İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL ENJEKTÖRLERDE, EDM YÖNTEMİ İLE FARKLI KOŞULLARDA DELİNEN PÜSKÜRTME DELİKLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE İÇ YAPILARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman TEMİZKAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL ENJEKTÖRLERDE, EDM YÖNTEMİ İLE FARKLI KOŞULLARDA DELİNEN PÜSKÜRTME DELİKLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE İÇ YAPILARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman TEMİZKAN
(506101424)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kürşat KAZMANLI

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101424 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Osman TEMİZKAN,** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DİZEL ENJEKTÖRLERDE, EDM YÖNTEMİ İLE FARKLI KOŞULLARDA DELİNEN PÜSKÜRTME DELİKLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE İÇ YAPILARININ İNCELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Kürşat KAZMANLI** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Eş Danışman :	**Prof.Dr. Mustafa ÜRGEN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Gökhan ORHAN** İstanbul Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **26 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, başlangıcından sonuna kadar, gerekli bütün yardım ve tavsiyeleri yapan, karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım sayın Doç. Dr. Kürşat Kazmanlı' ya, Robert Bosch Bursa'da danışmanım olan Sedat Yılmaz' a ve yardımı olan herkese katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, aileme ve arkadaşım Tuba Etcan' a gösterdikleri özveri ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2011 Osman Temizkan

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. ENJEKSİYON SİSTEMİ **3**
2.1 Common Rail Sistemi 3
2.2 Enjeksiyon Memesi 4
3. EDM YÖNTEMİ **7**
3.1 Elektro Erozyon Prosesinin Temel İlkeleri 7
3.2 EDM Proses Mekanizması 8
3.3 Başlıca Elektro-Erozyon Çeşitleri 13
3.3.1 Mikro elektro-erozyon 13
3.4 Elektro-Erozyon Makinesi ve Önemli Bileşenleri 14
3.4.1 Agie Quadratron II (QT II) 15
3.4.1.1 Agie' deki servo sistem şematiği 16
3.4.1.2 Erozyon kafası ve köprü 16
3.4.2 Agie' de EDM prosesi 18
3.4.2.1 Güç kaynağı 19
3.5 EDM' de Elektriksel Boşalma Safhaları 20
4. EDM SÜRECİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER **23**
4.1 Elektriksel Parametreler 23
4.1.1 Polarite 23
4.1.2 Darbenin aktif olduğu zaman (t_{on}) 23
4.1.3 Darbe boşluk süresi (t_{off}) 24
4.1.4 Voltaj (Uh) 25
4.1.5 Tepe akımı (Ih) 25
4.1.6 Compr 25
4.1.7 Gain 26
4.1.8 Kapasite (Cpar) 26
4.2 Diğer Parametreler 26
4.2.1 Dielektirik sıvı 26
4.2.2 Elektrot 27
4.2.3 Ağırlık 27
4.2.4 X- mesafesi 28
4.2.5 Köprü mesafesi 28
4.2.6 Kapak 29
4.2.7 Prizma 29

4.2.8 İç yıkama 29
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 31
5.1 Kullanılan Elektrotların Özellikleri 31
5.2 Kullanılan İş Parçasının (Memenin) Özellikleri 33
5.3 Deneylerde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesi 34
5.4 Deneylerde Kullanılan Ölçüm Yöntemleri 36
5.4.1 Malzeme kaldırma hızı (MRR) 37
5.4.2 Yüzey pürüzlülüğü (Rz) 38
5.4.3 Morfoloji (HAZ) 40
5.4.4 Sertlik (HV) 42
5.5 Sonuçlar 43
5.5.1 Malzeme kaldırma hızı (MRR) sonuçları 43
5.5.2 Yüzey pürüzlülüğü (Rz) sonuçları 46
5.5.3 Morfoloji (HAZ) sonuçları 49
5.5.4 Sertlik sonuçları 50
6. SONUÇLAR 55
KAYNAKLAR 57
EKLER 59
ÖZGEÇMİŞ 69

KISALTMALAR

CR **:** Common Rail Sistem
DSLA **:** Deliklerin oturtma yüzeyinde olduğu tip
DLLA **:** Deliklerin kördelik kısmında olduğu tip
EDM **:** Elektro-erozyon prosesi
HAZ **:** Heat Affected Zone
RC **:** Rezistans-kapasitans
MRR **:** Materyal kaldırma hızı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Tungsten ve tungsten-karbür tellerin özellikleri 31
Çizelge 5.2 : 18CrNi8 sementasyon çeliğinin genel özellikleri 33
Çizelge 5.3 : 18CrNi8 sementasyon çeliğinin element içerikleri 33
Çizelge 5.4 : Deneylerde kullanılan parametrelerin gruplanması 34
Çizelge 5.5 : Low, Medium ve High MRR parametreleri 36
Çizelge 5.6 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların MRR sonuçları 44
Çizelge 5.7 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delme sonucu hesaplanan MRR değerleri 44
Çizelge 5.8 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların yüzey pürüzlülük sonuçları 47
Çizelge A.1 : A grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları 61
Çizelge A.2 : B grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları 62
Çizelge A.3 : C grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları 63
Çizelge A.4 : D grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları 64
Çizelge A.5 : E grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları 65
Çizelge A.6 : F grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları 66
Çizelge B.1 : Tungsten tel ile delinmiş parçaların sertlik ölçüm sonuçları 67
Çizelge B.2 : Tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların sertlik ölçüm sonuçları ... 68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İkinci nesil CRI II 'nin şematik diyagramı 3
Şekil 2.2 : Meme tipleri 4
Şekil 2.3 : DSLA tipi enjeksiyon memesi 4
Şekil 3.1 : Elektro-erozyon' un şematik gösterimi 7
Şekil 3.2 : Talaş kaldırma sürecinde 1. aşama 8
Şekil 3.3 : Talaş kaldırma sürecinde 2. aşama 9
Şekil 3.4 : Talaş kaldırma sürecinde 3. aşama 9
Şekil 3.5 : Talaş kaldırma sürecinde 4. aşama 10
Şekil 3.6 : Talaş kaldırma sürecinde 5. aşama 10
Şekil 3.7 : Talaş kaldırma sürecinde 6. aşama 11
Şekil 3.8 : Talaş kaldırma sürecinde 7. aşama 11
Şekil 3.9 : Talaş kaldırma sürecinde 8. aşama 12
Şekil 3.10: Talaş kaldırma sürecinde 9. aşama 12
Şekil 3.11 : EDM' de voltaj ve akımın zamanla değişimi 13
Şekil 3.12 : Elektro-erozyon tezgahının şematik gösterimi 15
Şekil 3.13 : Agie Quadratron II (QT II) makinesi 16
Şekil 3.14 : Agie' deki şematik sistem 16
Şekil 3.15 : Erozyon kafası 17
Şekil 3.16 : Gelişmiş EDM' de güncel kontrol konsepti 18
Şekil 3.17 : Agie makinesinin ön çalışma bölgesinin görüntüsü 19
Şekil 3.18 : EDM darbe tipi güç kaynağı 20
Şekil 3.19 : EDM' de bir elektriksel boşalmanın safhaları 21
Şekil 4.1 : Elektrotun titreşim davranışı 28
Şekil 4.2 : Erozyon kafa köprüsü 28
Şekil 5.1: Tungsten (a) ve tungsten-karbür (b) elektrot tellerinin SEM görüntüleri. 32
Şekil 5.2 : EDM öncesi (a) ve sonrası (b) elektrot uçlarının SEM görüntüleri 32
Şekil 5.3 : Püskürtme deliğinin geometrisi 37
Şekil 5.4 : Optik profilometre cihazı (ZYGO NewView 6K) 39
Şekil 5.5 : Rz değeri hesaplama gösterimi 39
Şekil 5.6 : Zygo cihazı yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu çıktısı 40
Şekil 5.7 : Fe-m7 çözeltisi ile dağlanmış parça.(1000X büyütmede) (delik boyunca görülen açık renkli tabaka HAZ bölgesi) 41
Şekil 5.8 : Denemelerde kullanılan sertlik cihazı (Shimadzu HMV) 42
Şekil 5.9 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların MRR karşılaştırması 45
Şekil 5.10 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların işlem süresi karşılaştırması 46
Şekil 5.11 : Püskürtme deliği açılmış parçanın SEM görüntüsü 46
Şekil 5.12 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların yüzey pürüzlülük (Rz) karşılaştırması 47

Sayfa

Şekil 5.13 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların yüzey pürüzlülüğü (Rz) karşılaştırması 48
Şekil 5.14 : 18CrNi8 sementasyon çeliğinin iç yapısı (martenzit-ferrit). 49
Şekil 5.15 : Tungsten (a) ve tungsten-karbür (b) tel ile delinmiş parçaların HAZ tabakası kalınlığı karşılaştırması 50
Şekil 5.16 : Delik üzerinde alından HV0.2, HV0.5 ve HV1 sertlik izleri 51
Şekil 5.17 : Tüm parçalarda delik boyunca alınacak olan 21 adet sertlik izlerinin konumları 51
Şekil 5.18 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların sertlik sonuçları karşılaştırması 52
Şekil 5.19 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçalar ile delinmemiş parçaların sertlik sonuçları karşılaştırması 53

DİZEL ENJEKTÖRLERDE, EDM YÖNTEMİ İLE FARKLI KOŞULLARDA DELİNEN PÜSKÜRTME DELİKLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE İÇ YAPILARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Elektro-erozyon (EDM) yöntemi, mikro yapıların üretiminde kullanılan en güçlü teknolojilerden biridir. EDM prosesi karışık bir mekanizma olduğundan bu prosesi etkileyen pek çok parametre mevcuttur. EDM süreci elektriksel bir süreç olduğundan, prosesi etkileyen parametrelerin başında elektriksel parametreler gelir. Uygulanan voltaj, tepe akımı..vs gibi parametreler elektriksel parametreler grubunu oluştururlar. Kullanılan elektrot telin malzemesi ve dielektrik sıvı gibi malzemesel parametreler de elektriksel olmayan parametreler olarak gruplandırılabilir.

Bu çalışmada mikro elektro-erozyon yöntemi ile farklı delme parametreleri ve farklı elektrot teller kullanılarak dizel enjektörlerde bulunan püskürtme delikleri delinmiştir. Daha sonra delme parametreleri ve kullanılan farklı elektrot tellerin delinen püskürtme deliklerine olan etkilerini belirleyebilmek için, delinen parçalara bir takım ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Bunlar; malzeme kaldırma hızı (MRR), yüzey pürüzlülük ve sertlik ölçümü ile ısı tesiri altında kalan bölge (HAZ) incelemesi olarak sıralanabilir.

Farklı delme parametreleri temel olarak; Low, Medium ve High MRR (Malzeme kaldırma hızı) parametre grupları olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Böylece bu üç farklı delme parametreleri ile delinen parçaların sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ve ısı tesiri altında kalan bölgeleri arasında yukarıda sözü geçen deneylerin yapılması sonucunda detaylı olarak bir karşılaştırma yapılabilmiştir.

Farklı elektrot tel olarak ise; tungsten ve tungsten karbür tel kullanılmıştır. Hem tungsten hem de tungsten karbür tel ile delme parametreleri aynı olmak koşuluyla püskürtme delikleri delinmiştir. Sonra, aynı ölçüm ve gözlemler farklı elektrot tel ile delinen bu parçalara da uygulanmıştır. Böylelikle, tungsten ve tungsten karbür elektrotların da EDM prosesine, işparçasından malzeme kaldırma hızına ve

işparçasının sertliği, yüzey pürüzlülüğü ile ısı tesiri altında kalan bölgesine olan etkileri karşılaştırılmıştır.

Hem farklı delme parametreleri hem de farklı elektrot tellerin EDM prosesine ve iş parçasına olan etkilerini gözlemledikten sonra sonuçlar doğrultusunda, proses verimine ve işlem süresine göre en uygun olan elektrot tel belirlenebilmiştir.

INVESTIGATE THE SURFACE PROPERTIES AND MICRO STRUCTURES OF MICRO-HOLES MACHINED BY EDM PROCESS WITH DIFFERENT CONDITIONS IN DIESEL INJECTORS

SUMMARY

The foundation of Electrical Discharge Machining based on the discovery of electrical discharge and corrosive effect of spark by English chemist J. Priestly in 1770s. However, the first EDM implementation was realized by Mr. And Mrs. Lazarenko in Moscow Technical Institutes during Second World War (1940). In the 1960's, the development of the semiconductor industry permitted considerable improvements in EDM machines. Die-sinking machines became reliable and produced surfaces with controlled quality, whereas wire-cutting machines were still at their very beginning. During the following decades, efforts were principally made in generator design, process automatization, servo-control and robotics. Applications in micro-machining became also of interest during the 1980's. It is also from this period that the world market of EDM began to increase strongly, and that specific applied EDM research took over basic EDM research. Finally, new methods for EDM process control arose in the 1990's by using fuzzy control, neural networks response surface methodology, Taguchi optimization.etc. EDM which is one of the methods used in machining industry has become wide spread due to the fact that it doesn't require cutting tools on metal materials having high conductivity and gives oppurtunity to low price production.

At the present time, EDM is a widespread technique used in industry for high-precision machining of all types of conductive materials such as: metals, metallic alloys, graphite, or even some ceramic materials, of whatsoever hardness.

In the electro-discharge machining (EDM) process electric current is converted into heat. The surface of the electrode's material is very intensively heated in the area of the discharge channel. If the flow of current is interrupted, the discharge channel collapses immediately. Consequently, the molten metal on the surface of both the workpiece and the electrode evaporates explosively and disposes liquid material into

the dielectric fluid. This process forms craters on the surfaces of the workpiece and the electrode. If one discharge is followed by another, new craters are formed next to the previous ones and the workpiece surface is constantly eroded. The depth and the shape of craters determine the surface roughness of the machined surface.

Electrical Discharge Machining (EDM) is one of the most powerful technologies which are capable of fabricating micro-structure. Because of EDM process has a complicated mechanism, there ara a lot of parameters which affect this process. Electrical parameters come at the beginning of these parameters because of EDM is an electrical process. Applied voltage, peak current ..etc compose the electrical parameters. The material of electrodes and dielectric fluid can be grouped as non-electrical parameters.

In this study, micro-holes of diesel injectors were machined by micro-EDM process with using different machining parameters and different electrode materials. Then, some measurements and investigations were made to the machined micro-holes for analyzing the effects of machining parameters and different electrodes. These measurements can be listed as material removal rate, surface roughness, hardness testing and heat affected zone (HAZ).

Material removal rate is defined the ratio of the volume of removal material and the process time. So, decreasing the process time increases the material removal rate. In this study, machining time of the micro-holes of diesel enjectors were tried to minimized.

Surface roughness of the machined parts is measured by the optical profilometer which is called Zygo. This surface roughness device gives us the surface roughness value as Rz. So, machined parts' surface roughness values could compared by using their Rz values.

In the hardness measurement, Vickers Hardness was used. The hardness was measured in the same places for each machined micro-holes. By this way, it was seen the effect of the machining parameters and different electrodes to the machined micro-holes hardness.

For the investigation of the machined micro-holes' heat affected zone, an avaible etchant was prepared for workpieces. And it is applied to micro-holes 5-10 seconds. Then, the thicknesses of the heat affected zone of the machined micro-holes are

investigated. According to results, it was seen the effect of the machining parameters and different electrodes to the machined micro-holes heat affect zone.

Different machining parameters were separated basicly in three groups as Low, Medium and High MRR (Material Removal Rate). In this way, after making the measurements above which are hardness, surface roughness and heat affected zone, a comparison between machined micro-holes which are machined with these three different machining parameters, could be made.

Tungsten and tungsten-carbide electrodes were used as different electrodes. Micro-holes were machined with the same machining parameters by both tungsten and tungsten-carbide electrodes. And, the same measurements and investigations were applied to these machined micro-holes with different electrodes. So, the effects of tungsten and tungsten-carbide electrodes to EDM process, material removal rate and the hardness, surface roughness and heat affected zone of workpiece were compared.

After the investigation of the effect of both different machining parameters and different electrodes to EDM process and workpiece properties, according to measurements results, the most suitable electrode for this process can be determined.

According to all measurements and investigations, it was seen that the tungsten electrode is better than the tungsten-carbide electrode for machining the micro-holes by using the EDM process.

When using the tungsten electrode, it was seen that process time was lower than tungsten-carbide. It means tungsten electrode’s material removal rate is more than tungsten-carbide material removal rate in the same machining parameters. The difference between the conductivity of the tungsten and tungsten-carbide causes that.

Tungsten electrode makes also better surface roughness than tungsten-carbide electrode. Because tungsten-carbide’s process time is longer than tungsten’s process time. So, tungsten-carbide electrode has much more interaction with the workpiece than tungsten electrode.

Also, the parts which was eroded with the tungsten-carbide electrodes have thicker heat affected zone. Because, when tungsten-carbide electrode is used in EDM process, more heat is appear during the process. So, tungsten-carbide has a thicker heat affected zone than tungsten electrode.

1. GİRİŞ

Dizel araçlara talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu talepler doğrultusunda üreticiler de eskilerin hantal, duman püskürten ağır arabalarını bugünün sportif, yakıt açısından verimli ve temiz otomobillerine dönüştürmüştür. Bu dönüşümde yüksek basınçlı enjesksiyon sistemlerinin etkisi oldukça büyüktür.

Dizel enjektör üretiminde önemli bir konuma sahip olan Bosch fabrikası da bu artan talebi karşılamak için yüksek basınçlı common rail sistemini geliştirdi. Commom rail enjeksiyon sistemi son derece hassas ölçüm ve yakıt enejeksiyon dizileri birleştirildiğinde 2000 bara kadar yüksek basınç gerektirir.

Common rail enjeksiyon dizel motorların yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonu 0.7–1.1 mm derinliğe 100–200 μm çapa sahip olan püskürtme deliklerine bağlıdır. Yakıt püskürtme otomasyonu, hava-yakıt karışımı püskürtme deliğinin çapına, yüzey pürüzlülüğüne, koniklik gibi geometrik ve yapı özelliklerine bağlıdır.

Söz konusu püskürtme delikleri için şimdiki eğilim, delik çaplarının püskürtme için uygun hale getirilesi ve verimliliğinin arttırılmasıdır. Bugün için püskürtme deliğinin delinmesi için gerekli zaman elektro erozyon yöntemiyle tipik olarak bir dakikadan kısadır. Bu işlem süresini daha kısaltarak püskürtme deliklerinin verimlilikleri arttırılabilir.

Bu çalışmada elektro erozyon yöntemiyle üç farklı delme parametresi (Low, Medium ve High MRR delme parametreleri) kullanılarak delinen püskürtme deliklerinin malzeme kaldırma oranları, yüzey pürüzlülükleri, sertlikleri ve HAZ bölgeleri incelenmiştir.

Elektro erozyon sürecine etki eden ve bu çalışmada incelenen parametrelerden bir diğeri ise iş parçası (meme) ile direkt olarak etkileşim halinde olan elektrot teldir. Bu çalışmada elektrot olarak iki farklı tel kullanılmıştır. İlk olarak elektrot olarak tungsten tel kullanılarak yukarıda belirtilen üç farklı delme parametresi ile püskürtme

delikleri delinmiş ve deline parçaların malzeme kaldırma oranları, yüzey pürüzlülükleri, sertlikleri ve HAZ bölgeleri incelenmiştir.

Sonra, aynı işlemler tungsten-karbür tel için de yapılmış ve sonuçlar doğrultusunda iki farklı elektrot telin elektro erozyon sürecine etkileri incelenmiştir.

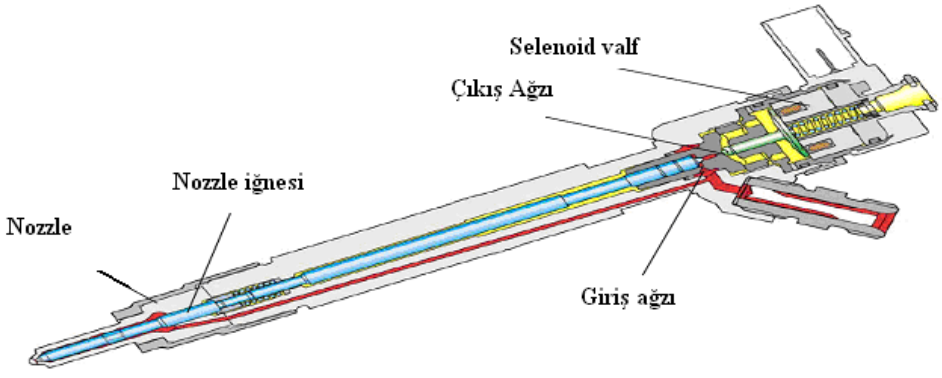
Böylece; hem malzeme kaldırma hızına bağlı olarak belirlenen delme parametrelerinin hem de kullanılan elektrot malzemesinin elektro-erozyon prosesini nasıl etkileyecekleri hakkında bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

2. ENJEKSİYON SİSTEMİ

2.1 Common Rail Sistemi

Enjeksiyon sistemlerinin temel amacı, kısa sürede yakıtı buharlaştırarak hava ile karışmasını sağlamaktır. Şekil 2.1' de görülen Common Rail Sistem de gelişmiş bir yakıt-enjeksiyon sistemlerinden biridir. Bu sistem enjeksiyon basıncını ve zamanlamayı geniş bir ölçek üzerinde değiştirebilme özelliğine sahiptir. Bu durum basınç üretimi ve yakıt enjeksiyon kısımlarının birbirinden ayrılması ile elde edilmiştir.

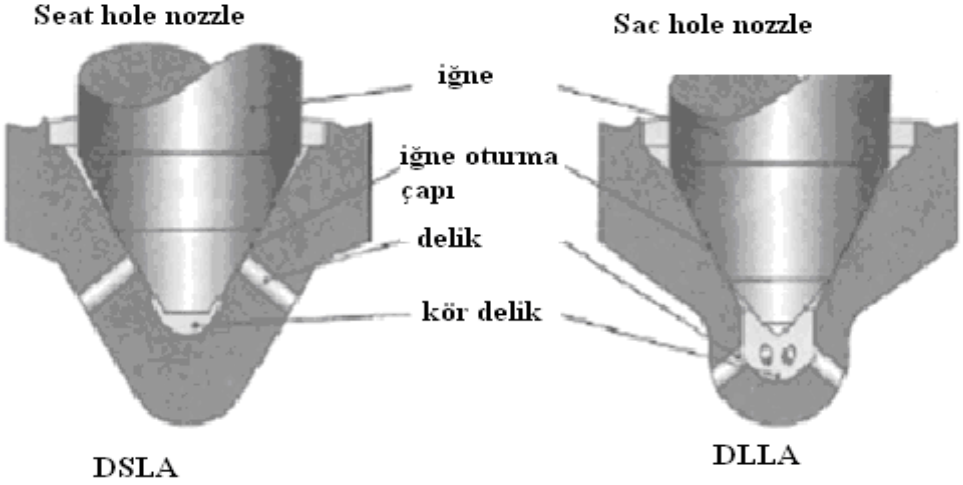
Kam milinden hareket alarak oluşturulan enjeksiyon sistemlerinin aksine, Common Rail enjeksiyon sisteminde yakıt püskürtmesinde geniş bir esneklik mevcuttur. Bunun temel sebebi, yüksek basıncın bir pompa vasıtasıyla, rail denen ve bir boru şeklinde olan elemandan sürekli olarak oluşturulmasıdır. Bunun sonucunda raildeki yüksek basınç oluşumu, motor devrinden bağımsız olup, motor çalışma koşullarına göre optimum püskürtme parametrelerinin ayarlanmasında geniş bir esneklik sağlar.[1]



Şekil 2.1 : İkinci nesil CRI II 'nin şematik diyagramı.

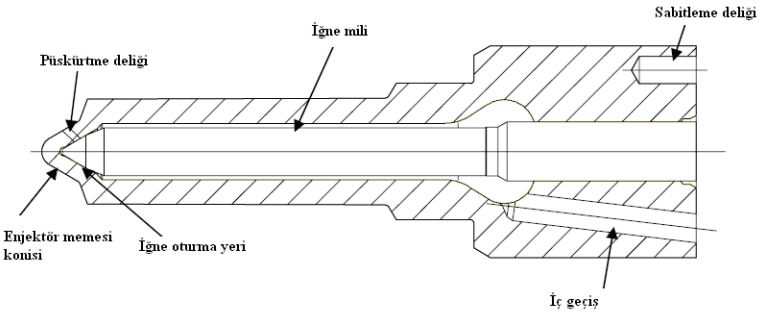
2.2 Enjeksiyon Memesi

Enjeksiyon sisteminin en önemli parçası memedir. Meme yakıtı yanma odasına püskürten eleman olup, meme üzerindeki deliklerin sayısı ve konumları, püskürtülmek istenen yakıt miktarına bağlıdır. Enjeksiyon memesi yakıtı dizel motorun yakıt odasına enjekte eder. Dolayısıyla enjeksiyon memesi yakıt karışımının verimliliğinin ve yanma sürecinde önemli bir belirleyici faktördür. Bundan dolayı motor performansında, egzoz-gaz davranışında temel bir etkiye sahiptir. Enjeksiyon memesi yakıt enjeksiyon sisteminin karakteristik bir parçasıdır çünkü yakıtın yanma odasına girmeden önceki son durağıdır. Yakıt memenin püskürtme deliklerinden yay kuvvetini yenerek aniden yükselen iğne etkisiyle püskürür.



Şekil 2.2 : Meme tipleri.[1]

Direkt enjeksiyonlu dizel motorlarla kullanılan Şekil 2.2' de görüldüğü üzere 2 tip meme vardır. Bunlar DSLA ve DLLA' dır. DSLA tipi deliklerin oturma yüzeyinde olduğu tip olup, DLLA tipinde ise delikler kör delik kısmındadır. DLLA memelerde, DSLA memelerden farklı olarak iğnenin altında ekstra bir hacim vardır. İğnenin oturma çapı ve delikler arasındaki mesafe uzun olduğu için, iğnenin radyal yöndeki hareketinin, farklı deliklerden püskürtülen yakıt miktarlarına etki olmadığından dolayı, simetrik bir püskürtme şekli sağlanır. [1]



Şekil 2.3 : DSLA tipi enjeksiyon memesi.

Meme, enjeksiyon sistemlerinin en önemli ve etkin elemanı olması sebebiyle, meme geometrisi (delik çapı, delik sayısı, deliklerin konumlandırılması, iğne oturma çapı, kör delik hacmi vb.), elde edilecek olan sprey geometrisi ve bunun sonucunda motor performansı ve emisyonları doğrudan etkiler. Denemelerde kullanılacak olan meme Şekil 2.3' te görülen DSLA tipi enjeksiyon memesidir.

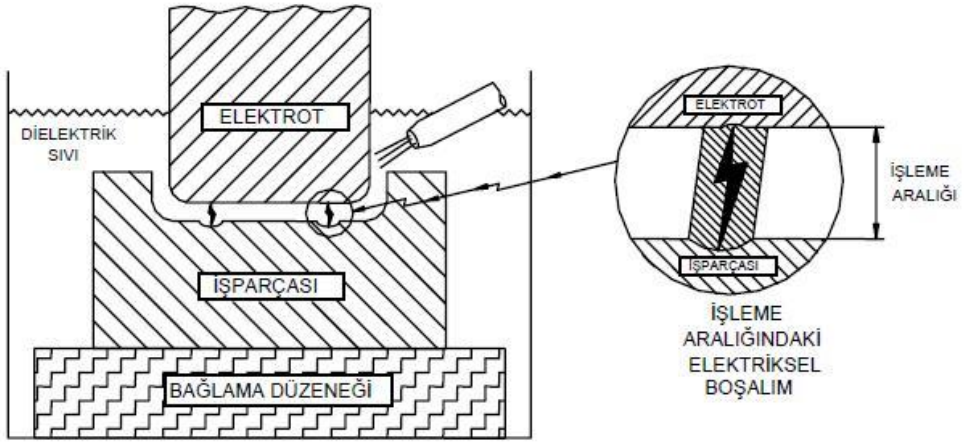
Memenin enjeksiyon sistemindeki büyük öneminde dolayı, meme üzerindeki püskürtme deliklerini delme işlemi de büyük önem kazanmaktadır. Bir sonraki bölümde püskürtme deliklerinin delme işleminde kullanılan EDM (Electrical Discharge Machining) prosesi anlatılacaktır.

3. EDM YÖNTEMİ

Electrical Discharge Machining (EDM), dielektrik sıvı ortamda bulunan elektriksel iletkenliğe sahip tel elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen ardışık elektriksel boşalımlar (kıvılcımlar) sayesinde malzemeden talaş kaldırılan elektro-termal bir yöntemdir.

3.1 Elektro Erozyon Prosesinin Temel İlkeleri

Elektrot ve iş parçası su içine daldırıldığında bunlara uygulanan voltaj darbeleri dielektrik sıvının seri halinde bozulmasına ve tekrar oluşmasına sebep olur. Bahsi geçen darbelerin her biri akım boşalması olarak geçer. Elektriksel boşalma, voltaj darbesi uygulandığında aradaki dielektriğin bozulmasıyla meydana gelir. Boşalma sırasında ortaya çıkan enerjinin bir kısmı iş parçası ve elektrota aktarılır, sonuç olarak belirtilen parçalarda yüksek lokal ısınmalar meydana gelir. Isınan yüzeyin sıcaklığı elektrot veya iş parçasının ergime sıcaklığını geçtiği zaman ise metal aşındırması küçük parçalar halinde başlar. Eriyen ve/veya buharlaşan parçalar (moloz maddeler) kıvılcımın oluştuğu alandan sürekli akan dielektrik sıvı yardımıyla temizlenir. Elektro-erozyon' un şematik gösterimi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Elektro-erozyon' un şematik gösterimi.[2]

Elektro-erozyon mekanizmasında, öncelikle elektriksel enerjinin, iş parçası ve elektrot arasında meydana gelen elektriksel boşalmalar vasıtasıyla termal enerjiye dönüştürülmesi kullanılır.

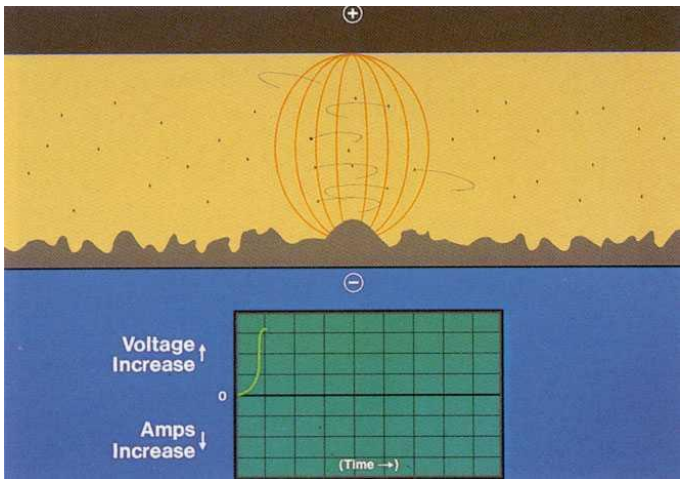
Termal enerji, anot ve katot arasında çok yüksek sıcaklıklarda plazma kanal oluşturur ve bu durum her püskürtme deliği yüzeyinde azımsanmayacak miktarda metal ısınması ve erimesi başlatır.

Akım beslemesi kesilince plazma kanal bozulur. Bu durum sıcaklıkta ani bir azalmaya sebep olur ve dielektirik sıvının dolaşımına müsaade eder. Böylece elektriksel boşalım enerjisi nedeniyle ısınan elektrot ile iş parçası yüzeylerinin soğutulması ve erimiş parçaların delik yüzeyinden temizlenmesini sağlanır.

3.2 EDM Proses Mekanizması

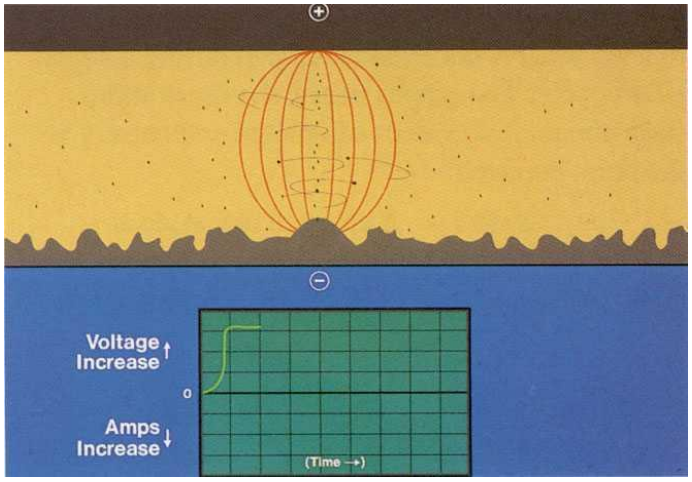
EDM prosesinde, elektrik yüklenmiş bir elektrot ile iş parçası belirli bir mesafede birbirlerine yaklaştırılır. Arada dielektrik sıvı olarak bilinen yalıtkan ortam mevcuttur ve bu sıvı her ikisinin arasında yalıtkan görevi yaparak herhangi bir ark oluşumuna müsaade etmez. Ortam yalıtkan olsa da, yeterince büyük bir elektrik potansiyeli, sıvının yalıtkanlık özelliğini bozarak iyonik (yüklü) parçacıklara ayırır. Bu parçacıklar da elektrik akımının geçmesini sağlarlar.

EDM prosesi esnasında talaş kaldırma mekanizmasının süreçleri adım adım detaylı olarak aşağıda anlatılmaktadır:



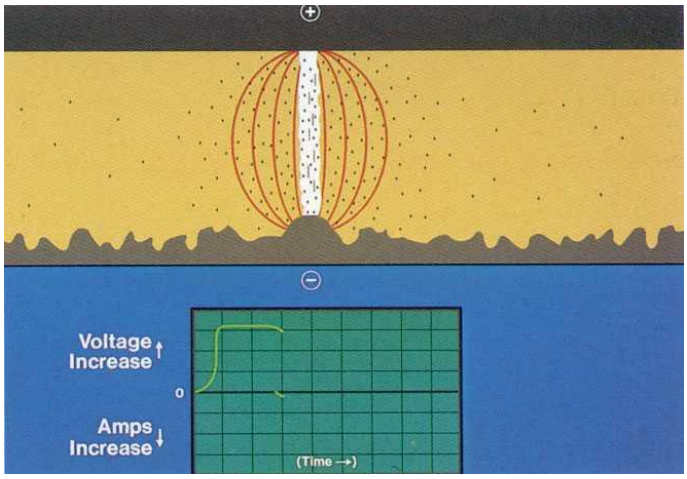
Şekil 3.2 : Talaş kaldırma sürecinde 1. aşama.[3]

Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi elektriksel alan maksimum düzeydedir. Voltaj artmakta ancak akımın sıfır olduğu görülmektedir.



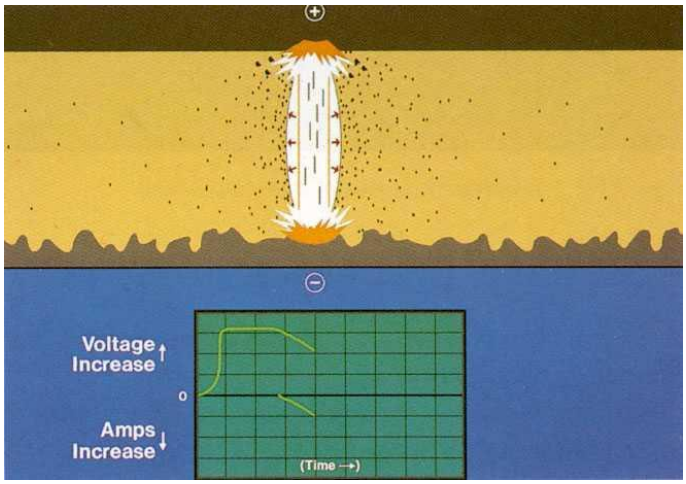
Şekil 3.3 : Talaş kaldırma sürecinde 2. aşama.[3]

İyonik (yüklü) parçacıkların sayısı arttıkça, elektrik alanın en güçlü kısmında yer alan dar bir kanal boyunca dielektrik sıvının yalıtkanlık özelliği azalır. (Şekil 3.3) Voltaj maksimum değerine ulaşmıştır ancak akım hala sıfırdır.[4]



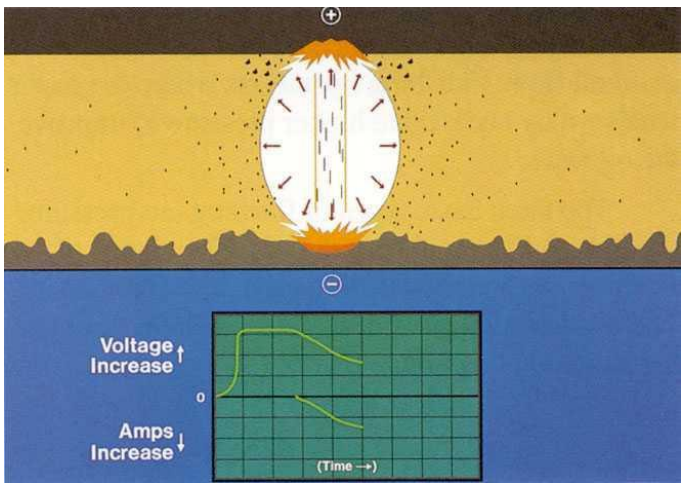
Şekil 3.4 : Talaş kaldırma sürecinde 3. aşama.[3]

Dielektrik sıvı daha az yalıtkan bir hal alır, akım meydana gelir ve voltaj azalmaya başlar. (Şekil 3.4)



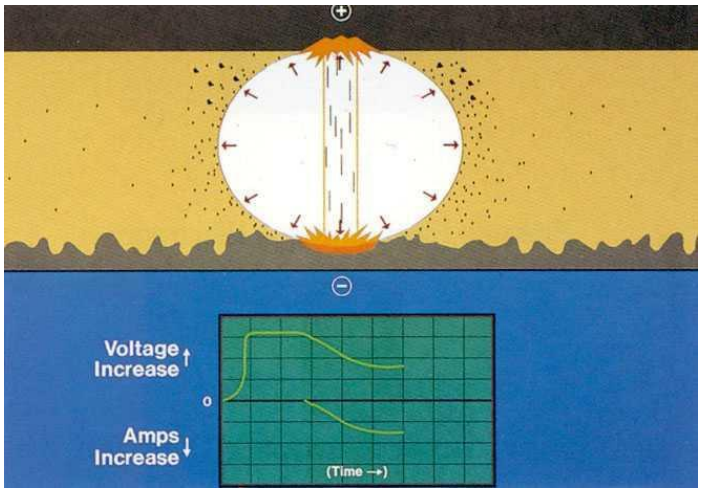
Şekil 3.5 : Talaş kaldırma sürecinde 4. aşama.[3]

Şekil 3.5' te voltaj düşmeye devam ederken akım artar. Akımın artmasıyla ısı da hızla artmaya başlar. Oluşan yüksek sıcaklık ile dielektrik sıvının, elektrodun ve iş parçasının bir kısmı buharlaşır. Elektrot ile iş parçası arasında bir deşarj kanalı oluşmaya başlar.



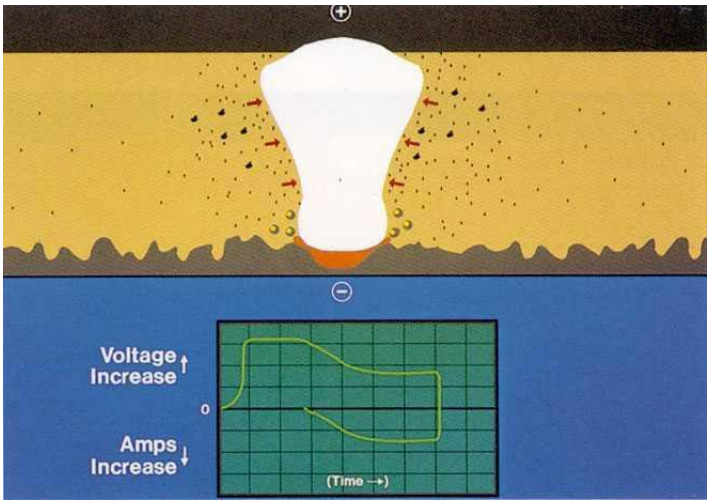
Şekil 3.6 : Talaş kaldırma sürecinde 5. aşama.[3]

Şekil 3.6' da ise akım boşalması sonucu oluşan sıcaklık etkisi ile bir buhar baloncuğu dışa doğru genleşmeye çalışır ancak genişleme, deşarj kanalına doğru biriken iyonlar nedeniyle sınırlı kalır. Bu iyonlar, meydana gelen oldukça yoğun elektro-manyetik alan tarafından etkilenirler. Akım artmaya, voltaj ise düşmeye devam eder.[4]



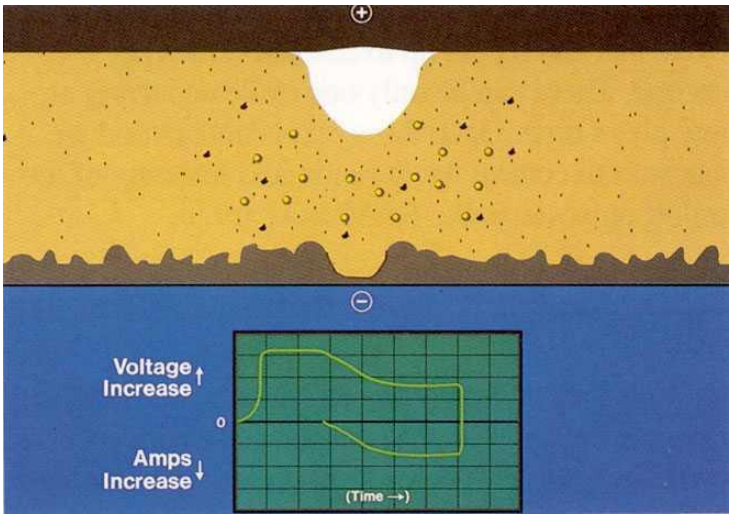
Şekil 3.7 : Talaş kaldırma sürecinde 6. aşama.[3]

Şekil 3.7' de, voltaj ve akım sabit hale gelir. Balonun içindeki sıcaklık ve basınç maksimum değerine ulaşır ve bir miktar metal kaldırılır. Boşalım kanalı altındaki metal tabakası ergimiş haldedir ancak buhar balonunun basıncı nedeniyle yerinden ayrılamamıştır. Boşalım kanalı, yoğun bir akım ile buharlaşmış dielektrik sıvısı ve metalden oluşan yüksek sıcaklıktaki bir plazmadan ibarettir.



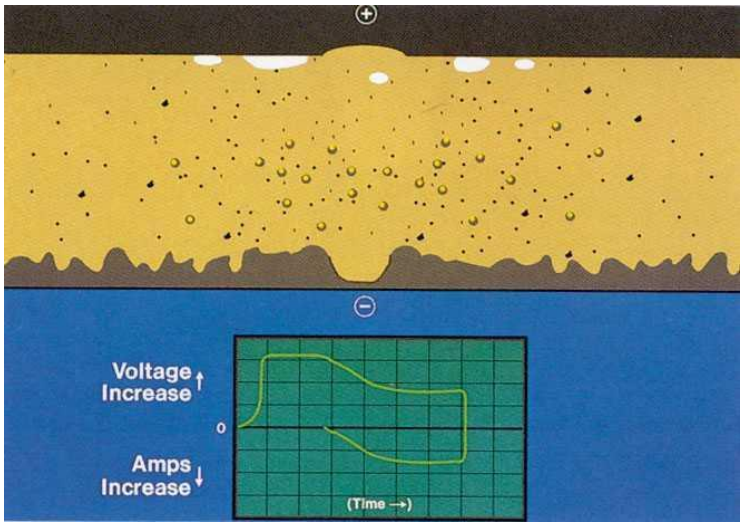
Şekil 3.8 : Talaş kaldırma sürecinde 7. aşama.[3]

Şekil 3.8' de görüldüğü gibi, bu aşamada akım ve voltaj sıfıra düşer. Sıcaklık hızla azalır ve buhar balonunun çökmesi ile ergimiş metal iş parçasından uzaklaşır.



Şekil 3.9 : Talaş kaldırma sürecinde 8. aşama.[3]

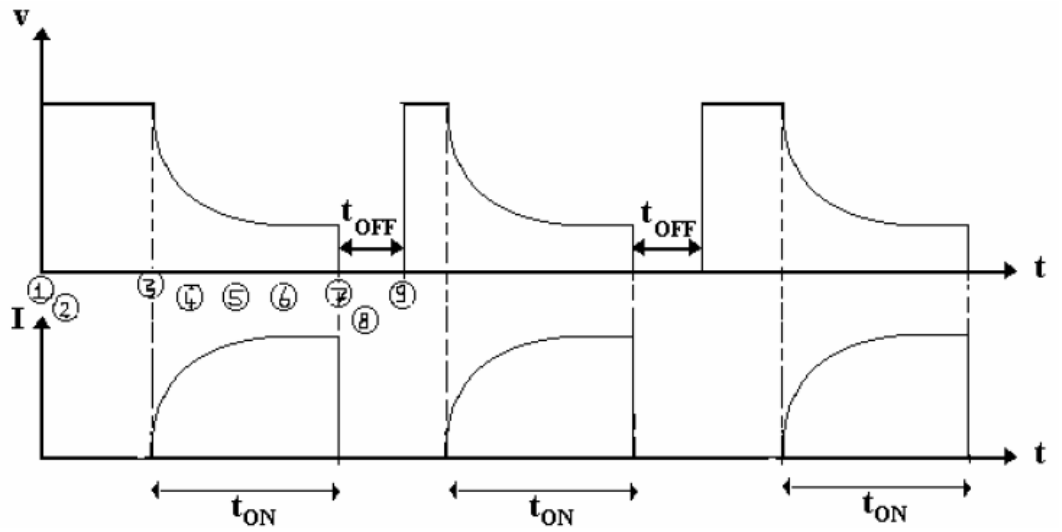
Taze dielektrik sıvı, balondan boşalan bölgeye dolarak iş parçasından ayrılan parçacığı, elektrodu ve iş parçasını soğutur.



Şekil 3.10: Talaş kaldırma sürecinde 9. aşama.[3]

Kaldırılmış metal, küçük küreler şeklinde katılaşarak dielektrik sıvı içine dağılır. Bir miktar buhar yüzeye çıkar. Kalıntıların ara bölgeden uzaklaşmalarını sağlamak için iki darbe arasında yeterince beklenmelidir. Böylece iş parçası veya elektrotta hasar açabilecek arklar önlenmiş olur. Aksi takdirde, parçacıklar kıvılcımı kararsız hale getirebilir. Bu durum bir doğru akım arkı oluşturarak elektrota veya iş parçasına zarar verebilir. (Şekil 3.10)

Yukarıda sunulan çevrimin aşamaları tek bir şekil üzerinde sunulacak olursa çevrim boyunca akım ve voltajın süreyle değişimi Şekil 3.11' deki gibi olur.



Şekil 3.11 : EDM' de voltaj ve akımın zamanla değişimi.[4]

3.3 Başlıca Elektro-Erozyon Çeşitleri

Çeşitli sanayi uygulamalarında değişik amaçlar doğrultusunda kullanılan bazı farklı elektro-erozyon çeşitleri aşağıda sıralanmıştır:

- Elektro Erozyon (Electrical Discharge Machining) EDM
- Tel Erozyon (Wire Electrical Discharge Machining) WEDM
- Freze Erozyon (Electrical Discharge Milling)
- Taşlama Erozyon (Electrical Discharge Grinding)
- Ultrasonik Destekli Erozyon (Ultrasonic Aided EDM) UEDM
- Mikro Elektro Erozyon (Micro Electrical Discharge Machining) MEDM [5]

Denemelerde Mikro Elektro-Erozyon yöntemi kullanılmıştır. Bu nedenle Bölüm 3.3.1' de Mikro Elektro-erozyon genel hatlarıyla anlatılmıştır.

3.3.1 Mikro elektro-erozyon

Mikro Elektro-Erozyon (mikro-EDM) işlemi, EDM' den türetilmiş bir yöntem olup genellikle mikro ve çok ufak parçaların geleneksel elektro-erozyon ilkeleri ile işlenmesinde kullanılır. Normal EDM' e benzer olarak mikro-EDM' de de metal

kaldırma, aniden arka arkaya meydana gelen elektriksel boşalmalar yoluyla gerçekleşir.

Normal EDM ile mikro-EDM arasındaki farklar; kullanılan güç kaynağı tipi, X-,Y-,Z eksenlerindeki hareket çözünürlüğü ve kullanılan elektrodun büyüklüğüdür. Mikro-EDM prosesinde güç kaynağı bir kaç mikro saniye ve ya nano saniye süresince çok küçük darbeler üretir. Bu sebeple mikro EDM küçük parça(~μm) kaldırmak için çok küçük boşalma enerjileri kullanır. Mikro EDM' i önemli yapan en önemli özelliği iletken ya da yarı iletken bütün iletken metalleri, metallerin sertlikleri ne olursa olsun işleyebilmesidir. Özellikle yüksek verimlilik ve hassasiyetinden dolayı işlenmesi zor olan metaller için tercih edilir.

Mikro-EDM verimli bir süreç olmasına ve mikro deliklerin açılmasında çok sayıda avantajları olmasına rağmen dezavantajları da mevcuttur.

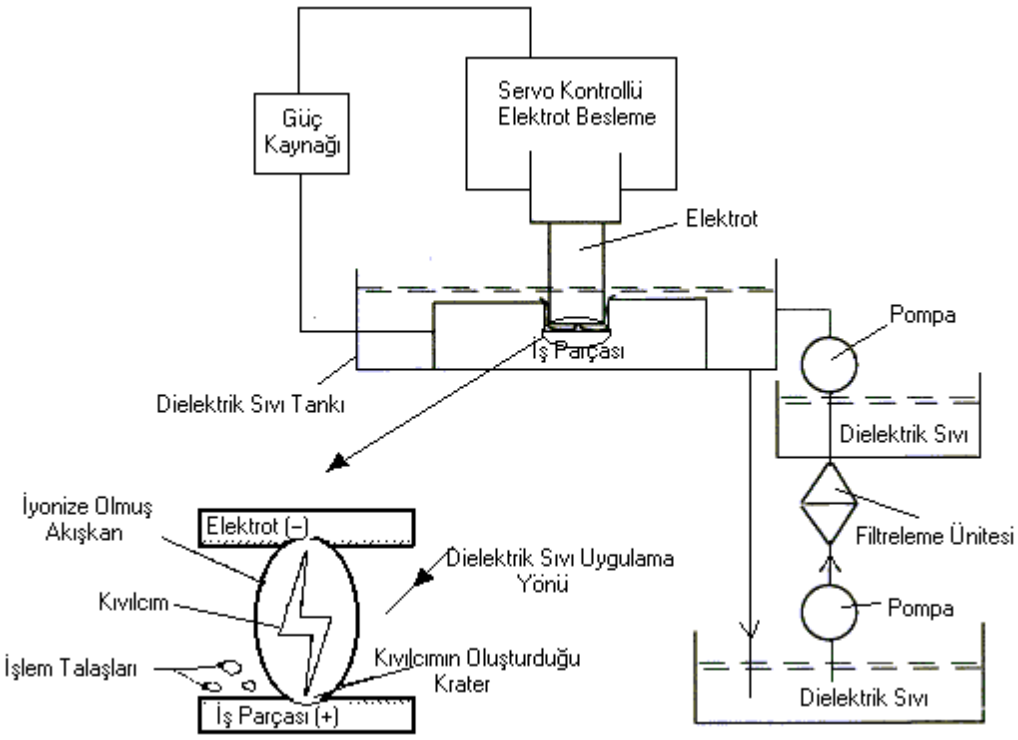
Bunlardan biri yavaş bir proses olmasıdır. Diğeri ise iş parçasından parça kaldırılırken aynı zamanda elektrotta da belirli bir aşınma meydana gelmesidir.

Elektrottaki bu aşınma deliklerin şekillenmesinde kusurlara sebep olabildiği gibi elektrot ucunu şekillendirmek için de kullanılabilir. Başka bir engel ise işlenen yüzeyde ısıyla etkileşen yerlerin şekillenmesidir. İş parçasından eriyerek kopan tüm parçaları ortamdan uzaklaştırmak mümkün olmadığından, erimiş parçalardan oluşan ince bir tabaka iş parçası yüzeyinde kalır ve dielektirik sıvı tarafından soğutulma esnasında tekrar katı hale gelir. [6]

3.4 Elektro-Erozyon Makinesi ve Önemli Bileşenleri

EDM tezgâhlarının ana kısımları; güç kaynağı, kontrol paneli, servo kontrol mekanizması, elektrot besleme (ilerleme) mekanizması, iş parçası bağlama düzeneği, dielektrik sıvı mekanizmaları ve alt tabladır. (Şekil 3.12)

Elektro erozyon makinelerinde elektrodu tutmak için yedek parçalar, iş parçasını yerleştirmek için bileşenler, ayrıca prosesin tamamlanmasında gerekli enerjiyi sağlamak için güç kaynağı ve gerekli kontrol birimleri vardır. Çoğu EDM makinesi dikey frezeleme makinesine benzer. Alt kısım, üst kısım, baş ve tank kısımları vardır. Alt kısım dielektirik sıvının tutulmasına yardımcı olur. Üst kısım ise baş kısımda



Şekil 3.12 : Elektro-erozyon tezgahının şematik gösterimi. [2]

bulunan servo sistemin direk iş parçası üzerine ayarlanmasına yardımcı olur. İş parçası tank içine yerleştirilir ve pozisyon ayarlaması alt kısımda yer alan bileşenler tarafından yapılır. Tank, EDM prosesinde iş parçasını kaplayan dielektirik sıvıyla doludur. Elektro-erozyonun devam edebilmesi için gerekli olan işleme aralığının sabit bir değerde tutulması, elektrotun servo kontrollü besleme mekanizmasının iş parçasına doğru hareket ettirilmesi sayesinde gerçekleşir.

Denemelerde Agie Quadratron II (QT II) marka elektro-erozyon makinesi kullanılmıştır. Bölüm 3.4.1' de, kullanılan makine ve bölümleri ile ilgili detaylı bilgiler mevcuttur.

3.4.1 Agie Quadratron II (QT II)

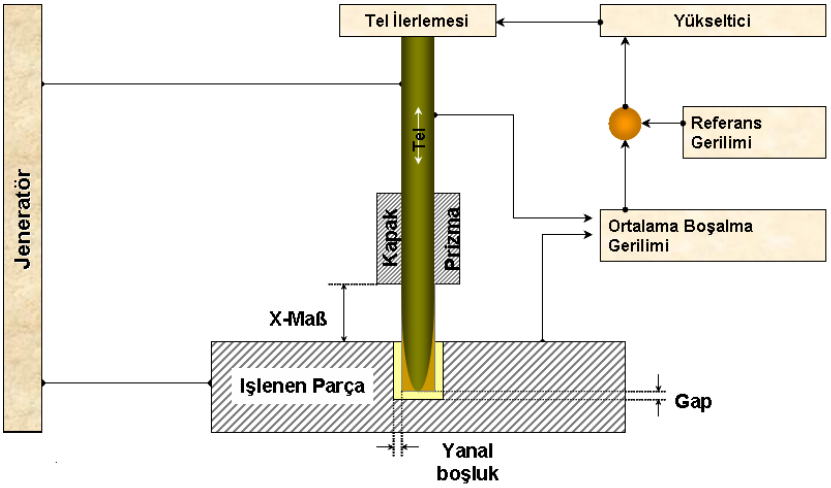
Şekil 3.13' te görülen Agie Quadratron II (QT II), dört bağımsız erozyon kafası olan İsveç yapımı bir elektro-erozyon makinesidir. Bir çalışma periyodunda dört memeyi aynı anda aşındırabilir. Her bir erozyon kafası seçilebilir formdadır ve her birinin kendisine ait güç kaynağı (Relaxion güç kaynağı) ve kontrol sistemi mevcuttur. Dielektirik sıvı olarak ise deiyonize su kullanılır.



Şekil 3.13 : Agie Quadratron II (QT II) makinesi.

3.4.1.1 Agie' deki servo sistem şematiği

Servo sistem elektrodu iş parçasına doğru, referans voltaja ulaşılıncaya kadar ilerletir. Bu noktada elektro-erozyon süreci başlar. Bununla beraber, referans voltajın düşmesi halinde, servo ünitesi referans voltaj tekrar yakalanıncaya kadar teli iş parçasından geri çeker. Böylece; servo sistem işleme aralığının sürekli olarak gereken değerde olmasını sağlar. (Şekil 3.14)



Şekil 3.14 : Agie' deki şematik sistem.

3.4.1.2 Erozyon kafası ve köprü

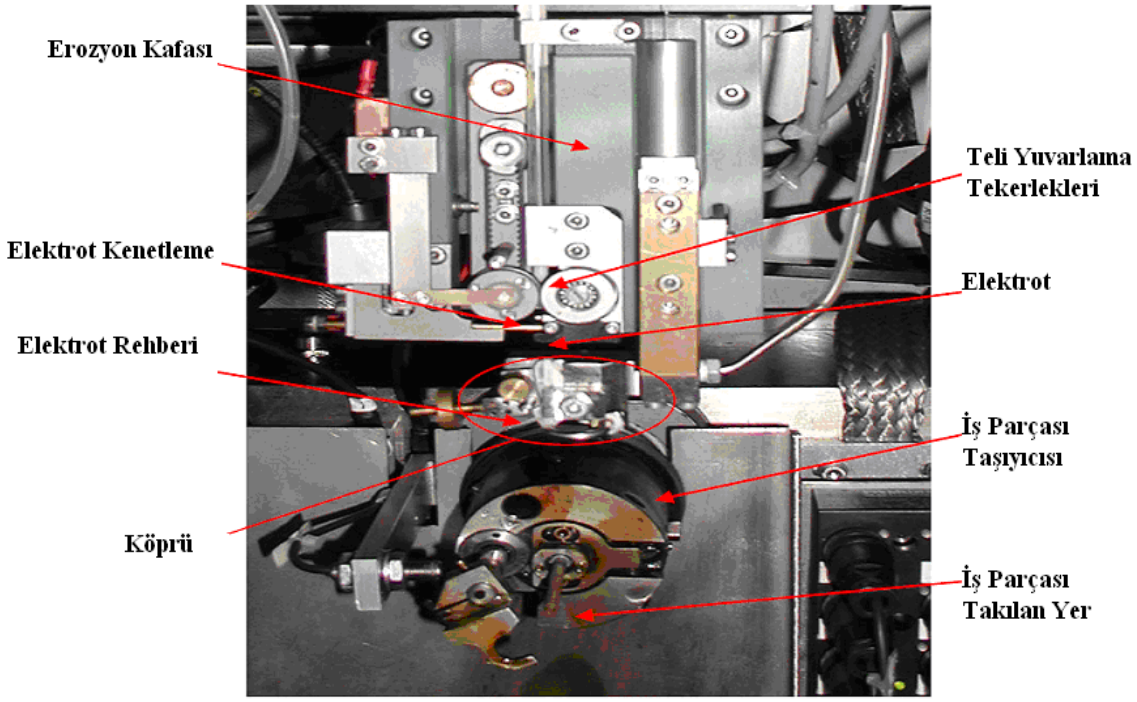
Temel olarak erozyon kafası pozisyon ayarlama, elektrotu iş parçasına doğru besleme ve elektrotu yönlendirme fonksiyonlarını içerir. Belirtilen erozyon kafası x, y, z eksenlerinde hareket edebilir. Erozyon kafasının x ve y eksenindeki hareketi, telin meme kubbesindeki pozisyonunu ayarlamak için kullanılır. X ekseni püskürtme

deliğinin meme kubbesine göre merkez noktasını belirler. Z ekseni ise erozyon süresince elektrotun iş parçasına doğru beslenmesinde görev alır.

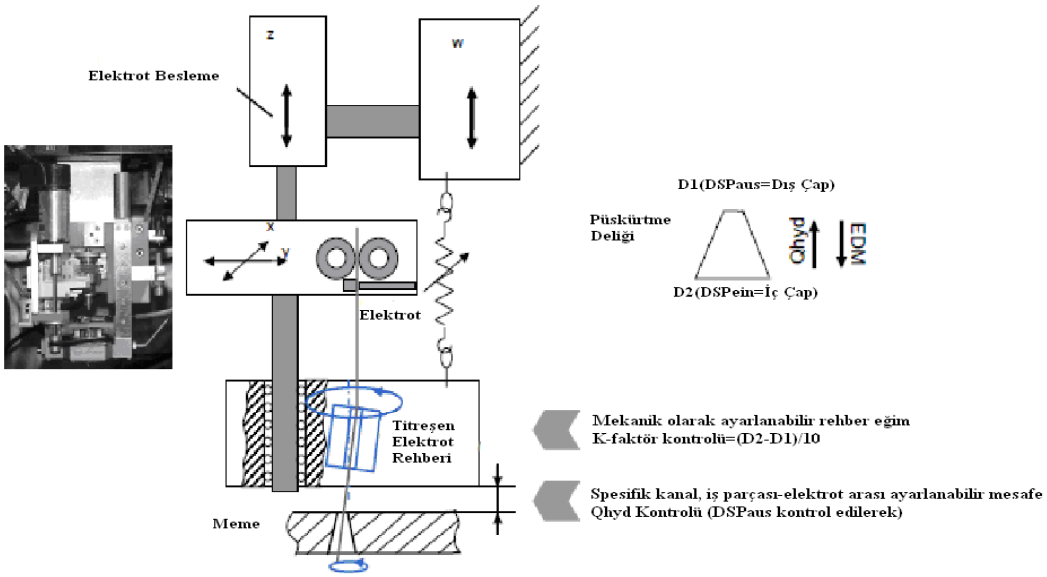
Püskürtme deliklerinin elektriksel aşındırma yöntemiyle açılması sürecinde elektrot (tel) tek başına hareket etmez, tüm erozyon kafasıyla beraber hareket eder. Dört erozyon kafası w ekseninde sabitlenmiştir. Erozyon kafalarının görevi ise elektrotu işlem veya değiştirme pozisyonuna getirmektir.

Erozyon kafasının pozisyon ayarlama sisteminden bağımsız olarak, elektrotu yönlendiren sistem bu eksene bağlanmıştır. Erozyon süresince elektrot yönlendirme sistemi w eksenine asıldır. Elektrotu yönlendiren kısım ile meme arasındaki mesafe *X-Mass* olarak tanımlanır ve sabittir.

Şekil 3.15' te erozyon kafası ve bölümleri görülmektedir. X, y, z ve w eksenleri ise Şekil 3.16' da gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Erozyon kafası.



Şekil 3.16 : Gelişmiş EDM' de güncel kontrol konsepti.

3.4.2 Agie' de EDM prosesi

Püskürtme deliği açılacak olan memeler (iş parçası), taşıyıcı kısımlar üzerine yerleştirilir. Dört iş parçası taşıyıcısı, erozyon pozisyonunu ve püskürtme deliklerinin yükseklik açılarını ayarlamak için döndürülebilir özelliktedir. AGIE makinesinin operatör kontrol kısmında erozyon sürecinin programı ve her bir meme tipi için gereken programlar kayıtlıdır. Denemede kullanılacak olan meme için olan programda püskürtme deliğinin pozisyonunu belirleyen bilgiler, jeneratör parametreleri ve delik geometrisinde ve tüm erozyon sürecinde etkili olan eksen parametreleri belirlenir.

Başlatma butonuna basıldıktan sonra W ekseni hareket eder böylece erozyon kafası memeye doğru prosese uygun olarak yaklaşır. Elektrot yuvarlama tekerlekleri elektrotu memeye değinceye kadar ileri taşır. Böylece elektrotun pozisyonu belirlenmiş olur. Son olarak elektrot sabitlenir ve operatör kontrol kısmında erozyon parametreleri ayarlandıktan sonra erozyon prosesi başlar.

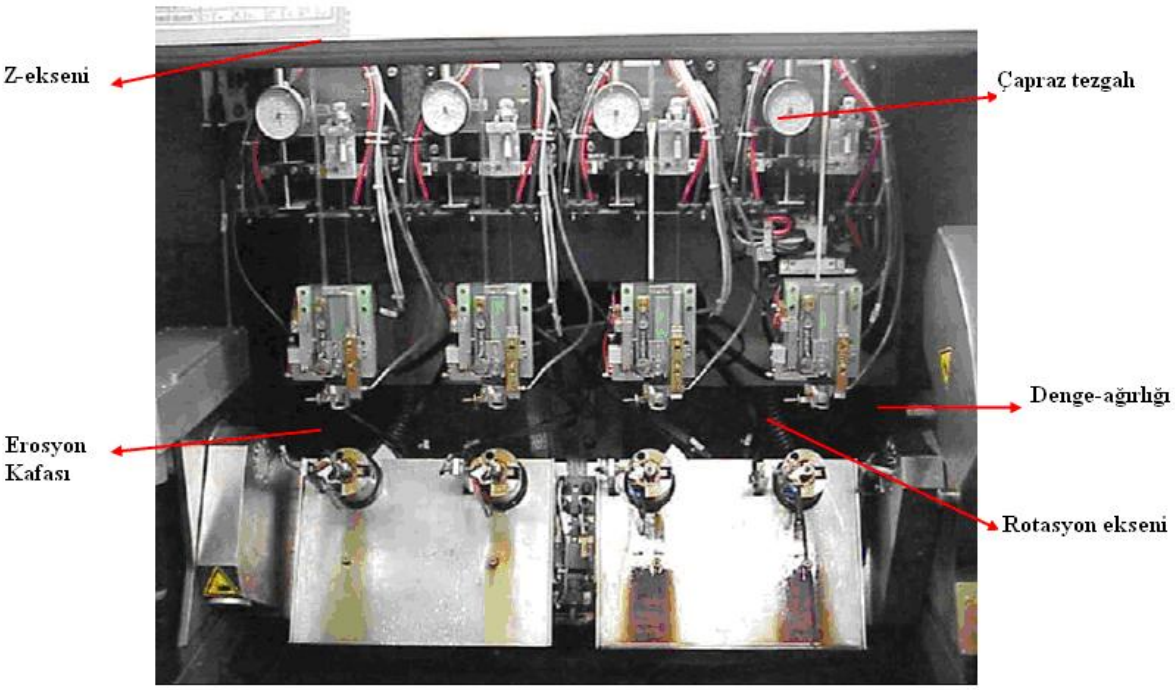
AGIE makinesinde erozyon prosesi temel olarak üç bölüme ayrılmıştır:

1) Tel ve meme arasında polarite kararı verilir ve erozyon ilk adımda elektrotta gerçekleşir. Bu işlem elektrottaki önceki delikten kalan yanık şekilsiz parçaların atılmasını sağlar. Bu işlem elektrodun şekillendirilmesi olarak tanımlanır.

2) Elektrodun şekillenmesinden sonra püskürtme deliklerinin delinmesi başlar. Polarite düzeltilir, böylece erozyon iş parçası (meme) üzerinde gerçekleşir. Bu parametre adımı püskürtme deliğinin dış çap şekillendirilmesi için kullanılır.

3) Delmenin büyük bir kısmı bu adımda gerçekleşir. Meme kubbesi boyunca derin bir penetrasyon başlar. Bu adımdaki parametre ayarları, delik geometrisi üzerinde ana etkiye sahiptir. Özellikle koninin iç çap büyüklüğünde belirgin rol oynar. Normalde bir püskürtme deliği en az bir en çok üç adımda delinir ve her adımda parametre ayarları farklı olabilir. Bu adımlar arasındaki geçiş noktaları erozyon programında "position" adı altında ayarlanır. Bu geçiş noktaları Z ekseni pozisyonu boyunca belirlenir.

X-ekseni üçüncü adımda belirtilen pozisyon değerini sağladığında, püskürtme deliğinin delme işlemi tamamlanır ve Z ekseni sıfır ayarına geri döner, elektrodun kenetlenmesi sona erer ve gevşetilir. İş parçası taşıyıcısı sonraki delik pozisyonu için döner. Böylece yeni süreç elektrodun kısa devre oluncaya kadar ileri yönde beslenmesiyle başlar.

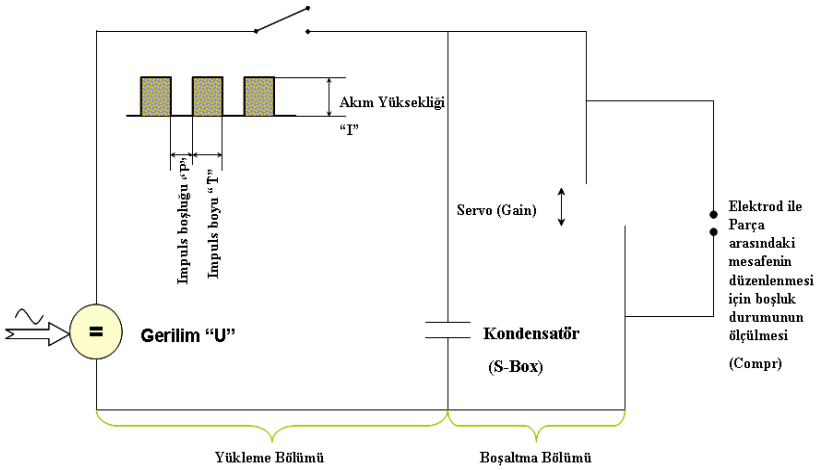


Şekil 3.17 : Agie makinesinin ön çalışma bölgesinin görüntüsü.

3.4.2.1 Güç kaynağı

Mikro-EDM' i normal EDM' den ayıran bir özellik, daha küçük miktarda enerji üreterek bir boşalmada kaldırılabilecek materyal miktarıdır. Bu sebepten dolayı

mikro-EDM sürecinde mikro boyuttaki parçaların üretilmesi için küçük darbe enerjisi gerekir. Bu gerekli küçük miktardaki enerji Rezistans-kapasitans (RC) darbe jeneratör kullanılarak elde edilebilir. Agie makinesinde kullanılan Rezistans-kapasitans (RC) darbe jeneratör, elektrotlar arası mesafenin küçük olduğu durumlarda kullanılan gelişmiş bir kontrol sistemine sahiptir. (Şekil 3.18)



Şekil 3.18 : EDM darbe tipi güç kaynağı.

3.5 EDM' de Elektriksel Boşalma Safhaları

EDM' de iş parçası ile elektrot arasında yer alan dielektirik sıvının bozulması elektrotlar arasında (iş parçası ve tel) plazma bir kanalın şekillenmesine sebep olur. Plazmanın patlaması sonucu, plazma elektrotlarla etkileşime geçerek söz konusu elektrotlardan aşındırma ile materyal kaldırır. EDM' de elektriksel boşalmalar sırasında meydana gelen olaylar ve elektrotlara uygulanan gerilim ve akım grafikleri Şekil 3.19' da görüldüğü gibidir.

t_i : İmpuls süresi

t_e: Elektriksel boşalma süresi

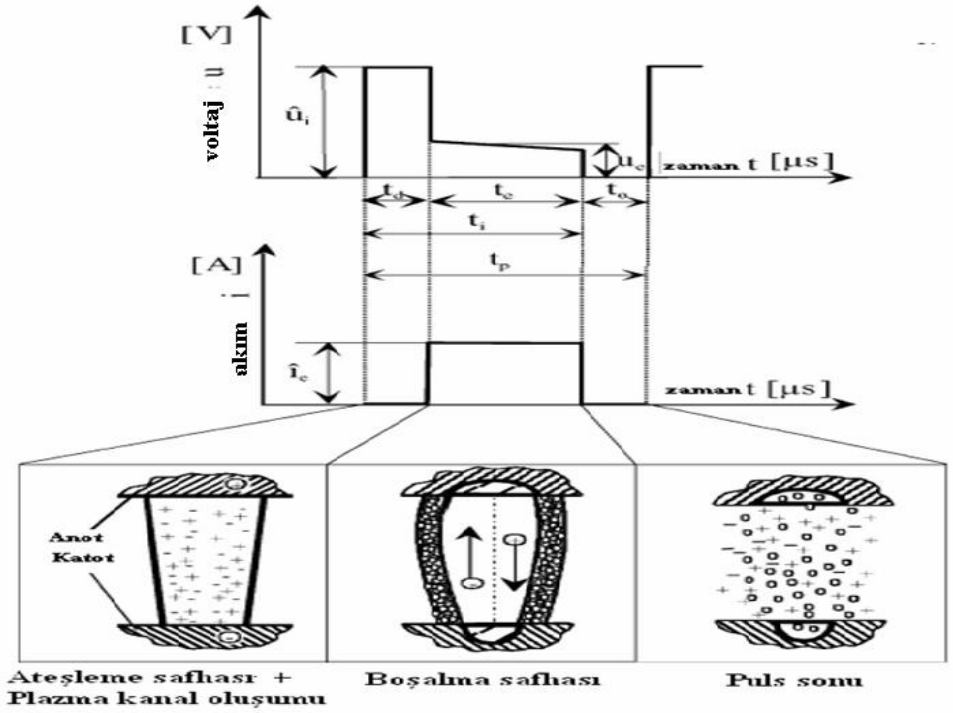
t_p: Puls süresi

t_d: Ateşleme gecikme süresi

t_o: Boşluk süresi

$\hat{u}_i$: Yüksek açık devre voltajı

$\hat{i}_e$: Max. Boşalma akımı



Şekil 3.19 : EDM' de bir elektriksel boşalmanın safhaları. [7]

EDM prosesinde meydana gelen boşalma safhaları kısaca aşağıdakiler gibidir:

- Birinci safha ateşleme safhasıdır. Boşalma voltajı $\mathbf{u_e}$ değerine ulaşıncaya kadar devam eder. Ateşleme gecikme zamanı $\mathbf{t_d}$ (µs), elektrotlar arasına uygulanan yüksek açık devre voltajı $\mathbf{\hat{u}_i}$ 'nin bozulmasına kadar olan gecikmeyi tanımlar.

Elektriksel boşalma zamanı $\mathbf{t_e}$ ise boşalma esnasındaki elektron akışının olduğu bölümdür.

İmpuls süresi $\mathbf{t_i}$ ise aktif voltaj impulsudur ve boşalma süresi ile ateşleme gecikme süresinin toplamına eşittir.

$$t_i = t_e + t_d \qquad \textbf{(3.1)}$$

- İkinci safha ise akımın tepe noktasına $\mathbf{\hat{i}_e}$ (A) ulaştığı anda birinci safhanın ardından aniden oluşur**.** Bu fazda buhar baloncuğu ile sarılmış olan plazma kanal şekillenir.

- Üçüncü safha elektriksel boşalma safhasıdır. Bu safhada yüksek enerji ve plazma kanal varlıklarını bir süre $\mathbf{t_e}$ (µs) muhafaza ederler ve bu süre içinde her iki kutupta (elektrot ve iş parçası) erime ve buharlaşmaya sebep olurlar.
- Dördüncü ve son fazda ise plazma kanal elektriksel enerjinin kesilmesiyle birlikte yok olur. Bu durumda erimiş materyaller dışarı atılır. Bu süre boşluk zamanı $\mathbf{t_o}$ (µs) olarak bilinir ve buharlaşan veya erimiş materyaller dielektirik sıvı yarımıyla erozyon bölgesinden uzaklaştırılır. Uzaklaştırılamayanlar ise yüzeye veya oluşan kraterlere yapışır.

EDM prosesini en çok etkileyen elektriksel parametreler; elektriksel boşalma süresi $\mathbf{t_e}$, boşluk süresi $\mathbf{t_o}$, elektrot polaritesi ve jeneratörün çalıştırılma modudur. [7]

4. EDM SÜRECİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

EDM sürecini etkileyen parametreler elektriksel ve diğer parametreler olarak ikiye ayrılabilir. Elektrot-iş parçası arası voltaj, darbe boşluk süresi, ortalama akım gibi pek çok parametre elektriksel parametreler grubuna girer. Diğer parametreler (elektriksel olmayan) ise; dielektrik sıvı, elektrot, X-Mass mesafesi ..vb parametrelerdir.

4.1 Elektriksel Parametreler

4.1.1 Polarite

Polarite, proses davranışını, özellikle elektrotun aşınma davranışını doğrudan etkiler. Mikro-EDM sürecinde elektrot polaritesi katot olarak seçilir.

Anotta tek bir elektriksel boşalmadaki materyal kaldırma miktarı, katot ile karşılaştırıldığında daha fazladır. Bunun sebebi ise; elektronların plazma kanal içindeki daha fazla hızlanmasıdır.

Polarite tipi materyal çiftinin özelliğine göre ve materyal kaldırmanın nerde istendiğine göre belirlenir. Normalde polarite elektrotta negatiftir. Pozitif polarite, elektrotta büyük bir aşınmaya sebep olur ve elektrotu sürece hazırlamak için kullanılır. Bu işlem tel ucunun düzeltilmesi olarak tanımlanır.

4.1.2 Darbenin aktif olduğu zaman (t_{on})

Elektrot ve iş parçası arasındaki elektriksel boşalmanın gücü devredeki akım ve voltajla belirlenir. Elektriksel boşalma enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir; [7]

$$E = VIT \tag{4.1}$$

V: voltaj, I: akım, T: zaman.

Darbe tipi akımda, eğer zaman (T) periyodik bir frekans ile değiştirilir ise, Denklem 4.1 aşağıdaki hale gelir:

$$E_P = V_P I_P t_{on} \frac{1}{t_{on} + t_{off}} \qquad \textbf{(4.2)}$$

V_p: tek bir darbe voltajı,

I_p: tek bir darbe akımı,

t_{on}: darbenin aktif olduğu zaman, **t_{off}:** darbe boşluk süresi.

Darbenin aktif olduğu zaman (t_{on})**,** kıvılcım boşalmasının başlamasıyla kıvılcımın sona ermesi arasında geçen süredir. Bu süre, materyal kaldırma hızı, elektrot aşınması ve yüzey kalitesini etkiler.

Denklem 4.2' de görüldüğü üzere; kısa sürede aynı koşullar altında daha hassas işleme yapmak uzun sürede işleme yapmaya göre daha avantajlıdır.

Güç seviyesi ve bekleme süresi sabitken, darbenin aktif olduğu zaman arttırılırsa belirli bir değere kadar materyal kaldırma hızında artış görülür. Bu değerin üzerinde artırılırsa materyal kaldırma hızında düşme başlar. t_{on} optimum değerin üzerinde arttırılırsa boşalma enerjisi materyal koparmaz. Yüzey ve dielektrik sıvının gereksiz yere ısınmasına sebep olur.

4.1.3 Darbe boşluk süresi (t_{off})

Darbe boşluk süresi arttığı zaman materyal kaldırma hızı azalır. Bununla beraber işlem süresi de darbe boşluk süresi uzadığı zaman uzar.

Darbe boşluk süresi, çalışma alanında yalıtımın tekrar oluşması ya da her bir elektriksel boşalma sonucu dielektirik sıvının tekrar deiyonize olması için gereklidir. Böylece işleme prosesi stabilize edilmiş olur. Kısa darbe boşluk süreleri tercih edilmesine rağmen, bu durum yüksek elektriksel boşalma enerjileri için uygun değildir. Bu durum özelikle yüksek miktarda kaldırılan materyallerin ortamdan tam olarak uzaklaştırılamamasından dolayı uygun değildir. Ortamdan uzaklaştırılamayan talaşlar, çalışma bölgesinde oluşacak arkların kararsız hale gelmesine neden olur.

Kısa süreli darbe boşluk süresi, materyal kaldırma hızı yanı sıra elektrottaki aşındırmayı da arttırır. Darbe boşluk süresinin azaltılmasında bir limit vardır. Bir önceki elektriksel boşalmadan sonra dielektirik sıvının deiyonize olması için yeterli zaman olmalıdır. Sürenin minimum değeri elektriksel boşalma ve darbe süresine göre değişkenlik gösterir.

Kısacası; darbe boşluk süresi çok kısa olduğunda elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen talaşın ortamdan uzaklaştırılması için yeterli zaman kalmaz. Ayrıca dielektriğin deiyonize olması için de yeterli zaman olmaz. Sonuç olarak, aşınma oranı artar ve işlem yapılan yüzey kaba ve pürüzlü hale gelir. Bunun yanında darbe boşluk süresi çok uzun olduğunda ise toplam işlem süresi uzar, materyal kaldırma hızı düşer, ayrıca elektrot ve iş parçasında soğuma meydana gelir. Ayrıca, plazma kanalın oluşması için daha fazla enerji gerekir, bu durum ise elektrodun daha fazla aşınmasına ve kaba yüzeylerin oluşmasına sebep olur.

4.1.4 Voltaj (Uh)

Uh (voltaj) değerinin aynı kapasite değeri (Cpar) ile artması güç kaynağından sağlanan elektriksel boşalma enerjisinin artmasını sağlar. İşlem bölgesine transfer edilen enerjinin artmasıyla, metal kaldırma hızı artar. Çünkü, işlem bölgesindeki enerjinin artması ile aynı zamanda o bölgede meydana gelen ark alanı da artmış olur. Böylece iş parçasından fazla miktarda parça kaldırılması ve bunların ortamdan uzaklaştırılmasıyla yeni oluşacak talaşlar için yer açılmış olur.

4.1.5 Tepe akımı (Ih)

Darbe enerjisi direk olarak tepe akımı (Ih) ile ilişkilidir. Tepe akımının artmasıyla, elektriksel boşalma enerjisi de artar. Bu durum hem elektrottan hem de iş parçasından parça kopmasına neden olur. Tepe akımının artmasıyla, materyal kaldırma hızı (MRR) lineere yakın olarak artar.

4.1.6 Compr

Compr, elektrot ile iş parçası arasındaki boşluğu ayarlamak için kullanılan bir parametredir. Yüksek Compr değerinde elektrot ile iş parçası arasında küçük bir boşluk olur. Bu sayede materyal kaldırma miktarı artar fakat aynı zamanda istenilmeyen elektriksel boşalmaları da beraberinde getirir.

Düşük Compr değeri ise; elektrot ile iş parçası arasında büyük bir mesafe bırakır ve yanal ark alanını da hafifçe genişletir.

Eğer servo tarafından iş parçasına gönderilen telde bir ark oluşmaz ise Compr değeri yükseltilebilir.

4.1.7 Gain

Gain, servo sistemin hızını kontrol eder. Değerinin yüksek olması durumunda EDM ekseninin ve elektrotun doğrultusunun titreşmesine sebep olur. Bu durumda bozuk şekilli yüzeyler (düzgün olmayan püskürtme delikleri) ortaya çıkar. Gain değeri çok küçük ayarlanır ise bu durumda elektrotun iş parçasına doğru iletilmesi hantallaşır ve bozuk elektriksel boşalmalar ortaya çıkar.

4.1.8 Kapasite (Cpar)

Kapasite (Cpar), RC devresinde elektriksel yükleme ve boşalma prosesi ile birlikte boşalmanın frekans darbesini de kontrol eder. Böylece mikro-EDM' in performansı büyük miktarda kapasite parametresinden etkilenir. Mikro-EDM için darbe enerjisinin minimize edilmesi gereklidir ve bu durum küçük değerli kapasite kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Bu sebeple RC-tipi darbe jeneratörü, yüzey kalitesinin birinci öneme sahip olduğu mikro-EDM için daha uygundur. Kapasite değerinin artmasıyla, elektriksel boşalma enerjisinin artacağından MRR değeri de artar. Ayrıca kapasite değerinin artmasıyla tepe akımı da artar. Böylece yüksek kapasite değerleri materyal kaldırma miktarının artmasına sebep olacaktır. Ancak, kapasite değeri arttırıldığında elektrottaki aşınma miktarı da artıracaktır.

4.2 Diğer Parametreler

Elektro erozyon programında operatör tarafından ayarlanamayan tüm parametreler elektriksel olmayan parametreler grubuna girebilir. Bu parametreler detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır:

4.2.1 Dielektirik sıvı

Soğutucu olarak da adlandırılan dielektriğin üç temel fonksiyonu mevcuttur:

- Elektrot ve iş parçasını soğutmak için kullanılır. Soğutucu olmadan kopan metal parçalar ya iş parçasına ya da elektrota yapışır.
- İş parçası ve elektrot arasında dielektrik bir bariyer oluşturur. Bu aradaki sıvı, kendisini bozmaya yetecek güçte bir voltaj oluşuncaya ve ark oluşturuncaya kadar yalıtıcı olarak görev yapacaktır.
- Kopan metallerin kısa devre oluşturmasına engel olmak için, oluşan talaşları çalışma ortamından uzaklaştırır.

Bu çalışmada; dielektirik sıvı olarak deiyonize su kullanılmıştır.

4.2.2 Elektrot

Elektrot EDM prosesinde kesici alet görevi yapmaktadır. Elektrot vasıtasıyla elektrik akımı iş parçasına taşınır. Normal EDM uygulamalarında iş parçası pozitif yüklü olup, anottur. Elektrot ise negatif yüklü ve katottur. Bu polarite ayarı standart ayar diye tanımlanır ve EDM uygulamalarının çoğunluğunda bu ayar kullanılır.

Elektrot olarak kullanılan metaller:

EDM uygulamalarında pek çok metal kullanılabilir. Elektrotun sahip olması gereken tek özelik iletken olmasıdır. En çok kullanılan elektrot metalleri grafit, sarı pirinç, bakır, tungsten ve alaşımlarıdır.

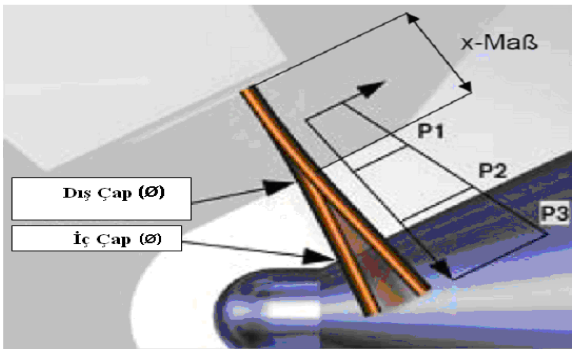
Bu çalışmada kullanılacak olan elektrotlar hakkında detaylı bilgiler Bölüm 5.1’ de verilecektir. Ayrıca tungsten ve tungsten-karbür elektrot tellerinin detaylı olarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

4.2.3 Ağırlık

Ağırlık elektrot rehberinin bir parçası olarak kapağa baskı uygular. Böylece elektrotun yuvasında kalmasına yardımcı olur. Ağırlık kullanılmadığı durumda, elektrotun aşırı titreşiminden dolayı kapak prizmadan çözülür. Bunun sonucunda elektrot doğrultusunu kaybeder ve form dışı püskürtme delikleri elde edilebilir. Ağırlığın fazla olması durumunda ise kapak prizmaya sıkı bir şekilde yapışır ve elektrotun hareketi büyük ölçüde kısıtlanmış olur.

4.2.4 X- mesafesi

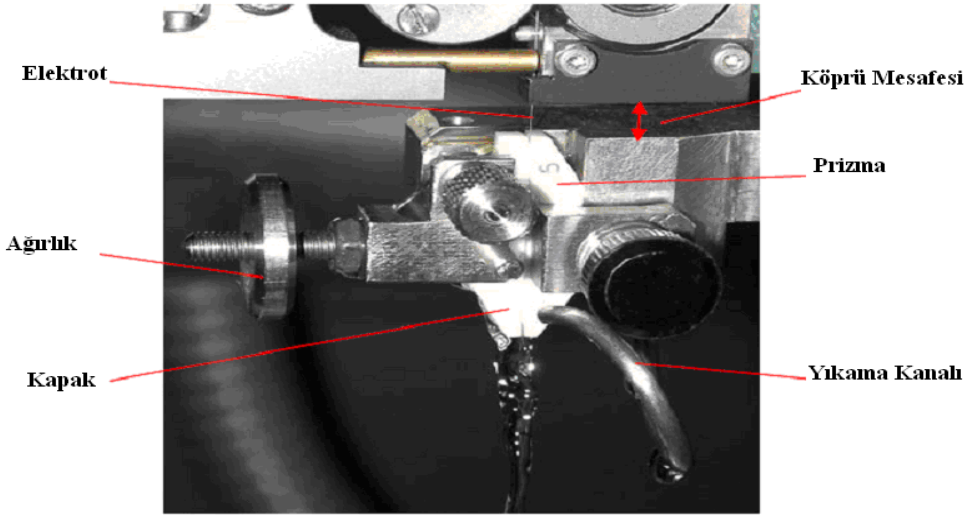
X- mesafesi elektrot rehberi ile iş parçası(meme) arasındaki mesafeyi tanımlar. Bu mesafe Şekil 4.1' de görüldüğü gibi elektrotun titreşim davranışı üzerinde etkilidir. X- mesafesi arttıkça telin titreşim mesafesi artar dolayısıyla büyük ayar değerlerinde püskürtme delikleri genişler.



Şekil 4.1 : Elektrotun titreşim davranışı.

4.2.5 Köprü mesafesi

Köprü mesafesi, Şekil 4.2' de görülen erozyon kafa köprüsüyle erozyon kafasının alt köşesi arasındaki mesafeyi tanımlar. Tanımlanan bu mesafe elektrot telin titreşim hareketini etkiler.



Şekil 4.2 : Erozyon kafa köprüsü.

4.2.6 Kapak

Kapak ve prizma birlikte elektrot rehberini oluştururlar. Kapak konkav olup, seramikten yapılmıştır. Eğer elektrot rehber kısmında herhangi bir aşınma olur ya da kopan materyaller buraya yapışırsa kapak ve prizma beraber değiştirilir.

4.2.7 Prizma

Prizma blok içinde bir kanal yer alır. Elektrot iç noktadan prizmaya temas eder. Kapak ve prizma seramikten yapılmıştır. Prizmadaki aşınmanın delik geometrisine etkisi çok büyük değildir fakat toplam süreyi artırıcı bir etki yapar. Bu sebepten dolayı her denemede yeni bir prizma-kapak ikilisi kullanılmıştır.

4.2.8 İç yıkama

Agie erozyon makinesinde iş parçası iki kanal tarafından yıkanır. Yıkamanın amacı elektrot ve iş parçası arasındaki çalışma alanını dielektirik sıvı ile doldurmak ve kopan materyalleri ortamdan uzaklaştırmaktır. Bir başka fonksiyonu ise iş parçası ve elektrodu soğutmaktır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kullanılan Elektrotların Özellikleri

Denemelerde elektrot olarak çapı 0,08 mm olan tungsten tel kullanılmıştır. Tungsten tel kullanılmasının amacı, tungstenin sertlik ve bükülmezliğinin diğer metallere göre oldukça yüksek olmasıdır. Bu özelliği sebebiyle tungsten tel çapı oldukça küçük seçilebilir ve böylece EDM esnasında telin titremesi veya esnemesi engellenebilir.

Tungstenin aşınmaya karşı direnci oldukça büyük olduğundan, EDM prosesi için diğer metallere göre daha uygundur. Bu durum mikro delik açmak için avantaj sağlar ve meydana getirilen püskürtme deliklerinin geometrisinde minimum bozulma sağlar.

Agie makinesine girilen farklı parametreler karşılaştırılırken; her parametrede delme işleminde tek tip elektrot kullanmak gerekir. Bu nedenle parametre karşılaştırma deneyleri yapılırken tüm parametrelerde tungsten tel kullanılmıştır.

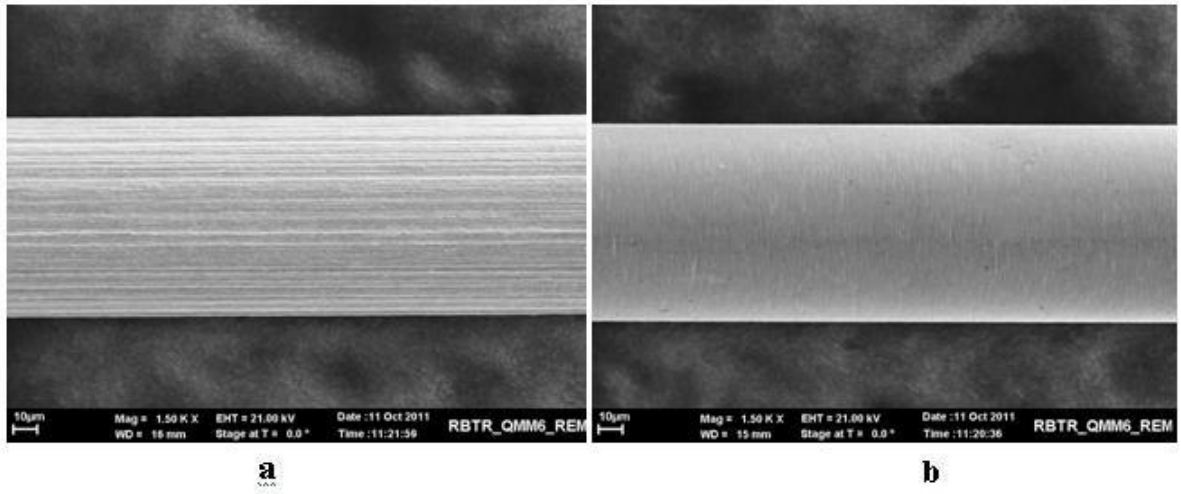
Daha sonrasında tungsten telin kullanıldığı tüm parametreler, tungsten-karbür tel kullanılarak da memelerin delikleri delinmiştir. Böylece Bölüm 5.4' te detaylı olarak verilen ölçümler yapılarak tungsten ile tungsten-karbür elektrotlar arasında da karşılaştırma yapılabilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan tungsten ve tungsten-karbür tellerinin temel özellikleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Tungsten ve tungsten-karbür tellerin özellikleri. [8]

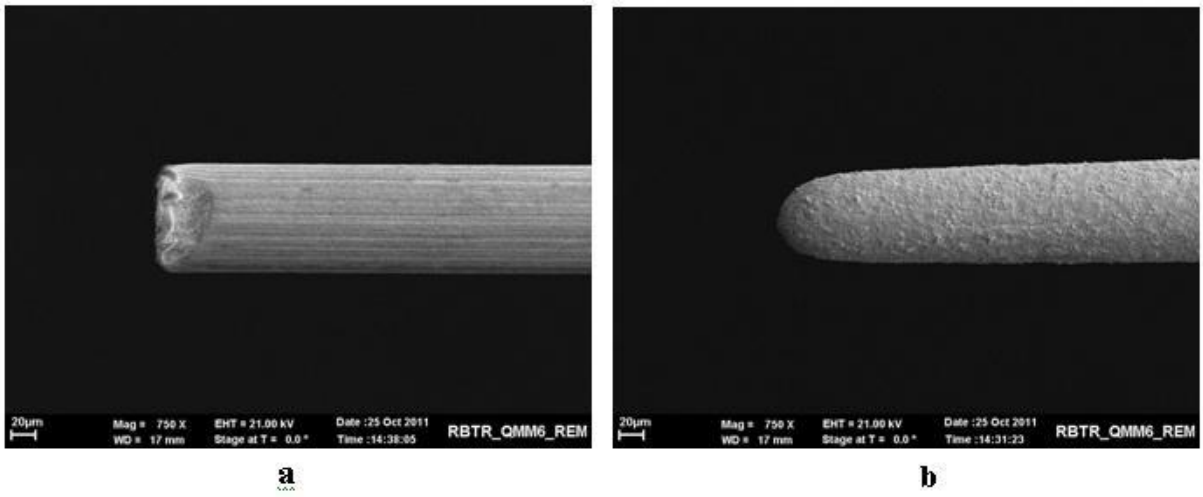
Malzeme	Tungsten	Tungsten-carbide
İçerik (wt%)	99.9% W	6%Co, kalan WC
Yoğunluk (g/cm³)	19.3	14.9
Sertlik (HV30)	500	1850
Ergime sıcaklığı (°C)	3422	2870
Elektrik direnci (Ω.m)	55.1×10^{-9}	220×10^{-9}
Isıl iletkenlik (W/m/K)	173	84.02

Deneylerde kullanılan tungsten ve tungsten-karbür elektrot tellerin SEM görüntüleri Şekil 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1: Tungsten (a) ve tungsten-karbür (b) elektrot tellerinin SEM görüntüleri.

EDM işlemi esnasında iş parçasında olduğu kadar elektrotta da aşınma meydana gelir. Aşınma elektrot telin ucunda meydana gelir. Bu aşınma miktarı başta polarite olmak üzere elektriksel parametrelerin ayarlanması ile azaltılabilir. EDM öncesi ve sonrası elektrot tellerinin uçları SEM mikroskobunda incelendiğinde aşınmanın tel üzerindeki etkisi Şekil 5.2' de rahatlıkla görülebilir.



Şekil 5.2 : EDM öncesi (a) ve sonrası (b) elektrot uçlarının SEM görüntüleri.

5.2 Kullanılan İş Parçasının (Memenin) Özellikleri

Deneylerde kullanılan tüm memeler aynı malzemeden olup 18CrNi8 sementasyon çeliğidir.

Bir tür "termokimyasal işlem" olarak bilinen sementasyon işlemi, düşük karbonlu çelik parçanın yüzeyinde karbon oranını artırma (karbürleme), daha sonra uygun ortamda su vererek sertleştirme işlemidir. Sementasyon, bilinen en eski ve en ucuz yüzey sertleştirme yöntemlerinden biridir. Sementasyon işlemi, bileşiminde % 0,2'nin altında karbon bulunan alaşımsız veya düşük alaşımlı çeliklere uygulanır. Bu çelikler, sementasyon çelikleri olarak adlandırılmıştır. Sementasyon, karbürleme ve sertleştirme olmak üzere iki kısımdan oluşur. Karbürleme, uygun sıcaklıkta çelik yüzeyine karbon emdirme işlemidir. Sertleştirme ise, östenitin martensite dönüştürülmesiyle sert bir kabuk elde edilmesidir. [9]

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılır. Deneylerde kullanılan memelerin de püskürtme delikl erinden yüksek basınçta yakıt püskürtüldüğü için parçanın dış tarafı iç tarafına nazaran daha sert olmalıdır. Bu sebeplerden dolayı, deneylerde iş parçası olarak 18CrNi8 sementasyon çeliği kullanılır. Bu çeliğin genel özellikleri ve element içerikleri aşağıdaki Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.2 : 18CrNi8 sementasyon çeliğinin genel özellikleri.

Malzeme No	1.5920 (DIN 17210)
Yoğunluk (g/cm³)	7,85
Sertlik (HB)	180-220
Ergime sıcaklığı (°C)	1540
Elektrik direnci (Ω.m)	120×10^{-9}
Isıl iletkenlik (W/m/K)	39
Elastisite Modülü (10^3 Mpa)	210

Çizelge 5.3 : 18CrNi8 sementasyon çeliğinin element içerikleri.

C	0,13-0,22
Si (max)	0,2
Mn	0,36-0,64
P (max)	0,025
S (max)	0,015-0,035
Al	0,015-0,040
Ni	1,75-2,15
Cr	1,7-2,1

5.3 Deneylerde Kullanılan Parametrelerin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılacak olan parametreleri belirlemek için BOSCH Sanayi ve Ticaret A.Ş. içersinde daha önceden Agie makinasında yapılmış olan parametre denemeleri göz önüne alınmıştır. Önceden uygulanmış olan tüm parametrelerin iç ve dış çap değerleri belli olduğundan tüm parametre denemelerinin MRR hesaplamaları yapılabilmiştir. MRR değerlerinin nasıl hesaplanacağı Bölüm 5.4.1' de anlatılacaktır. Böylelikle tüm parametrelerin delme işlemi sonrası MRR değerleri göz önünde bulundurularak bunların arasından seçim yapılması kolaylaşmıştır.

Parametre seçimi yapılırken; ilk olarak tüm parametreler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Bu sıralamaya göre tüm parametrelerin arasından en düşük MRR değerine sahip iki parametre seçilerek A ve B grubu olarak adlandırılır. Aynı şekilde, en yüksek MRR değerine sahip iki parametre seçilerek E ve F grubu olarak adlandırılır. Sonrasında; en yüksek ve en düşük MRR değerlerinin ortalamasında kalacak şekilde iki parametre daha seçilerek C ve D grubu olarak adlandırılır.

En son olarak ise; düşük MRR değeri olan A ve B grubu *"Low MRR"*, orta MRR değeri olan C ve D grubu *"Medium MRR"*, yüksek MRR değeri olan E ve F grubu ise *"High MRR"* olacak şekilde yeniden bir gruplandırma yapılır. Belirlenen parametreler ile Low, Medium ve High MRR grupları Çizelge 5.4' te verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Deneylerde kullanılan parametrelerin gruplanması.

		T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W
LOW MRR	A	3	14	115	36	13	-1,6	0,33	-102,17
	B	3	14	106	52	14	-1,4	0,88	-101,62
MEDIUM MRR	C	7	12	102	26	5	-1,5	0,59	-101,91
	D	7	15	113	28	5	-1,8	0,37	-102,13
HIGH MRR	E	4	12	141	42	6	-1,7	1,01	-101,49
	F	5	14	146	73	7	-1,9	0,79	-101,71

Aşınmanın elektrotta değil de iş parçasında fazla olmasını sağlamak için tüm parametre gruplarında polarite "1" olarak alınır. Polarite "1" olarak alındığında elektrot (-), iş parçası ise (+) yükle yüklenmiş olur. Böylece; iş parçasında çok, elektrotta ise az miktarda malzeme kaldırılması sağlanacaktır.

Tüm denemelerde elektrot olarak tungsten tel, dielektrik sıvı olarak da deiyonize su kullanılmıştır. Ayrıca, tüm memeler Agie Quadratron II makinasının aynı kanalında delinmiştir. Böylece, tüm ortam koşulları sabit hale getirilerek parametrelerin etkisi dışında delme prosesini etkileyebilecek tüm etkiler yok edilmiştir.

Deneylerde kullanılacak olan delme parametrelerinin belirlenmesinden sonra, sıra bu parametreleri kullanarak memelerin delinmesi işlemine gelir. Her bir parametre grubu için 30' ar adet meme delinir. Toplamda 180 adet meme delinmiş olur. Delinen her bir parçanın püskürtme deliklerinin iç ve dış çaplarının ölçümü çok hassas bir optik ölçüm aleti ile yapılır. Her parçanın delme süreleri de Agie makinasından alınır. Böylece çap ve süre değerleri bilindiğinden tüm parçaların MRR değerleri hesaplanabilir. Sonra, her gruptaki 30 parçanın MRR ölçümü sonuçlarının aritmetik ortalaması alınır ve ait olduğu grubun MRR değeri olarak yazılır. Böylece her parametre grubunu temsil eden bir MRR değeri elde edilir. 180 adet memenin çap ve süre ölçüm sonuçları ile MRR değerleri Ek A' da verilmiştir.

Hesaplanan MRR değerleri doğrultusunda; Low, Medium ve High MRR gruplarını oluşturan parametre çiftleri (A-B, C-D ve E-F) teke düşürülür. Bu işlemi yaparken; her grubun MRR değerleri göz önüne alınır. Low MRR grubunu oluşturan A ve B parametre çiftinden MRR değeri daha düşük olan A grubu Low MRR grubu olarak seçilir. Aynı şekilde; C ve D parametre çiftinden MRR değeri ortalamaya daha yakın olduğu için D grubu Medium MRR grubu olarak belirlenir. Son olarak ise; E ve F parametre çiftinden E grubunun MRR değeri daha yüksek olduğundan High MRR grubuna seçilir.

Böylelikle; deneylerde kullanılacak olan parametreler Low, Medium ve High parametre grupları olmak üzere belirlenmiş olur. Ve bundan sonra parametre karşılaştırmaları hep Low, Medium ve High MRR grupları kullanılarak yapılabilir.

Low, Medium ve High MRR parametre gruplarını kendi aralarında karşılaştırabilmek için bu parametreler ile delinmiş parçalara bir takım testler uygulanır ve bu testler sonuçları doğrultusunda karşılaştırmalar yapılabilir.

Çizelge 5.5 : Low, Medium ve High MRR parametreleri.

	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W
Low MRR	3	14	115	36	13	-1,6	0,33	-102,17
Medium MRR	7	15	113	28	5	-1,8	0,37	-102,13
High MRR	4	12	141	42	6	-1,7	1,01	-101,49

Ayrıca, parametre gruplarını karşılaştırdıktan sonra, aynı parametre grupları (Low, Medium ve High MRR) ile tekrardan 30' ar parça (toplamda 90) delinir. Ancak bu sefer elektrot olarak tungsten tel yerine tungsten-karbür tel kullanılır. Delinen parçalara aynı şekilde testler ve ölçümler uygulanır. Çıkan sonuçlar doğrultusunda farklı iki elektrot tel arasında detaylı bir karşılaştırma yapılabilir.

Parametre gruplarının ve elektrot tellerinin kendi aralarında detaylı karşılaştırmalarını yapabilmek için delinmiş parçalara uygulanan test ve ölçümler Bölüm 5.4' te detaylı olarak açıklanmaktadır.

5.4 Deneylerde Kullanılan Ölçüm Yöntemleri

Bu tezin amacı; EDM prosesinde kullanılan elektrotların prosese etkisini görmektir. Bunun için de iki farklı elektrot (tungsten ve tungsten-karbür) ile aynı tip memeler delinmiştir. Delinmiş memelere de aşağıda listelenen bir takım karakteristik ölçümler uygulanmıştır:

- Malzeme Kaldırma Hızı (Material Removal Rate) (MRR)
- Yüzey Pürüzlülüğü (Rz)
- Morfoloji (Heat Affected Zone) (HAZ)
- Sertlik (HV)

Böylelikle; tellerin deldiği memelere yukarıdaki ölçümlerin uygulanıp sonuçları üzerinden iki elektrot telin detaylı karşılaştırmaları yapılabilmiştir.

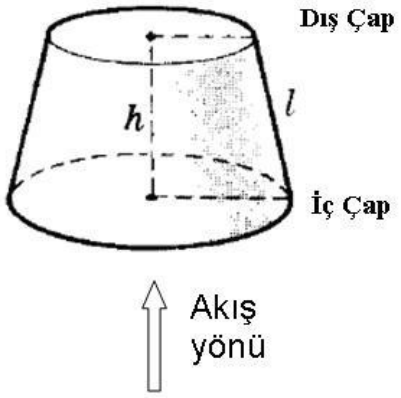
İlk olarak; yukarıda sıralanan ölçümlerin nasıl yapıldıkları ile hangi cihaz ve metotların kullanıldığı incelenecektir.

5.4.1 Malzeme kaldırma hızı (MRR)

EDM prosesinde malzeme kaldırma hızını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$MRR = \frac{\text{İş parçasından kaldırılan malzeme miktarı}}{\text{İşlem süresi}} \quad \textbf{(5.1)}$$

Denklem 5.1' e göre birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı bize MRR değerini verir. Bu formülde yer alan iş parçasından kaldırılan malzeme miktarını hesaplayabilmemiz için kaldırılan malzeme hacmini belirlemek gerekir. Püskürtme delikleri delinirken kaldırılan malzemenin hacmi direkt olarak açılan püskürtme deliğinin hacmine eşit olacağından, denklemdeki kaldırılan malzeme miktarı yerine püskürtme deliğinin hacmi yazılabilir. Bu nedenle, delinen püskürtme deliklerinin geometrisi kaldırılan malzeme hacmini belirlemede büyük önem taşımaktadır. Delinmiş haldeki püskürtme deliğinin geometrisi Şekil 5.3' te görüldüğü üzere kesik koni şeklindedir. Dolayısıyla kaldırılan malzeme hacmini belirlerken kesik koni hacim formülünün kullanılması gerekmektedir.



Şekil 5.3 : Püskürtme deliğinin geometrisi.

$$\text{Püskürtme deliğinin hacmi} = (1/12)\pi.h.(d_1^{\,2} + d_1.d_2 + d_2^{\,2}) \quad \textbf{(5.2)}$$

h= Püskürtme deliği kalınlığı

d1= Dış çap (DSPaus)

d2= İç çap (DSPein)

Kesik koni şeklindeki püskürtme deliğinin hacim hesabı Denklem 5.2' de verilmiştir. Bu eşitlikte kullanılan püskürtme deliklerinin iç ve dış çap büyüklükleri ancak çok hassas bir optik ölçüm aleti ile belirlenebilmektedir. Denklem 5.1' deki formülde payda kısmındaki işlem süresi ise, delik delme işlemi sırasında Agie makinesi tarafından tutulmaktadır. Böylece hem kaldırılan malzeme miktarı hem de işlem süresi belirlenmiş olur ve elde edilen değerler formülize edilerek MRR değeri hesaplanır.

5.4.2 Yüzey pürüzlülüğü (Rz)

EDM' de kullanılan elektrot tellerinin, memelerde açılan püskürtme deliklerinin yüzey pürüzlülüklerine direkt olarak etkisi vardır. Delinen deliklerin çapı ortalama 0,1 mm civarındadır. Bu kadar küçük çaptaki deliklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ancak optik profilometre ile mümkün olabilmektedir.

Ancak; deliklerin yüzey pürüzlülüklerinin ölçülebilmesi için bir takım işlemler yapılması gerekmektedir. Bu işlemler şu şekilde sıralanabilir:

1. Deliklerin pürüzlülük ölçümlerinin yapılabilmesi için memenin kubbesinden (püskürtme deliklerinin olduğu bölümden) alt tarafına doğru tam deliğin ortasından olacak şekilde kesilmesi gerekmektedir. Bu kesim işlemi; daha küçük çapta kesme diskine sahip olan ve kesim esnasında memenin ısınmasına imkan vermediği için hassas kesim aletinde yapılmalıdır.
2. Optik profilometrede sağlıklı ölçüm yapılabilmesi için ölçülecek parça ile cihazın optik lensi paralel olmalıdır. Bu paralelliği sağlamak için de memeden kesilen ve deliğin bulunduğu parça bakalite alınmalıdır. Memeler bakalite alınırken şu adımlar izlenir:
    a. Parça üzerine bakalit tozu dökülür ve preslenir.
    b. Parça, 180°C sıcaklıkta ve 100 bar basınçta 10 dakika boyunca bu pres altında bekletilir.
    c. Sonrasında soğutmaya geçilir. Soğutma bölümünde parça 4 dakika boyunca soğutmaya bırakılır.
3. Bakalite alınan meme parçalarının yüzeylerinin daha temiz ve ölçülebilir olmaları açısından parçalar sulu taşlama ile taşlanır, sonrasında ise parlatılırlar. Böylece; artık memelerin püskürtme deliklerinin olduğu parçalar

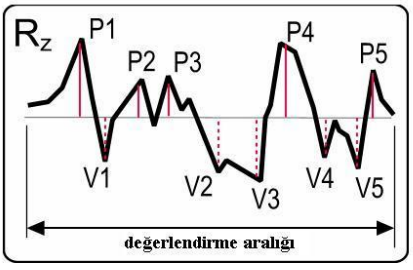
optik profilometrede yüzey pürüzlülüklerinin incelenmesi için hazır hale gelmişlerdir.

4. Bu çalışmada optik profilometre olarak ZYGO NewView 6K cihazı kullanılmıştır. ZYGO marka optik profilometrenin resmi Şekil 5.4' te verilmiştir.



Şekil 5.4 : Optik profilometre cihazı (ZYGO NewView 6K). [10]

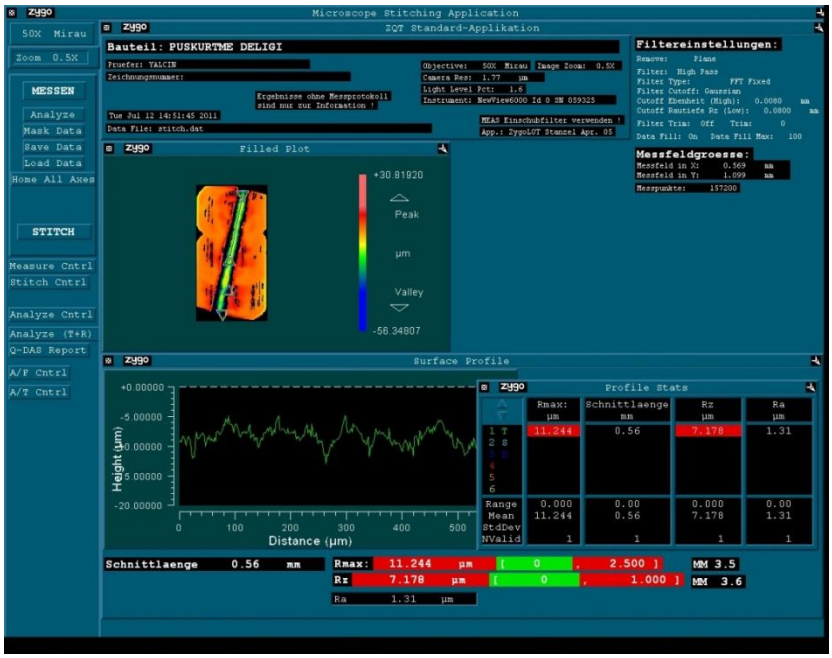
5. Bu cihaz ölçüm yaptığı püskürtme deliklerinin yüzey pürüzlülüklerini Rz değeri olarak vermektedir. Rz, değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır. Rz değerinin şematik gösterimi ve hesaplanışı Şekil 5.5' teki gibidir.



$$R_z = \frac{(P1 + P2 \ldots P5) - (V1 + V2 \ldots V5)}{5}$$

Şekil 5.5 : Rz değeri hesaplama gösterimi. [10]

6. Zygo yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının çıktısı Şekil 5.6' daki gibidir. Tüm parçalar bu cihaz ile pürüzlülük ölçümüne tabi tutulur ve Rz değerleri göz önüne alınarak yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmış olur.



Şekil 5.6 : Zygo cihazı yüzey pürüzlülük ölçüm sonucu çıktısı.

5.4.3 Morfoloji (HAZ)

EDM işlemi sırasında memelerin deliklerinde sıcaklık ani olarak yükselip düşmektedir. Bu ani sıcaklık değişimleri de püskürtme deliklerinin yüzey morfolojilerini etkilemektedir. Bu morfolojiyi gözlemleyebilmek için; daha önce yüzey pürüzlülüğü için hazırlanan parçalarda olduğu gibi memeler, ısı tesiri olmaması için ilk olarak hassas kesimde kesilmelidir. Sonrasında bu parçalar mikroskopta incelenecektir. Bu yüzden parçaların hepsi zımpara-parlatma-dağlama işlemlerinden geçeceğinden parçalar bakalite alınmalıdır. Bakalite alma işlemi bir önceki bölümde anlatıldığından bu bölümde sadece parçaların mikroskobik incelemeye uygun hale getirilmesi işlemleri incelenecektir. Püskürtme deliklerinin morfolojileri, aşağıdaki işlemlerin sırasıyla yapılması ile incelenebilmektedir:

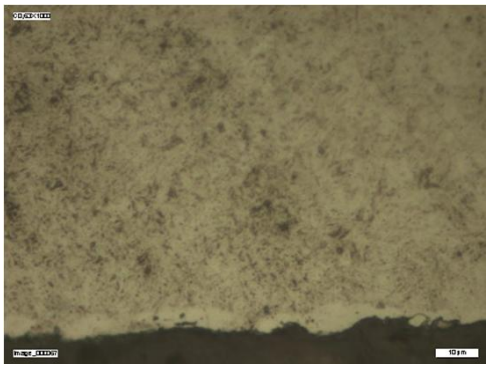
1. Bakalite alınan parça ilk olarak zımpara işlemine tabi tutulur. Zımpara işlemi yapılırken; zımparanın aşındırma etkisi nedeniyle püskürtme deliğinin kaybolmamasına dikkat edilmelidir.
2. Zımpara işleminden sonra parlatmaya geçilir. Parlatma işleminin amacı; parçada olabildiğince düzgün, çiziksiz ve ayna görünümünde bir yüzey

oluşturmaktır. Parlatma işleminde bakalitteki parça sırasıyla 9µ, 6µ ve 1µ 'lük keçelerde döndürülerek parlatılır. Parlatma sıvısı olarak ise; elmas süspansiyonları kullanılır. Parlatma işleminin de tamamlanmasından sonra dağlama işlemine geçilir.

3. Dağlama işleminde önemli olan, metalografik olarak incelenmek istenen metal için uygun dağlayıcı seçmektir. Bu denemede kullanılan meme 18CrNi8 malzemesidir. Yani bir sementasyon çeliğidir. Bu malzemenin dağlayıcısını bulmak için Günter Petzow' un "Metallographic Etching" kitabı referans alınmıştır. Bu kaynağa göre dağlanacak olan 18CrNi8 malzemesi için en uygun olabilecek dağlayıcılar Fe-m2, Fe-m6 ve Fe-m7 olarak belirlenmiştir. Her bir dağlayıcı ayrı ayrı malzemeye uygulanmış, sonuçları incelenmiş ve en uygun dağlayıcı olarak Fe-m7 belirlenmiştir. Fe-m7 dağlayıcısı çözeltisinin içeriği aşağıdaki gibidir: [11]

    - 80 ml %96 etanol
    - 10 ml %32' lik HCl
    - 10 ml %65'lik nitrik asit
    - 1 gr pikrik asit

4. Yukarıda verilen dağlayıcı püskürtme deliğinin bulunduğu parçaya 5 ila 10 saniye aralığında uygulandığında delik boyunca meydana gelmiş olan Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (Heat Affected Zone) (HAZ) çok net olarak görülebilmektedir. EDM prosesinde kullanılan elektrota (Tungsten veya Tungsten-karbür tel) göre memede meydana gelen HAZ bölgesinin kalınlığı Şekil 5.7' de görüldüğü gibi incelenebilir.



Şekil 5.7 : Fe-m7 çözeltisi ile dağlanmış parça.(1000X büyütmede) (delik boyunca görülen açık renkli yer HAZ bölgesi).

5.4.4 Sertlik (HV)

EDM prosesinde memeler delinirken Agie makinesine farklı farklı parametreler girilir. Her parametre de açılan püskürtme deliklerin maruz kaldıkları işlem sıcaklıklarını etkiler. Dolayısıyla; her parametrede delik boyunca farklı sertlikler meydana gelebilir. Bu sebepten püskürtme deliği açılmış memelerde sertlik ölçümü delik boyunca yapılır. Hangi parametrenin memenin EDM esnasında maruz kaldığı sıcaklığa ve dolaylı olarak parçanın sertliğine nasıl bir etki yaptığı delik boyunca yapılan sertlik ölçüm sonuçlarına göre belirlenebilir.

Sertlik ölçümü yapılmadan önce numuneleri ölçüme uygun hale getirmek için bir takım işlemler yapılır:

1. Yüzey Pürüzlülük ve HAZ bölgesi inceleme bölümlerinde olduğu gibi sertlik ölçümü yaparken de memenin delik kısmından hassas kesim ile kesilmiş numuneler ilk olarak bakalite alınır. Sonra zımpara ve parlatma işlemine tabi tutularak sertlik ölçülecek olan yüzeyin temiz ve parlak olması sağlanır.
2. Tüm deneme parçaları Şekil 5.8' de gösterilen Shimadzu HMV marka sertlik ölçüm cihazı ile ölçülür. Böylece, ölçümler arasında bir fark olması engellenmiş olur.



Şekil 5.8 : Denemelerde kullanılan sertlik cihazı (Shimadzu HMV). [12]

3. Parçaların ölçüme hazır hale getirilmesinden sonra, püskürtme deliği üzerine 1, 0.5 ve 0.2 kg' lık yükler 10 saniye boyunca uygulanarak birer tane sertlik

izi açılır. Bu izlerin çaplarına bakılarak hangi yük ile delik boyunca kaç tane sertlik izi alınabileceği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bu işlem sonucunda HV 0.2 uygulanırsa delik boyunca 10 adet sertlik ölçümü yapılabilecektir. Bu sayı HV 0.5 'te 7 adettir. HV 1' de ise delik boyunca 5 adet ölçüm yapılabilecektir. Bu ölçüm sayılarının nasıl bulunduğu Bölüm 5.5.4' te detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

4. Bu sonuçlara göre ideal sertlik ölçüm sayısının 7 olmasına ve dolayısıyla denemelerde numunelerin sertlik ölçümlerinin 0.5 kg yük altında yani HV0.5 ile püskürtme deliğine paralel 3 sıra olarak yapılmasına karar verilmiştir. Böylelikle her bir parametre ile delinmiş püskürtme deliği için toplam 21 noktadan sertlik ölçümü yapılacaktır. Bu sayede, tüm parçaların sertlik izlerinin konumları bilindiğinden sertlik değerlerinin karşılaştırılmasında büyük kolaylık sağlanacaktır.

5.5 Sonuçlar

Bir önceki bölümde anlatılan ölçüm yöntemleri, tungsten ve tungsten-karbür tel ile olmak üzere iki farklı elektrot ile delinen tüm parametre gruplarına ait parçalara uygulanmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

Hem uygulanan parametreler arasındaki farkın belirlenmesinde hem de kullanılan farklı elektrotun delik bölgesindeki sıcaklığa ve sertliğine olan etkisinin belirlenmesinde sertlik ölçümleri yukarıda anlatıldığı gibi yapılır.

5.5.1 Malzeme kaldırma hızı (MRR) sonuçları

Bölüm 5.3' te anlatılan parametrelerin belirlenmesi işleminden sonra Low, Medium ve High MRR gruplarına ait parametreler ile delinen 30' ar adet memenin tek tek MRR değerleri hesaplanmıştır. Sonra, bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve ait olduklara grupların karşısına yazılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların MRR sonuçları.

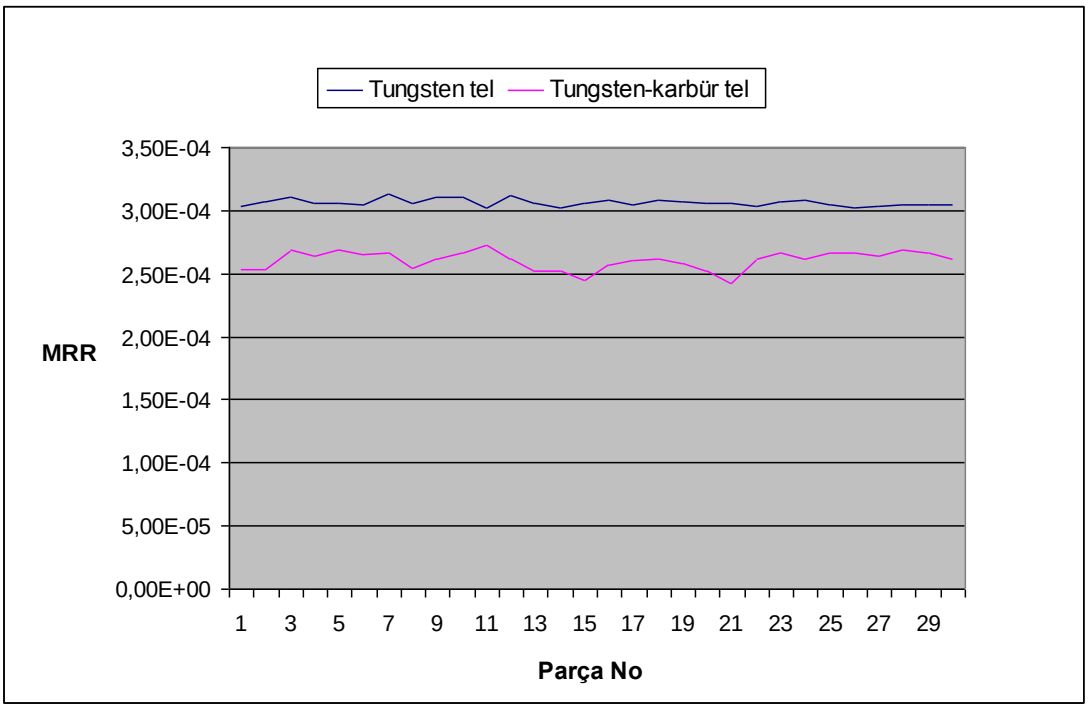
	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR
Low MRR	3	14	115	36	13	-1,6	0,33	-102,17	**1,63E-04**
Medium MRR	7	15	113	28	5	-1,8	0,37	-102,13	**3,06E-04**
High MRR	4	12	141	42	6	-1,7	1,01	-101,49	**4,51E-04**

Malzeme Kaldırma Hızı (MRR) sonuçlarına göre parametre grupları belli olmuştur. O yüzden bu bölümde parametreler arası bir karşılaştırma yapılacak bir durum oluşmamıştır. Ancak, aynı parametre grupları tungsten yerine tungsten-karbür tel ile delinerek iki farklı elektrot telin malzeme kaldırma hızına etkisi incelenmiştir.

Tungsten-karbür tel ile delme işlemi yapılırken, tüm ortam şartları tungsten tel ile yapılan delme işlemi esnasındaki şartlar gibidir ve MRR sonuçları bir önceki sefer yapıldığı gibi hesaplanmıştır. Ancak tungsten-karbür tel ile High MRR parametreleri delinirken Agie makinası sürekli hata verdiğinden delme işlemi gerçekleştirilememiştir. Bu yüzden sadece Low ve Medium MRR değerleri sonuç olarak alınabilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda her iki telin EDM prosesinde malzeme kaldırma hızına olan etkilerini görebilmek için Çizelge 5.7 hazırlanmıştır.

Çizelge 5.7 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delme sonucu hesaplanan MRR değerleri.

	Tungsten tel	Tungsten-karbür tel
Low MRR	1,63E-04	1,32E-04
Medium MRR	3,06E-04	2,59E-04
High MRR	4,51E-04	-

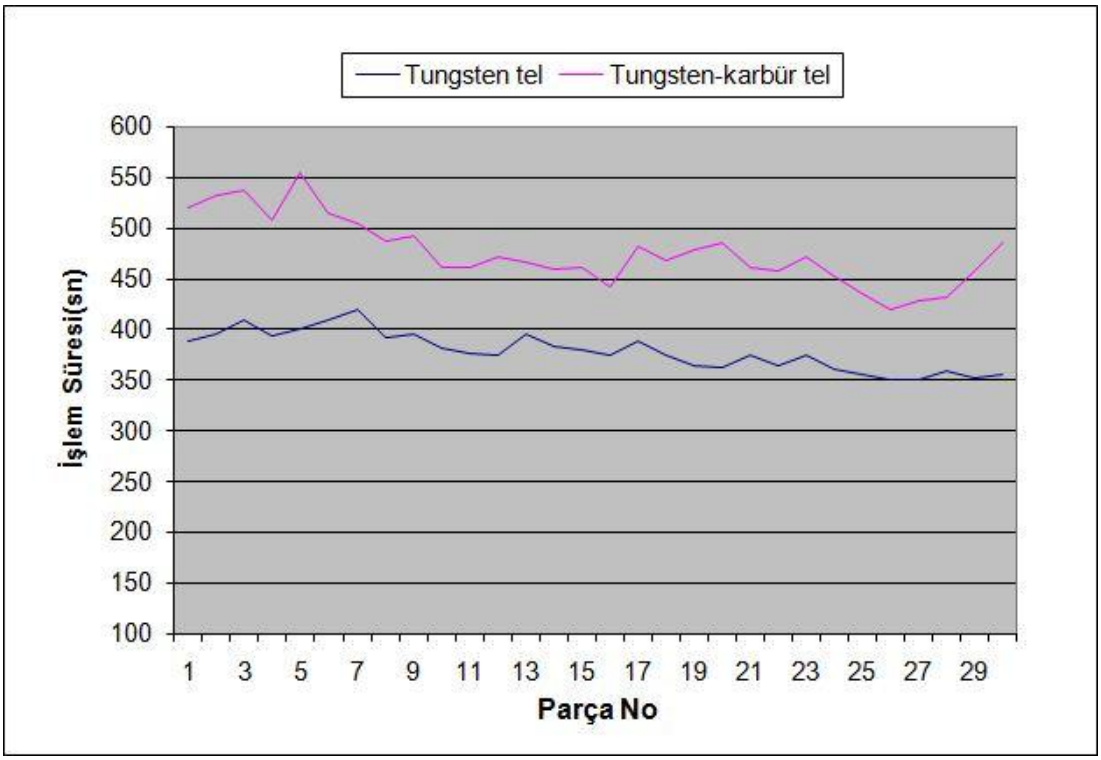


Şekil 5.9 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların MRR karşılaştırması.

Çizelge 5.7 ve Şekil 5.9' da görüldüğü üzere tungsten-karbür tel ile delinen parçaların MRR değerleri bariz bir şekilde tungsten tel ile delinen parçaların MRR değerlerinden düşüktür.

Buradan, tungsten-karbür telin EDM prosesinde malzeme kaldırma hızına negatif bir etki yaptığı sonucuna varılabilir.

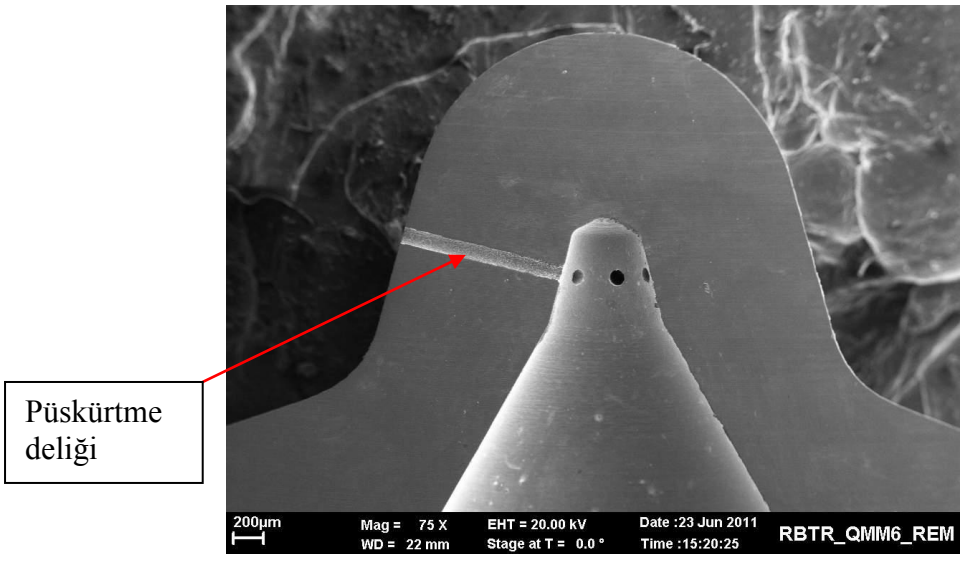
Tungsten-karbür telin tungsten tele göre elektrik direncinin daha yüksek olması dolayısıyla elektrik iletkenliğinin daha düşük olması, malzeme kaldırma hızının daha düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Tungsten-karbür telin elektrik iletkenliğinin düşük olması işlem süresinin uzamasına neden olur. Bölüm 5.4.1 Denklem 5.1' de verilen MRR hesaplama formülünde görülebileceği gibi işlem süresinde meydana gelen artış direkt olarak MRR değerinin azalmasına sebep olur. Şekil 5.10' da farklı tellerin işlem süresine olan etkileri gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların işlem süresi karşılaştırması.

5.5.2 Yüzey pürüzlülüğü (Rz) sonuçları

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları için 3 grup parametre (Low, Medium ve High MRR) ile delinen parçalar, ilk olarak Bölüm 5.4.2' de anlatılan işlemler sonucunda püskürtme delikleri optik profilometrede incelenecek şekilde açılmıştır. Açılan püskürtme deliklerinin meme üzerindeki konumları Şekil 5.11' deki gibi SEM mikroskobu ile gösterilebilir.

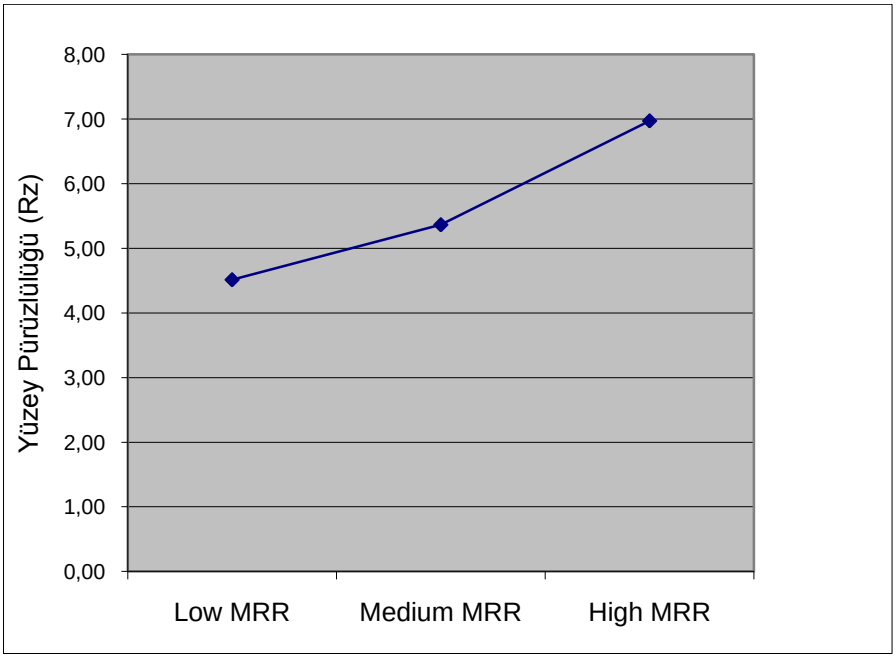


Şekil 5.11 : Püskürtme deliği açılmış parçanın SEM görüntüsü.

Püskürtme deliği açılan parçalardan, her gruptan üçer tanesi alınarak optik profilometre ile yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Her gruptan alınan 3 parçanın üçer kez yüzey pürüzlülükleri ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Böylece, her parametre grubuna ait 3 adet yüzey pürüzlülük ortalama değeri elde edilmiş olur. Sonrasında, bu ortalama pürüzlülük değerlerinin de ortalamaları alınarak tüm grupların yüzey pürüzlülük değerleri tek değere indirilmiş olur. Böylelikle, üç parametre grubunun, püskürtme deliklerinin yüzey pürüzlülüklerine etkileri kolayca incelenebilmiştir.

Çizelge 5.8 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların yüzey pürüzlülük sonuçları.

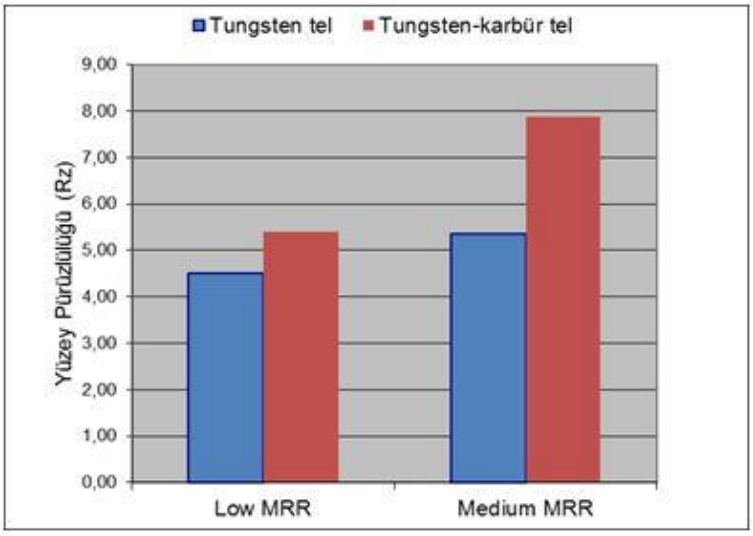
	Yüzey Pürüzlülük (Rz)	Yüzey Pürüzlülük Ortalama (Rz)
Low MRR	4,65	4,52
	4,60	
	4,30	
Medium MRR	5,36	5,37
	5,83	
	4,91	
High MRR	7,39	6,97
	6,47	
	7,07	



Şekil 5.12 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların yüzey pürüzlülük (Rz) karşılaştırması.

Şekil 5.12’ de de görüldüğü üzere malzeme kaldırma değeri arttıkça püskürtme deliklerinin yüzey pürüzlülükleri de artmaktadır. Bunun sebebi, Low parametre değerlerinden High MRR değerlerine gidildikçe iş parçası yani püskürtme deliğine verilen enerji miktarının artmasıyla açıklanabilir.

Kullanılan elektrotların arasında karşılaştırma yapabilmek için tungsten-karbür tel ile delinen parçaların da yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ancak, tungsten-karbür tel ile delme işlemi yaparken Agie makinesi hata verdiğinden sadece Low ve Medium MRR parametre gruplarının yüzey pürüzlülük değerleri sonuç olarak alınabilmiştir. Aynı şekilde, tungsten-karbür tel ile delinen parçalarda da her gruptan (Low ve Medium MRR) üç parçanın üçer kez yüzey pürüzlülük (Rz) değeri ölçülmüştür. Bu üç değerin tekrardan ortalaması alınmış ve her grubun pürüzlülük sonuçları teke indirilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Şekil 5.13’ de farklı iki elektrot telin, püskürtme deliklerinin yüzey pürüzlülüklerini nasıl etkiledikleri görülmektedir.



Şekil 5.13 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçaların yüzey pürüzlülüğü (Rz) karşılaştırması.

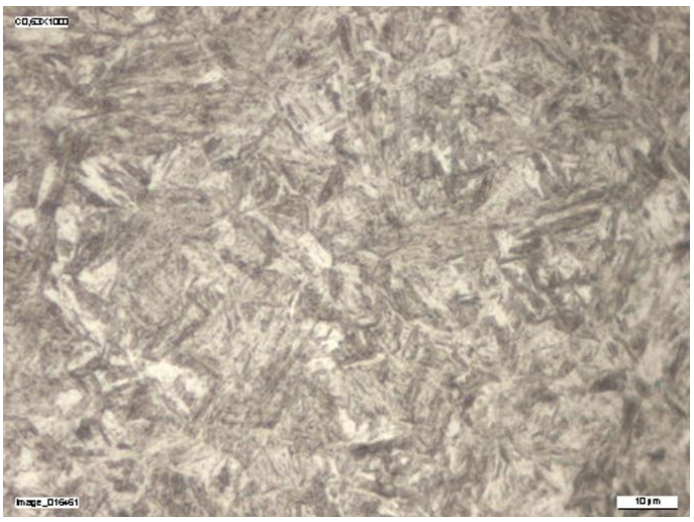
Şekil 5.13’ de görüldüğü üzere tungsten-karbür tel ile delinen parçalar daha yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine sahiptir. Bu büyük pürüzlülük farkı, tungsten-karbür telin elektro-erozyon işlem süresinin tungsten tele göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. İşlem süresinin yüksek olması, tungsten-karbür telin delik içerisinde daha uzun süre kalması ve dolayısıyla telin delik ile daha uzun süre etkileşimde olmasını sağlayacaktır. Bu da, deliğin yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur.

Tungsten-karbür telin tungsten telden daha sert olmasından, dolayısıyla delik delme işlemi esnasında delik içerisinde yeterince esnek olamamasından yüksek pürüzlülüğe sebep vermesinden kaynaklanabilir.

5.5.3 Morfoloji (HAZ) sonuçları

HAZ tabakası kalınlık sonuçları incelemek için ilk olarak Low, Medium ve High MRR delme parametreleri ile delinen parçaların HAZ tabakaları incelenmiştir. Ancak, farklı delme parametreleri ile delinen parçaların HAZ tabakası kalınlıkları arasında hiçbir fark ortaya çıkmamıştır.

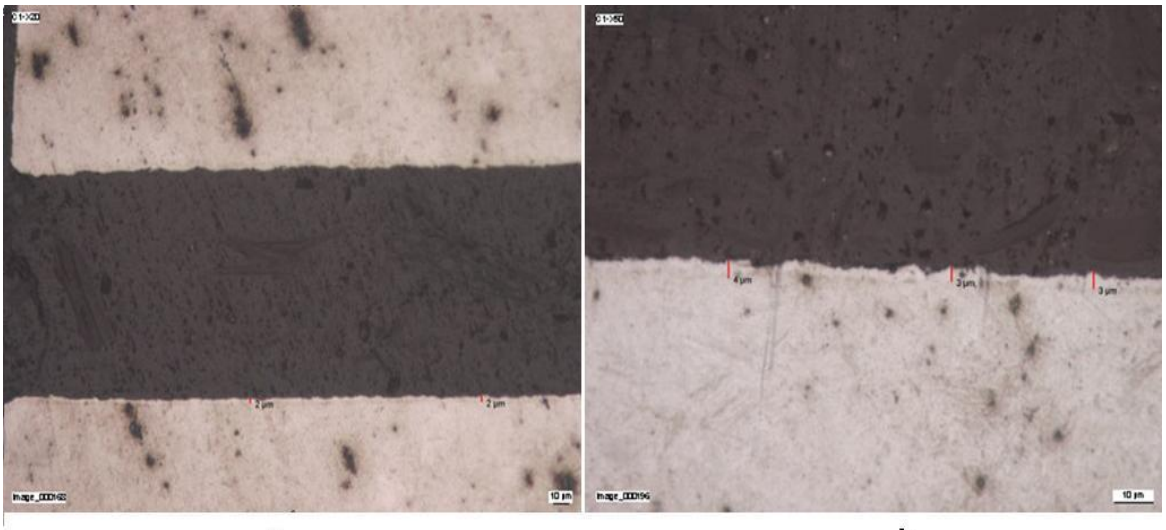
Sonra, iş parçasının morfolojisi incelenmiştir. Buna göre, 18CrNi8 sementasyon çeliği olan iş parçasının mikroyapısı Şekil 5.14' te görüldüğü gibidir. Şekil 5.14' te görüldüğü üzere, martenzit (koyu) ve ferrit (açık) yapılar açıkça belli olmaktadır.



Şekil 5.14 : 18CrNi8 sementasyon çeliğinin iç yapısı (martenzit-ferrit).

İki farklı elektrot tel (tungsten ve tungsten-karbür) ile aynı parametreler ile delinen parçaların HAZ bölgelerini incelemek için, parçalar Bölüm 5.4.3' te anlatılan işlemler doğrultusunda ışık mikroskobunda incelenmek üzere hazırlanmıştır. İş parçasına uygun dağlayıcı (Fe-m7) ile dağlanan parçaların HAZ tabakası kalınlıkları Şekil 5.15' te verilmiştir.

Şekil 5.15' e göre; tungsten tel ile delinen parçaların HAZ tabakası kalınlıkları yaklaşık 2µ iken tungsten-karbür tel ile delinen parçaların HAZ tabakası kalınlıkları yaklaşık 3,5µ civarındadır. Buna göre; tungsten-karbür tel püskürtme deliklerinde daha kalın HAZ tabakaları meydana getirmektedir.



a b

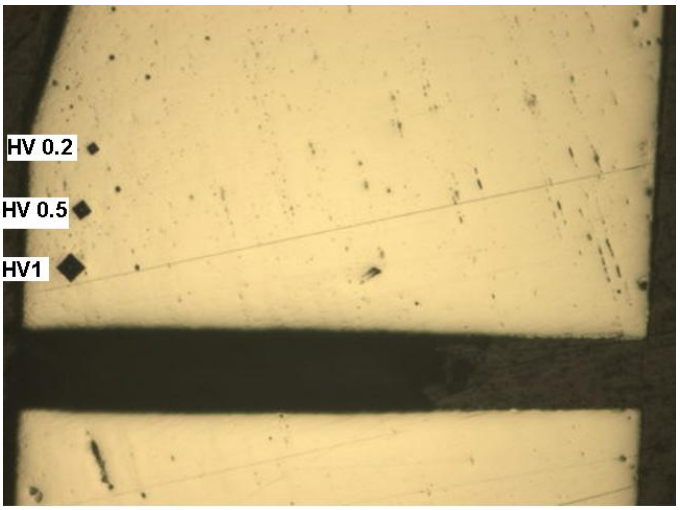
Şekil 5.15 : Tungsten (a) ve tungsten-karbür (b) tel ile delinmiş parçaların HAZ tabakası kalınlığı karşılaştırması.

5.5.4 Sertlik sonuçları

Sertlik ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için ilk olarak tüm parametre grubundan parçalar Bölüm 5.4.4' te anlatılan işlemler doğrultusunda ölçüme hazır hale getirilmiştir. Parçalar sertlik ölçümüne hazırlandıktan sonra sıra, sertlik ölçümünde kullanılan yükün belirlenmesine gelir.

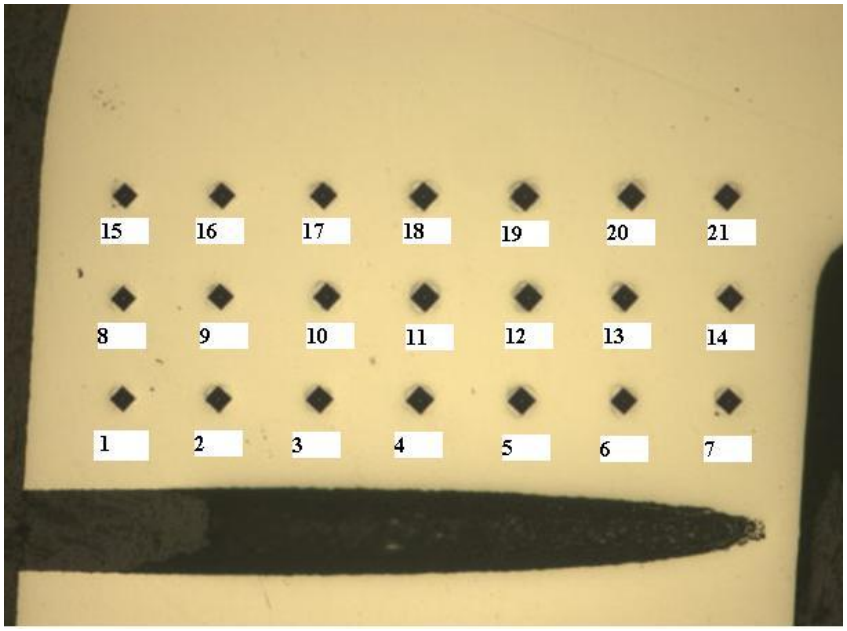
Uygulanacak yük belirlenirken, püskürtme deliğinin boyu ile uygulanan yüke bağlı olarak meydana gelen iz çapının büyüklüğü göz önüne alınır. Püskürtme deliğinin boyu tüm memelerde standart olarak 1.05 mm (1050µ) ' dir. Bu değeri bastırılan yük sonucu oluşan iz çapına böldüğümüzde delik boyunca kaç adet sertlik ölçümü yapılabileceği bulunabilir. Bunun için 1, 0.5 ve 0.2 kg' lık yükler sonucu meydana gelen sertlik izlerinin çapları ölçülür. Buna göre; HV1 ' in çapı d=50µ, HV 0.5' in çapı d=35µ, HV0.2' in çapı ise d=25µ olarak belirlenir.

Sertlik ölçme kuralları gereği bir izin merkezinin, parça kenarına veya bir diğer izin merkezine olan uzaklığının minimum 3d olması gerekmektedir. Bu kural da hesaba katıldığında HV1 ile ölçüm yapıldığında iki iz arası mesafe 200µ olacağından 1 kg' lık yük ile delik boyunca 5 adet ölçüm alınabilir. Aynı işlem HV0.5 ile yapıldığında iki iz arası mesafenin 150µ olacağından 0.5 kg' lık yük ile delik boyunca 7 adet ölçüm alınabilir. Son olarak; HV0.2 ile ölçüm yapıldığında iki iz arası mesafe 100µ olacağından 0.2 kg' lık yük uygulandğında delik boyunca 10 adet ölçüm alınabilir.



Şekil 5.16 : Delik üzerinde alındanHV0.2, HV0.5 ve HV1 sertlik izleri.

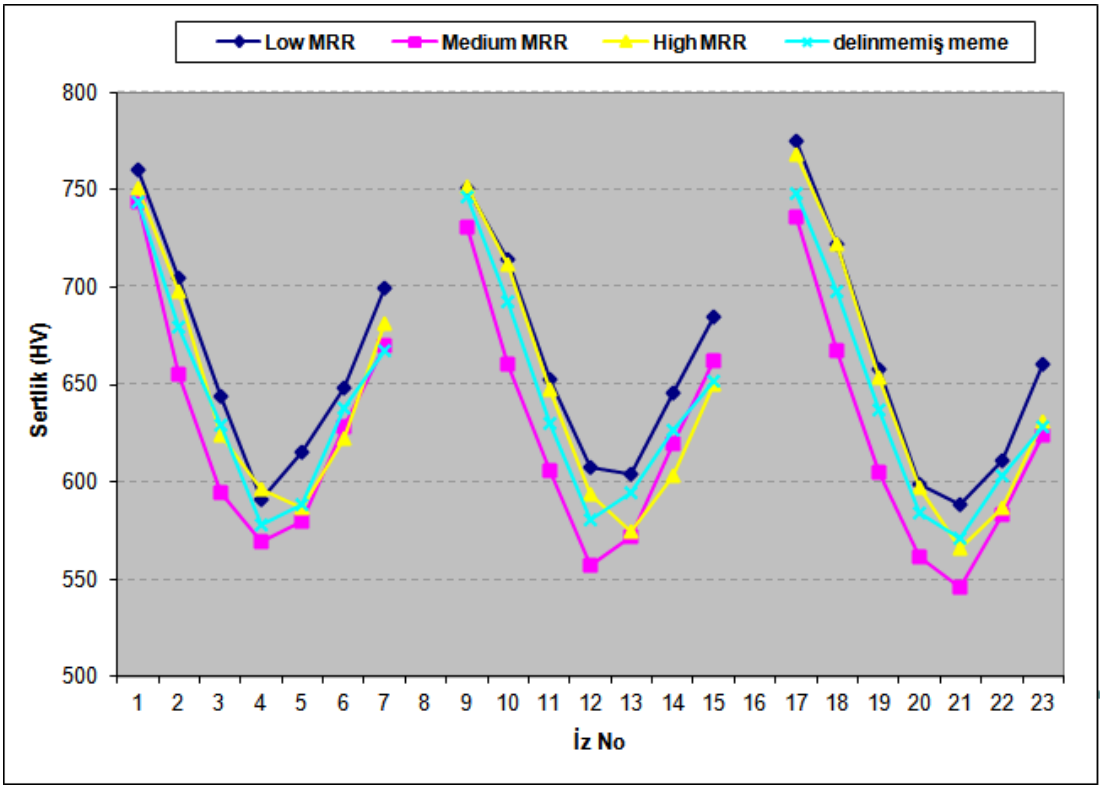
Bu sonuçlara göre ideal sertlik ölçüm sayısının 7 olmasına ve dolayısıyla tüm parçaların sertlik ölçümlerinin 0.5 kg yük altında yani HV0.5 ile püskürtme deliğine paralel 3 sıra olarak yapılmasına karar verilmiştir. Böylelikle her bir parametre ile delinmiş püskürtme deliği için Şekil 5.17' de görüldüğü üzere toplam 21 noktadan sertlik ölçümü yapılacaktır.



Şekil 5.17 : Tüm parçalarda delik boyunca alınacak olan 21 adet sertlik izlerinin konumları.

Sertlik ölçüm konumları da belirlendikten sonra ilk olarak Low, Medium ve High MRR parametre gruplarından üçer adet parçanın Şekil 5.17' deki belirlenen konumlarından sertlikleri ölçülmüştür. Sonra bu üçer parçaların ortalaması alınarak

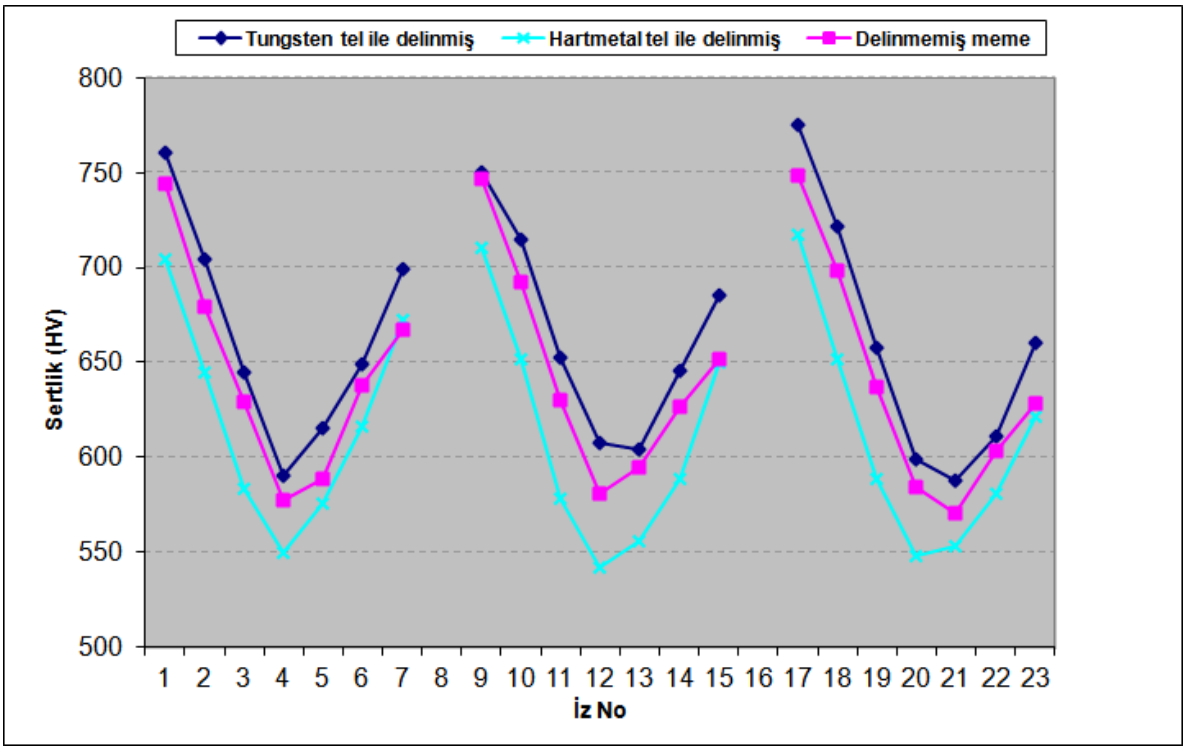
her gruba ait bir adet sertlik değeri belirlenmiştir. Parametre grupları ile delinen memelerin dışında hiç delinmemiş olan 3 adet memenin de aynı konumlarından sertlik değerleri ölçülmüş ve değerlendirmeye alınmıştır. Tüm sertlik ölçüm sonuçları Ek B' de verilmiştir.



Şekil 5.18 : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş parçaların sertlik sonuçları karşılaştırması.

Low, Medium ve High parametre gruplarının delinmiş parçaları ile delinmemiş parçaların sertlik değerleri karşılaştırmaları Şekil 5.18' de yapılmıştır. Şekle bakıldığında delinmemiş memelerin sertlik değerleri ile Low, Medium ve High MRR parametre grupları ile delinmiş memelerin sertlik değerleri arasında bariz bir fark olmadığı görülmüştür. Bu da, delme parametrelerinin, iş parçasının sertliği üzerine bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Parametre gruplarının sertlik değerlerinin karşılaştırılmasından sonra sıra, farklı elektrot ile delinen parçaların sertlik değerlerinin karşılaştırılmasına gelmiştir. Diğer ölçüm yöntemlerinde olduğu gibi, sertlik ölçümlerinde de Agie makinesinin High MRR parametre grubunda hata vermesi sebebiyle sadece Low ve Medium MRR parametre gruplarının tungsten-karbür tel ile delinen parçaları kullanılmıştır. Bu parçalar ile delinmemiş memelerin sertlik ölçüm değerleri Ek B' de verilmiştir.



Şekil 5.19 : Tungsten ve tungsten-karbür tel ile delinmiş parçalar ile delinmemiş parçaların sertlik sonuçları karşılaştırması.

Şekil 5.19' da tungsten ve tungsten-karbür elektrot telleriyle delinmiş parçalar ile delinmemiş parçaların sertlik karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 5.19' a göre tungsten tel ile delinmiş parçaların sertlik değerleri delinmemiş memenin sertlik değerlerine oldukça yakındır. Yani; tungsten telin iş parçasının sertliği üzerine bir etkisinin olmadığı çıkarılabilir. Ancak, aynı iş parçası tungsten-karbür tel ile delindiğinde parçanın sertliğinde gözle görülür bir düşüş meydana gelmiştir.

Tüm ölçüm sonuçlarının genel olarak değerlendirmesi Bölüm 6' da yapılmaktadır.

6. SONUÇLAR

Tüm tez boyunca yapılan ölçüm ve testler doğrultusunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Tungsten-karbür tel ile Low, Medium ve High parametreleri ile delinen parçaların işlem süreleri tungsten tel ile delinen parçalara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- Tungsten-karbür telin işlem süresi daha fazla olduğu için aynı parametrelerle delme işlemi yapıldığında tungsten tel ile daha çok malzeme kaldırıldığı görülmüştür.
- Malzeme kaldırma hızı arttıkça delinen püskürtme deliklerinin yüzey pürüzlülüklerinde artış meydana gelmiştir.
- Tungsten-karbür tel ile aynı parametreler ile delinen parçaların tungsten tel ile delinen parçalara göre daha yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine sahip oldukları gözlemlenmiştir.
- HAZ tabakası kalınlığı incelemesine farklı delme parametrelerinin bir etkisi olmadğı görülmüştür. Ancak tungsten-karbür tel ile delinen parçalarda daha kalın HAZ tabakasına rastlanmıştır.
- Farklı delme parametreleri ile delinmiş parçaların sertlik değerleri ile hiç delinmemiş parçaların sertlik değelerinin hemem hemen aynı oldukları görülmüştür. Yani, delme parametrelerinin malzeme sertliğine bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır.
- Tungsten-karbür tel ile delinen parçaların ise sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Tungsten tel ile delinen parçaların sertliklerinin ise hiç delinmemiş parçaların sertlik değerleri ile aynı olduğu gözlenmiştir.

Yukarıda sıralanan tüm sonuçlar doğrultusunda elektrot olarak tungsten telin kullanılmasının hem proses verimi hem de süre tasarrufu açısından daha uygun olduğunun kararına varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Ersoy Bey, Ali Cem Böge**, Dizel Sistemlerde Emisyon, Enjektör Memesi Örneği,s. 26 -27.

[2] **Tayfun Çağlar Deniz** (2009), Elektro Erozyon ile İşlemede Elektrot Aşınmasının Telafisinin Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, s. 6-7.

[3] **Doç. Dr. Akgün Alsaran**, Isı Enerjisi Kullanarak Şekil Verme Ders Notu.

[4] **Furkan Mühendislik** (2000). Furkan Elektroerozyon Tezgahları Temel Bilgiler Kılavuzu.

[5] **Osman İmamoğlu** (2007). Tel Erozyon Tezgahında 2379 Çeliğinin İşlenmesine Kesme Parametrelerinin Şekil ve Boyut Toleranslarına Etkisi, Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

[6] **Masuzawa T**., (2000), State of the art of micromachining Ann. CIRP 49 473–488.

[7] **F.L.Amorim, W.L Weingaertner**, The influence of generator actuation mode and process parameters on the performance of finish EDM of a tool steel.

[8] **J.K. Stanley** (1963), Electrical and Magnetic Properties of Metals, American Society for Metals, Metals Park, OH.

[9] http://endertav.com.tr/sementasyon.html, alındığı tarih: 01.11.2011.

[10] www.zygo.com, alındığı tarih: 21.11.2011.

[11] **G. Petzow** (1999), Metallographic Etching, 2nd Ed., ASM International.

[12] www.shimadzu.com, alındığı tarih: 21.11.2011.

EKLER

EK A : 180 adet memenin çap ve süre ölçüm sonuçları
EK B : Low, Medium ve High parametre grupları ile delinmiş tüm memelerin sertlik ölçüm sonuçları

EK A

Çizelge A.1 : A grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları.

	Parça No	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR (mm3/sn)	Dış çap(mm)	İç çap(mm)	Delik boyu(h)(mm)	İşlem Süresi(sn)
GROUP A	1	3	14	115	36	13	-1,6	0,33	-102,17	1,58E-04	0,1026	0,1041	1,05	389
	2									1,58E-04	0,1028	0,1049	1,05	395
	3									1,54E-04	0,1033	0,1059	1,05	410
	4									1,59E-04	0,1033	0,1051	1,05	394
	5									1,59E-04	0,1033	0,1065	1,05	400
	6									1,51E-04	0,1028	0,1040	1,05	410
	7									1,53E-04	0,1049	0,1057	1,05	419
	8									1,63E-04	0,1085	0,1019	1,05	392
	9									1,55E-04	0,1030	0,1030	1,05	396
	10									1,36E-04	0,0893	0,1002	1,05	382
	11									1,64E-04	0,1032	0,1034	1,05	376
	12									1,63E-04	0,1030	0,1029	1,05	375
	13									1,52E-04	0,1017	0,1021	1,05	395
	14									1,58E-04	0,1027	0,1023	1,05	383
	15									1,58E-04	0,1026	0,1015	1,05	380
	16									1,61E-04	0,1023	0,1022	1,05	374
	17									1,56E-04	0,1018	0,1028	1,05	388
	18									1,65E-04	0,1034	0,1035	1,05	375
	19									1,69E-04	0,1030	0,1034	1,05	364
	20									1,70E-04	0,1033	0,1033	1,05	363
	21									1,62E-04	0,1027	0,1022	1,05	375
	22									1,69E-04	0,1031	0,1036	1,05	365
	23									1,63E-04	0,1028	0,1024	1,05	374
	24									1,71E-04	0,1029	0,1041	1,05	361
	25									1,77E-04	0,1036	0,1049	1,05	355
	26									1,79E-04	0,1038	0,1045	1,05	350
	27									1,82E-04	0,1046	0,1057	1,05	351
	28									1,74E-04	0,1038	0,1041	1,05	359
	29									1,75E-04	0,1033	0,1033	1,05	352
	30									1,75E-04	0,1031	0,1042	1,05	355
									Min :	1,36E-04	0,0893	0,1002		350,0000
									Average :	1,63E-04	0,1028	0,1036		378,5667
									Max :	1,82E-04	0,1085	0,1065		419,0000
									Range :	4,61E-05	0,0193	0,0063		69,0000
									Stdev :	9,90E-06	0,0028	0,0014		18,9130
									8s :	7,92E-05	0,0226	0,0115		151,3042

Çizelge A.2 : B grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları.

	Parça No	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR (mm3/sn)	Dış çap(mm)	İç çap(mm)	Delik boyu(h)(mm)	İşlem Süresi(sn)
GROUP B	31	3	14	106	52	14	-1,4	0,88	-101,62	2,30E-04	0,1073	0,0999	1,05	269
	32									2,32E-04	0,1078	0,1022	1,05	274
	33									2,35E-04	0,1079	0,1023	1,05	271
	34									2,25E-04	0,1076	0,0981	1,05	272
	35									2,27E-04	0,1079	0,1000	1,05	275
	36									2,37E-04	0,1077	0,1031	1,05	271
	37									2,29E-04	0,1077	0,1010	1,05	274
	38									2,38E-04	0,1078	0,1035	1,05	271
	39									2,32E-04	0,1081	0,1020	1,05	274
	40									2,28E-04	0,1080	0,0994	1,05	272
	41									2,29E-04	0,1079	0,1007	1,05	275
	42									2,31E-04	0,1082	0,1010	1,05	273
	43									2,07E-04	0,1082	0,0895	1,05	274
	44									2,31E-04	0,1082	0,1001	1,05	271
	45									2,28E-04	0,1081	0,1002	1,05	275
	46									2,19E-04	0,1082	0,0954	1,05	274
	47									2,18E-04	0,1081	0,0952	1,05	274
	48									2,38E-04	0,1083	0,1037	1,05	273
	49									2,41E-04	0,1084	0,1038	1,05	270
	50									2,28E-04	0,1085	0,0979	1,05	270
	51									2,24E-04	0,1085	0,0965	1,05	271
	52									2,15E-04	0,1083	0,0941	1,05	275
	53									2,19E-04	0,1082	0,0943	1,05	271
	54									2,23E-04	0,1082	0,0970	1,05	273
	55									2,31E-04	0,1084	0,0992	1,05	270
	56									2,27E-04	0,1084	0,0975	1,05	270
	57									2,15E-04	0,1082	0,0937	1,05	274
	58									2,26E-04	0,1087	0,0993	1,05	277
	59									2,27E-04	0,1085	0,0996	1,05	275
	60									1,97E-04	0,1079	0,0863	1,05	277
									Min :	1,97E-04	0,1079	0,0863		269,0000
									Average :	2,26E-04	0,1081	0,0985		272,8333
									Max :	2,41E-04	0,1087	0,1038		277,0000
									Range :	4,32E-05	0,0008	0,0175		8,0000
									Stdev :	9,31E-06	0,0003	0,0041		2,1669
									8s :	7,45E-05	0,0025	0,0328		17,3351

Çizelge A.3 : C grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları.

	Parça No	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR (mm3/sn)	Dış çap(mm)	İç çap(mm)	Delik boyu(h)(mm)	İşlem Süresi(sn)
GROUP C	61	7	12	102	26	5	-1,5	0,59	-101,91	3,53E-04	0,1088	0,1200	1,05	214
	62									3,54E-04	0,1086	0,1198	1,05	213
	63									3,60E-04	0,1088	0,1190	1,05	208
	64									3,61E-04	0,1086	0,1200	1,05	209
	65									3,58E-04	0,1085	0,1187	1,05	208
	66									3,59E-04	0,1085	0,1198	1,05	210
	67									3,57E-04	0,1086	0,1193	1,05	210
	68									3,55E-04	0,1088	0,1194	1,05	212
	69									3,59E-04	0,1090	0,1201	1,05	211
	70									3,50E-04	0,1092	0,1206	1,05	218
	71									3,54E-04	0,1091	0,1201	1,05	214
	72									3,59E-04	0,1086	0,1197	1,05	210
	73									3,52E-04	0,1091	0,1203	1,05	216
	74									3,52E-04	0,1093	0,1201	1,05	216
	75									3,48E-04	0,1087	0,1210	1,05	219
	76									3,56E-04	0,1091	0,1216	1,05	216
	77									3,58E-04	0,1092	0,1217	1,05	215
	78									3,51E-04	0,1088	0,1199	1,05	215
	79									3,53E-04	0,1089	0,1210	1,05	216
	80									3,60E-04	0,1087	0,1205	1,05	211
	81									3,52E-04	0,1089	0,1202	1,05	215
	82									3,50E-04	0,1089	0,1203	1,05	217
	83									3,46E-04	0,1091	0,1200	1,05	219
	84									3,60E-04	0,1095	0,1208	1,05	213
	85									3,51E-04	0,1093	0,1209	1,05	218
	86									3,55E-04	0,1091	0,1207	1,05	215
	87									3,53E-04	0,1097	0,1207	1,05	217
	88									3,58E-04	0,1095	0,1213	1,05	215
	89									3,56E-04	0,1093	0,1213	1,05	216
	90									3,50E-04	0,1091	0,1212	1,05	219
									Min :	3,46E-04	0,1085	0,1187		208,0000
									Average :	3,55E-04	0,1090	0,1203		214,1667
									Max :	3,61E-04	0,1097	0,1217		219,0000
									Range :	1,52E-05	0,0011	0,0030		11,0000
									Stdev :	3,99E-06	0,0003	0,0007		3,3123
									8s :	3,20E-05	0,0025	0,0059		26,4983

Çizelge A.4 : D grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları.

	Parça No	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR (mm3/sn)	Dış çap(mm)	İç çap(mm)	Delik boyu(h)(mm)	İşlem Süresi(sn)
GROUP D	91	7	15	113	28	5	-1,8	0,37	-102,13	3,04E-04	0,1086	0,1194	1,05	247
	92									3,07E-04	0,1085	0,1205	1,05	247
	93									3,11E-04	0,1084	0,1207	1,05	244
	94									3,06E-04	0,1085	0,1206	1,05	248
	95									3,06E-04	0,1084	0,1196	1,05	245
	96									3,05E-04	0,1084	0,1198	1,05	247
	97									3,12E-04	0,1084	0,1203	1,05	242
	98									3,06E-04	0,1084	0,1194	1,05	245
	99									3,10E-04	0,1085	0,1205	1,05	244
	100									3,11E-04	0,1085	0,1202	1,05	243
	101									3,03E-04	0,1084	0,1195	1,05	248
	102									3,12E-04	0,1086	0,1204	1,05	243
	103									3,05E-04	0,1084	0,1192	1,05	245
	104									3,02E-04	0,1086	0,1191	1,05	248
	105									3,05E-04	0,1086	0,1194	1,05	246
	106									3,08E-04	0,1088	0,1198	1,05	245
	107									3,05E-04	0,1085	0,1194	1,05	246
	108									3,08E-04	0,1086	0,1194	1,05	244
	109									3,08E-04	0,1087	0,1192	1,05	244
	110									3,06E-04	0,1085	0,1197	1,05	246
	111									3,06E-04	0,1084	0,1193	1,05	245
	112									3,04E-04	0,1088	0,1197	1,05	248
	113									3,07E-04	0,1086	0,1197	1,05	245
	114									3,08E-04	0,1088	0,1194	1,05	244
	115									3,05E-04	0,1088	0,1195	1,05	247
	116									3,02E-04	0,1086	0,1195	1,05	249
	117									3,03E-04	0,1089	0,1197	1,05	249
	118									3,05E-04	0,1086	0,1198	1,05	247
	119									3,05E-04	0,1089	0,1199	1,05	248
	120									3,04E-04	0,1085	0,1192	1,05	246
									Min :	3,02E-04	0,1084	0,1191		242,0000
									Average :	3,06E-04	0,1086	0,1197		245,8333
									Max :	3,12E-04	0,1089	0,1207		249,0000
									Range :	1,06E-05	0,0006	0,0016		7,0000
									Stdev :	2,78E-06	0,0002	0,0005		1,8770
									8s :	2,22E-05	0,0013	0,0038		15,0157

Çizelge A.5 : E grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları.

	Parça No	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR (mm3/sn)	Dış çap(mm)	İç çap(mm)	Delik boyu(h)(mm)	İşlem Süresi(sn)
GROUP E	121	4	12	141	42	6	-1,7	1,01	-101,49	4,52E-04	0,1182	0,1349	1,05	205
	122									4,58E-04	0,1193	0,1356	1,05	205
	123												1,05	207
	124									4,47E-04	0,1185	0,1340	1,05	206
	125									4,47E-04	0,1183	0,1347	1,05	207
	126									4,52E-04	0,1185	0,1353	1,05	206
	127									4,46E-04	0,1187	0,1348	1,05	208
	128									4,55E-04	0,1188	0,1351	1,05	205
	129									4,54E-04	0,1188	0,1350	1,05	205
	130									4,46E-04	0,1181	0,1347	1,05	207
	131									4,37E-04	0,1182	0,1340	1,05	210
	132									4,49E-04	0,1180	0,1350	1,05	206
	133									4,52E-04	0,1180	0,1351	1,05	205
	134									4,57E-04	0,1186	0,1354	1,05	204
	135									4,51E-04	0,1189	0,1354	1,05	207
	136									4,57E-04	0,1191	0,1362	1,05	206
	137									4,53E-04	0,1186	0,1350	1,05	205
	138									4,52E-04	0,1189	0,1343	1,05	205
	139									4,56E-04	0,1189	0,1347	1,05	204
	140									4,55E-04	0,1189	0,1351	1,05	205
	141									4,47E-04	0,1183	0,1334	1,05	205
	142									4,44E-04	0,1178	0,1338	1,05	206
	143									4,50E-04	0,1183	0,1344	1,05	205
	144									4,52E-04	0,1184	0,1346	1,05	205
	145									4,51E-04	0,1190	0,1351	1,05	207
	146									4,52E-04	0,1187	0,1346	1,05	205
	147									4,49E-04	0,1191	0,1351	1,05	208
	148									4,50E-04	0,1186	0,1348	1,05	206
	149									4,54E-04	0,1190	0,1348	1,05	205
	150									4,54E-04	0,1186	0,1345	1,05	204
									Min :	4,37E-04	0,1178	0,1334		204,0000
									Average :	4,51E-04	0,1186	0,1348		205,8000
									Max :	4,58E-04	0,1193	0,1362		210,0000
									Range :	2,04E-05	0,0015	0,0027		6,0000
									Stdev :	4,39E-06	0,0004	0,0006		1,3493
									8s :	3,51E-05	0,0030	0,0045		10,7946

Çizelge A.6 : E grubu parametreleri ile delinen memelerin çap ve işlem süresi sonuçları.

	Parça No	T	Pause	Uh	Comp	Cpar	Weg	X-Maß	Pos-W	MRR (mm3/sn)	Dış çap(mm)	İç çap(mm)	Delik boyu(h)(mm)	İşlem Süresi(sn)
GROUP F	151	5	14	146	73	7	-1,9	0,79	-101,71	4,10E-04	0,1112	0,1277	1,05	201
	152									4,17E-04	0,1109	0,1270	1,05	196
	153									4,14E-04	0,1108	0,1268	1,05	197
	154									4,10E-04	0,1101	0,1256	1,05	196
	155									4,14E-04	0,1106	0,1262	1,05	196
	156									4,15E-04	0,1109	0,1258	1,05	195
	157									4,21E-04	0,1113	0,1271	1,05	195
	158									4,18E-04	0,1116	0,1266	1,05	196
	159									4,24E-04	0,1117	0,1269	1,05	194
	160									4,16E-04	0,1111	0,1270	1,05	197
	161									4,23E-04	0,1112	0,1277	1,05	195
	162									4,13E-04	0,1112	0,1267	1,05	198
	163									4,19E-04	0,1114	0,1271	1,05	196
	164									4,19E-04	0,1116	0,1263	1,05	195
	165									4,14E-04	0,1112	0,1263	1,05	197
	166									4,16E-04	0,1114	0,1268	1,05	197
	167									4,16E-04	0,1114	0,1272	1,05	198
	168									4,11E-04	0,1111	0,1264	1,05	198
	169									4,18E-04	0,1112	0,1275	1,05	197
	170									4,15E-04	0,1114	0,1270	1,05	198
	171									4,23E-04	0,1111	0,1270	1,05	194
	172									4,18E-04	0,1108	0,1265	1,05	195
	173									4,20E-04	0,1113	0,1279	1,05	197
	174									4,19E-04	0,1113	0,1271	1,05	196
	175									4,18E-04	0,1114	0,1267	1,05	196
	176									4,21E-04	0,1112	0,1270	1,05	195
	177									4,12E-04	0,1111	0,1264	1,05	198
	178									4,13E-04	0,1113	0,1270	1,05	199
	179									4,13E-04	0,1108	0,1260	1,05	196
	180									4,17E-04	0,1113	0,1271	1,05	197
									Min :	4,10E-04	0,1101	0,1256		194,0000
									Average :	4,17E-04	0,1112	0,1268		196,5000
									Max :	4,24E-04	0,1117	0,1279		201,0000
									Range :	1,45E-05	0,0016	0,0023		7,0000
									Stdev :	3,77E-06	0,0003	0,0005		1,5256
									8s :	3,02E-05	0,0026	0,0043		12,2051

EK B

Çizelge B.1 : Tungsten tel ile delinmiş parçaların sertlik ölçüm sonuçları.

Tungsten	SERTLİK (HV)											
İZ NO	Low MRR			Medium MRR			High MRR			Delinmemiş Meme		
	11	14	21	95	96	111	121	133	143	1	2	3
1	746	779	756	760	749	723	764	768	720	753	763	715
2	697	720	696	625	702	638	712	709	671	690	679	670
3	631	657	645	557	653	574	643	661	568	633	655	599
4	580	602	590	554	607	547	595	637	556	594	582	557
5	606	617	622	554	603	582	607	600	553	583	606	576
6	628	663	655	604	646	634	636	636	595	633	656	625
7	701	687	710	650	683	677	690	681	673	680	664	657
8	718	757	776	740	760	693	752	777	726	751	751	737
9	714	707	722	634	706	642	721	748	665	691	719	668
10	648	685	625	551	674	593	655	695	593	638	647	604
11	600	626	597	524	586	562	612	618	552	568	610	564
12	605	602	605	550	590	576	581	587	555	612	603	569
13	652	635	650	590	638	631	622	612	576	634	638	607
14	693	672	690	650	656	680	658	658	635	642	659	655
15	774	776	775	727	762	720	760	789	755	725	768	752
16	712	726	728	638	707	658	733	756	677	712	732	650
17	658	684	631	563	677	574	670	699	592	625	665	620
18	593	608	595	525	613	547	607	641	544	574	634	544
19	582	587	595	546	565	527	583	587	528	580	599	533
20	621	597	614	551	603	596	586	600	575	616	613	580
21	668	648	665	605	626	642	613	646	633	644	628	614
İZ NO	ORTALAMA			ORTALAMA			ORTALAMA			ORTALAMA		
1		760			744			751			744	
2		704			655			697			680	
3		644			595			624			629	
4		591			569			596			578	
5		615			580			587			588	
6		649			628			622			638	
7		699			670			681			667	
8		750			731			752			746	
9		714			661			711			693	
10		653			606			648			630	
11		608			557			594			581	
12		604			572			574			595	
13		646			620			603			626	
14		685			662			650			652	
15		775			736			768			748	
16		722			668			722			698	
17		658			605			654			637	
18		599			562			597			584	
19		588			546			566			571	
20		611			583			587			603	
21		660			624			631			629	

EK B

Çizelge B.2 : Tungsten karbür tel ile delinmiş parçaların sertlik ölçüm sonuçları.

Tungsten-karbür	SERTLİK (HV)								
İZ NO	Low MRR (A)			Medium MRR (D)			Delinmemiş Meme		
	10	15	20	38	39	40	1	2	3
1	719	669	724	718	740	721	753	763	715
2	657	607	669	673	694	664	690	679	670
3	600	543	606	636	604	572	633	655	599
4	561	533	556	618	572	560	594	582	557
5	602	574	550	591	583	564	583	606	576
6	637	586	627	659	619	613	633	656	625
7	673	681	664	683	655	674	680	664	657
8	730	676	726	712	756	712	751	751	737
9	650	619	686	688	680	659	691	719	668
10	581	547	608	648	604	601	638	647	604
11	565	537	525	601	585	570	568	610	564
12	563	556	549	600	554	560	612	603	569
13	585	576	605	580	597	607	634	638	607
14	670	646	634	645	632	653	642	659	655
15	718	700	735	750	731	738	725	768	752
16	660	625	669	707	688	664	712	732	650
17	588	568	610	629	639	568	625	665	620
18	566	518	559	604	563	550	574	634	544
19	561	545	553	565	561	545	580	599	533
20	583	580	580	593	572	579	616	613	580
21	620	623	620	648	624	620	644	628	614
İZ NO	ORTALAMA			ORTALAMA			ORTALAMA		
1		704			726			744	
2		644			677			680	
3		583			604			629	
4		550			583			578	
5		575			579			588	
6		617			630			638	
7		673			671			667	
8		711			727			746	
9		652			676			693	
10		579			618			630	
11		542			585			581	
12		556			571			595	
13		589			595			626	
14		650			643			652	
15		718			740			748	
16		651			686			698	
17		589			612			637	
18		548			572			584	
19		553			557			571	
20		581			581			603	
21		621			631			629	

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Osman Temizkan

Doğum Yeri ve Tarihi: 18/12/1987

Adres: Kükürtlü Mah., Karagöz Cad., Akın Apt., 15/14, Osmangazi/BURSA

E-Posta: osmantemizkan@hotmail.com

Lisans: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (Yıldız Teknik Üniversitesi)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

09/2010-02/2012 Bursa BOSCH A.Ş (Part-time uzun dönem stajyer)