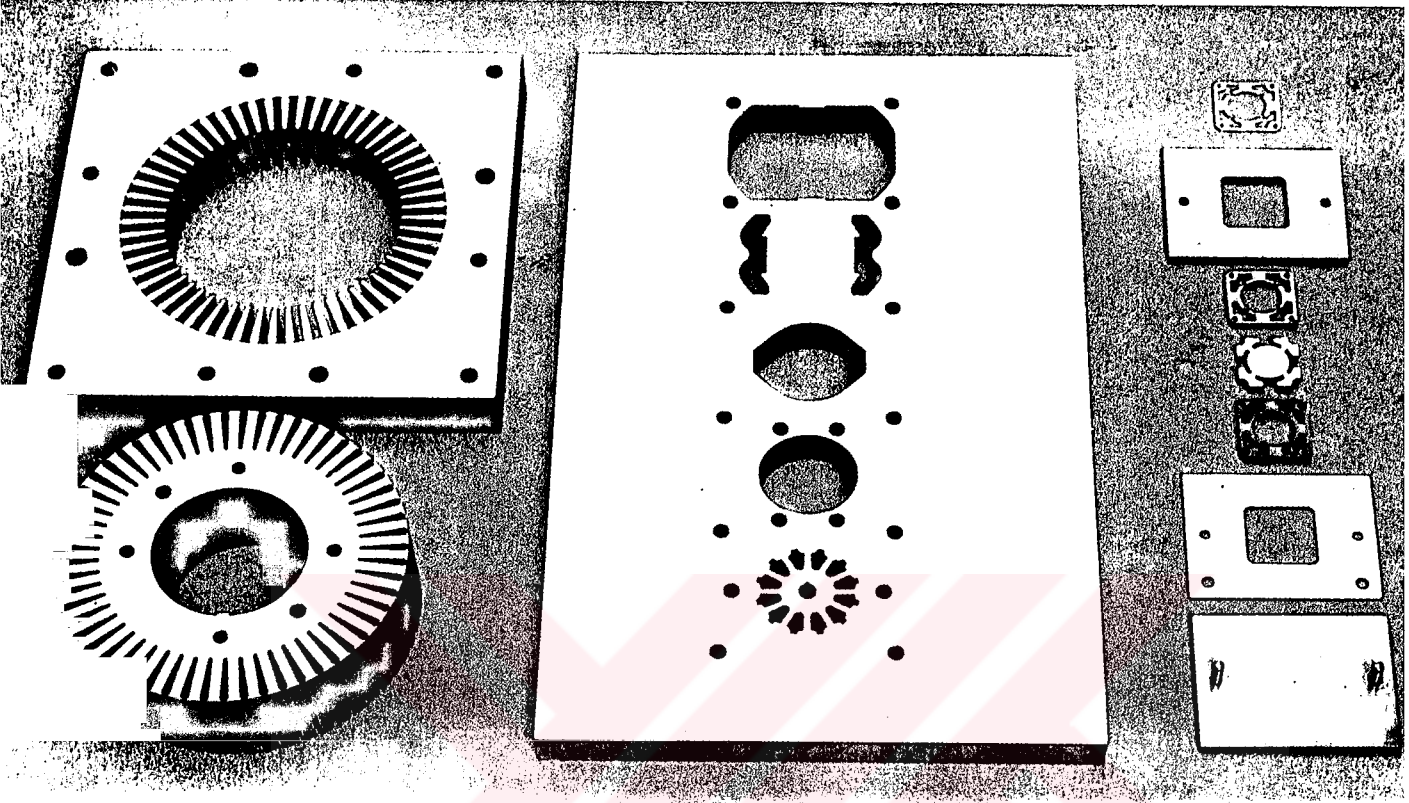
Şekil 78. Tel erozyonu ile işleme yönteminin şematik gösterimi.

Tel malzemesi olarak ise genelde bakır, pirinç veya wolfram kullanılmaktadır. İşlem iki makara arasında gerilmiş bir şekilde hareket eden telin, istenen gravür şekli etrafında, bir şablon yardımı ile dolaştırılması şeklinde gerçekleştirilir. Nümerik kontrollarda işlem gerçekleştirilirken 0.002 - 0.010 in. arasında değişen çaplardaki teller kullanılmaktadır. Tel erozyonunda dielektrik sıvı olarak ise deiyonize edilmiş su devrede dolaştırılır.

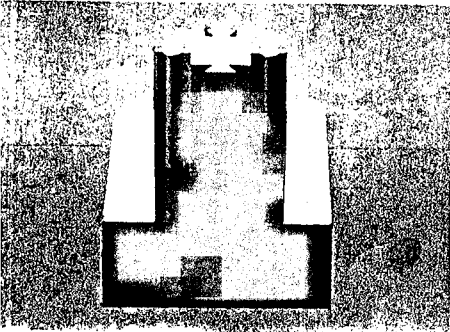
Şekil 79'da bazı iş parçası örnekleri görülen tel erozyonu yöntemi ile zimbalar, kalıplar, çok karmaşık yapıdaki iş parçaları rahatlıkla işlenebilmektedir.



Şekil 79. Tel erozyonu yöntemi ile nümerik kontrollu tezgahlarda üretilmiş iş parçaları. /2/.



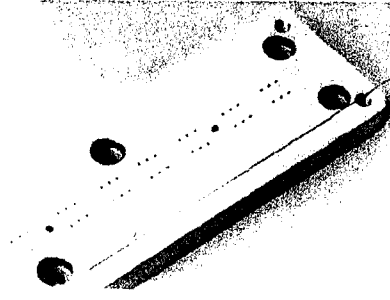
- Metal kesme ve sıvama kalıpları
- Plastik kalıpları
- Metal ekstrüzyon kalıpları
- Plastik ekstrüzyon kalıpları
- Hassas yedek parça imalatında
- Sert madenden grafit kadar her türlü iletken malzemeye
- 0.004 mm. Rmax yüzey pürüzlülüğünde
- + - 0.004 mm. ölçü toleranslarında



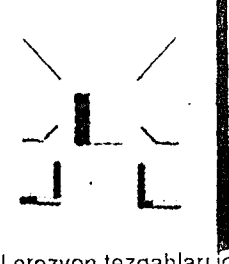
TEL EREZYON İŞLERİ



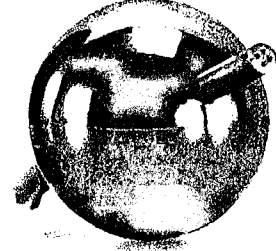
Paslanmaz çelik soğutuculara
nozzle delikleri



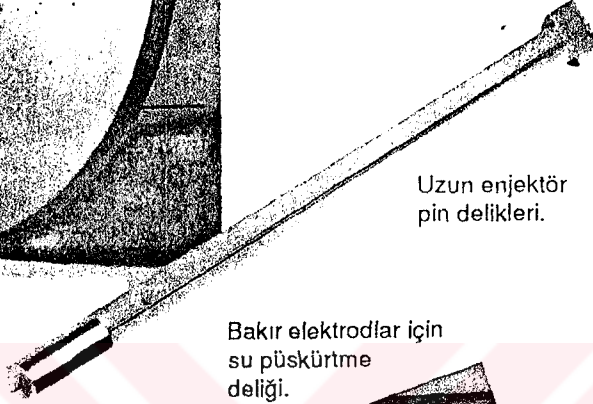
Kalıplarda 0-8 mm. çapında
hassas delik.



Tel erezyon tezgahları için
başlangıç deliği

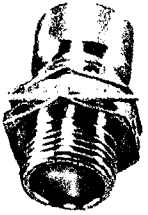


Kompleks yüzeylere
delik imkanı.

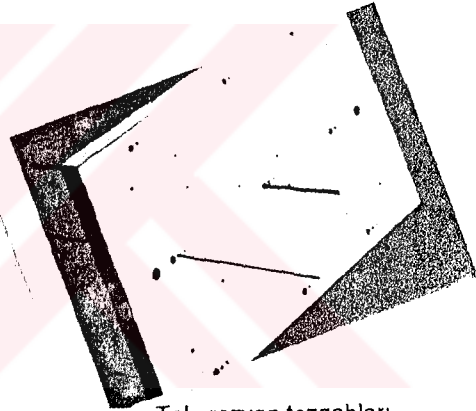


Uzun enjektör
pin delikleri.

Bakır elektrotlar için
su püskürtme
deliği.



Kompleks yüzeylere
delik imkanı



Tel erezyon tezgahları
için başlangıç
deliği

- 250 mm. kalınlığa kadar,
- Alüminyumdan sertleştirilmiş çeliğe, sarıdan hard metale kadar her türlü iletken,
- 0.3'den 3.0 mm.'ye kadar 0.1 mm.'lik adımlarla muhtelif çaplarda,
- **Klasik yöntemlerle ulaşılamayan hız ve düzgünlükte delik delme imkanı.**

UYGULAMA

Burada amaç şimdiye kadar teorik işlenen elektro-erozyon ve tel erozyon tezgahının tanınması ve bu tezgahların üzerinde kalıp imalinin gerçekleştirilmesidir. Bu çalışma Palmek Profil Fabrikasında Kalıphane Bölümünde kalıp imalat atelyesinde gerçekleştirilmiştir.

-Elektro-Erozyon Tezgahı ile yapılan uygulama Palmek Profil Fabrikasında isimleri verilen kalıpların imalatı Elektro-Erozyon Tezgahı ile yapılmıştır.

- 1- Profil kasa menteşe, İktisat Bankası cam, çerçeve, profil, tuban kasa profil, Edirne Tip kapı kollu Arslan ısı kollektör, Aldoks kayıt profil, Asma cephe yatay kayıt bağlantı, profil, rotil
- 1.1- Kalıp makinaya takılmadan önce freze, matkap, torna ve taşlama tezgahlarında resimdeki ölçüye getirilir.
- 1.2- Elektrodlar grafiktir, spindelin ucuna pensle bağlanır (Elektrod daha önce hazırlanmıştır).
- 1.3- Elektrodun makinaya bağlanmasından sonra komparatörle dikliği kontrol edilir.
- 1.4- Otomatik düğmeye basıyoruz, elektrod iş parçasına değdiğinde durur ve bu arada derinlik ayarı yapıyoruz.
- 1.5- Haznenin ön kapağı kapatılır ve dielektrik sıvı kalıbın 20 mm yukarısında olmak üzere doldurulur. Yani iş parçası üzerinde 5 cm yüksekliğinde dalması gerekir. (Dielektrik sıvı olarak gaz yağı doldurulur. Bu arada seviye haznesi ayarlanmıştır).
- 1.6- Elektroliz orta kabalıkta 20 amperde darbe müddeti T:50 ms, darbe oranı T :25 servo voltajı 30 V'da güç kaynağı ayarlanır.
- 1.7- Start düğmesi ile elektroliz başlar.

- Tel erozyon tezgahı ile yapılan işler :

- . Metal kesme ve sıvama kalıpları
- . Plastik kalıpları
- . Metal ekstrüzyon kalıpları
- . Plastik ekstrüzyon kalıpları
- . Hassas ya da parça imalatında
- . Sert madenden grafitte kadar her türlü iletken malzemeye
- . 0,004 mm Rmax yüzey pürüzlülüğünde
- . + 0,004 mm ölçü toleranslarında
- . Klasik yöntemlerle ulaşılamayan hız ve düzgünlükte delik imkanı
- . 250 mm kalınlığa kadar



İSLEM KALIP	KESME	MARKALAMA	TORNA	DELME	DEKOPAJ	PANTOGRAF	FREZE	PUNOMATİK	EROZYON	EL TESVİYESİ	TASVİYE	İSLEM TOPLAM ZAMAN
φ138 KALIP	3.00	-	0.25	0.25	-	4.00	-	-	4.00	3.00	-	20.00 16
φ138 ARKA PARÇA	3.00	-	0.25	0.50	2.30	-	0.50	0.25	-	-	-	9.00 7
φ138 DN HAZNE	3.00	0.30	0.25	0.50	2.30	-	0.50	0.25	-	-	-	9.30 8
φ138 S.B. ELEKTROD	-	1.30	-	-	-	6.00 Elektrod	5.00	-	-	5.00 Elektrod	-	22.00 17.5
φ138 PUL SAB.	-	1.10	-	-	-	-	5.00	-	-	-	-	7.30 6 68.00
φ158 KALIP	4.00	-	0.35	0.35	-	4.00	-	-	4.00	3.00	-	21.30 17
φ158 ARKA PARÇA	4.00	-	0.35	1.15	3.30	-	0.50	0.35	-	-	-	12.00 9.5
φ158 DN HAZNE	4.00	0.25	0.35	1.15	3.30	-	0.50	0.35	-	-	-	12.30 10.5
φ158 ELEKTROD	-	1.30	-	-	-	6.00 Elektrod	5.00	-	-	5.00	-	22.00 17.5
φ158 PUL SABLON	-	1.10	-	-	-	-	5.00	-	-	-	-	7.30 6 75.30
φ186 KALIP	5.00	-	0.35	0.35	-	4.00	-	-	4.00	3.00	-	22.30 18
φ186 ARKA PARÇA	5.00	-	0.35	1.15	5.30	-	0.50	0.35	-	-	-	15.00 12
φ186 DN HAZNE	5.00	0.30	0.35	1.15	5.30	-	0.50	0.35	-	-	-	15.45 12
φ186	-	1.30	-	-	-	6.00 Elektrod	0.50	-	-	5.00 Elektrod	-	22.00 17.5
φ186	-	1.00	-	-	-	-	5.00	-	-	-	-	7.30 6 82.45

SOYUT KALİPLARIN YAPIMINDA TOPLAM ZAMAN

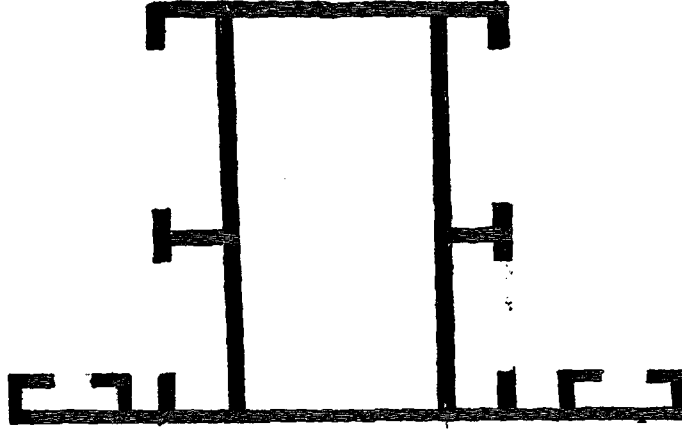
UYGULAMA 1 :

Kalıp Adı : Tuba Orta Kayıt Profil

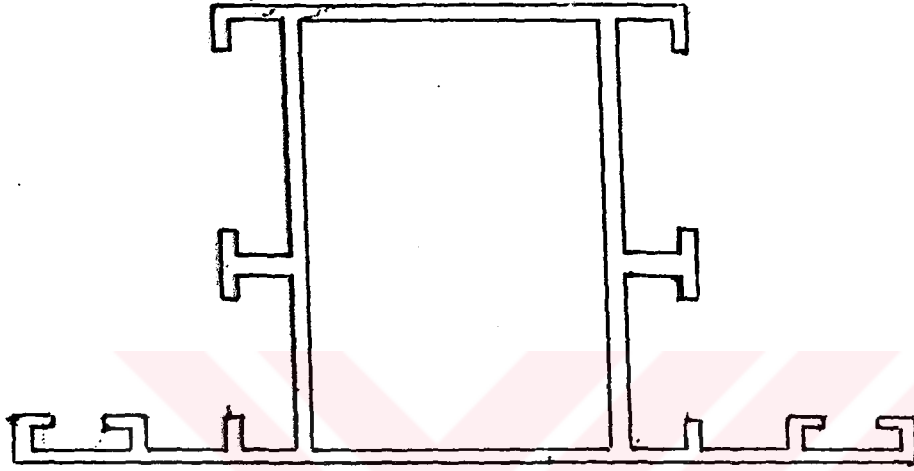
İşlem Sırası :

- 1) Resim çizilir ve ölçülendirilir.
- 2) Elektrod ve kapak şablonu çizilir.
- 3) Bu şablonlar freze'de işlenir.
- 4) Elektrod pantografta işlenir.
- 5) Malzeme testere ile kesilir.
- 6) Torna'da işlenir, Resimdeki ölçülerine göre işlenir.
- 7) Markalanır
- 8) Matkap'ta delikleri delinir.
- 9) Dekopaj'da malzemeyi boşaltılır.
- 10) Tekrar torna'da işlenir.
- 11) Pantografta kapak ve zıvana işlenir.
- 12) Pimlenir.
- 13) Erozyon'da işlenir.
- 14) Tasviye işlemleri yapılır.

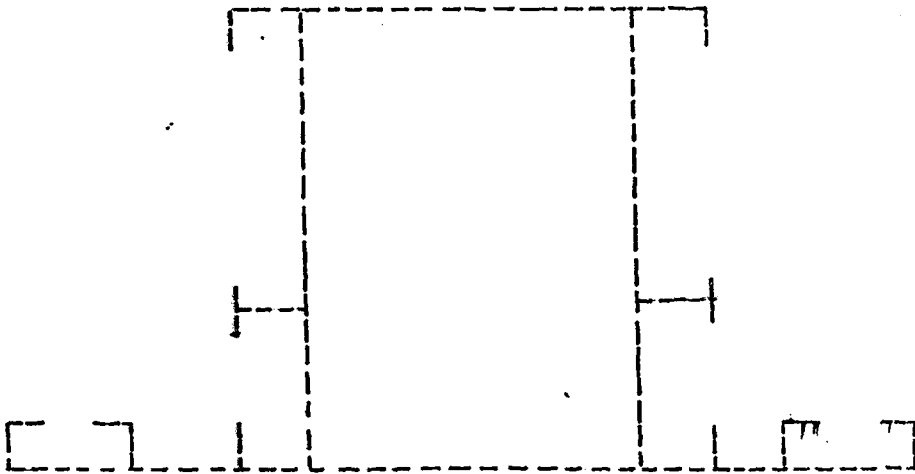
15211 Tuba orta kayıt

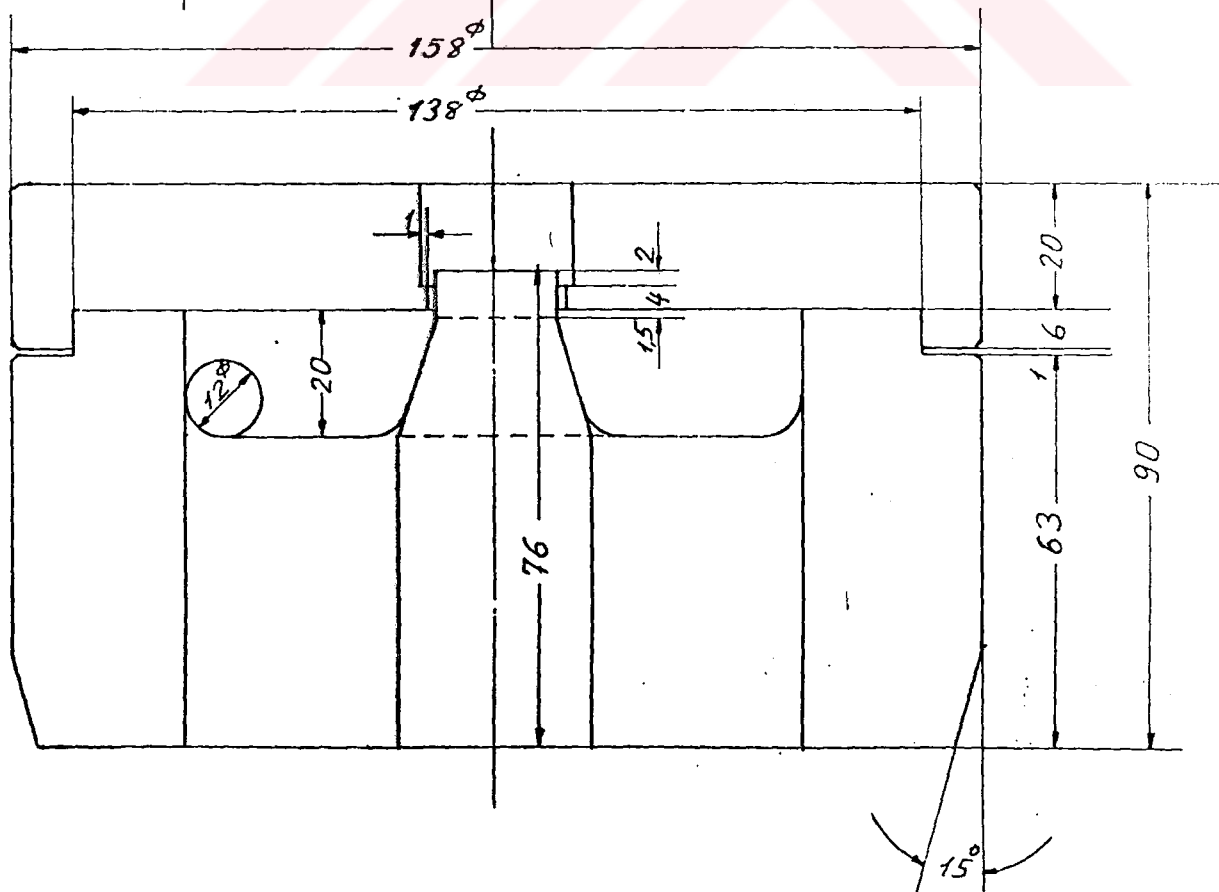


TUBO ORTA KAYIT PROFİLİ
ELEKTRODU



TUBO ORTA KAYIT PROFİLİ
ŞABLON



[illegible]

UYGULAMA 2 :

İşlenmiş Kalıbın Toplam Zamanı : (Tuban sürme serisi) Kasa

1- Kalıbın çizimi Toplam zamanı (süre) :

- Resim = 2 saat
- Markalama = 2 saat
- Şablon çizimi ve hazırlanması = 2 saat

Toplam zaman = 6 saat

2- Tornalama süresi = 8 saat

3- Dekopaj (testere) zıvana = 16 saat

4- Pantograf tezgahında zıvana = 8.30 saat

Kapak, Arka parça

5- Pantograf tezgahında elektrod = 7.30 saat

İşlem süresi ve elektrod tesviyesi = 2 saat

6- Matkap işleme süresi = 5 saat

7- Freze işleme süresi = 6 saat

8- Erozyon tezgahında işleme süresi = 7 saat

9- Punomatik tezgahında işleme süresi = 3 saat

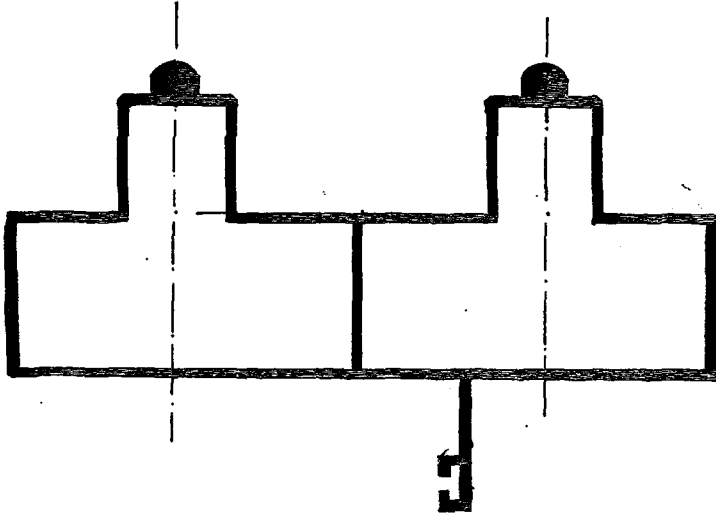
10- Tesviye süresi = 7.30 saat

11- Isıl işleme süresi = 1 hafta

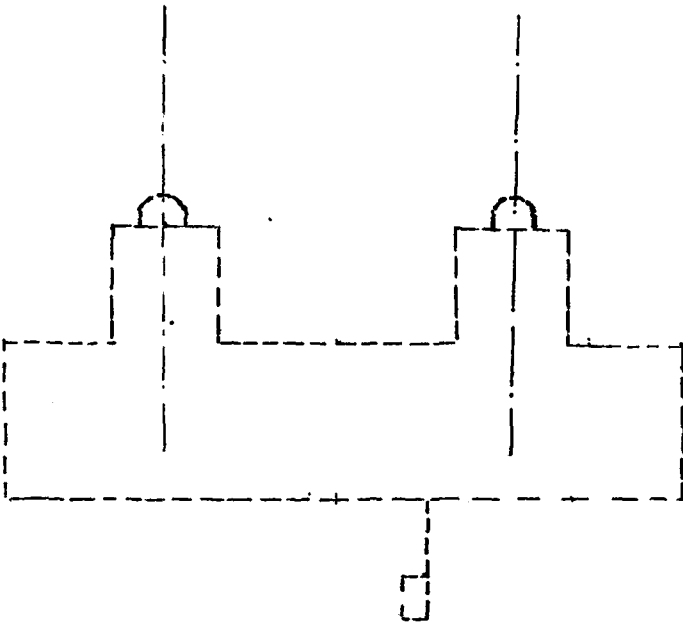
12- Freze tezgahında işleme süresi = 6 saat

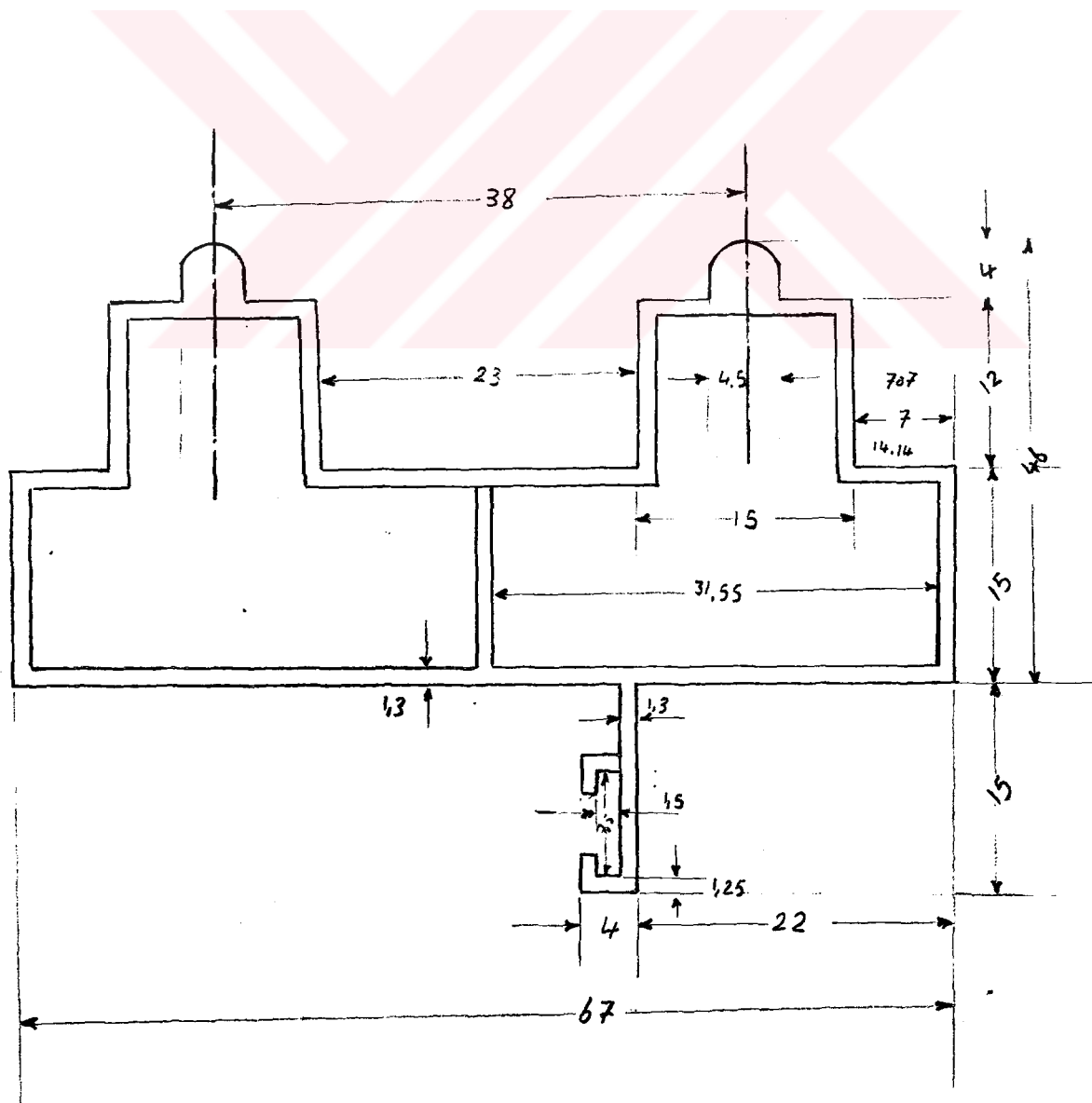
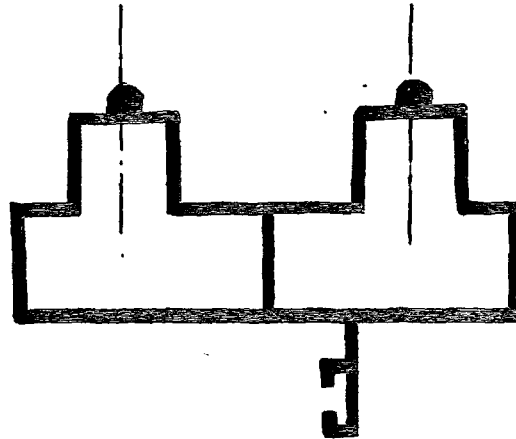
13- Tesviyesi yapılır.

TOPLAM ZAMAN = 69.9 saat



Tuban Kasa Profili
Şablon

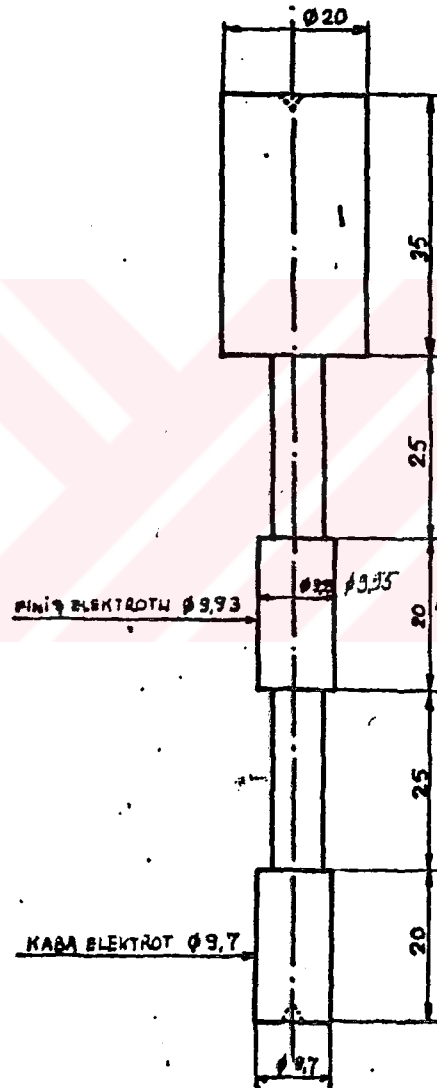




UYGULAMA 3 :

1. Yapılan işlem: Kesme kalıbı dışına $D = 10$ mm çapındaki deliklerin hassas olarak açılması.

Tablodaki diyagramlar yardımıyla elektrot boyutları tayin edildikten sonra elektrotumuzun aldığı şekil aşağıdaki gibidir. Elektrot malzemesi elektrolitik bakırdır.



Çelik kalıp önce kaba elektrot ile işlenmekte daha sonra finiş kısmında yani son işlemede hassas ölçülü elektrot kullanılmaktadır. Böylece delinmesi istenen $D = 10$ mm çapındaki delikler toleranssız olarak işlenmektedir.

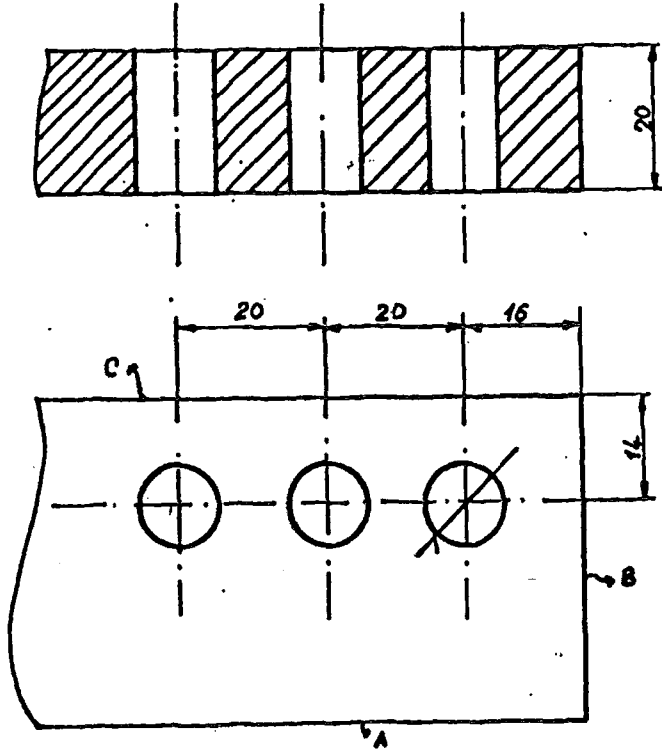
Elektrotu torna tezgahında işleyeceğiz. Ham elektrot malzememizin boyutları $h - 125 \text{ mm}$, $D - 20 \text{ mm}$ olan silindirik elektrolitik bakırdır. Bakır bu boyutlara temiz yüzey kalitesi ve hassas boyutlandırma ile getirilecektir. İlk işlem olarak bakırın her iki ucuna merkezleme yapabilmek için konik kısımlar açılır. Tornada punta yardımı ile merkezlenen parçamız istenilen ölçülerde işlenir.

Elektrot neden yekpare yeni iki kademeli yapılıyor? Kaba elektrot ve finiş elektrotları ayrı ayrı da yapılabilirdi. Fakat o zaman elektrotları değiştirirken yani kaba işlemden ince işleme geçerken yeni bağlanan elektrodun merkezi eskisine nazaran biraz kaçık olabilirdi. Bu yüzden iki ayrı elektrot değil çift kademeli yekpare elektrot kullanıyoruz. Böylece finiş elektrot ile kaba elektrot eksenlerinin birbirleriyle kesişmeme problemi ortadan kalkmış olmakta.

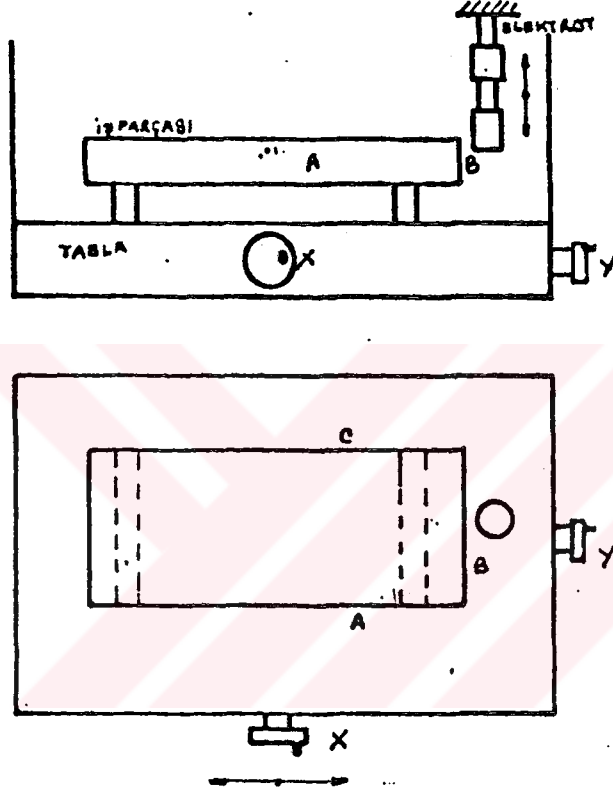
Elektrot yüksekliğini (hem kabada hem de incede) 20 mm seçtik, 10 mm 'de seçebilirdik fakat bu iş parçasında üç ayrı delik işleneceğinden 20 mm elektrot boyu seçmemiz daha iyi sonuçlar verir. Tek delik delik işlenmesi halinde 10 mm elektrot boyu yeterlidir.

PARÇA VE ELEKTROTUN BAĞLANMASI VE ÖLÇÖLERİN HASSAS OLARAK SAĞLANMASI

İşlenecek malzeme : Su verilmiş çelik
Sertlik : 54 Rockwell
Kalıbımız kesme kalıbı dışıdır.



Kalıbı tezgah tablasına mıknatıs yardımı veya diğer bir bağlama elemanı yardımı ile bağlarız. Bağlarken A ve B yüzeylerinin komparatör yardımı ile tablanın hareket doğrultularına paralel olmasını sağlarız. Görünüşte basit ve önemsiz gibi duran bu bağlama işlemi son derece önemli ve titizlik istenen işlemlerden birisidir. Eğer gereken önem verilmezse onca yapılan işlem ve masraflar boşa gidebilir.



Önce elektrotumuz komparatör yardımıyla ana mile monte edilir. Kaba elektrot x kolu ile parçanın B yüzeyine deydinir ve daha sonra elektrot iş parçasına göre sola doğru $(16 + 9,7/2)$ kadar ötelenir. X kolu ile kitleme yapılır. Aynı şekilde bu sefer y kolu ile elektrot parçanın C yüzeyine deydinirip ileriye doğru $(14 + 9,7/2)$ kadar ötelenir ve y kolu ile kitleme yapılır. Artık elektrot ekseni ile 1. deliğin ekseni hassas olarak çakışmaktadır. Önce kaba program daha sonra finiş programı uygulanarak I deliği işlenir. I deliğinin işlenmesi sona erince tabla sağa doğru delikler arasındaki adım kadar (10 mm) ötelenir.

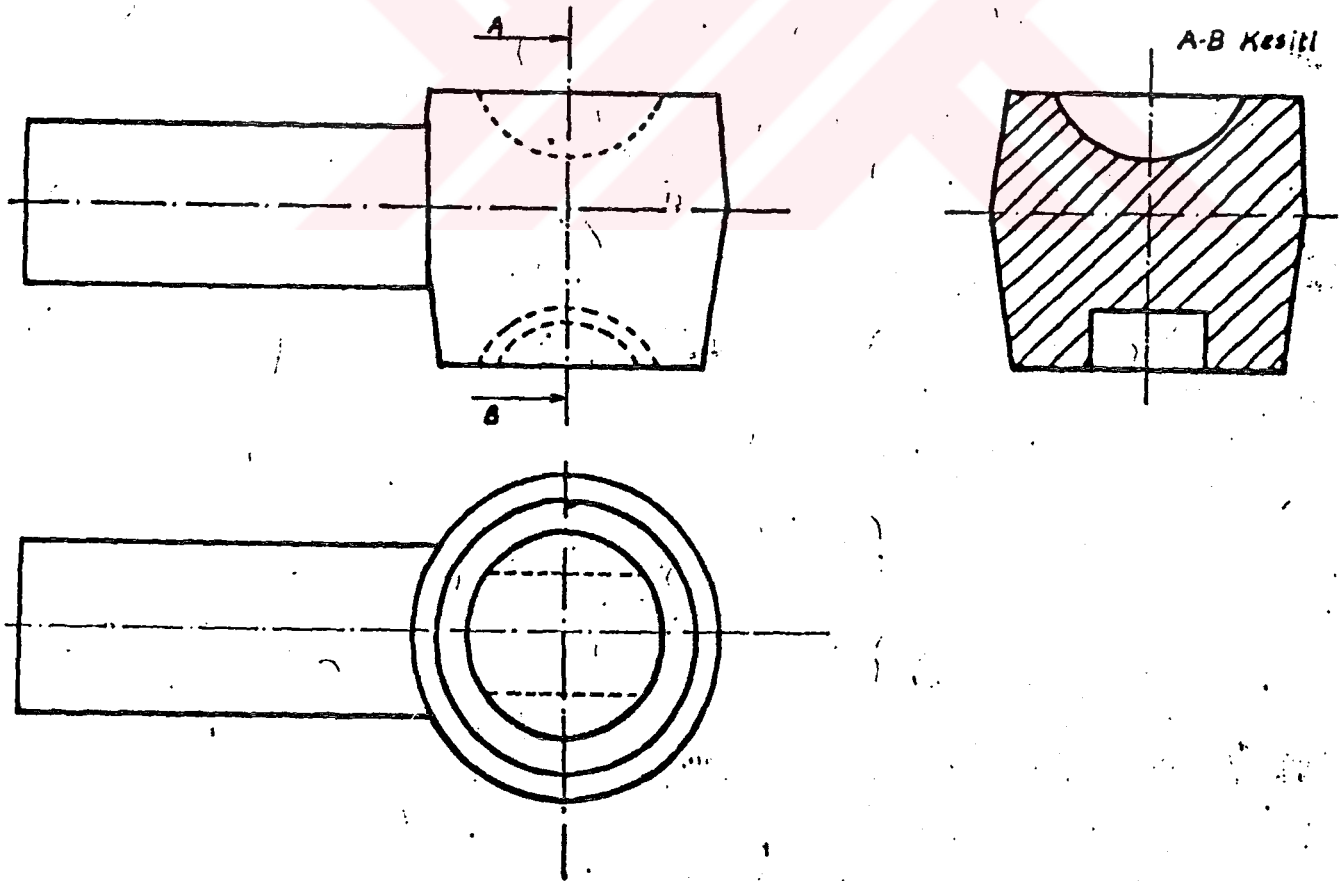
II.delik artık işlenmeye hazırdır. I.delğe uygulanan işlemler aynen tat-
bik edilir. Aynı işlemler tekrar edilirse delikler istenen ölçü hassasiye-
tinde ve kalıbın istenen yerinde işlenmiş olurlar.

Elektrot iş parçasına deydiğinde sesli olarak sinyal verir ve durur. Bu
da bizim ölçüleri ayarlamamızda büyük kolaylık ve hassasiyet sağlar.

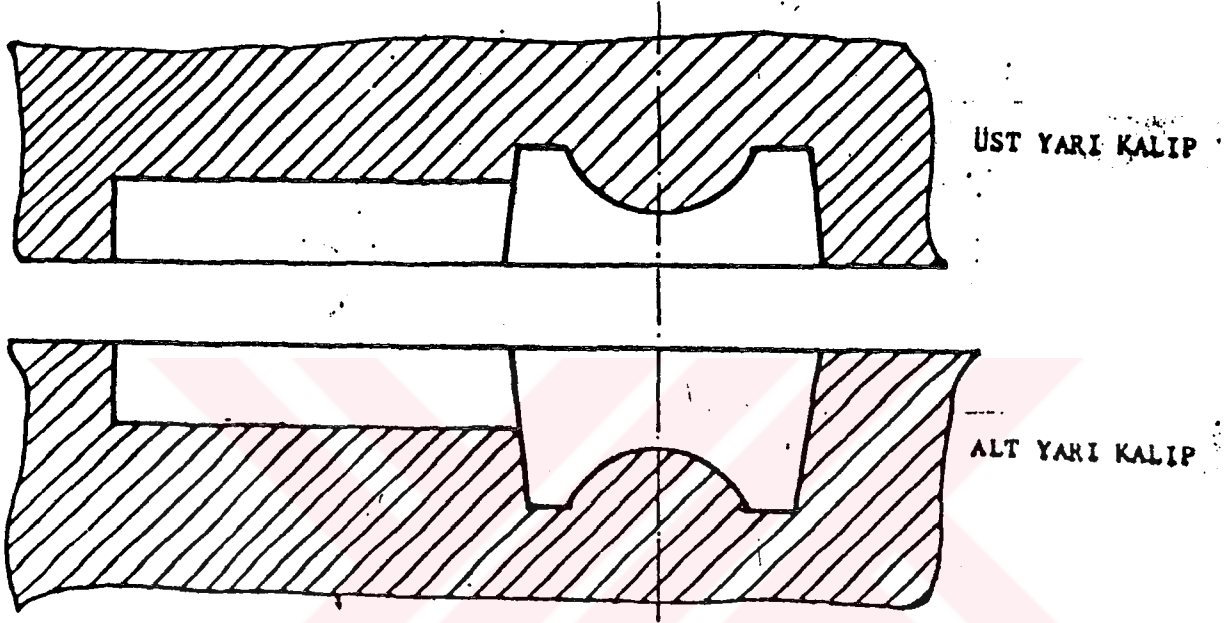
Burada çok basit bir işleme örneğini inceledik. Elektroerozyon ile işleme-
nin daha kolay anlaşılabilmesi için işleme örneği detaylı bir şekilde
anlatılmıştır. Böylece işlemenin hassasiyetini saptayan bazı işlemlerin
önemini de belirtmiş olduk. Koşulların çok sıkı kontrol edilmesi ile elek-
troerozyon ile $\pm 0,0025$ $\pm 0,0125$ m toleranslarına ulaşılabilir.

II. İmal edilecek parça : Rotil

İmal edilecek olan rotilin teknik resmi aşağıda verilmiştir.



İmal edilecek bu parçayı talaşlı imalat elde etmek mümkün fakat zahmetli ve ekonomik değildir. Talaşlı imalat hem malzeme kaybı hem de zaman kaybı söz konusudur. Ayrıca işçiliği de gözönünde tutmamız gerekmektedir. Sonuç olarak en uygun imal usulü dövme şekil vermedir. Dövme kapalı kalıpta yapılacaktır. Kalıbın dizaynı aşağıda verilmiştir.



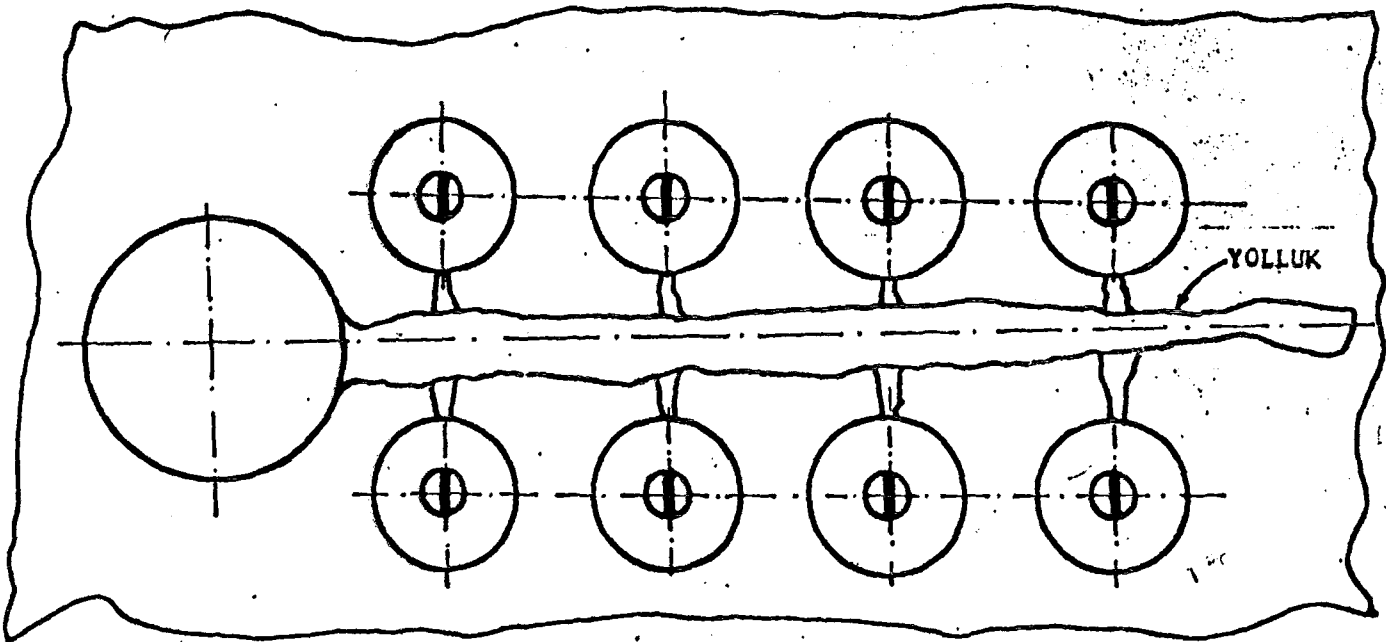
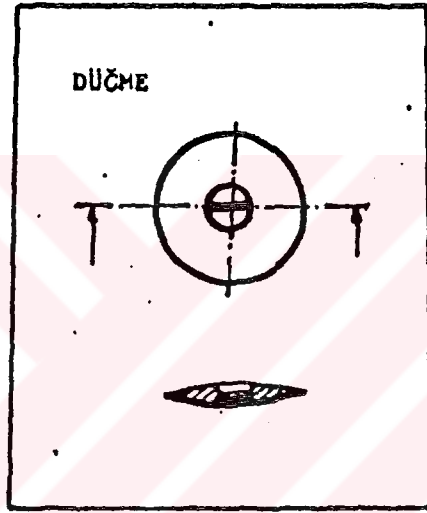
Kalıp malzemesi sıcak iş değildir. Dövme sıcak olarak gerçekleştirilecektir. Kalıbın işlenmesi pantograf tezgahında yapılabilir. Bunun için önce parçanın suyu alınır, daha sonra kalıp pantograf tezgahında veya diğer talaş kaldırma tezgahları ile işlenir. Kalıbın işlenmesi bittikten sonra kalıba su verilir. Su verme işleminde kalıbın çarpılma tehlikesi çoktur. Ayrıca kalıbın 5000 adet rotül imal ettikten sonra sökülmesi ve yeniden bu zahmetli işlerden geçmesi gerekmektedir.

Elektroerozyonda ise bu zorluklar söz konusu değildir. Bakırdan parçanın aynı boyutlarında olan bir elektrot yapmak yeterlidir. İşlenen elektrot çelik yerine yumuşak olan bakır ve elektrotun girintilere sahip olmayan bir geometrisi olduğu düşünülürse yapılan işin ne kadar basite indirildiği görülür. Elektrotumuz hazır olduktan sonra artık geriye yalnız kalıpların işlenmesi kalmaktadır. Elektrotun bir yüzüyle alt kalıp diğer yüzüyle de üst kalıp

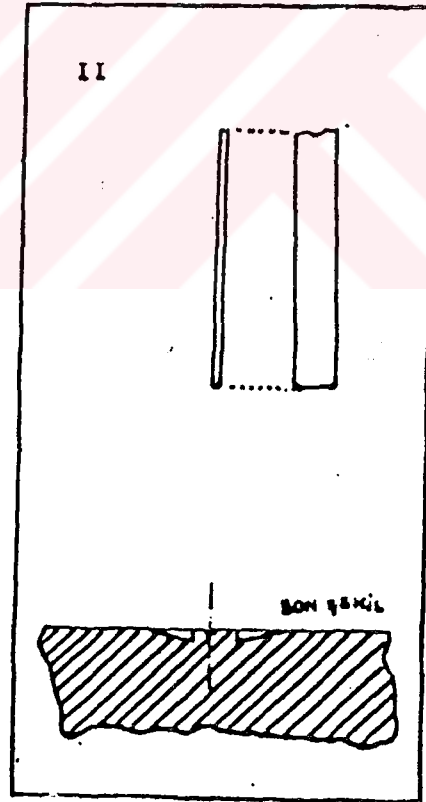
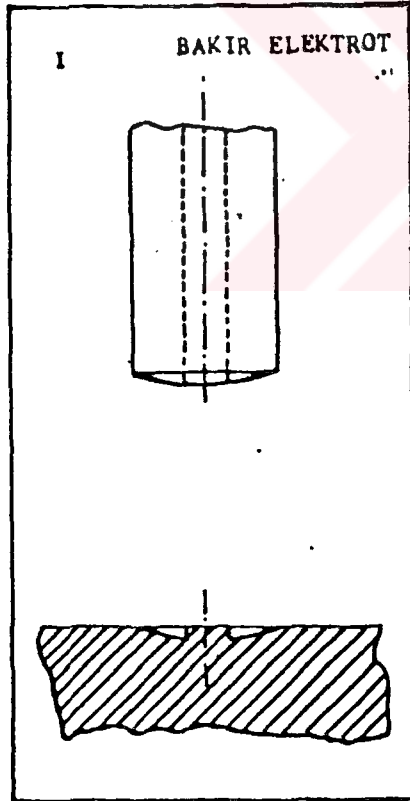
parçası işlenir. Kalıplar bozulduklarında kalıp yüzeyinin taşlanıp (3-4 mm) yeniden aynı elektrotla işlenmesi gerekir. Bu işleme çok kısa ve hiçbir zorluğu olmayan bir işlem den ibarettir. Parçanın suyunun alınması parçaya yeniden su verme gibi işlemler söz konusu olmadığından kalıbın çarpılma tehlikesi de yoktur.

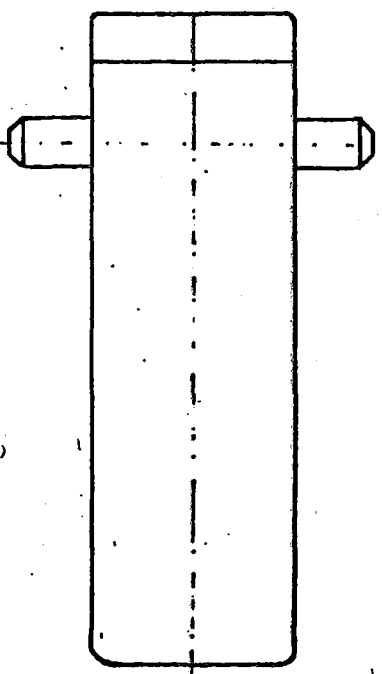
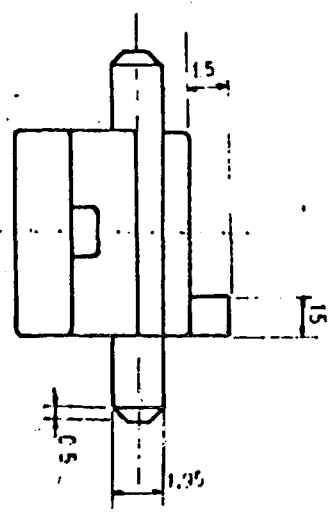
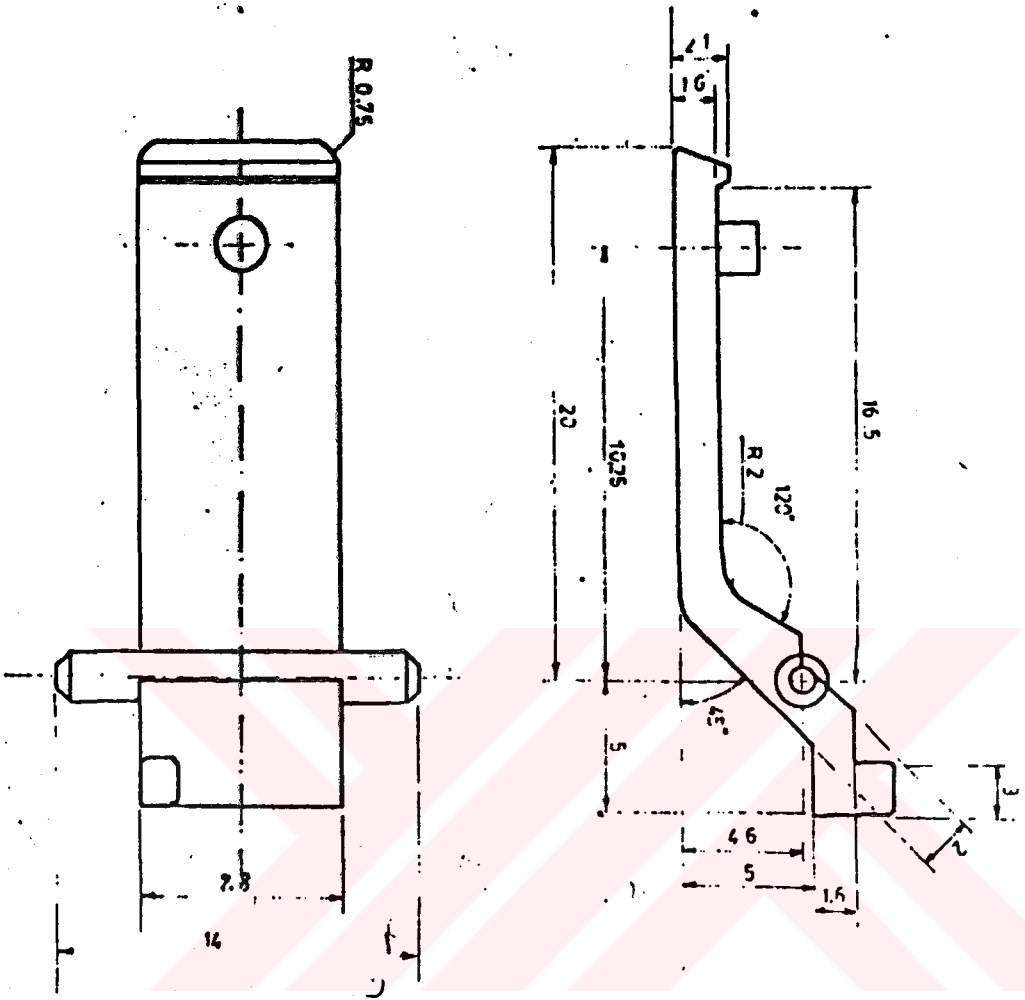
III- İmal edilecek parça : Düğme

Aşağıda imali düşünülen düğmenin resmi ve kalıp dizaynı verilmiştir.



Kalıp sekiz adet parça boşluğundan daha doğrusu sekiz adet gözden oluşmaktadır. Her göz tek tek elektroerozyonda işlenecektir. Elektrot olarak iki ayrı elektrot kullanıyoruz. Şimdi bir gözün işlenmesini inceleyelim. I.şekilde görülen elektrotla çelik kalıp erozyonda işlenir. Daha sonra II.elektrotla kalıba son şekil verilir. Kalıbımızın elektroerozyonda işlenmesinin en büyük sebebi alt yarı kalıpla üst yarı kalıbın birbirleriyle tam uyum içinde çalışmasının istenmesidir. Eğer kalıplar birbirlerinden çok az kaçık olsalar yani gözler çakışmasalar yapılan bütün işlemler boşa gitmiş olacaktır. Elektroerozyonda üst ve alt kalıptaki gözlerin birbirleriyle çakışması kolaylıkla elde edilir. Düğmeler alüminyumdan enjeksiyon preste imal edilecektir.

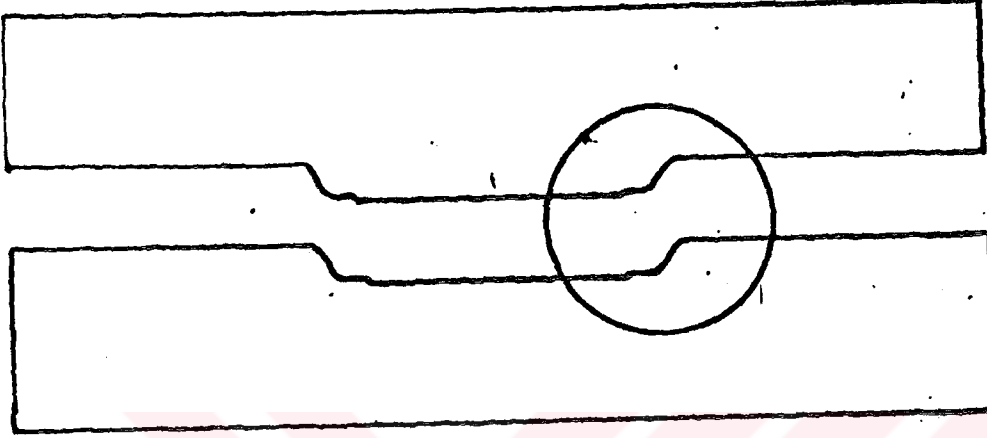




IV. UYDULAMA

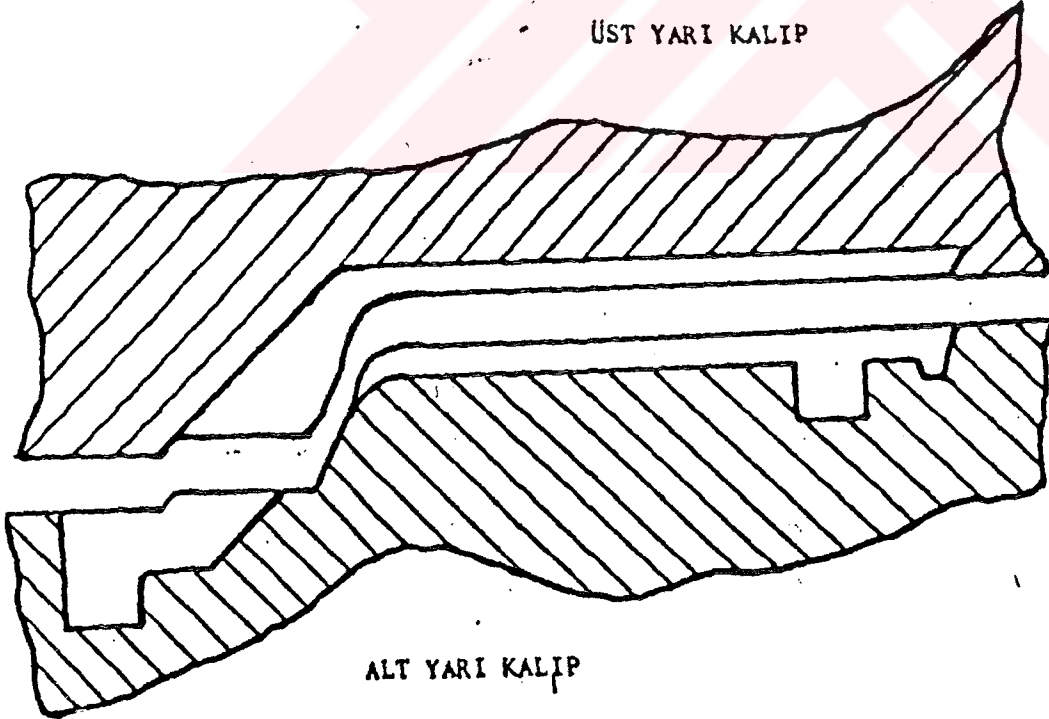
Mandal kalıbının malzemesi normalize edilmiş yağ çeliğidir. Mandal malzemesi ise Nory 1'dir. Kalıplara sekizer göz açılacaktır. (Düğme kalıbı gibi). Parçamızın geometrisinden dolayı kalıp ayırma hattı düzlemsel değildir. Aşağıdaki şekilde bunu rahatça görebiliriz.

MANDAL KALIBI



Şimdi de gözlerin kalıp yüzeyinde açıldıktan sonraki durumu gözleyelim.

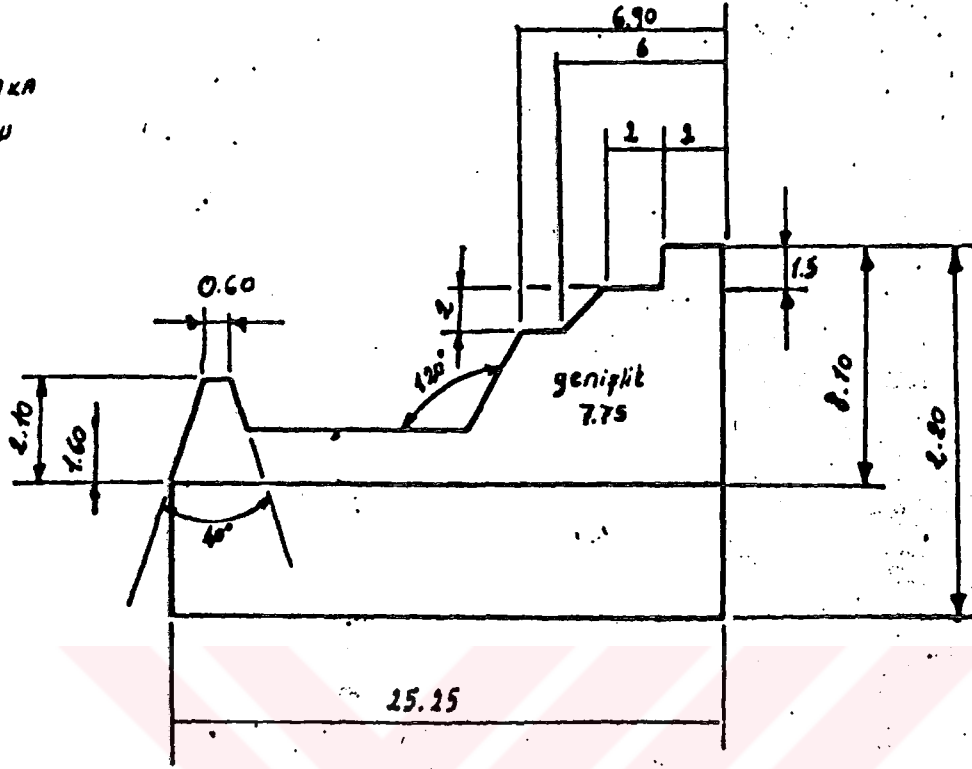
ÜST YARI KALIP



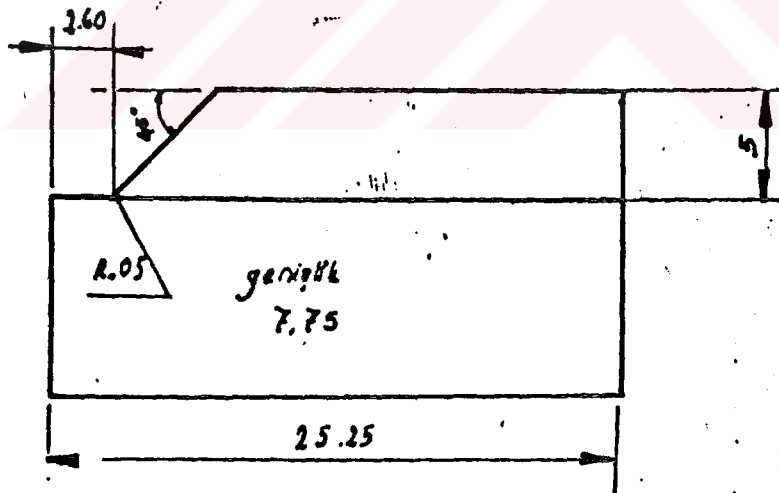
ALT YARI KALIP

KULLANILAN ELEKTROTLARAÇIDA GÖSTERİLMİŞTİR (BAKIR)

İTİCİ PLAKA
ELEKTRODU



ENJ. PLAKA
ELEKTRODU



Mandal kalıbında enjeksiyon plaka elektrotu ile hareketli üst yarı kalıp işlenir. İtici plaka elektrotu ile de sabit alt yarı kalıp işlenir. Mandalın bağlantı yerlerinin elde edilmesi için de, istenen ölçüde silindirik elektrot ile yatay olarak her iki yarı kalıp işlenir. Parçanın çok ufak ve detaylı olması kalıbın elektroerozyondan başka bir tezgahta imalini imkansız kılar. Elektroerozyon ile işlemenin önemini bir kez daha bu mandal kalıbını işlerken görmüş olduk.

Elektrot işlemede dağlamanın önemi: Bazı karmaşık şekilli elektrotların istenen ölçüye normal talaş kaldırma yöntemleriyle getirilmesi zordur. Çünkü bazı girinti çıkıntı olan yerlere çakının veya bıçağın girmesi zor olabilir. Böyle zamanlarda bakır elektrotlar asit konsantrasyonlu banyolara daldırılır. Çok kısa süre asit banyosunda kalan bakır elektrot her yüzünden aynı oranda aşınır. Bakır elektrot istenen ölçüye gelene kadar bu işleme devam edilir. Böylece BAKIR elektrotta istenen toleranslar verilebilir.

Elektroerozyon ile işlemede elektrot kesit alanının önemi: Elektrot kesit alanı uygulanacak akımı belirleyen yegane faktördür. Eğer kesit alanı değişiyorsa bunun dikkate alınarak akımın da kademeli olarak değişmesi gerekir. Yani programı daima sistemli bir şekilde değiştirmek gerekir. Örneğin konik parçalarda bu durumu gözönünde tutmak gerekir.

İleriki sayfada elektrot kesit alanına göre kullanılan tranzistör sayısı verilmiştir.

Tranzistör (Jt) = 3 Amper

Son sayfada ayrıca akım şiddeti, akım darbe süresi, aşındırma hızı, elektrot harcantisı, yüzey pürüzlüğü arasındaki bağıntılar, diyagramlar yoluyla verilmiştir. Elektrot bakır, iş parçası çeliktir.

SONUÇ :

Elektro-Erozyon konusunda yaptığım teorik ve iş yerlerindeki uygulama çalışmalarının sonuçlarını şöyle sıralayabilirim.

1. Parçaların işlenmesinde hassas bir şekilde kontrol edilebilen elektrik kıvılcımı kullanılmakta ve metal çıkarma işlemi hassas olarak yapılmaktadır.
2. Elektrik akımını iletebilen her malzemeye uygulanabilmektedir.
3. İş parçası sertleşmiş durumda iken işlenebilir ve sonradan yapılacak sertleştirme ısı işleminde dolayı meydana gelebilecek deformasyon tehlikesi ortadan kalkmaktadır.
4. Elektrod ile iş parçası arasında temas olmadığından iş parçasında herhangi bir gerilme oluşmamaktadır.
5. Klasik işleme yöntemleri ile işlenmeleri çok zor olan karmaşık şekilli parçalar kolaylıkla işlenebilmektedir.
6. Talaş kaldırmada herhangi bir çapak oluşumu söz konusu olmamaktadır.
7. Parçadaki ince ve kırılabilir kısımlar herhangi hasar meydana gelmeden işlenebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Akkurt,M., Takım Tezgahları, 1985, Birsen Yayınevi, İstanbul, s.506-510
2. Degarmo E.P., Black,J.T., and Kohser,R.A., Materials and processes in Manufacturing, 1988, New York, 857-860.
3. Eraslan,M., Elektro-Erozyon Tezgahı Tanıtımı Teorisi ve Uygulama, Lisans Tezi, Y.Ü. 1988, İstanbul.
4. Karar,S.F., Oswald, J.W., Amand,J.E.ST., Technology of Machine Tools, Kc Graw-Hill, 1977, New York, 440-450.
5. Kadıbban,O.J., Kalıp İmalatında Kullanılan EDM İşleminin Esası ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi, Lisans Tezi, Y.Ü.1989,İstanbul
6. Metal Handbook, Vol.2-3-4, American Society For Metals, 1967.
7. Technological aspects of spark erosion catalog AGIE, Industrial Elektronik Ltd, Losone-Locarno, 1985, Switzerland.
8. Schey,J.A., Introduction to Manufacturing Processes, 1987, New York, 526-528.
9. Yankee, H.W., Manufacturing Processes, 1979, New Jersey 07632,303-323