



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AŞINDIRICI PARÇACIK AKIŞ METODU İLE İŞLEM PARAMETRELERİNİN HİDROLİK VALFLERİN YAĞ KANALLARININ YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mahmut Sami ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mahmut Sami ŞAHİN

Tarih: 17.12.2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AŞINDIRICI PARÇACIK AKIŞ METODU İLE İŞLEM PARAMETRELERİNİN HİDROLİK VALFLERİN YAĞ KANALLARININ YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mahmut Sami ŞAHİN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet AVCI

2012, 60 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Ahmet AVCI
Prof. Dr. Hacı SAĞLAM
Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Aşındırıcı akışkanla yüzey işleme(AFM)ileri bir yüzey işleme metodu olarak bilinir. İç kenar köşelerde, ulaşılması zor dip kenarlarda yuvarlatma, çapak alma, parlatma, önceden tanımlanmış köşe ve yüzeyler elde etmede kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, iki yollu bir AFM makinesinin şase konstrüksiyon, hidrolik devre ve elektronik kontrol ünitesi tasarlanarak imalatı ve montajı yapılmıştır. AFM makinesinin performansı için bir iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğünün, aşındırıcı akışkan (macun) içerisindeki parçacık yoğunluğu, direnç basıncı, macun hızı ve çevrim sayısına göre değişimi araştırılmıştır. Ayrıca GGG 40 malzemeden imal edilen tekli yön kontrol valfinin yağ kanallarının iç yüzeyleri AFM yöntemi uygulanarak pürüzlü ve keskin köşeler daha pürüzsüz ve yuvarlatılmış olarak elde edilmiştir. Bunun için iç yüzeylerdeki keskin köşelerden ve yüzeylerden fotoğraf ve SEM görüntüsü alınarak AFM öncesi ve sonrası olan değişimler incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda macun hızı ve direnç basıncı sabit tutulduğunda parçacık yoğunluğu arttıkça daha az çevrim sayısında yeterli yüzey pürüzlülüğü elde edildiği görülmüştür. Aynı parçacık yoğunluğunda çevrim sayısı artıkça yüzey pürüzlülük değerinin düştüğü ve belirli bir çevrim sayısından sonra ise yüzey pürüzlülüğünde kayda değer bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AFM, Alışılmamış imalat yöntemi, Aşındırıcı akışkan (macun), yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON THE SURFACE QUALITY OF HYDRAULIC VALVES OIL CHANNELS BY AFM

Mahmut Sami ŞAHİN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Ahmet AVCI

2012, 60 Pages

Jury
Prof. Dr. Ahmet AVCI
Prof. Dr. Hacı SAĞLAM
Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Abrasive flow machining (AFM) is an advanced surface finishing process that is used for deburr, polish, radius and to produce compressive residual stresses even in inaccessible surface areas.

In this study, a two-way abrasive flow machining is constructed with hydraulic circuit, electronic control unit. To examine the performance of AFM, variations of surface roughness of a workpiece in terms of particle concentration in abrasive medium, resistance pressure, medium velocity and number of cycle are investigated. In addition, inner sharp and rough edges of oil channel of the single directional control valve made of GGG 40 are obtained to be smoother and rounded by applying AFM. The pictures and SEM images of these smoother and rounded surfaces before and after AFM process are presented.

As result of the experiment, sufficient surface roughness is obtained in less number of cycle with increasing particle concentration in abrasive medium when values of resistance pressure, medium velocity are keep constant. The surface roughness value decrease with increasing the number of cycle in the same particle concentration. it is determined that surface roughness value is not a significant change after a certain number of cycle.

Keywords: AFM, unconventional manufacturing method, abrasive medium, surface roughness.

ÖNSÖZ

Yüzey işlem kalitesindeki beklentiler günümüzde giderek artmıştır. Üretimde talepler gittikçe yükseliyor, doğru ve hassas bir çalışma isteniyor. Toleranslar daha düşük, parçalar ise uzun ömürlü ve kaliteli olması gerekiyor.

Klasik yüzey işlemleri (lebleme, honlama, vb.) genellikle düz ve silindirik gibi basit geometriler ile sınırlı olup, özellikle ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıpları gibi karmaşık şekillerin işlenmesinde büyük problemler doğurmaktadır. Karmaşık şekilli yüzeylerin elle işlenmesinden dolayı, yüzey pürüzlülüğü ve doğrusallığı, köşe ve yuvarlatmalar istenilen hassasiyette ve homojen olarak elde edilememektedir. Elle işleme, hem yetenekli ve tecrübeli eleman ve hem de uzun bir süre gerektirmektedir.

Alışılmış imalat yöntemlerinin doğası gereği talaş kaldırma ilkelerine göre, uygulamadaki bu sınırlamaları ve uygulama içindeki zayıflıkları tümüyle ortadan kaldırmak mümkün görülmemektedir. İşte tam da bu noktada bilinen imalat yöntemlerinin dışında, sınırlama ve zayıflıkları ortadan kaldıran yeni teknolojik arayışlar sonucunda Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin bulunması ve geliştirilmesi mümkün olmuştur.

Alışılmamış imalat yöntemlerden biri olan AFM taleplere karşılık verebiliyor. AFM yöntemi sayesinde metal parçaların çapak alma, kenar yuvarlama, parlatma vb. yüzey işlemleri verimli bir şekilde yapılabilmektedir. 2. Dünya savaşından sonra gelişerek uygulama alanı bulmuş bu tür imalat yöntemleri, işleme mekanizması olarak alışılmış imalat yöntemlerinden tamamen farklı özelliklere sahip, yeni teknolojide vazgeçilmez ve birincil derecede rol oynayan işleme yöntemleridir. Bu yöntemler işleme metotlarının farklı olması ve tasarım mühendisliğine sağladıkları imkânlar ile günümüz ekonomisinde çok önemli etkisi olan minyatürleşme, olağanüstü malzemeleri kullanabilme ve esnek üretim imkânları sağlamışlardır. Yöntemler üzerindeki Ar-Ge çalışmaları ise halen devam etmektedir.

Yüksek Lisans öğrenim süresince çalışmalarıma yön veren, değerli zamanlarını harcayan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgisi ve tecrübesinden her zaman istifade ettiğim, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet AVCI' ya göstermiş olduğu sabır ve güvenden dolayı teşekkür eder saygılarımı sunarım. Ayrıca yüksek lisans dönemi boyunca bana her türlü desteği sağlayan Sayın Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR'e, Sayın Doç. Dr. Ali KAHRAMAN'a ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bana her türlü çalışmalarımda destek olan, sevgili EŞİM'e aileme ve çocuklarıma hayatım boyunca yaptıkları fedakârlıklardan, sonsuz sabır ve anlayışlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Mahmut Sami ŞAHİN
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Geleneksel İmalat Yöntemleri **1**

1.2. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması **2**

1.2.1. Malzemeyi İşlemek İçin Kullandıkları Enerjiye Göre Sınıflandırma 4
1.2.1.1. Mekanik Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri 4
1.2.1.2. Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri 5
1.2.1.3. Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri 5
1.2.1.4. Isı Enerjisi Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri 5
1.2.2. Yöntemin Uygulandığı Tezgah Yapısına Göre Sınıflandırma 6
1.2.3. Endüstriyel Uygulamaların Yaygınlığına Göre Sınıflandırma 7

1.3. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Üstünlükleri **8**

1.3.1. Malzeme İşlenebilirliği 8
1.3.2. İş Parçası Şekli 9
1.3.3. Otomatik Veri Aktarımı 9
1.3.4. Hassasiyet İstemleri 10
1.3.5. Minyatürleşme 10

1.4. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Kullanım Ölçütleri **10**

1.4.1. Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen Malzeme Özellikleri 11
1.4.2. Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen İş Parçası Şekilleri 11
1.4.3. Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen İş Parçası Özellikleri 11

1.5. Aşınma **12**

1.5.1. Adhezyon Aşınma (Yapışma Aşınması) 12
1.5.2. Abrazyon (Abrasive) 13
1.5.3. Yorulma Aşınması 13
1.5.4. Korozyon Aşınması 13
1.5.5. Delaminasyon (kavkıma) Aşınması 14
1.5.6. Kavitasyon Aşınması 14

1.6. Aşındırıcı Akışkan ile Yüzey İşleme (AFM) **14**

1.6.1. Tek Yönlü AFM 16
1.6.2. İki Yönlü AFM 16
1.6.3. Orbital AFM Prosesi 17
1.6.4. AFM Aşındırıcı Macun (Medya) 18
1.6.5. AFM Çalışma Prensibi 23
1.6.6. Makine Kapasiteleri 24
1.6.7. Kullanım Alanları 25
1.6.8. Avantajları 26

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 27

3. MATERYAL VE YÖNTEM 30

3.1. Materyal 30
3.1.1. AFM Makinesinin Gövde Tasarımı ve İmalatı 30
3.1.2. AFM Makinesinin Hidrolik Devresi Tasarımı ve İmalatı 37
3.1.3. İş Parçasının Özellikleri 39
3.1.4. Medya (Macun) Özellikleri 40
3.1.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri 40
3.2. Metot 41

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 43

4.1. Çevrim Sayısı ve Aşındırıcı Oranının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi 43
4.2. Macun ve Aşındırıcı Karışımının İdeal oranları 48
4.3. AFM Metodu İle Hidrolik Valfin İç Yüzeyinden Talaş Kaldırma İşlemi 48
4.4. AFM Metodu İle İşlenmiş Yön Denetim Valfinin İç Yüzeyindeki SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Sonuçları 51

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 57

5.1. Sonuçlar 57
5.2. Öneriler 58

KAYNAKLAR 59

ÖZGEÇMİŞ 61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ΔP: Basınç farkı

P_d : Direnç basıncı

P_m : Macun basıncı

s : Strok

R_a : Ortalama yüzey pürüzlülüğü

V_m: Macun hızı

Kısaltmalar

AFM : Aşındırıcı Akışkanla Yüzey İşleme

GGG : Küresel grafitli dökme demir

HSS : Yüksek hız çeliği (High Speed Steel)

SEM :Scanning Electron Microscope

1. GİRİŞ

1.1. Geleneksel İmalat Yöntemleri

Alışılmamış imalat yöntemlerinin teknolojik ve ekonomik gelişim nedenlerini daha iyi anlamak için geleneksel imalat yöntemlerinin incelenmesinde fayda vardır.

Geleneksel imalat yöntemlerinin bazı ortak özellikleri şöyle sıralanabilir (Erdem, 2008):

- Malzemeden talaş kaldırma işlemi, torna kalemi, freze çakısı, taşlama taşı gibi kesici takımlar kullanarak yapılır. Mekanik kuvvet kullanılarak ve zorlama ile genellikle malzeme içinde plastik deformasyon ve kayma gerilmeleri yaratarak, malzeme üzerinden talaş kaldırılır. Gerilme ile talaş kaldırma tüm geleneksel yöntemlerin ortak özelliğidir.
- Kesici takım ile iş malzemesi arasında talaş kaldırma işlemi sırasında sürekli olarak birbiri ile fiziksel temas halinde olup, her ikisi arasında göreli olarak hareket vardır.
- Talaş kaldırma işlemi özellik olarak, geleneksel yöntemlerin işleme özellikleri ve sınırları, iş malzemesinin mekanik özellikleri ile sınırlıdır. Akma gerilmesi yüksek olan malzemelerin, geleneksel yöntemlerle işlenmesinde önemli sorunlar olabilir. Bu sorunların çözümü için çok pahalı ve özel takımlar gerekebilir, bazı durumlarda ise tamamen imkânsızdır.
- Takım ve iş malzemesi arasındaki bağlantılı hareket, ya düzlemsel/doğrusal ya da daireseldir. Bu durumda elde edilen iş malzemesi yüzeyleri de, düzlem ya da silindirik olmaktadır. Böylece geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilebilecek iş parçası şekilleri sınırlı kalmaktadır.
- Takım ile malzeme arasındaki fiziksel temas ve kuvvet uygulanma zorunluluğu nedeni ile takım boyutlarının çok küçük olması mümkün değildir. Bu nedenle küçük boyutlu işlerin geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor veya imkânsızdır. Benzer nedenlerle çok büyük boyutlu işlerin de işlenmesi güçtür. Geleneksel yöntemler daha çok orta boyutlu işler için uygundur.
- Geleneksel yöntemler çok uzun yıllardır kullanılmakta olduklarından, teknoloji birikimi çok yüksektir. Bu nedenle geleneksel yöntemleri kullanan tezgâhlar basit ama yüksek verimlidir. Kullanıcı eğitimi de çok kolaydır.

Geleneksel yöntemlerin doğal sınırlamalar dışında, esneklikleri çok yüksektir. Özellikle bilgisayar teknolojisinin kullanılması ile birlikte otomasyona uygun tezgâh üretimi mümkün olmuştur. (Erdem, 2008)

Alışılmış imalat yöntemlerinin ortak bazı sınırlamaları ve zayıflıkları şunlardır:

- Takım aşınması kaçınılmazdır.
- Takım aşınmasının önceden tahmini çok zordur.
- Takım malzemesi, iş malzemesinden daha sert ve daha yüksek nitelikli olmalıdır. Bu durum iş malzemelerinin çeşidini sınırlar.
- Yüksek dayanımlı malzemeler için yüksek kesme kuvvetleri gerekir. Bu durum hassasiyet sorunları ile birlikte tezgâh tasarımında önemli kısıtlamalar ve teknolojik sorunlar yaratır.
- İşleme hızı malzeme dayanımı ile ters orantılıdır. Bu durum yeni gelişen üstün nitelikli malzemelerin kullanımını kısıtlar.
- Kesme bölgesindeki ısınma işleme hızını etkiler ve sınırlar.
- Talaş kaldırma sadece doğrusal ve dairesel olabilir.
- Takım titreşimi her zaman önemli bir sorun olur.
- Kesici takımların küçük boyutlarda üretimi mümkün değildir. Bu durum ise iş boyutlarını sınırlar.

1.2. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Son yıllardaki değerlendirmelere göre geleneksel olmayan yöntemlerin toplam sayısı 70-80 dolaylarındadır. Bunlardan 50-55 kadarı laboratuvar aşamasını geçmiş ve endüstride uygulama alanı bulabilmiştir. Diğerleri ise henüz laboratuvar aşamasında, çok özel koşullarda özel işler ve işlemler için kullanılmaktadır. Bunların bir kısmı hakkında teknolojik gizlilik nedeni ile yayınlanmış bilgi bulunmamaktadır. Alışılmamış imalat yöntemleriyle işleme süresinde ve imalat esnasında ortaya çıkan fire (hasarlı ürün) sayısında da bir azalma olmaktadır. Hassas parçaların son işlemi, toplam işlem maliyetinin yaklaşık %15'lik bir bölümünü oluşturmaktadır ki bu işlem maliyeti açısından önemli bir engel olarak ortaya çıkmaktadır.

Alışılmamış imalat yöntemleri, literatürde, İngilizce isimlerinin baş harfleri ile anılırlar. Halen çeşitli düzeylerde uygulama bulmuş yöntemlerin listesi Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 1. Laboratuar aşamasını geçerek endüstriyel uygulama bulan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

No	Alışılmamış İmalat Yöntemi	Simge	İngilizce isim
1	Aşındırıcı Akış ile işleme	AFM	Abrasive Flow Machining
2	Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
3	Basınçlı Su Jeti ile İşleme	WJM	Water Jet Machining
4	Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
5	Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
6	Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama	AWJT	Abrasive Water Jet Turning
7	Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Low Stress Grinding
8	Sünek İlerlemeli Taşlama	CFG	Creep Feed Grinding
9	Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Thermally Assisted Machining
10	Tümden Şekil İşleme	TFM	Total Form Machining
11	Ultrasonik (Ses Ötesi) İşleme	USM	Ultrasonic Abrasive Machining
12	Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Rotary Ultrasonic Machining
13	Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Powder Particle Machining
14	Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Elastic Emission Machining
15	Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Magnetic Abrasive Polishing
16	Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
17	Elektro Kimyasal Çapak Temizleme	ECDB	Electrochemical Deburring
18	Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
19	Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
20	Elektro Kimyasal Erozyon Taşlama	ECDG	Electrochemical Discharge Grinding
21	Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
22	Elektro Kimyasal Lepleme	ECL	Electrochemical Lapping
23	Elektro Kimyasal Parlatma	ECP	Electrochemical Polishing
24	Elektro Kimyasal Bileme	ECS	Electrochemical Sharpening
25	Elektro Kimyasal Dilme	ECS	Electrochemical Slitting
26	Elektro Kimyasal Tornalama	ECT	Electrochemical Turning
27	Elektro Kimyasal Sıvı Jeti	ES	Electrochemical Stream
28	Şekilli Boru ile Elektrolitik İşleme	STEM	Shaped Tube Electrolytic Machining
29	Telli Elektro Kimyasal Kesme	WECM	Wire Electrochemical Machining
30	Vurumlu Elektro Kimyasal İşleme	PECM	Pulsed Electrochemical Machining
31	Telli Elektrokimyasal Erozyon İşleme	WECDM	Wire Electrochemical Discharge Mach.
32	Elektro Parlatma	ELP	Electro-Polishing
33	Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining (Milling)
34	Fotokimyasal İşleme	PCM	Photochemical Machining
35	Kimyasal Boşaltma	CHB	Chemical Blanking
36	Kimyasal Dağlama	CHE	Chemical Etching
37	Isıl Kimyasal İşleme	TCM	Thermo Chemical Machining
38	Lazer Yüklemeli Kimyasal İşleme	LCP	Laser Loaded Chemical Machining
39	Patlamalı Kimyasal İşleme	CM	Combustion Machining
40	Isıl Enerji Yöntemi	TEM	Thermal Energy Method
41	Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining
42	Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
43	Elektro Erozyon ile Taşlama	EDG	Electric Discharge Grinding
44	Elektro Erozyon Testere	EDS	Electric Discharge Sawing
45	Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
46	Dönel Elektro Erozyon	REDM	Rotary Electric Discharge Machining
47	Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
48	Lazerli Hamlaç	LBT	Laser Beam Torch

49	Lazer Yüklemeli Kimyasal İşleme	LCP	Laser Induced Chemical Processing
50	Plazma ile İşleme	PAM	Plasma Beam (Arc)Machining
51	Plazma Yardımlı İşleme	PaM	Plasma Assisted Machining
52	Elektro Temas ile İşleme	EcM	Electro Contact Machining
53	İyon Işını ile İşleme	IBM	Ion Beam Machining
54	İyon Işını ile Sıçratma İşleme	IBSM	Ion Beam Sputter Machining
55	Tepkimeli İyon Işını ile İşleme	RIBE	Reactive Ion Beam Etching
56	İyon Işını ile Tohumlama	IBIP	Ion Beam Implantation Process

1.2.1. Malzemeyi İşlemek İçin Kullandıkları Enerjiye Göre Sınıflandırma

Alışılmamış İmalat yöntemleri yaygın olarak malzemeyi işlemek için kullandıkları enerjiye göre sınıflandırılırlar.

1.2.1.1. Mekanik Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

İş parçası üzerinden malzeme işlemek için mekanik enerji kullanan yöntemlerdir. Çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme yaratması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su veya havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerinin, elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğüdür. Mekanik enerjili yöntemlerin içinde en geniş endüstriyel uygulama alanı bulmuş yöntemler USM (UAM), AWJM, WJM, AJM yöntemleridir. Diğer yöntemler özel endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu gruba giren yöntemler Çizelge 1. 2'de verilmiştir (Erdem, 2008).

Çizelge 1. 2. Mekanik Enerji kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

İsim	Simge	İşleme Ortamı
Aşındırıcı akış ile işleme	AFM	Yarı sıvı macun ve aşındırıcı parçacıklar
Aşındırıcı jet ile işleme	AJM	Sıvı (Su) ve aşındırıcı parçacıklar
Hidrodinamik işleme	HDM	Sıvı, genellikle Polymer katkılı su
Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Sıvı, genellikle Polymer katkılı su
Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama	AWJT	Sıvı, genellikle Polymer katkılı su
Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Fiziksel temas
Sünek İlerlemeli Taşlama	CFG	Fiziksel temas
Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Yüksek sıcaklıklar
Tümden Şekil İşleme	TFM	Fiziksel temas
Ultrasonik (Sesötesi) İşleme	USM	Su içinde aşındırıcı parçacıklar
Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Aşındırıcı parçacık kaplı takım ve su akışı
Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Gaz (Hava) akışı içinde aşındırıcı toz
Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Aşındırıcı toz ve statik elektrik
Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Aşındırıcı toz ve manyetik ortam

1.2.1.2. Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Kimyasal enerji kullanan alışılmamış imalat yöntemlerinin ortak özelliği, kontrollu kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenebilmesidir. Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür veya iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı ve/veya derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025 mm/dak doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır. Bu grup imalat yöntemlerine giren başlıca 4 işleme yöntemi vardır, bunlar:

- Kimyasal İşleme (Frezeleme) (ChM)
- Fotokimyasal İşleme (PCM)
- Kimyasal Parlatma (ELP)
- Isıl Kimyasal İşleme (TCM)'dır.

1.2.1.3. Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Bu yöntemler elektrolitik bir sıvı içinde bulunan iki iletken elektrotun farklı elektromanyetik alan özelliklerine göre aşındırılması ilkesine dayanır. Düşük gerilim (6-12-24 V) ve yüksek akım (1000, 3000 ve daha yüksek A) koşulları uygulanır. Yöntemin çok değişik endüstriyel uygulamaları vardır.

1.2.1.4. Isı Enerjisi Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri

İş parçasından malzeme kaldırmak (işleme) için yoğunlaştırılmış ısıl enerji kullanan yöntemlerdir. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron ışını (hüzmesi) ve lazer ışını gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bütün yöntemlerde malzeme yüzeyinde oluşan odak noktasında ulaşılan sıcaklıklar, bilinen bütün malzemelerin erime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısıl enerji kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemeleri işlemek mümkündür. Bu gruba giren yöntemler, işleme mekanizması bakımından diğer gruplara göre daha fazla çeşitlilik gösterirler. Grup içinde özellikle Elektro-Erozyon (EDM) ve Lazer ile İşleme (LBM) çağdaş

teknolojide çok önemli bir yer almıştır. Diğer yöntemlerin de (EBM, PAM) endüstriyel uygulamaları çok fazladır (Erdem, 2008).

1.2.2. Yöntemin Uygulandığı Tezgah Yapısına Göre Sınıflandırma

Bir başka sınıflandırma yöntemi de, yöntemin uygulandığı tezgâh yapısına göre olabilir. Bu sınıflandırmanın alt bölümleri çizelge 1.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. 3. Yöntemin Uygulandığı Tezgah Yapısına Göre sınıflandırmanın Alt Bölümleri

Şekilli Üç Boyutlu Elektrot Kullanarak İşleme Yapan Yöntemler		
Ultrasonik (Sesteşi) İşleme	USM	Su içinde aşındırıcı parçacıklar
Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
Vurumlu Elektro Kimyasal İşleme	PECM	Pulsed Electrochemical Machining
Elektro Kimyasal Parlatma	ECP	Electrochemical Polishing
Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
Tel/boru Elektrot Kullanarak Malzeme Kesen Yöntemler		
Şekilli Boru ile Elektrolitik İşleme	STEM	Shaped Tube Electrolytic Machining
Telli Elektro Kimyasal Kesme	WECM	Wire Electrochemical Machining
Telli Elektrokimyasal Erozyon İşleme	WECDM	Wire Electrochemical Discharge Mach.
Elektro Kimyasal Bileme	ECS	Electrochemical Sharpening
Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
Elektro Kimyasal Tornalama	ECT	Electrochemical Turning
Nozul vb. Takımlar Kullanarak Göreceli Uzaktan İşleme Yapan Yöntemler		
Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
Basınçlı Su Jeti ile İşleme	WJM	Water Jet Machining
Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Powder Particle Machining
Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Magnetic Abrasive Polishing
Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Elastic Emission Machining
Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
Lazerli Hamlaç	LBT	Laser Beam Torch
Bir Ortam İçinde Zamana Bağlı Olarak İşleme Yapan Yöntemler		
Aşındırıcı Akış ile işleme	AFM	Abrasive Flow Machining
Elektro Kimyasal Sıvı Jeti	ES	Electrochemical Stream
Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining (Milling)
Isıl Kimyasal İşleme	TCM	Thermo Chemical Machining
Alışılmış Yöntemlerin Takımlarına Benzer Takımlar Kullanan Yöntemler		
Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Low Stress Grinding
Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Thermally Assisted Machining
Tümden Şekil İşleme	TFM	Total Form Machining
Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
Elektro Kimyasal Erozyon Taşlama	ECDG	Electrochemical Discharge Grinding
Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
Elektro Kimyasal Parlatma	ECP	Electrochemical Polishing
Elektro Kimyasal Bileme	ECS	Electrochemical Sharpening
Elektro Erozyon Testere	EDS	Electric Discharge Sawing
Dönel Elektro Erozyon	REDM	Rotary Electric Discharge Machining

Yukarıda verilen bütün sınıflandırma ölçütleri çok kesin olmamakla birlikte, yöntemler hakkında genel bir fikir verebilmektedir. Güncel endüstriyel ve teknolojik durumu ve yakın gelecekteki gelişme potansiyeli göz önüne alındığında, EDM ve LBM en önemli iki işleme yöntemi gibi görünmektedir. Ayrıca WEDM, PCM, AJM, WJM kendi uygulama alanlarında çok önemli ve vazgeçilmez yöntemlerdir. Temel ilkeler göz önüne alındığında ise gelecek yıllarda giderek önem kazanma potansiyeli olan yöntemler ise ECM ve diğer elektrokimyasal enerji kullanan yöntemlerdir. PPM ve benzer bazı yöntemler ise tümüyle firma tekelinde görülmektedir. AFM benzeri yöntemler ise özel uygulamalarda çok başarılı olmuşlar ancak bu uygulamalar ile sınırlı kalmışlardır (Erdem, 2008).

1.2.3. Endüstriyel Uygulamaların Yaygınlığına Göre Sınıflandırma

Geleneksel olmayan işleme yöntemlerini, endüstriyel uygulamalarının yaygınlığına göre de sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmanın alt bölümleri çizelge 1. 4'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. 4. Endüstriyel Uygulamaların Yaygınlığına Göre Sınıflandırma Alt Bölümleri

Endüstride Çok Yaygın Olarak Kullanılan Ve Tezgâh Birimleri Standart Ürün Olarak Üretilen Yöntemler		
Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
Basınçlı Su Jeti ile İşleme	WJM	Water Jet Machining
Ultrasonik (Ses Ötesi) İşleme	USM	Ultrasonic Abrasive Machining
Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining (Milling)
Fotokimyasal İşleme	PCM	Photochemical Machining
Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining
Plazma ile İşleme	PAM	Plasma Beam (Arc) Machining
Önceki Gruba Göre Daha Az Kullanılan Yöntemler		
Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Thermally Assisted Machining
Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
Aşındırıcı Su Jeti ile İşleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Rotary Ultrasonic Machining
Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
Elektro Kimyasal Erozyon Taşlama	ECDG	Electrochemical Discharge Grinding
Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
Elektro Kimyasal Dilme	ECS	Electrochemical Slitting
Elektro Kimyasal Sıvı Jeti	ES	Electrochemical Stream
Şekilli Boru ile Elektrolitik İşleme	STEM	Shaped Tube Electrolytic Machining
Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining

Elektro Erozyon ile Taşlama	EDG	Electric Discharge Grinding
Lazerli Hamlaç	LBT	Laser Beam Torch
Endüstride Özel İşler İçin Kullanılan Yöntemler (Genellikle Firma Tekelindedir)		
Toz Parçacıkları ile İşleme	PPM	Powder Particle Machining
Elastik Emisyon ile İşleme	EEM	Elastic Emission Machining
Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Low Stress Grinding
Tümden Şekil İşleme	TFM	Total Form Machining
Aşındırıcı Akış ile işleme	AFM	Abrasive Flow Machining
Elektro Parlatma	ELP	Electro-Polishing
Isıl Kimyasal İşleme	TCM	Thermo Chemical Machining
Elektro Erozyon Testere	EDS	Electric Discharge Sawing

1.3. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Üstünlükleri

Bütün alışılmamış imalat yöntemlerinin kendi malzeme işleme mekanizmalarına ve teknolojik gelişmişliklerine göre çeşitli düzeylerde üstünlükleri ve sınırlamaları bulunmaktadır. Alışılmamış imalat yöntemleri bütün bir grup olarak ele alındığında, bu yöntemlerin ortak özellikleri belirginleşmekte ve buna bağlı olarak alışılmamış imalat yöntemlerinin üstünlük ve sınırlamaları belirlenebilmektedir. Bu kapsamda belirlenen alışılmamış imalat yöntemlerinin alışılmış yöntemlere göre genel düzeyde belirlenmiş üstünlükleri şunlardır:

1.3.1. Malzeme İşlenebilirliği

Metalürji mühendisliğinde son yıllarda yaşanan gelişmeler sonunda alışılmış mühendislik malzemelerinden çok daha iyi özelliklere sahip yeni malzemeler geliştirilmiş ve tasarım ve imalat mühendislerinin kullanımına sunulmuştur. Bu gelişmeler özellikle elektronik ve havacılık endüstrisinde yaşanmış ve teşvik edilmiştir. Geliştirilen yeni malzemeler alışılmış malzemelere göre genellikle daha sert ve daha yüksek dayanım özellikleri taşımaktadır. Bu malzemelere örnek olarak seramik ve seramik tabanlı takım malzemeleri, lif destekli kompozit malzemeler, karbidler, titanyum vb. malzemeler verilebilir. Yeni malzemelerin alışılmış takımlarla işlenmesinde karşılaşılan zorluklar imalat mühendislerini yeni imalat yöntemleri aramaya ve geliştirmeye yönlendirmiştir. Yeni imalat yöntemlerinin yeni malzemelerin sertlik, dayanım ve diğer mekanik özelliklerinden etkilenmemesi için işleme mekanizmasında ısıl enerji, elektrik enerjisi veya atomik boyutta mekanizmaların

kullanılması sağlanmış ve böylece yeni malzemelerin işlenebilmesi başarılmış ve kullanımı yaygınlaşmıştır (Erdem, 2008).

1.3.2. İş Parçası Şekli

Alışılmış imalat yöntemleri kesici takımlara verilen hareketlerin sınırlı olması nedeni ile birkaç ayrıcalık dışında düz yüzey veya silindirik yüzeylerle sınırlıdır. Buna örnek olarak, dairesel deliklerin alışılmış yöntemlerle delinmesi veya açılması çok kolay olmasına karşın, dairesel olmayan (Örneği kare delik) delinmesi çok zordur. Bu sınırlama birçok durumda tasarım değişikleri ile çözülmeye çalışılsa da her zaman için önemli bir sınırlama olmaktadır. Buna karşın dairesel olmayan deliklerin alışılmamış imalat yöntemleri ile delinmesi veya açılması dairesel delikler kadar kolay ve basit bir işlemdir. Benzer şekilde alışılmış yöntemlerle ulaşılamayan alanların işlenmesi, çok küçük boyutlu hacimlerin işlenmesi, çok küçük boyutlu deliklerin delinmesi alışılmamış imalat yöntemleri için kolay ve basit uygulamalar olmaktadır.

1.3.3. Otomatik Veri Aktarımı

Alışılmış yöntemler temel olarak mekanik kuvvet uygulaması ilkesine dayandığı için, kesme, tezgâh ve takım kuvvetlerinin teknolojik NC, CNC, CAD/CAM veya CIM gibi modern denetim sistemlerine veri ve bilgi aktarılmasında zorluklar bulunmaktadır. Anılan denetim sistemlerinin imalat mühendisliğinde çok önemli olumlu katkılar yaptığı ve imalat giderlerini azalttığı bilindiğinden bu yöntemlerin uygulamasının yaygınlaşması istenmektedir. Alışılmamış imalat yöntemleri işleme mekanizmalarının gereği veri aktarımına uygun özellikler taşımaktadır. Bu nedenle de modern denetim teknolojilerine kolay uyum sağlanabilmiştir. Hemen bütün alışılmamış imalat yöntemleri gelişme aşamalarında bu yöntemleri uygulamış ve bu yöntemlerin sağladığı üstünlükleri kullanmışlardır.

1.3.4. Hassasiyet İstemleri

Tasarım mühendisliği ve müşteri taleplerinin eğilimi giderek daha hassas malzeme işleme mekanizmaları gerektirmektedir. Bu eğilimin önümüzdeki yıllardaki beklentisi alışılmış talaş kaldırma boyutlarının çok altında, atomik parçacıklar düzeyinde işleme imkanının sağlanmasıdır. Nanoteknoloji olarak bilinen bu boyutlarda alışılmış yöntemlerin ve hatta bazı alışılmamış yöntemlerin de kullanılma imkanı kalmamakta, bu yöntemlerin yerini atom düzeyinde parçacıkların yer değiştirmesine dayalı işleme yöntemleri almaktadır. Bu olağanüstü durum gerek yeni tasarımlarda ve gerekse ürün bazında müşteri beklentilerinde devrim yaratacak bir niteliktedir. Bazı alışılmamış yöntemlerin ise malzemeleri ince yüzey tabakalarında işleme imkanı vermesi sonucu yine alışılmış yöntemlere göre karşılaştırma yapılamayacak düzeyde hassas işleme imkanı sağlamaktadır. Sağlanan bu hassas işleme imkanlarının doğal sonucu olarak giderek ürün nitelikleri ve buna bağlı performansları değişmiş ve gelişmiştir.

1.3.5. Minyatürleşme

Son yıllarda gözlenen bir başka eğilim ise giderek iş parçası boyutlarının küçülmesidir. Bunun sonucu olarak daha az malzeme kullanılmakta ve daha hızlı işleme sağlanmaktadır. Bu durumda imalat maliyetleri azaltıldığı gibi çok daha iyi nitelikli fakat pahalı malzeme kullanma olanağı doğmaktadır. Ayrıca gelişen mikro makineler ile daha önce olanaksız olarak kabul edilen yeni uygulama alanları ve teknolojiler yaratılmıştır. Gelişen duyucu (sensör) teknolojisi ile bu eğilim daha da kuvvetlenmiştir. Bugün çok küçük boyutlu sensörlerin ve motorların mekatronik kavramlar çerçevesinde entegrasyonu ile daha önceleri yapımı imkansız kabul edilen birçok ürün geliştirilmiş ve kullanılmaktadır.

1.4. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Kullanım Ölçütleri

Alışılmamış İmalat Yöntemleri, alışılmış yöntemlere göre daha pahalı ve kullanımı özel uzmanlık isteyen yöntemlerdir. Bu nedenle alışılmamış imalat yöntemlerinin

kullanımına karar verilebilmesi için aşağıdaki ölçütlerden en az birinin sağlanması gerekir.

- Sert, yüksek dayanma veya kırılganlık gibi mekanik özellikler,
- Karmaşık geometri, küçük boyut ve yüksek hassasiyet,
- Olağan işparçalarına göre çok küçük boyutlar.

Bu ölçütlerin özet teknolojik özellikleri aşağıda verilmiştir:

1.4.1. Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen Malzeme Özellikleri

- Alaşım olarak veya ısıl işlem sonrası yüksek yüzey sertlik değerleri,
- Yüksek çekme, kayma vb. dayanım değerlerine sahip alaşımlar,
- Seramik, Cam, yarıiletkenler gibi aşırı kırılgan malzemeler,

1.4.2. Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen İş Parçası Şekilleri

- Düzlem ve silindir dışındaki geometriler,
- Üç boyutlu şekiller,
- Dairesel olmayan delikler,
- Ucu açık olmayan delikler ve oyma işlemleri,
- Dar kanallar, küçük çaplı delikler,
- Derin delikler (Derinlik/Çap oranı yüksek), Dar kanallar (Derinlik/Genişlik oranı yüksek),
- İnce saç malzemeden yapılması gereken işler,

1.4.3. Alışılmamış İmalat Yöntemleri İçin Tercih Edilen İş Parçası Özellikleri

- Birkaç μm dolaylarında boyutlarda delik delme, kanal açma vb. işlemler,
- μm altındaki boyutlarda işleme imkanı,
- Çok düşük kesme aralığı ile saç ve levha kesme,
- Geniş yüzeylerde μm mertebesinde yüzey işleme, μm altındaki boyutlarda son işlemler ve parlatma işlemler (Erdem, 2008)

1.5. Aşınma

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirlerine göre izafi hareket yapan sürtünme halindeki cisimlerin yüzeylerinde, sürtünme etkisiyle oluşan ve duruma göre genellikle istenilmeyen malzeme ve kütle kaybıdır.

Aşınma sonucu makine elemanlarının şekillerinde, yüzey kalitelerinde ve boyutlarında değişiklikler meydana gelir. Malzemelerin aşınma sebeplerini ve mekanizmalarını doğru bir şekilde anlayabilmek için aşınma olayına etkiyen ana faktörleri, yani aşınan malzemeyi, aşındırıcı malzemeyi, yağlama durumunu, izafi hareketi ve yük durumunu bilmek gerekir. Bu faktörler bilindiği takdirde aşınma istenilen doğrultuda yönetilebilir.

Belli başlı aşınma mekanizmaları; adhezyon aşınması (yapışma), abrazyon (abrasive) aşınması, yorulma (pitting), korozyon, delaminasyon (kavkıma) ve kavitasyon şeklinde sıralanabilir. Korozyonun mekanik değil, kimyasal ve elektrokimyasal bir aşınma türü olduğu unutulmamalıdır.

1.5.1. Adhezyon Aşınma (Yapışma Aşınması)

Birbiriyle temasta olan iki cismin gerçek temas yüzeyleri yüzey pürüzlüğü sebebiyle aslında çok çok küçük olduğundan, gerçek temas yüzeyine normal kuvvet sebebiyle etkiyen basınç oldukça büyük değerler alır. Bu noktalardaki gerilmeler çok küçük yük durumlarında dahi akma gerilmesi sınırına erişirler ve akarak plastik deformasyona uğrarlar. Plastik deformasyona uğrayan bu yüzeyler üzerinden cisimler, birbirine mikro kaynaklar ile bağlanırlar. Bu sırada iki cisim arasında devam eden izafi hareket sebebiyle kaynak bağı kopar. Bu kopma sonucu diğer cisme göre yumuşak olan malzemeden imal edilmiş cismin yüzeyinde boşluklar oluşur, diğer yüzeydeyse çıkıntılar meydana gelir ve iki yüzey arasına adhezif parçacıklar dökülür.

Adhezyon aşınması, benzer ve kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana gelmekte ve tüm temas noktalarında meydana gelmemekte, yalnızca bir kısmında oluşmaktadır. Adhezyon aşınması yüzey pürüzlüğünü bozduğu ve adhezif parçacıklara sebep olduğu için abrazyon aşınmasına da zemin hazırlar. Adhezyon aşınması ile abrzayon aşınması aynı anda görülmez. İki yüzey arasına çevre etkisiyle

sert parçacıklar girdiğinde veya adhezif parçacıklar oluştuğunda yani abrazyon aşınması için gerekli koşullar sağlandığında adhezyon aşınması oluşmaz.

1.5.2. Abrazyon (Abrasive)

Yabancı katı parçacıklar, nispeten yüzey sertliği daha düşük olan yüzeye gömülürler. Daha sonra bu parçacıklar sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırırlar. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar. Bu aşınma zamanla o kadar hızlanır ki kısa sürede makine elemanları yüzeyinde hareket yönünde malzeme kaybından ötürü büyük çizikler ve oyuklar oluşur. Aşınma sonucu kopan parçalar da bu mekanizmaya dahil olurlar ve kısa sürede makine elemanları fonksiyonunu yitirir.

1.5.3. Yorulma Aşınması

Yorulma (pitting), dişli çarklar, rulmanlı yataklar, kam mekanizmaları gibi birbirleriyle sürekli temas halindeki yüzeylerde sıkça görülen bir aşınma türüdür. Bu tür makine elemanlarında temas alanları küçük olduğundan temas yüzeylerinde Hertz basınçları meydana gelir. Bu basınçlar sonucu yüzeyin hemen altında kayma gerilmelerine sebebiyet verir. Değişken zorlanmalara maruz bu elemanlarda yorulma olayı başlamış olur.

1.5.4. Korozyon Aşınması

Metal ve alaşımların kararlı halleri olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozulurlar. Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere (zarara) uğrar.

Korozyon, metalik malzemelerin içinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, dışarıdan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelen olaydır.

1.5.5. Delaminasyon (kavkıma) Aşınması

Bir nesnenin başka bir nesne üzerine uyguladığı yükün yüzey altında oluşturduğu gerilmeler o nesnenin gerilme direncinin üzerine çıkarak yüzey altında çatlaklar oluşturulur. Bu çatlaklar yüzey altında ilerleyip yüzeye ulaştıklarında yüzey parçacıklar kavkıma görünümünde serbest kalırlar. Bu aşınma yöntemi "delaminasyon" (Kavkıma) olarak bilinir.

1.5.6. Kavitasyon Aşınması

Kavitasyon veya çukurlaşma, akım makinelerinin fanlarında görülebilen bir sıvı erozyonu türüdür. Kavitasyon buharlaşma basıncının altına düşen basınçlarda akışkan içinde lokal buharlaşmaların vuku bulması, daha sonra bu gaz boşluklarının çevresindeki sıvıyla hızlıca doldurulması ve bu sırada büyük bir basınç dalgası oluşur. Bu basınç dalgası çevresindeki metale oldukça büyük zararlar verir ve kısa zamanda kavitasyon sebebiyle fan kullanılamaz hale gelir.

1.6. Aşındırıcı Akışkan ile Yüzey İşleme (AFM)

AFM yönteminde akışkanlığı düşük içinde aşındırıcı parçacıklar içeren yarı akışkan bir macun kullanılmaktadır. Macun işlem yapılacak malzemenin içinden basınçlı bir şekilde geçirilerek malzeme yüzeyinden talaş kaldırılmaktadır. İş parçasının üzerinden talaş macunun parça üzerinde akış yönünde kaldırılmaktadır. Böylece çektirme işlemi ile ilgili parametrelerin en uygun şekilde ayarlanması mümkün olmaktadır. Akışkan ekstrüzyon yoluyla kalıp yüzeyinin şeklini aldığından bütün yüzeylere eşit bir aşındırma uygulamaktadır.

Yüzey temizleme ve parlatma işlemleri, imalat işlemleri içerisinde en pahalı ve zamanalıcı aşamalardan birisidir. Özellikle hassas ve karmaşık parçaların yüzeylerinin

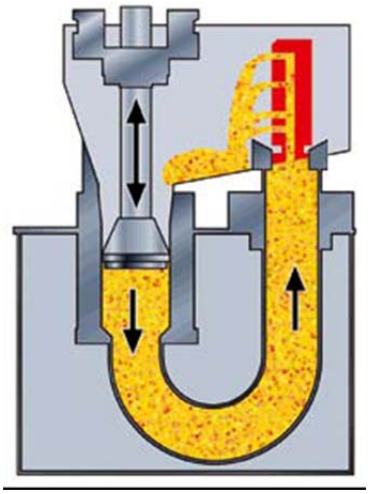
işlenmesi toplam imalat maliyetinin %15'ine kadar yükselmektedir (Gorana ve ark. 2004). Klasik yüzey işlemleri (lebleme, honlama,vb.) genellikle düz ve silindirik gibi basit geometriler ile sınırlı olup, özellikle ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıpları gibi karmaşık şekillerin işlenmesinde büyük problemler doğurmaktadır. Karmaşık şekilli yüzeylerin elle işlenmesinden dolayı, yüzey pürüzlülüğü ve doğrusallığı, köşe ve yuvarlatmalar istenilen hassasiyette ve homojen olarak elde edilememektedir. Elle işleme, hem yetenekli ve tecrübeli eleman ve hem de uzun bir süre gerektirmektedir. Aşındırıcı akışkanla yüzey isleme bütün bu problemlere çözüm arayışının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Aşındırıcı akışkanla yüzey işleme ileri bir yüzey işleme metodu olup, çapak alma, parlatma, dip kenarlarda yuvarlatma ve ulaşılması zor yüzeylerde kalıcı basma gerilmeleri oluşturmakta kullanılmaktadır. 1960'larda hidrolik manifoldların iç kesitlerindeki çapakları alma amacıyla ilk defa uygulanmaya başlanan bu metot, Extrude Hone firmasınca geliştirilerek (Extrudehoneco. 2010)endüstriyel kullanıma sunulmuştur. Dünya genelinde 2000 civarında makinesi mevcut olmasına rağmen, aşındırıcı akışkanla isleme metodu az bilinen işleme metotları arasındadır (Jain ve ark. 2000). Bu konudaki akademik çalışmaların ise 1980'lerden sonra yapılmaya başladığı görülmektedir. Aşındırıcı akışkanla işlemenin prensipleri, aşındırma mekanizması, işlemi etkileyen parametreler, maliyet analizi vb. gibi konulardaki çalışmalar son birkaç yılda literatüre yansımaya başlamıştır. Williams ve Rajurker (1992) basınç ve viskozitenin, aşındırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elektron mikroskobu sonuçlarını değerlendirerek işlemin ilk periyodunda yüzey kalitesinde dikkate değer bir düzelme olduğu yargısına varmışlardır. Rhoades ve ark.(1985,1988,1991) yumuşak alüminyumdan nikel alaşımlarına ve hatta seramik ve karbürlere birçok değişik malzeme üzerinde deneyler yaparak aşındırıcı akışkanla işleme metodunun başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Pryzlenk ve ark. (1986) işleme sıcaklığının aşındırıcı akışkanın özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Aşındırıcı akışkanla işleme metodunun matematik modeli, sonlu elemanlar, yapay sinir ağları gibi metotlarla simülasyonu (Jain ve ark., 1999), ultrasonik dalgaların etkileri (Jones ve ark. 1998), kör deliklerin işlenmesi (Gilmore, 1997) manyetik kuvvetlerin işlem parametrelerine etkileri üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır (Shinmura ve ark. 1995).

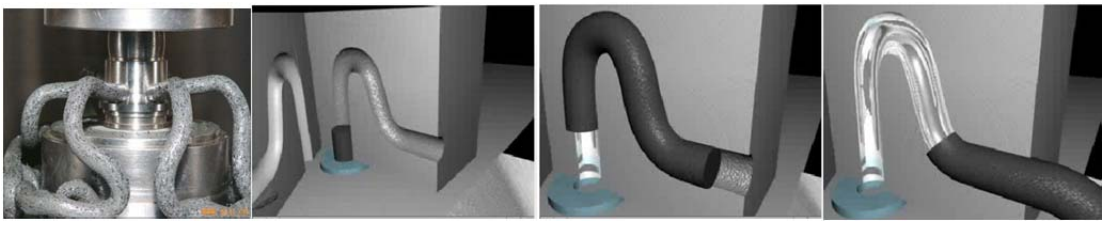
Uygulama yöntemi olarak tek yönlü, iki yönlü ve orbital olarak kullanılmaktadır.

1.6.1. Tek Yönlü AFM

Tek yönlü AFM sistemlerinde tek bir hidrolik silindir ile sadece bir yönde iş parçası üzerinden aşındırıcı medya akışı gerçekleştirilir (Şekil.1.1). Bu sistem basit, çabuk değiştirilebilir takım kullanımı yanı sıra, daha hızlı işlem, kolay temizlik ve takımın yerinden serbestçe çıkması için uygundur. Tek Yönlü AFM uygulama örneği Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Rhoades ve ark.1994),



Şekil.1.1. Tek yönlü AFM şematik görünümü



Şekil 1.2. Tek yönlü AFM nin uygulanması.

1.6.2.İki Yönlü AFM

İki yönlü AFM de ise karşılıklı duran iki silindir arasında medyanın basıncının ayarlanması ile kalıptan geçişi şeklinde sağlanır (Şekil 1.3). Aşındırma medyanın girdiği bütün yüzeylerde oluşur ve en dar bölgelere ulaşılabilir. Ekstrüzyon basıncı 7-200 bar ve bir proses kontrol sistemi sayesinde makine otomatik olarak debi, basınç, hız, parlatma gibi diğer parametreleri düzenler (Rhoades ve ark.1991).

Bu sistemin avantajları; mükemmel proses kontrolü, radüs oluşturmada iyi kontrol, tam otomatik sistem yetenekleri, hızlı kurulum ve çabuk takım değiştirilebilirliği, medyanın çabuk temizlenmesi sayılabilir.



Şekil.1.3.İki yönlü AFM'nin şematik gösterimi

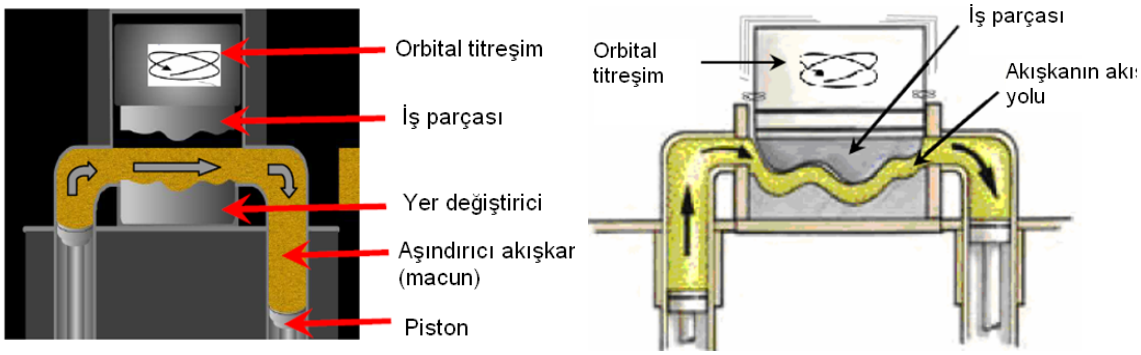
1.6.3. Orbital AFM Prosesi

Orbital AFM prosesin şematik gösterimi Şekil 1.4'de verilmiştir. Bu işlemde iş parçası iki ve üç boyutlu olarak titreşirken AFM aşındırıcı macun belirlenen yolda yavaş bir şekilde yollanır. Orbital AFM prosesinde iş parçasının AFM aşındırıcı macunun akış hızına göre düşük genlik ve hızlı titreşimleriyle iyi bir yüzey pürüzlülüğü ve köşe yuvarlatılması başarılabilir. Bu prosesde kullanılan aşındırıcı macun iki yollu AFM prosesinde kullanılan aşındırıcı macuna benzemekle beraber daha yüksek viskozite ve daha fazla elastiktir.

Orbital AFM prosesinde iş parçası çevrimsel bir harekete tabi tutulur. Üç boyutlu karmaşık bir geometri titreşimli bir şekilde çevirtilirken aşındırıcı macun özellikle iş parçasının yüzeyine boşluk bırakmaksızın temas ederek talaş kaldırmakta ve karmaşık yüzeylerde daha iyi bir yüzey oluşturmaktadır.

Orbital AFM prosesi endüstride uzay araçlarının parçalarından dökme alüminyum tekerleklere kadar bir çok farklı alanda uygulanabilir. Örneğin bozuk para imalatında kullanılan darplama kalıplarının yüzeyi ortalama AFM prosesi ile 7 dakika

içinde 0.5 µm'den mükemmel bir şekilde 0.01 µm'e getirilebilmektedir. Ayrıca tıpta kullanılan proses aletlerinin çok karmaşık yüzeyleri orbital AFM prosesi ile istenilen toleransta kalma suretiyle çok rahat bir şekilde parlatılabilmektedir. Orbital AFM prosesinin kullanıldığı bir başka alan ise sıvı içeceklerin sunulduğu alüminyum kutuların şişirme kalıplarıdır. Bu sayede sadece pürüzsüz güzel bir yüzey parlatması elde edilmiş olmuyor, aynı zamanda parlatma giderlerinde, işçi maliyetlerinde kayda değer bir azalma sağlanıyor.



Şekil1.4. Orbital AFM'nin şematik gösterimi a) prosesden önce b) proses esnasında

1.6.4.AFM Aşındırıcı Macun (Medya)

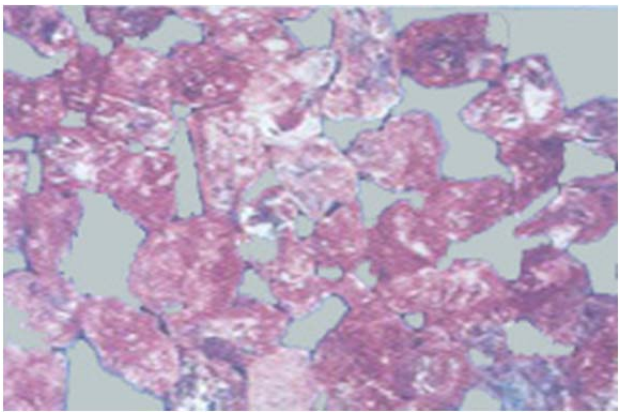
AFM medya, Aşındırıcı Akışkan ile Yüzey İşleme (AFM) prosesinin birinci kesme aracıdır. AFM temel malzemesi viskoelastik polimer aşındırıcıdır. Aşındırıcı parçacıkların tipi, büyüklüğü, miktarı ve viskozitesi medya temel özelliklerini belirler. AFM medya genellikle ''sıvı zımpara kâğıdı''olarak adlandırılır (Extrudehone co. 2010).

Kullanılan medya bileşimi, %70-75 yüksek viskoziteli silikon, yoğrulabilir sıvı kauçuk vb. viskoelasitik malzeme, %25-30 oranında (8-3000µm) mesh boyutunda aşındırıcılar ve uygulamaya göre % 1-2 silikon yağlayıcılar kullanılarak hazırlanır. AFM işlemi için en önemli kısımdır, işlenecek deliğin çapına, yüzey kalitesine göre geniş bir aralıkta karışım yapılabilmektedir. Matris olarak viskoelastik malzeme olarak adlandırılan; silikon kavuçuk, silikon vb. yoğrulabilir kıvamda kullanılır. Aşındırıcı olarak; işlenecek malzemenin türüne ve istenen yüzey kalitesine uygun olarak alüminyum oksit, silikon karbid, bor karbid veya elmas tozları kullanılabilmektedir. Şartlara göre de çok az olmak ile birlikte silikon esaslı yağlayıcılar ile kıvam artırıcılar

karışıma eklenir (Extrudehone co. 2010).Uygulama sıklıkla kullanılan aşındırıcı parçacık özellikleri ve kullanım yerleri aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

1.6.4.1. Aşındırıcı Parçacık Özellikleri ve Kullanım Yerleri

Pembe alumiyum oksit ultra saf bir ürün olup en önemli özelliği mükemmel kesme kalitesine sahip oluşudur (Şekil 1.5). Pembe alumiyum oksit içiriğinde bulunan kromoksit ile beyaz alumiyum oksite göre çok daha üst seviyede dolgun bir malzemedir. Pembe alumiyum oksit ile imal edilen zımpara taşları en uzun dayanıma sahip olup en iyi işleme sonuçları vermektedir. Bu ürün metrolojik cihazlar, motor milleri, hassas cihaz parçaları gibi daha birçok parçanın taşlama işlerinin yapılmasında, hassas kalıp temizliğinde ve özel kumlama işlerinde de kullanılan agresif bir aşındırıcıdır. Pembe alumiyum oksit ıslak ve kuru kumlama uygulamaları için uygun olup, yüzey işlem uygulamalarında ve aşındırıcı imalatında en yaygın kullanılan malzemedir. Pembe alumiyum oksiti oluşturan kimyasal yapı Çizelge 1.5'de verilmiştir.



Şekil 1.5. Pembe alumiyumoksit

Çizelge 1.5. Pembe alumiyumoksiti oluşturan kimyasal yapılar

Al_2O_3	Na_2O	Fe_2O_2	Cr_2O_3
%99.52	%0.18	%0.05	%0.25

Beyaz alüminyum oksit %99 saflığı, beyaz rengi ile kahverengi alüminyum oksitlere biraz daha sert ve dayanıklı bir abrasivdir (Şekil 1.6). Beyaz alüminyum

oksitler uzun süre kullanılabilecek bir dayanıma sahip, yüksek sertlikte ve aynı zamanda yüksek basınca karşı koyabilecek yapıda olup aşınmaya karşı dirençlidir. Beyaz alüminyum oksit ıslak ve kuru uygulamaları için uygun olup, kumlama uygulamalarında, sert, kaliteli çeliklerin taşlanmasında, aşındırıcı taş ve zımpara imalatında en yaygın kullanılan malzemedir. Beyaz alumiyum oksiti oluşturan kimyasal yapı Çizelge 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Beyaz alumiyumoksit

Çizelge 1.6. Beyaz alumiyum oksiti oluşturan kimyasal yapılar

Al_2O_3	Na_2O	SiO_2	Fe_2O_3
>%99.0	<%0.4	<%0.1	<% 0.1

Kahverengi alüminyum oksit kaliteli boksitten elektrik ark fırınlarında ergitilerek üretilir (Şekil 1.7). Bu ürünü kahverengi, dayanıklı ve yüksek sertlikte ve aynı zamanda yüksek basınca karşı koyabilecek yapıda olup aşınmaya karşı dirençlidir. Kahverengi aluminyu moksit ıslak ve kuru kumlama uygulamaları için uygun olup, kumlama uygulamalarında, aşındırıcı taş ve zımpara imalatında kullanılan bir malzemedir. Bu cins taşlar özellikle demir ve çeliğin satıh taşlamasında, kaynak dikişleriyle sac kenarlarının tesviyesinde kullanılır. Kaba aletlerin ilk taşlamasında, sertleştirilmemiş ve sertleştirilmiş çelik ve benzerinin son taşlama işlemlerinde de tercih

edilir. Kahverengi alüminyum oksit farklı iki kimyasal yapıdan oluşmaktadır. Bunlar Çizelge 1.7'de verilmiştir.



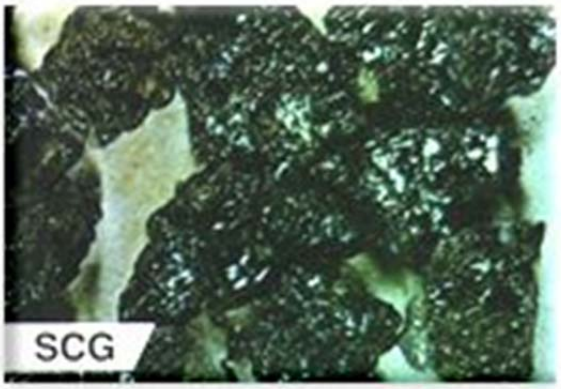
Şekil 1.7. Kahverengi alumiyumoksit

Çizelge 1.7. Kahverengi alumiyumoksiti oluşturan kimyasal yapılar

Al_2O_3	Fe_2O_3	Si O_2	Ti O_2	CaO	MgO
>%95.0	<%0.30	<%1.2	%2.0-3.0	<%0.5	<%0.5

Al_2O_3	Fe_2O_3	Si O_2	Ti O_2	Ca o	MgO
>%90.0	<%2.5	<%4.0	%2.5-5.0	<%1.0	<%1.0

Yeşil Silisyum Karbür kesici takımların taşlamasında idealdir (Şekil 1.8). Deri ve tekstil sektöründe kesici bıçakların bilenmesinde tercih edilir. Cam sanayinde ve doğal taş işleme atölyelerinde uygun tane boyutu doğru tespit edildiğinde parlatma ve aşındırma işlemlerinde kullanılır. Sert metaller, tuğla, cam, toprak ve plastik malezemelerin taşlamasında kullanılır. Yeşil Silisyum Karbürü oluşturan kimyasal yapı Çizelge 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8. Yeşil Silisyum Karbür

Çizelge 1.8. Yeşil Silisyum Karbürü oluşturan kimyasal yapılar

SiC	Fe_2O_3	Free C	Si	$Si\ O_2$
%99.2	%0.15	%0.2	%0.1	%0.15

Siyah silisyum karbür oldukça sert, keskin ve agresif bir aşındırıcıdır (Şekil 1.9). silisyum karbür, alüminyum oksitten daha sert bir malzemedir. Silisyum karbür kimyasal olarak daha istikrarlı bir ürün olup, direnci yüksek olduğundan çok daha uzun kullanım imkanına sahiptir. Özellikle pik döküm, sert döküm ve demirden başka metallerin taşlamasında kullanılır. Siyah silisyum karbürü oluşturan kimyasal yapı Çizelge 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. Siyah Silisyum Karbür

Çizelge 1.9. Siyah Silisyum Karbürü oluşturan kimyasal yapılar

Sic	Fe_2O_3	Free C	$Si+SiO_2$	Al_2O_3
>%0.98	<%0.3	<%0.4	<% 0.1	<%0.5

Cam küreler sert ve küre biçimli oldukları için yüzey temizlemede ve yüzeye zarar vermeden metal oksit kalıntılarını gidermede kullanılır (Şekil 1.10).Cam küreler diğer malzemelerle hiçbir kimyasal reaksiyona girmezler ve bu itibarla aşındırma, yüzey temizleme, parlatma, kalıp temizleme gibi pek çok dikkat gerektiren yüzey işleminde mükemmel şekilde kullanılabilir. Cam küreleri oluşturan farklı kimyasal yapılar Çizelge 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Cam küreler

Çizelge 1.10. Cam küreleri oluşturan farklı kimyasal yapılar

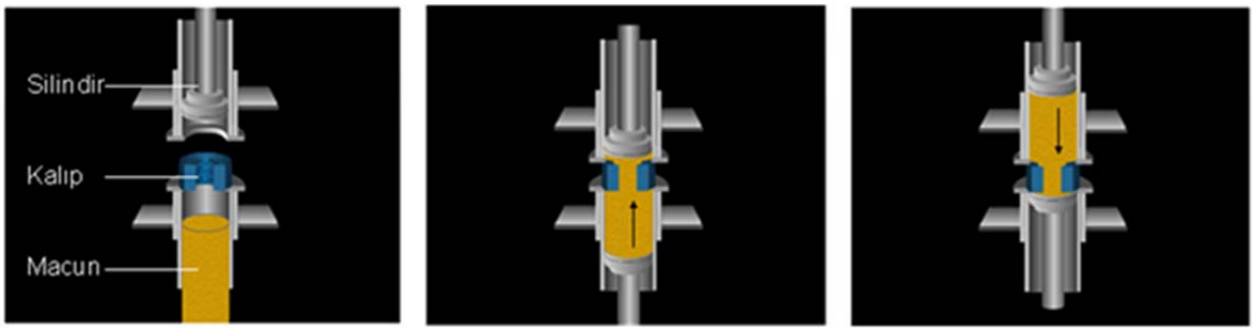
$SİO_2$	%72-73	MgO	%3.5-4
Na_2O	%13.30-14.30	Al203	%0.80-2.00
K20	%0.20-0.60	Fe203	%0.08-0.11
CaO	%7.20-9.20	SO_3	%0.20-0.30

1.6.5. AFM Çalışma Prensibi

Sistem çalıştırılmadan önce, aşındırıcı macun (medya) alt silindire doldurulur (Şekil 1.11a). İşlenecek parça, parçaya uygun olarak tasarlanmış bir parça tutucu ile ikinci silindir arasına yerleştirilir (Şekil 1.11b). İki silindir arasında sıkıştırılan parça,

daha sonra alt silindirin hareketi ile macunun alt silindirden üst silindire basınçlı bir şekilde hareketi sağlanır. Aynı hareket üst silindirin ters hareketi ile tekrarlanır (Şekil 1.11c).Bu çevrim hedeflenen yüzey kalitesine ulaşılana kadar devam edilir.

Isıtma ve termostatik sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ile işlem süresi boyunca sabit viskozite sağlanır. Bu nedenle iyi tekrarlanabilirlik elde edilir (Extrudehone co. 2010).



(a) (b) (c)

Şekil 1.11. Çift yönlü AFM nin çalışma prensibi

1.6.6. Makine Kapasiteleri

Yapılan makineler, işlenecek malzemenin çap aralığına, adedine ve son olarak da boyuna göre çeşitlendirilmiştir. İşlenecek malzemenin büyüklüğüne ve işlenecek yüzeye göre 7-200 bar basınç ve 50 – 610 mm medya silindir çapına kadar üretilmektedir. Ayrıca işleme hassasiyetini artırmak için sisteme, medyanın sıcaklığını kontrol altına almak için ısıtıcı ve soğutucu sistem eklenir. Küçük ve adetli parçaların işlenmesi için uygun tutucular yapılabilir. Üretimi yapılmış AFM makineleri Şekil 1.12'de gösterilmiştir (Extrudehone co. 2010).

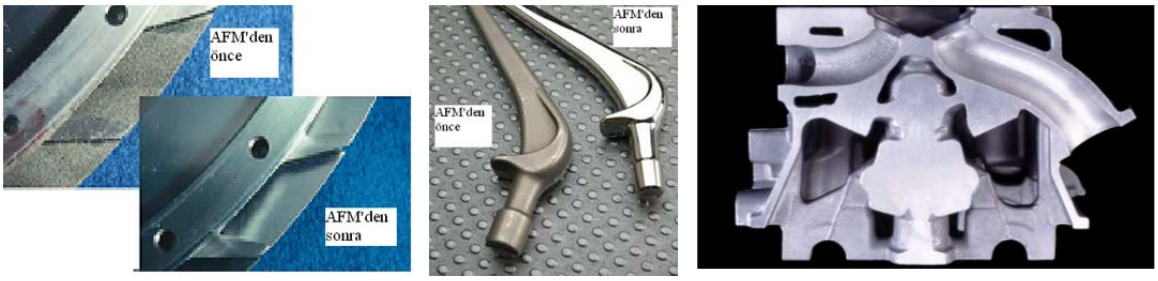


Şekil 1.12.Çift yönlü AFM makinası görünümü

1.6.7. Kullanım Alanları

Kalıp işleme alanında özellikle alüminyum çektirme kalıplarının yüzey işlemlerinin yapılmasında kullanılmaktadır Bu işlem ile örneğin tel erezyon gibi yöntemler sırasında ısı ile oluşmuş katmanlar temizlenmekte, yüzey pürüzlülük değerleri en aza indirilebilmekte ayrıca geometrik şekil veren yüzeyler birkaç dakika içinde "ayna parlaklığı" seviyesine getirilebilmektedir. Aynı zamanda dar bir tolerans aralığında standart bir çıktı kalitesi sağlanmaktadır. AFM sadece kalıp endüstrisindeki kullanılmamaktadır (Şekil 1.13) (Micro Technica Gmbh, 2011).

- Otomotiv ve inşaat araçları
- Havacılık ve uzay sanayileri
- Medikal endüstrilerinde
- Hidrolik pnömatik parçalar
- Akışkan teknolojilerinin kullanıldığı alanlarda
- Eczacılık ve kimya sanayileri
- Tekstil makineleri
- Dizel enjektörleri
- Mekatronik ve optik



(a) (b) (c)

Şekil 1.13. a) Türbinin iç kanalları b) Medikal implantlar c) İçten yanmalı motor parçası

1.6.8. Avantajları

Yüzey temizleme ve parlatma işlemleri, imalat işlemleri içerisinde en pahalı ve zaman alıcı aşamalardan birisidir. Özellikle hassas ve karmaşık parçaların yüzeylerinin islenmesi toplam imalat maliyetinin %15'ine kadar yükselmektedir. AFM işlemi ile zamandan, manüel parlatma işlemlerine göre %75 'e kadar tasarruf sağlanabilmekte ve mükemmel yüzey sonuçlarına ulaşılabilmektedir. Yapılan yatırım kısa sürede kendini amorti etmektedir.

AFM yeni kalıp ve takımların yanı sıra bunların tamir edilmesinde de kullanılmaktadır. Aşınma veya hasar sonucu gerekli kalite standartlarını sağlayamayan fonksiyonel yüzeyler hızlı bir şekilde yeniden parlatılarak kullanım ömürleri önemli derecede arttırılmaktadır (Micro Technica Gmbh, 2011).

Basınç altında aşındırıcı macun ile yüzey işlemi özellikle dar ve ulaşması zor kanallara sahip kalıp vb. aparatlarda en uygun çözümü sağlıyor. Ayrıca AFM işlemi ile Ra0.1µm'ye kadar talep edilen yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılabilmekte ve tekrar edilebilir kalite sağlanmaktadır. Kullanımı kolay ve takım değiştirmesi pratiktir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Aşındırıcı parçacık akışlı yüzey işleme ile ilgili çalışmalar özellikle 1980'lerden sonra yapılmaya başlanmıştır. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar, genellikle aşındırma mekanizması, işlemeye etkileyen parametreler, maliyet analizi vb. gibi konularda yoğunlaşmıştır. Bu bölümde literatürde yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Rhoades (1987, 1991) AFM prosesinin temel prensiplerini ve proses kontrol parametrelerini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada, aşındırıcı macunun ani dar kesitten geçmesi sırasında macunun viskozitesinde geçici bir artış olduğunu tespit etmiştir. Sadece macun kalınlaştıkça veya yoğunlaştıkça kayda değer bir talaş kaldırma işleminin olduğunu gözlemiştir. AFM prosesi esnasında talaş kaldırmanın iş parçasının geometrisine, direnç basıncına, macunun viskozitesine ve macunun hacimsel olarak büyüklüğüne bağlı olduğunu belirtmiştir. Bütün bu parametrelerin, macun içerisinde bulunan aşındırıcı parçacığının yoğunluğu ve iş parçasına temasıyla değiştiğini çalışmasında ifade etmiştir.

Fletcher ve ark. (1990) AFM prosesi ile macunun kesit alanına göre akış özellikleri arasındaki ilişki üzerine çalışmışlardır. Macunun geçtiği kesit alanın daralması ile polimerin kayma oranında bir artış olduğunu ifade etmişlerdir. Poliborosiloksan macunun viskozitesi için İnce tüp (capillary) kullanarak cidar kayma gerilmesi ile kayma oranı arasında bir ilişki bulmuşlardır. Viskozite azalırken, kayma oranı arttığı için kayma gerilmesinin de artığını not etmişlerdir. Cidar kayma gerilmesinin zamana göre değişimini de çalışmışlar ve daha büyük son işlem hareketinin daha uzun piston stroku esnasında daha yüksek cidar kayma gerilmesi üretilmesinden dolayı meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Williams ve Rajurkar (1992) çalışmalarında direnç basıncı ve macun viskozitesinin talaş kaldırma ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini endüstriyel bir AFM makinesi kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda macun viskozitesinin direnç basıncına göre talaş kaldırma ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha etkin olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün birkaç çevrim sonucunda daha iyi bir duruma geldiğini de yaptıkları deneyler sonucunda elde etmişlerdir.

Loveless (1994) çalışmasında AFM metodu ile yapılan son işlem öncesinde makinenin kullanım ve iş parçasının bağlama şeklinin önemine dikkat çekmiştir. İş parçasının tornalamadan elde edilen yüzeyi ile frezeleme ile elde edilen yüzeyi üzerinde yapılan AFM prosesi karşılaştırıldığında frezeleme yolu ile elde edilen yüzeyden daha

iyi bir son işlem ve yüzey kalitesinin AFM prosesinde elde edildiğini tespit etmiş ve bunu yüzeyin mikro yapısına bağlı olduğunu belirtmiştir.

Rajeshwar ve ark. (1994) AFM prosesi sırasında macun akışının karakteristiğini belirlemek için bir matematiksel simülasyon modeli önermişledir. Bu modeli Newtonian olmayan akışkanların karakteristiğinde kullanılan Maxwellin korunum denklemlerini kullanarak elde etmişlerdir. Kaldırılan talaş tabaka kalınlığı ile yüzey üzerinde meydana gelen kesme gerilmeleri arasında lineer bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir.

Davies ve Fletcher (1995) çalışmalarında AFM prosesinde macun ve aşındırıcı parçacık için basınç düşüşü, sıcaklık ve çevrim sayısı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sıcaklığın artması ile macunun viskozitesinde bir azalma ve hacimsel debisinde bir artmanın olduğunu tespit etmişlerdir. Proses zamanının artmasıyla sıcaklığın arttığının bununda macunun viskozitesinde değişikliğe sebep olduğunu belirtmişlerdir. Sıcaklık artışına macunun kesme ve aşındırıcı parçacık boyutunun son işlemesinin bir kombinasyonundan kaynaklandığı sonucuna varmışlardır.

Petri ve ark., (1998) AFM için sinir ağları modelleme tekniği kullanarak daha anlaşılır bir model geliştirmişlerdir. Üç farklı sinir ağı modeli önermişler, bu modeller: silindirik akış yoluyla parlatma, yüzeyden talaş kaldırma yaklaşımı ve silindirik olmayan akış yoluyla yüzeyden talaş kaldırma yaklaşımıdır.

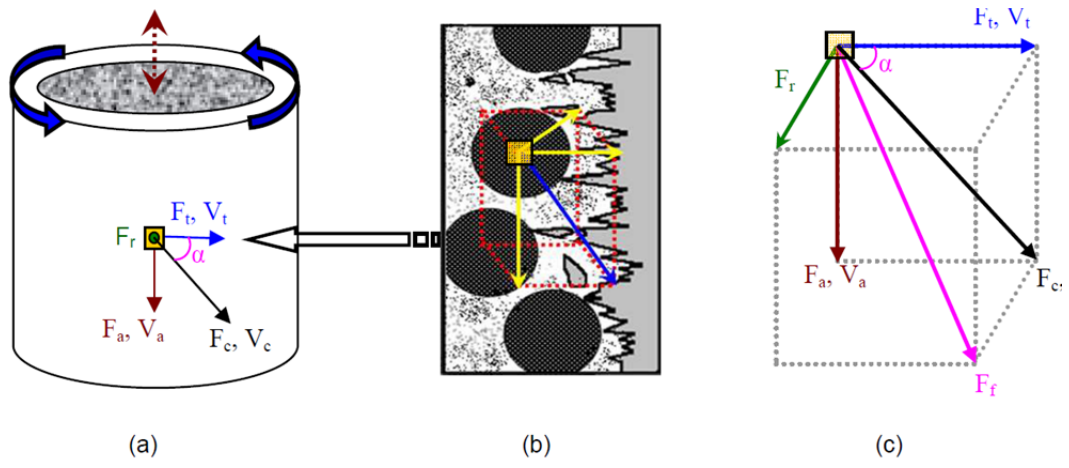
Jain ve ark. (1999) silindirik bir kanaldan AFM prosesi ile talaş kaldırma esmasında meydana gelen simetrik olmayan macun akışı esnasında oluşan gerilmeleri sonlu elemanlar metodu yaklaşımı ile belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında akışı viskoz ve macunun özelliklerini de sıcaklık bağımsız olarak kabul etmişlerdir. Çözümlerinde zaman ve konum sabit alınmıştır.

Jain ve Adsul (2002) AFM prosesi öncesinde iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün ve sertliğinin AFM prosesi sırasında talaş kaldırmada etkili olduğunu yaptığı çalışmada belirtmişlerdir. Talaş kaldırma ve yüzey pürüzlülüğündeki azalma değerlerinin yumuşak yapıya sahip iş parçalarında daha sert iş parçalarına göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca macun içerisinde bulunan aşındırıcı parçacık miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ve talaş kaldırma miktarının arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında aşındırıcı parçacık boyutunun ve çevrim sayısının etkilerini de incelemişlerdir.

Gorana ve ark. (2006) AFM prosesi sırasında sadece bir aşındırıcı parçacığın hareketini ve uygulamış olduğu kuvveti teorik olarak çalışmışlar, teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırarak parçacık yoğunluğunun önemine dikkat çekmiştir.

Biing-Hwa Yan ve ark. (2007) yüzey kalitesini artırmak için macunun akış yoluna spiral yivli vida yerleştirmiştir. Walia ve ark.(2004) son işlem için düşük viskoziteye sahip macun kullanarak macunun akış yolunun merkezine farklı şekillerde çok ince çubukları döndürerek yerleştirmiştir. Böylece bu çubukların neden olduğu santrifüj hareketten dolayı daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmiş ve bu metoda Santrifüj Kuvvet Yardımıyla Aşındırıcı Akışla İşleme Makinesi (CFAAFM) adını vermişti. Tabi burada aşındırıcı ile iş paraçası arasındaki ilişki bu dönme olayından dolayı çok düşüktür.

Ravi Sankar ve ark. (2009) iş parçasını döndürmek için yeni bir metot geliştirmişler ve böylece iş parçası son işlem yüzeyinde dönen aktif aşındırıcı parçacık hem yüzeyin daha iyi son işlenmesi hem de daha fazla talaş kaldırmasını sağlamışlardır. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi macunun viskoelastik yapısı, iş parçasının dönmesi ve macunun ileri-geri hareket etmesinden dolayı işlemde fiziksel ve çeşitli kuvvetler ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Dönen AFM prosesinin kuvvet ve hız bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir. AFM prosesi esnasında dönen iş parçası teğetsel hız profiline (V_t) neden olmakta, macunun git-gel hareketi ise hızın eksenel bileşenine (V_a) neden olmaktadır.



Şekil 2.1. Son işlem bölgesinde dönen AFM prosesinde kuvvet ve hız bileşenleri a) iş parçasındaki çeşitli kuvvet ve hızların genel görünümü, b) aşındırıcı parçacık tarafından iş parçası yüzeyinden talaş kaldırması ve yüzey pürüzlülüğünün yakından görünümü, c) Dönen AFM prosesinde hızlar ve kuvvetlerin serbest çizim diyagramında gösterimi (Ravi Sankar ve ark., 2009)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

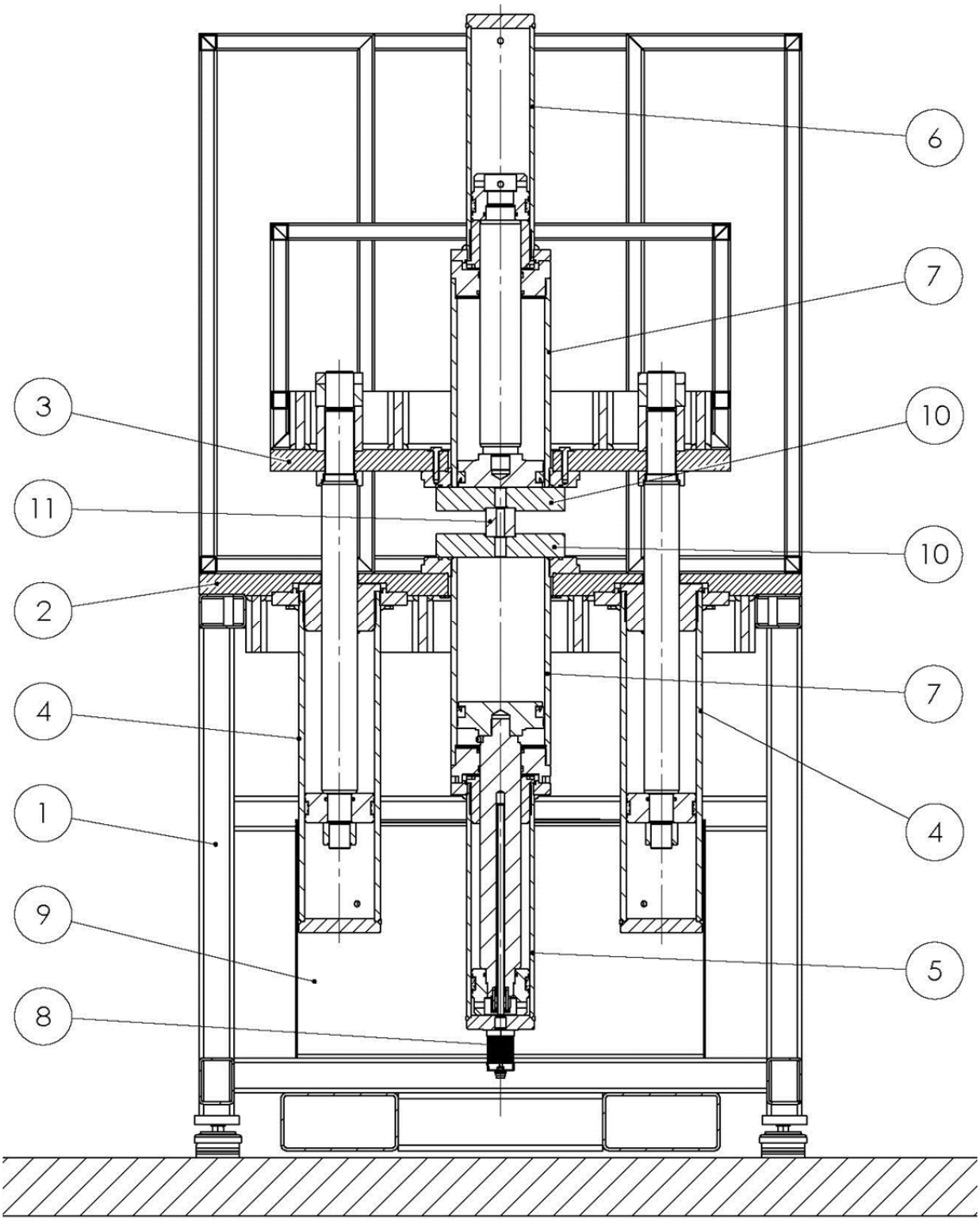
Bu çalışmada aşındırıcı parçacık akışlı metot ile seçilen iş parçasının yüzey kalitesinin belirlenmesi için bir AFM makinesi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu bölümde ilk olarak bu AFM makinesinin gövde, hidrolik devre ve elektrik-elektronik devre tasarımı ve daha sonra imalat ve montajı hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra ise tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen makinenin imalat performansını belirlemek için model olarak seçilen iş parçasının teknik resim ve özellikleri verilmiştir (Şekil 3.7). Son olarak ise AFM makinesinde kullanılacak ve macun olarak adlandırılan aşındırıcının özellikleri verilmiştir. Bunun yanında yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri verilmiş ve ölçme yöntemi hakkında bilgi sunulmuştur.

3.1.1. AFM Makinesinin Gövde Tasarımı ve İmalatı

Tasarımı ve imalatı yapılan AFM makinesin teknik resmi Şekil 3.1 ve makine parçalarının açıklaması Çizelge 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2'de ise makinenin genel görünüşü verilmiştir.

AFM makinası ana şase, hidrolik sistem ve elektronik kontrol sisteminden oluşmaktadır.

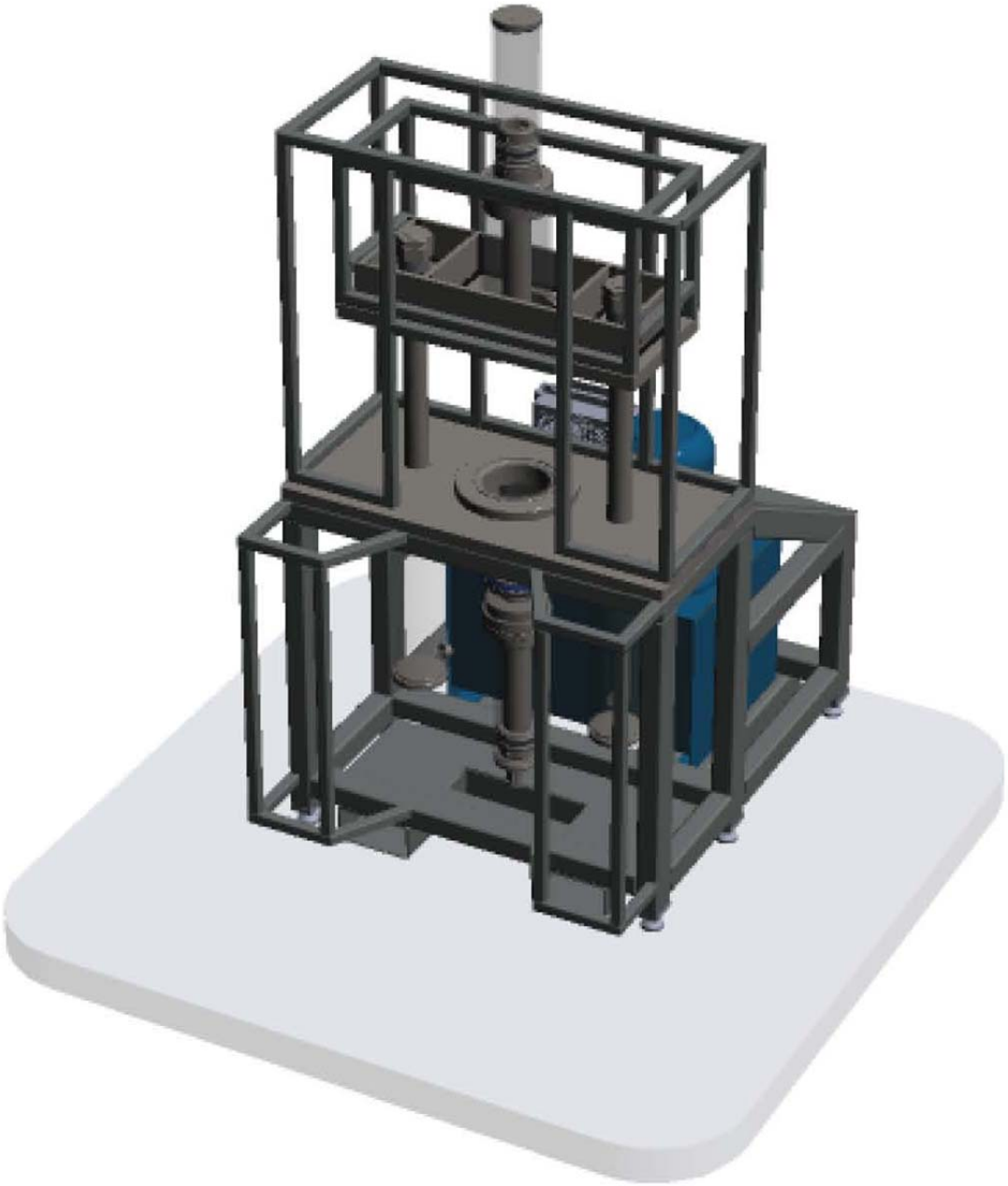
Ana şase dört köşe profil St 52 plaka ve saç malzemelerden yapılmıştır. Profil şase yardımcı aparatlar yardımıyla kaynaklı konstrüksiyonla birleştirilmiş ve imalat ölçülerine uygun olarak ana gövde oluşturulmuştur. Silindirlerin bağlandığı alt ve üst tablalar St 52 plaka malzemelerden kaynakla birleştirilerek yapılmıştır. Tablalardaki silindirlerin bağlanacağı delikler ve tabla yüzeyleri imalat resim toleranslarına uygun şekilde bütün yüzeyleri CNC de işlenmiştir (Şekil 3.3). Makinenin dış yüzeyi ve hidrolik ünite grubu saç kapaklarla kapatılarak makineye dış görünüm ve aynı zamanda ses izolasyonu sağlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.1. AFM makinesinin teknik resmi

Çizelge3.1.Şekil 3.1'de verilen AFM Makinesi oluşturan parçalar

Parça No	Parça Adı	Açıklama
1	Şase	Dikdörtgen profiller
2	Alt tabla	St 52 çelik
3	Üst tabla	St 52 çelik
4	Sıkıştırma silindiri	H8 toleranslı 120 mm honlanmış borudan yapılmış 250 bar çalışma basınçlı hidrolik silindir
5	Alt hidrolik silindiri	H8 toleranslı 120 mm honlanmış borudan yapılmış 250 bar çalışma basınçlı hidrolik silindir
6	Üst hidrolik silindiri	H8 toleranslı 120 mm honlanmış borudan yapılmış 250 bar çalışma basınçlı hidrolik silindir
7	Medya macun haznesi	H8 toleranslı 150 mm honlanmış borudan yapılmış 250 bar çalışma basınçlı boru
8	Lineer transduser	
9	Hidrolik güç ünitesi	Hidrolik güç ünitesi; elektrik motoru , pompa, kontrol bloğu, soğutma sistemi ve filtrelerden oluşan hidrolik devre elemanları grubudur.
10	Parça bağlama adaptörü	
11	İş parçası	



Şekil 3.2. AFM makinesinin 3D katı model görünüşü



Şekil 3.3. AFM makinesinde iş parçasının yerleştirileceği bölümün resmi



Şekil 3.4. Tasarımı ve imalatı yapılan AFM makinesinin genel görünüşü

Hidrolik sistem; yağ tankı grubu, valf grubu ve silindirlerden oluşmaktadır. Detaylı açıklama bir sonraki bölümde izah edilmiştir.

Makinenin elektronik kontol sistemi PLC ile yapılmaktadır. Kontrol datalarının değiştirilmesi ve gözlemlenmesi için ayrıca dokunmatik ekran kullanılmıştır (Şekil3.5). Alt ve üst macun silindirleri kapalı konstrüksiyon olduğu için konum ve hız bilgileri lineer transduser ile okunarak ekranda macunun hareketi anlık simüle edilmiştir. Aynı zamanda macun hızı ve hacmi lineer transduser yardımıyla hesaplanarak ekrana aktarılmaktadır. Aşındırmayı etkileyen parametreler macun basıncı, karşı basınç, çevrim

adedi, macun hızı ve macun hacmidir. Bu parametrelerin kısaca tanımı aşağıda verilmiştir.

Macun basıncı (P_m); kalıp girişinden macunu geçirmek için oluşturulan basınçtır.

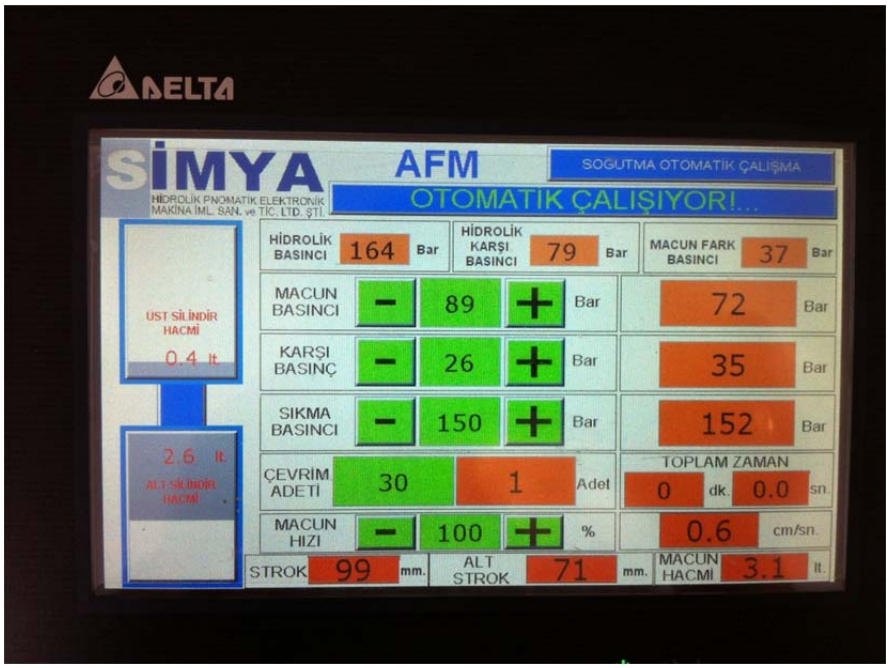
Direnç basıncı ($P_{d)}$; kalıp içinde basınç oluşturmak için kalıp çıkışındaki macunda oluşturulan direnç basıncıdır. Yani macunun iş parçası üzerinde talaş kaldırabilmesi için macunun hareket yönündeki basınç ile karşı silindir de oluşturulan basınç arasındaki fark olarak da tarif edilebilir. Bazı literatürlerde karşı basınç ifadesi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, macunun iş parçası üzerinden talaş kaldırabilmesi için gerekli minimum direnç basıncının belirlenmesi ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Macun ve direnç basıncı sabit tutulmuştur.

Çevrim adedi; macun silindirinin yukarı ve aşağı hareketini tamamladığı çevrimdir. Bu hareket 1 çevrim olarak tanımlanmıştır.

Macun hacmi (V_m); alt silindirin macunla birlikte tam strok yukarı hareketindeki süpürdüğü alandaki macun miktarıdır.

Bu parametrelerim imalatı yapılan makinenin kontrol ekranındaki gösterimi Şekil 3.5a'de verilmiştir.

Makinenin otomatik çalışması ise şu şekildedir. Çevrim için miktarı değiştirilebilen macun alt silindire yerleştirilir ve ardından tablaya aparatları ile birlikte iş parçası yerleştirilir. Üst kalıp istenilen sıkma basıncında sıkılarak iş parçasının sabitlenmesi sağlanır. Sıkma bilgisi hidrolik sistemdeki basınç transmitteri aracılığıyla alındıktan sonra çalıştırma düğmesi otomatik konuma alınır. Kontrol panelindeki (Şekil 3.5b) ekranda macun basıncı, karşı basınç, çevrim adedi ve macun hız bilgileri girilerek çalışma ayarları yapılır ve ardından start butonuna basılarak verilen şartları sağlayarak otomatik çalışma sağlanır. Çevrim adedi sayısına ulaşıldığında makine stop eder ve bu işlemi ne kadar sürede yaptığı toplam zamanı da ekranda gösterir. İşlem sonunda tabla yukarı kaldırılarak iş parçası çıkartılır ve temizlenerek kullanıma hazır hale getirilmiş olur.



Şekil 3.5a. AFM makinesinin kontrol panelinin bir görünüşü



Şekil 3.5b. AFM makinesinin kontrol panelinin bir görünüşü

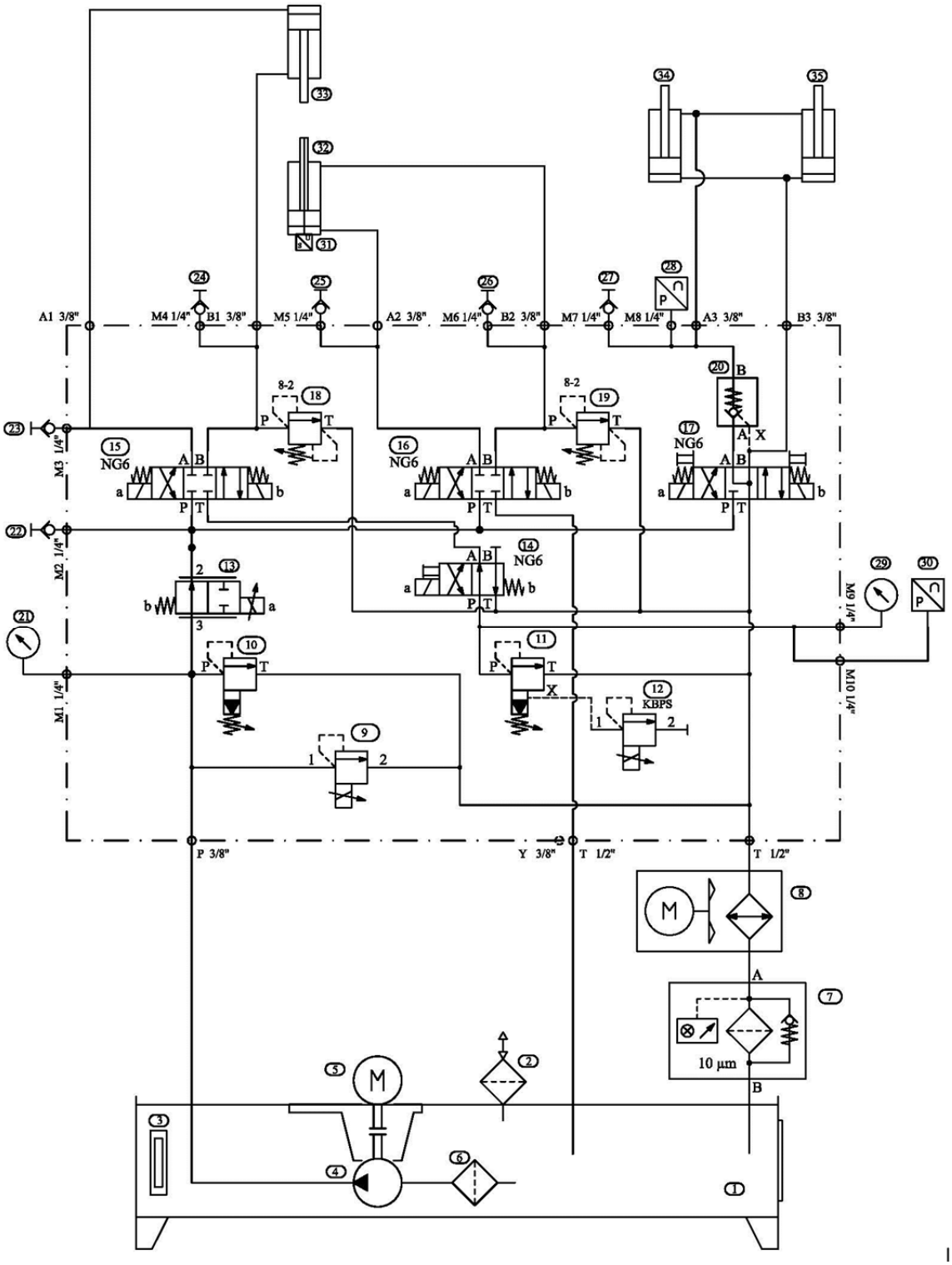
3.1.2. AFM Makinesinin Hidrolik Devresi Tasarımı ve İmalatı

Tasarımı ve imalatı yapılan AFM makinesinin hidrolik devre şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu makinenin hidrolik sistemi üç gruptan oluşmuştur:

1- Yağ tankı grubu; Yağ tankı grubunda, elektrik motoru, pompa, filtreler ve depo aksesuarları bulunmaktadır
2- Kontrol organları grubu; Kontrol organları grubunda, basınç kontrol valfleri, yön kontrol valfleri ve akış kontrol valfleri bulunmaktadır
3- Tahrik grubu; Tahrik grubunda macunu hareket ettirecek olan silindirler ve iş parçasını sıkıştıracak olan silindirler bulunmaktadır.

Elektrik motorunun tahrik ettiği hidrolik pompa sisteme yağı aktarmaktadır.9 nolu oransal basınç ayar valfi ile macun, silindirlerinin çalışma basıncını aynı zamanda iş parçası sıkıştırma basıncını elektronik kart vasıtası ile istenilen değerde ayarlamaktadır. 13 nolu oransal akış ayar valfi, iş parçası içinden hareket ettirilecek olan aşındırıcı macunun kesme hızını ayarlamak için silindirlerin hızlarının elektriksel olarak değiştirilmesini sağlamaktadır. 12 nolu oransal basınç kontrol valfi ile iş parçasından çıkan macunun sıkıştırılması için karşı basınç oluşturması sağlanmaktadır. İş parçası alt tablaya adaptör parçaları ile yerleştirildikten sonra 34, 35nolu silindirler ile sıkıştırılır ve 20 no'lu pilot kontrollü çek valf ile çalışma esnasında sürekli kilitli kalması sağlanır. Sıkıştırma kuvveti için gerekli basınç 28 no'lu basınç anahtarı ile dijital okunarak elektrik kontrol sistemine sürekli sinyal verir. Sıkma kuvveti istenilen değerde ise daha önceden hazneye yerleştirilmiş aşındırıcı macun alt ve üst silindirler vasıtasıyla hareket ettirilerek haznedeki boşluk yok oluncaya kadar karşılıklı hareket ettirilir. Boşluk alındıktan sonra alt ve üst silindir birlikte aynı yönde hareket ettirilir. İş parçası içinden geçen macunun kesme hızı, alt silindir yukarı hareketinde 31 nolu liner cetvelden alınan hız bilgisine göre 13 nolu oransal hız ayar valfinden, parçaya dik oluşacak kesme kuvveti ise alt silindiri itmek için gerekli olan 9 nolu oransal basınç valfi ile karşı direnç basıncını oluşturacak olan 12 nolu oransal basıncın farkından ortaya çıkan ΔP basıncından elde edilmektedir. Silindir yukarı hareketini tamamladıktan sonra yön değiştirir ve üst silindir bu sefer aşağı hareketi yapar alt silindir bu sefer karşı direnç yaparak ΔP basıncı oluşturulur. Bu çevrim istenilen sayıda yapılarak basınçla sıkıştırılmış aşındırıcı macun iş parçasındaki aşındırma gerçekleştirilmiş olur. İşlem

tamamlandıktan sonra iş parçasını kilitleyen silindirler yukarı açılarak iş parçası serbest hale gelir.

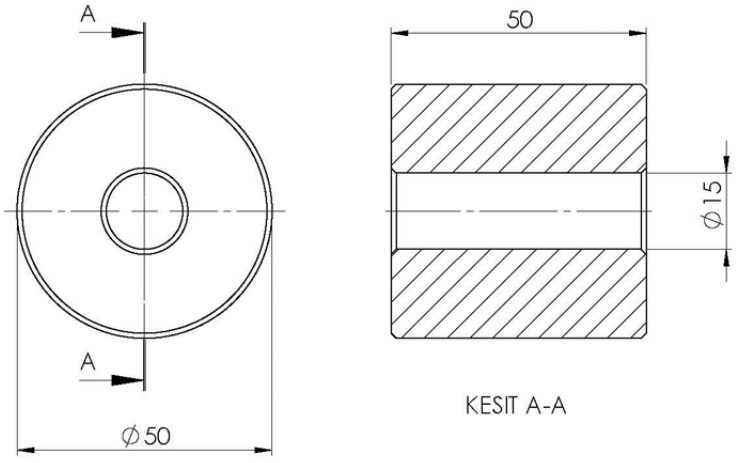


Şekil 3.6. AFM makinesinin hidrolik devre şeması

3.1.3. İş Parçasının Özellikleri

Tasarımı ve imalatı yapılan AFM makinesinin performansının belirlenmesi amacıyla Şekil 3.7'de teknik resmi verilen GGG40 sfero malzemeden imal edilen iş parçası kullanılmıştır. Bu iş parçasının çalışma yapılacak delik yüzeyi HSS matkap ile talaş kaldırma yoluyla elde edilerek deney başlangıcı için yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Daha sonra farklı çalışma parametrelerinde AFM makinesiyle elde edilen yeni yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve değişimler grafikler halinde sunulmuştur.

Bir sonraki deneyde kullanılacak tek yönlü yön denetim valfinin de genellikle GGG40 sfero dökümden imal edilmesinden dolayı model iş parçasının GGG40 sfero dökümden imal edilmesi tercih edilmiştir. Hidrolik valflerin küresel grafitli dökme demirden üretilmesinin nedeni ise üstün işlenebilirlik özelliği ve elastisite modülünün yüksek olmasıdır. Ayrıca çeliğe göre kıyaslandığında daha yüksek aşınma direnci göstermesidir. Düşük üretim maliyeti, mikro yapıda kırılganlığı sağlayan malzeme olmaması, daha yüksek darbe direnci, ısı ve elektrik iletkenliğinin istendiği yerlerde olması valflerde kullanılma nedeni olarak sayılabilir. AyrıcaGGG40 sfero dökümün 2mm et kalınlığında 620 Bar basınca kadar dayanıklılık gösterdiğini belirtmekte fayda vardır.



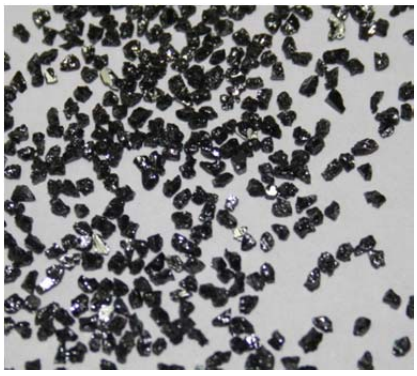
Şekil 3.7. İş parçalarının teknik resmi

3.1.4. Medya (Macun) Özellikleri

Bu çalışmada medya bileşimi olarak % 25 - %50 oranında viskoelastik malzeme ve aşındırıcı olarak elek boyutu 80 (bir inch çapta açık olarak 80 adet deliğin olduğu anlamındadır) olan siyah silisyum karbür (SiC) (Şekil 3.8.) miktarının %50 -75 oranındaki değerleri için deneyler yapılmıştır. Bu orana göre ilk durumda kullanılan macunun ağırlık olarak yaklaşık %50'si visko-elasitik malzeme, yaklaşık %50'si aşındırıcı, daha sonraki durumda ise bu oran %25'a %75 olarak düzenlenmiştir. Çizelge 3.2'de aşındırıcı olarak kullanılan ve yoğunluğunu siyah silisyum karbür (SiC) oluşturan malzemenin özellikleri verilmiştir. Ayrıca macunda %1 civarında silikon yağlayıcı vardır.

Çizelge 3.2. Aşındırıcıda bulunan maddeler ve yüzde oranları

SiC	Fe_2O_3	Free C	$Si+SiO_2$	Al_2O_3
>%0.98	<%0.3	<%0.4	<%0.1	<%0.5



Şekil 3.8. SiC makro taneler

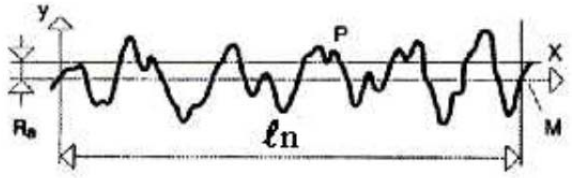
3.1.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a),profil üzerinde alınan "örnekleme uzunluklarının (l)" bir araya gelmesi ile l_n ile ifade edilen "ölçüm uzunluğu" oluşur (Şekil 3.9). Eğer profil "n" adet örnekleme uzunluğu içeriyorsa ölçüm uzunluğu l_n=l.nile hesaplanır. Örnekleme uzunluğu (l) için Ra değeri, merkez çizgisinden (M)

ölçülen yükseklik değişimlerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması olup şu formülle hesaplanır:

$$R_a=(y_1+y_2+y_3+\ldots+y_m)/m \qquad (1)$$

Burada, y alınan yükseklik ölçümlerinin değeri, m ise ölçüm sayısıdır. Ölçüm uzunluğu için R_a değeri, n sayıdaki R_a değerinin aritmetik ortalamasıdır.



Şekil 3.9. Ra ile ilgili tanımlar

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Mitutoyo SJ-201 tipi portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Standart tablolar yardımıyla *l* değeri 0.8 mm, *l*n değeri0.8x5=4 mm'dir. Filtre olarak 2-RC 75 tipi kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu çalışmada tasarımı ve imalatı yapılan AFM makinesin tasarım ve imalat aşamaları "Materyal" bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Makinenin test aşamasından sonra iş parçası, AFM makinesinin iş makinesine göre imal edilen bağlantı aparatına yerleştirilmiştir. Daha sonra makinenin elektronik kontrol panelinden çevrim adeti, macun hızı (V_m), macun basıncı ($P_{m)}$, direnç basıncı (P_d) değerleri girilmiştir. Her deney için makineye konulun macun miktarı sabit olup 3.1*lt*'dir. Deneyler iki durum için yapılmıştır. Birinci durumda macun içerisinde bulunan aşındırıcı maddenin ağırlık oranı %50 için çevrim sayısı 0, 10, 20…70, 80'de iş parçasındaki meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi ölçülmüştür. İkinci durumda ise aşındırıcı maddenin ağırlık oranı %70 ve çevrim sayısı 0, 10, 20…70, 80 için yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 3.10'da görüldüğü gibi hazırlanan bir aparata iş parçası yerleştirilerek okunmuş ve kaydedilmiştir. Ayrıca macun içerisindeki aşındırıcı parçacık yüzde miktarının değişimi ile direnç basıncındaki değişim incelenmiştir.

Yukarıda yapılan ölçümler neticesinde uygun macun karışım oranı ve ideal çevrim sayısı belirlenmiştir. Buna göre hidrolik sistemlerde kullanılan valflerde dökümden çıktığı gibi pürüzlü ve keskin köşeler AFM metodu ile işlenerek yüzeylerde meydana gelen değişim SEM görüntüleri ve fotoğraflama ile analiz edilecektir.



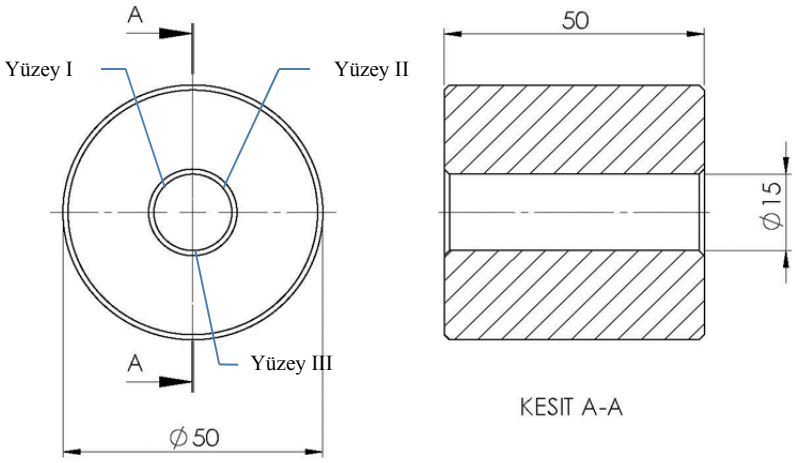
Şekil 3.10. Yüzey pürüzlülüğü ölçme düzeneği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, aşındırıcı parçacık akış prensibine göre çalışan ve kısaca AFM olarak bilinen bir makinenin tasarımı, imalatı ve performansı incelenmiştir. Alışılmamış imalat yöntemlerinden biri olan aşındırıcı parçacık ile yüzey işleme özellikle çapak alma, parlatma, dip kenarlarda yuvarlatma ve ulaşılması zor yüzeylerde kalıcı basma gerilmeleri oluşturmakta kullanılmaktadır. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplarının yüzeylerinin hassas ve homojen bir şekilde elde edilmesinde AFM en çok tercih edilen bir yüzey işleme yöntemidir. Bu çalışmada iki yönlü bir AFM makinesinin tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu makinenin tasarımı ve imalatı ile ilgili olarak yapılan bütün işlemler ayrıntılı olarak "Materyal ve Metot" bölümünde verilmiştir.

4.1. Çevrim Sayısı ve Aşındırıcı Oranının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

AFM makinesinin performansını analiz etmek için Şekil 4.1 de verilen iş parçasının 3 farklı yüzeyinde ve iki farklı aşındırıcı parçacık yoğunluğunda yüzey pürüzlülüğü ölçmüştür.



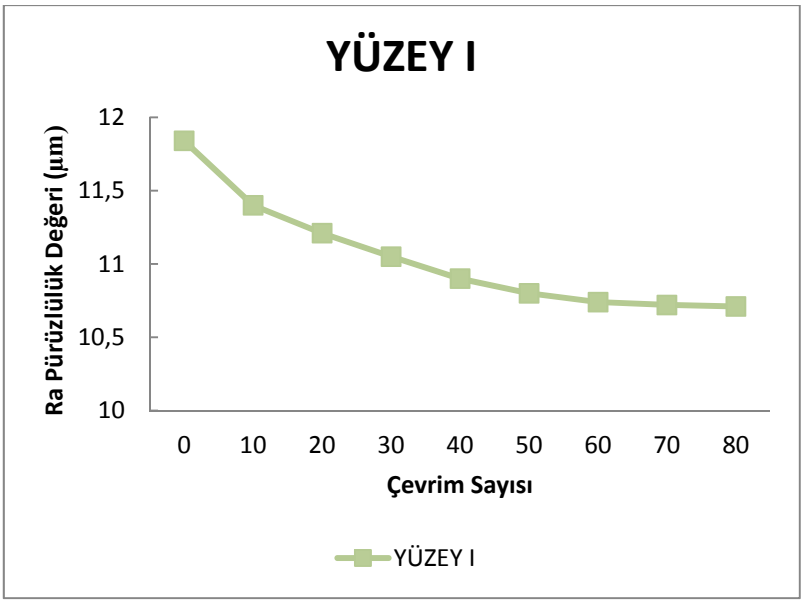
Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılan iş parçasının görünümü

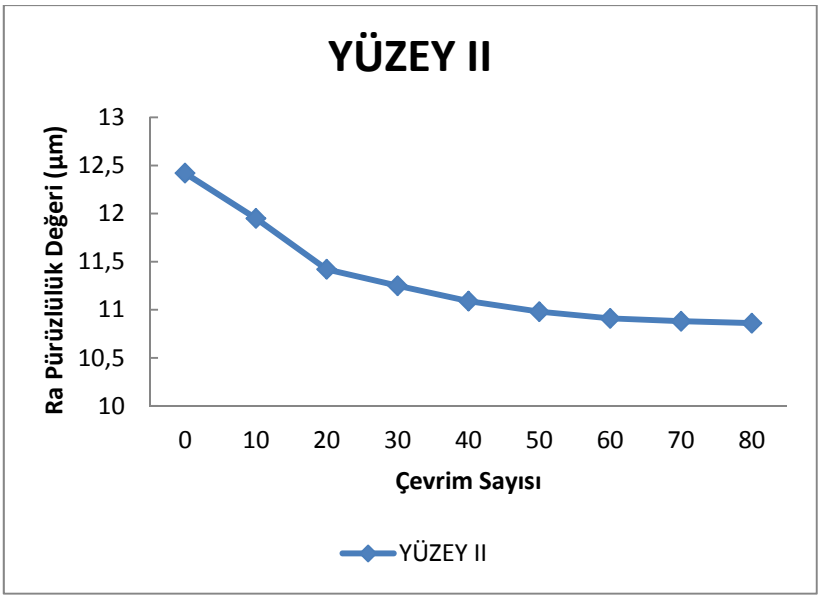
AFM makinesinde silindir macun basıncı (P_m), direnç basıncı (P_d), macun hızı (V_m) ve strok (s), macun hacmi ve çevrim sayısı gibi parametreler değiştirilebilmekle beraber bu çalışmadaki amaca uygun olarak yukarıda verilen parametreler sabit tutulmuş, sadece macun içinde bulunan aşındırıcı parçacığın ağırlık olarak yüzdesi değiştirilmiştir. Bununla beraber silindirlerin aşağı yukarı hareketini tanımlayan çevrim sayısına göre, her bir çevrim için yüzey pürüzlülük değerleri R_a cinsinden ölçülerek yüzey pürüzlülük farkları elde edilmiştir.

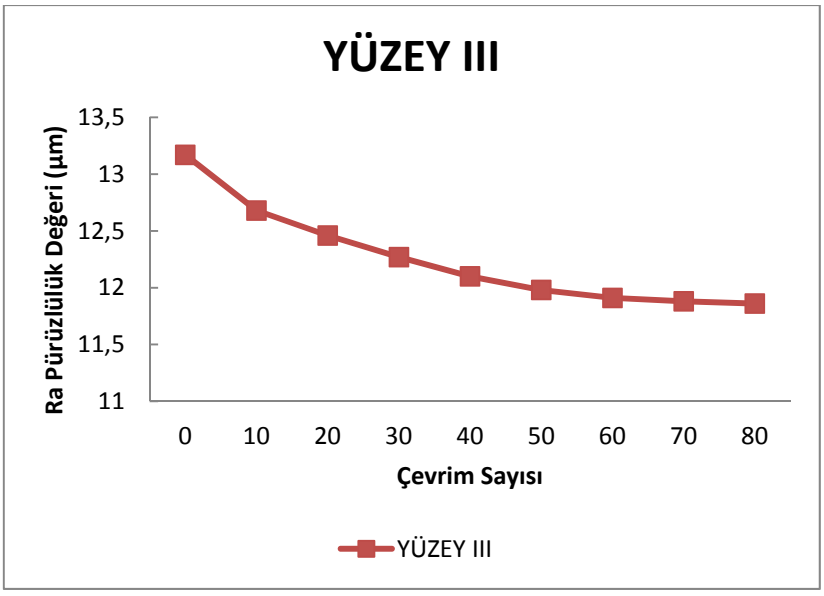
İlk durumda macun basıncı 72 bar, karşı basınç 36 bar, macun miktarı 3.1lt, macun hızı 0,02 m/s ve macun yoğunluğu % 50 alınarak farklı çevrim sayılarında iş parçasındaki yüzeylerindeki yüzey pürüzlülük değişimi Çizelge 4.1'de, her bir yüzey için yüzey pürüzlülük değişimleri grafiği Şekil 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çevrim sayısına göre yüzey pürüzlülüğünün Ra (μm) değerinden değişimi.

	YÜZEY I		YÜZEY II		YÜZEY III	
ÇEVRİM	Ra	ΔRa	Ra	ΔRa	Ra	ΔRa
0	11.84	0,00	12,42	0,00	13,17	0,00
10	11.40	0,44	11,95	0,47	12,68	0,49
20	11,21	0,19	11,42	0,53	12,46	0,22
30	11,05	0,16	11,25	0,17	12,27	0,19
40	10,90	0,15	11,09	0,16	12,10	0,17
50	10,80	0,10	10,98	0,11	11,98	0,12
60	10,74	0,06	10,91	0,07	11,91	0,07
70	10,72	0,02	10,88	0,03	11,88	0,03
80	10,71	0,01	10,86	0,02	11,86	0,02


YÜZEY I
Ra Pürüzlülük Değeri (µm)
12
11,5
11
10,5
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Çevrim Sayısı
YÜZEY I


YÜZEY II
Ra Pürüzlülük Değeri (µm)
13
12,5
12
11,5
11
10,5
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Çevrim Sayısı
YÜZEY II

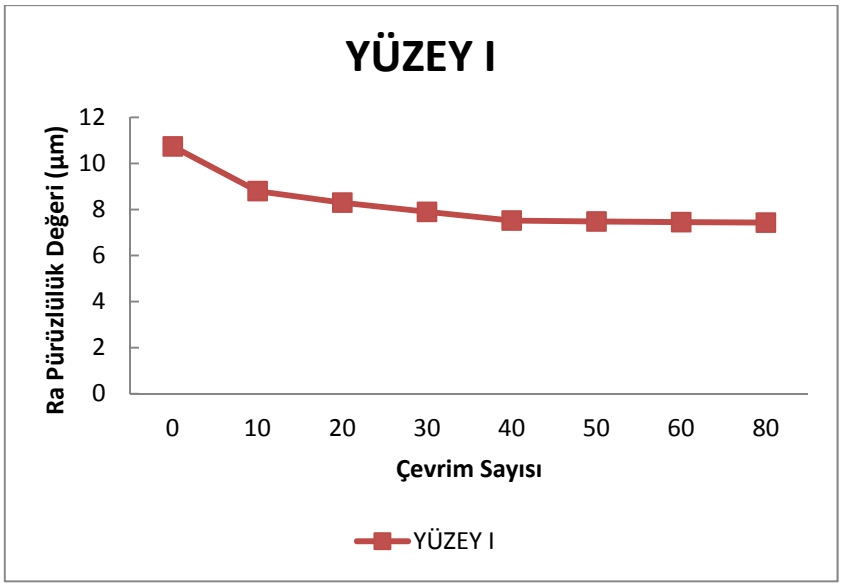

YÜZEY III
Ra Pürüzlülük Değeri (µm)
13,5
13
12,5
12
11,5
11
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Çevrim Sayısı
YÜZEY III

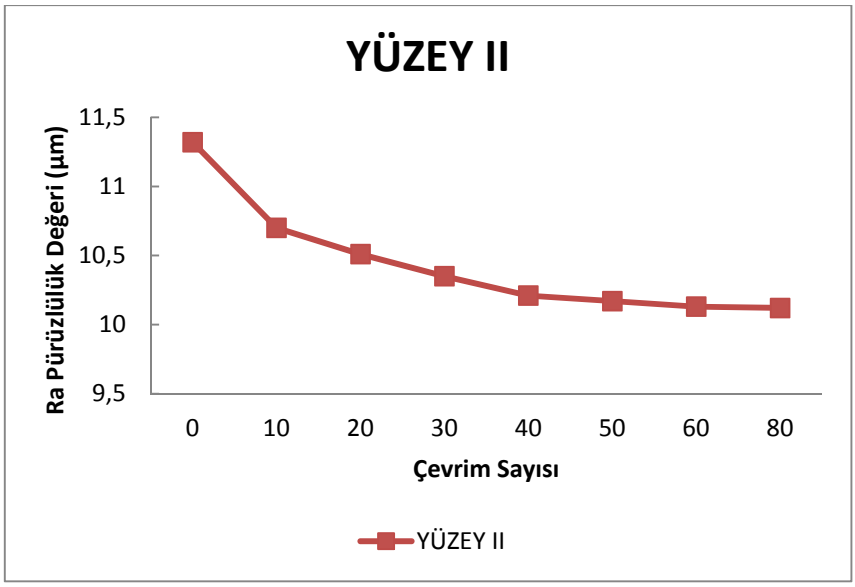
Şekil 4.1. Çevrim sayısına göre yüzey pürüzlülüğünün Ra (µm) değerinden değişimi grafiği

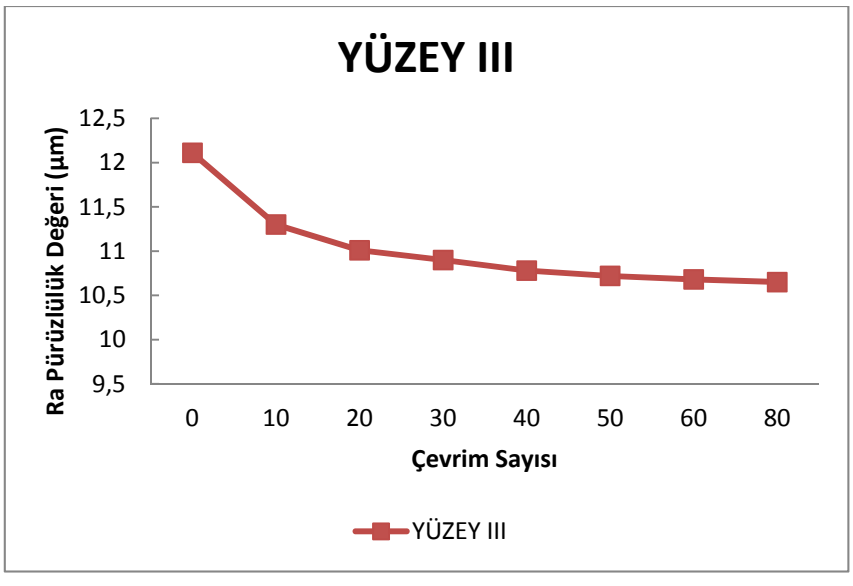
İkinci durumda; macun basıncı 72 bar, karşı basınç 36 bar, macun miktarı 3.1lt, macun hızı 0,02 m/s ve macun yoğunluğu % 70 alınarak farklı çevrim sayılarında iş parçası yüzeylerindeki yüzey pürüzlülük değişimi Çizelge 4.2'de, her bir yüzey için yüzey pürüzlülük değişimleri grafiği Şekil 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çevrim sayısına göre yüzey pürüzlülüğünün Ra (µm) değerinden değişimi.

	YÜZEY I		YÜZEY II		YÜZEY III	
ÇEVRİM	Ra	ΔRa	Ra	ΔRa	Ra	ΔRa
0	10.74	0.00	11.32	0.00	12.11	0.00
10	8.80	1.94	10.70	0.62	11.30	0.81
20	8.30	0.50	10.51	0.19	11.01	0.29
30	7.90	0.40	10.35	0.16	10.90	0.11
40	7.52	0.38	10.21	0.14	10.78	0.12
50	7.48	0.04	10.17	0.04	10.72	0.06
60	7.45	0.03	10.13	0.04	10.68	0.04
80	7.43	0.02	10.12	0.01	10.65	0.03


YÜZEY I
Ra Pürüzlülük Değeri (µm)
12
10
8
6
4
2
0
0
10
20
30
40
50
60
80
Çevrim Sayısı
YÜZEY I

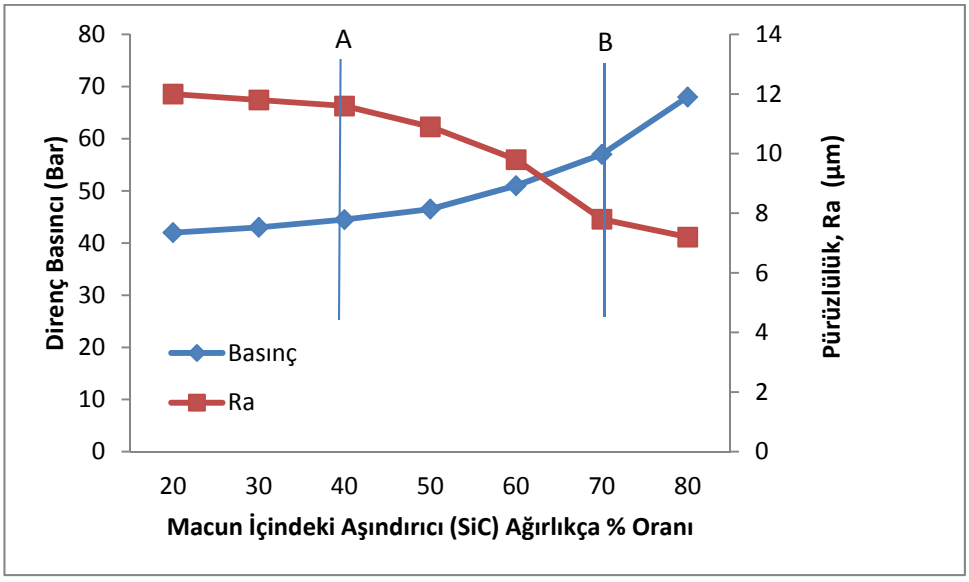

YÜZEY II
Ra Pürüzlülük Değeri (µm)
11,5
11
10,5
10
9,5
0
10
20
30
40
50
60
80
Çevrim Sayısı
YÜZEY II


YÜZEY III
Ra Pürüzlülük Değeri (µm)
12,5
12
11,5
11
10,5
10
9,5
0
10
20
30
40
50
60
80
Çevrim Sayısı
YÜZEY III

Şekil 4.2. Çevrim sayısına göre yüzey pürüzlülüğünün Ra (µm) değerinden değişimi grafiği

4.2. Macun ve Aşındırıcı Karışımının İdeal oranları

Çalışmalarda macun içindeki aşındırıcı oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 4.3 de grafik halinde gösterilmiştir. Aşındırıcı parçacık oranının artırılması ile talaş kaldırma yeteneği artmış fakat macun akışkanlığının azalması sistemde direnç oluşturmuştur. Yapılan deneyler sonucunda yaklaşık % 70 macun içerisindeki kütlesel olarak aşındırıcı parçacık oranından sonra macunda dağılma görülmüştür, bu durum homojen dağılımı ortadan kaldıracağı düşünülerek % 70 oran üzerinde karışımın kullanılmasının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde karışım oranının ideal aralığı Şekil 4.3 de görüldüğü gibi A-B çizgisi ile sınırlandırılmış % 40-70 aralığında olabileceği tespit edilmiştir.



Şekil4.3. Aşındırıcı oranının yüzey pürüzlülüğüne ve direnç basıncına etkisi

4.3. AFM Metodu İle Hidrolik Valfin İç Yüzeyinden Talaş Kaldırma İşlemi

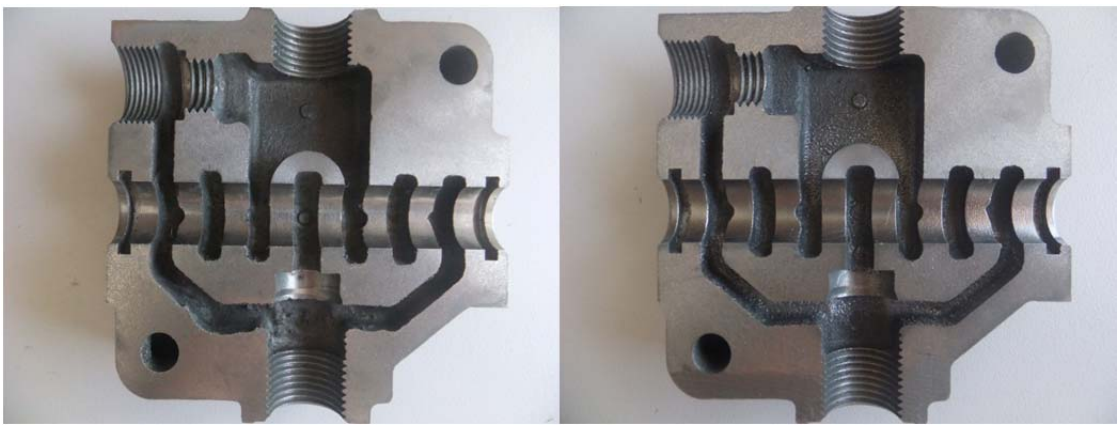
Bu çalışmada, hidrolik sistem devre elemanlarından hidrolik yön kontrol valflerinin yağ akış kanallarının, keskin köşelerinin yuvarlatılması ve döküm sonrası oluşan pürüzlü yüzeyleri parlatarak valf kanallarının akışa karşı yüzey sürtünmelerinin azaltılması, köşe kısımlardaki çapakların alınması, döküm sonrası kalıntıların temizlenmesi sağlanacaktır. Özellikle GGG40 dökümden imal edilen hidrolik yön

kontrol valflerinin iç kısmındaki yağ kanalları shell maça kalıp yöntemiyle elde edilmektedir. Valfin çekirdeğinin takıldığı kısım tornalama, frezeleme ve honlama yöntemiyle işlenmekte ama çekirdeğe dik konumdaki yağ kanallarına ulaşma imkânı bulunmamaktadır. Yağ kanallarının iç yüzeyleri dökümden çıktığı gibi pürüzlü ve köşeler keskindir. AFM yöntem sayesinde karmaşık girintili çıkıntılı malzemelerde bile ulaşılması zor yüzeylerde keskin köşeler olmadan daha pürüzsüz, dar toleranslarda ve daha parlak cidarlar kısa sürede elde edilebilir.

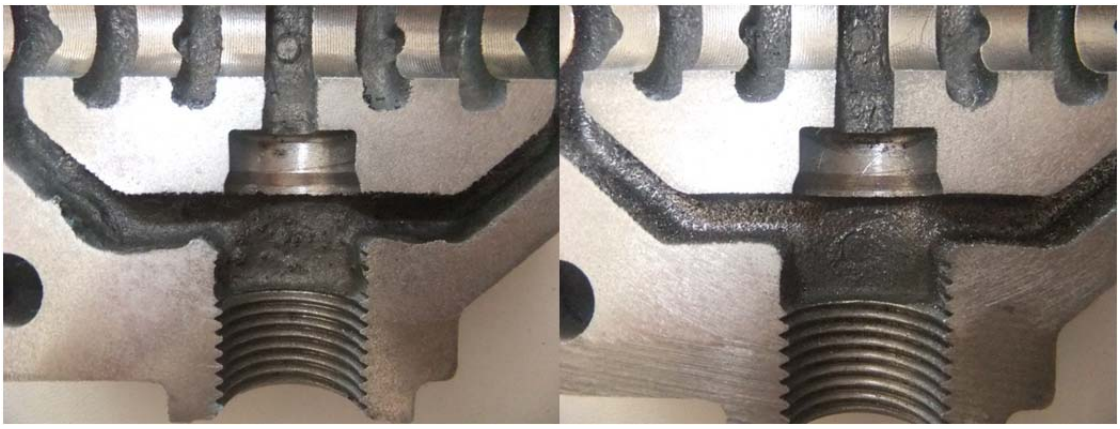
Bu çalışmada hidrolik sistemlerde kullanılan yön kontrol valfi AFM makinasına Şekil 4.4 de ki gibi yerleştirilerek talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Macun olarak % 70 SiC karışımı kullanılmış ve hacim olarak 3,1 litre hazneye yerleştirilmiştir. Macun basıncı 70 bar, direnç basıncı 25 bar ayarlanarak toplamda 40 çevrim yapılmıştır. Çevrim neticesinde valfin iç yüzeylerindeki değişim, kesiti alınarak incelenmiş vebu çalışmada ele alınan yön kontrol valfi kesit resimleri Şekil.4.5 de verilmiştir.



Şekil4.4. Yön kontrol valfinin AFM makinasına yerleştirilmesi.



Önce Sonra

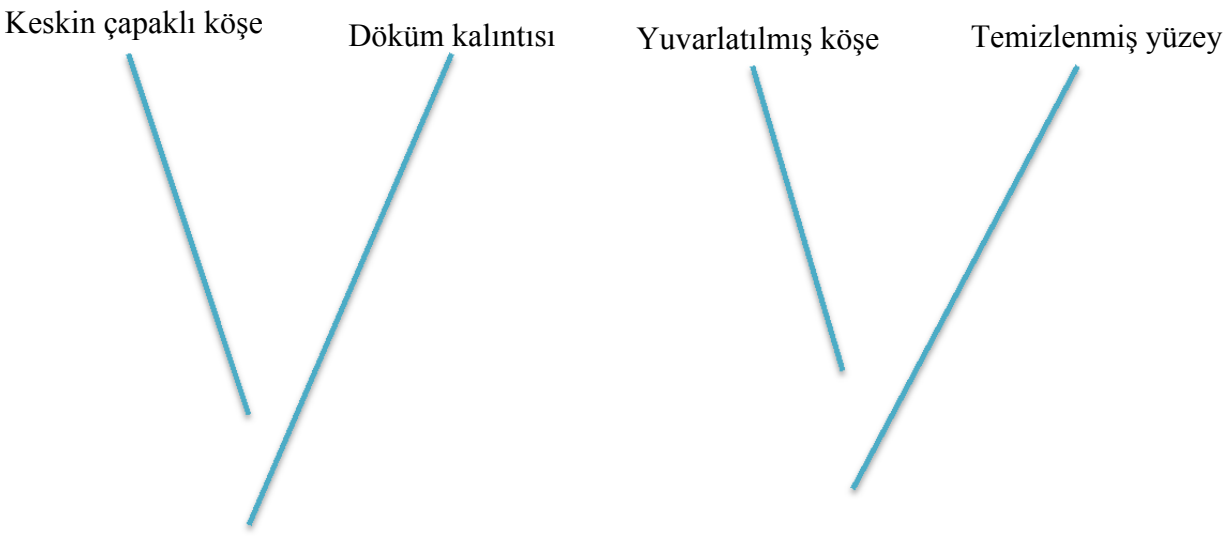


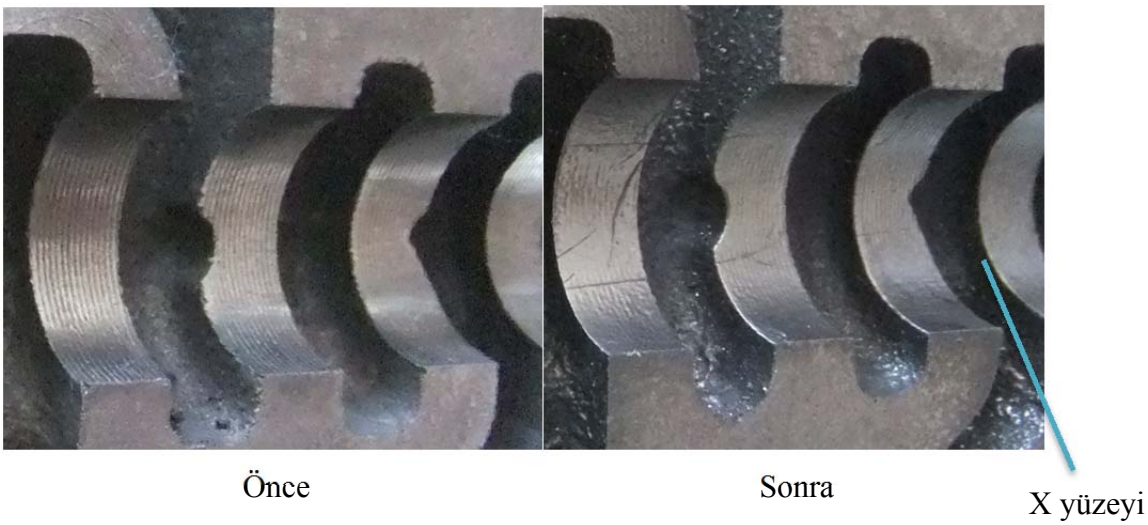
Önce Sonra

Şekil4.5. Yön kontrol valfi kesit resmi

Şekil 4.6 da detay kesit resimlerinde de görüldüğü gibi işlem öncesinde kanallarda daha pürüzlü bir yüzey ve döküm kalıntıları, tornada işlenmiş yüzeylerin köşe kısımları ise keskin köşe ve çapaklı olarak görülmektedir. AFM işleminden sonra ise kanallar daha parlak, döküm kalıntıları tamamen temizlenmiş, köşe kısımlarının çapakları alınmış ve yuvarlatılmış olarak görülmektedir. İşlem yapılmadan önce X yüzeyinden yapılan ölçümde yüzey pürüzlülük değeri Ra 3.649 µm iken, işlem yapıldıktan sonra Ra 2.549 µm olmuştur.

Valflerin iş cidarlarındaki döküm kalıntılarının temizlenmesi ve köşe çapaklarının alınıp yuvarlatılması neticesinde, hidrolik sistemde valfler kullanılırken yağ içerisine bu kısımlardan zamanla kopan parçaların girmesi engellenmiş olacaktır. Dolayısıyla valf, pompa ve sistem arızaları en aza indirilerek ekonomik kayıplar ortadan kaldırılmış olacaktır.



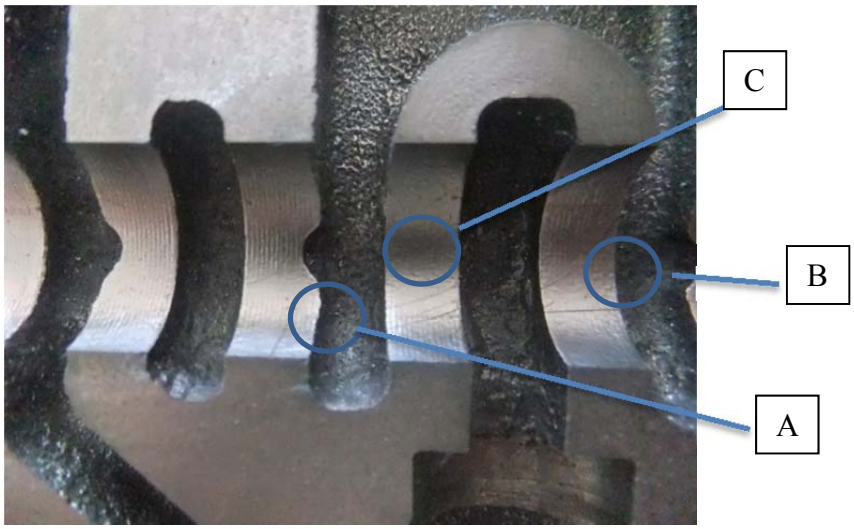


Şekil4.6. Valfin detay kesit resmi

4.4. AFM Metodu İle İşlenmiş Yön Denetim Valfinin İç Yüzeyindeki SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Sonuçları

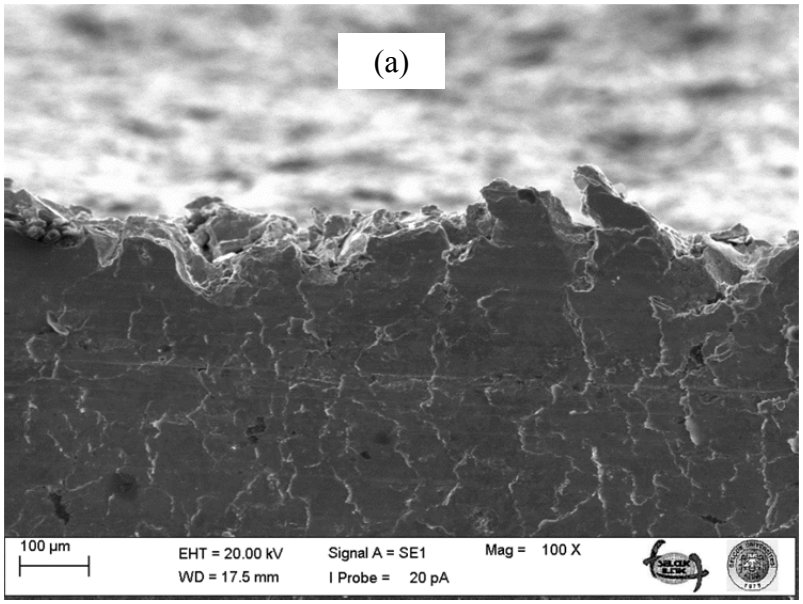
Bu çalışmada tasarımı ve imalatı yapılmış AFM makinası ile yön denetim valfinin iç yüzeyinin işlenmesi 72 bar ve 80 çevrim sonucunda yapılmıştır. İşleme öncesinde ve sonrasında yön denetim valfinin iç yüzeyinin SEM görüntüsü Selçuk Üniversitesi Ar-Ge merkezinde bulunan Taramalı Elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope) ile 40-150 kat arasında büyütülerek alınmıştır. Bu görüntülerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

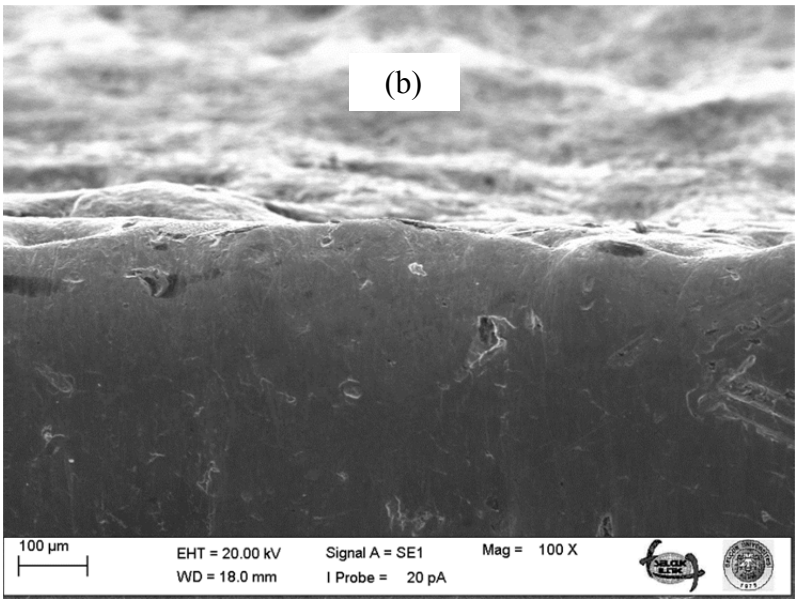
Şekil 4.7 de kesiti olan yön denetim valfinin SEM görüntülerinin alındığı bölgeler gösterilmiştir.



Şekil4.7. Valfin SEM görüntüsü alınan bölgeleri

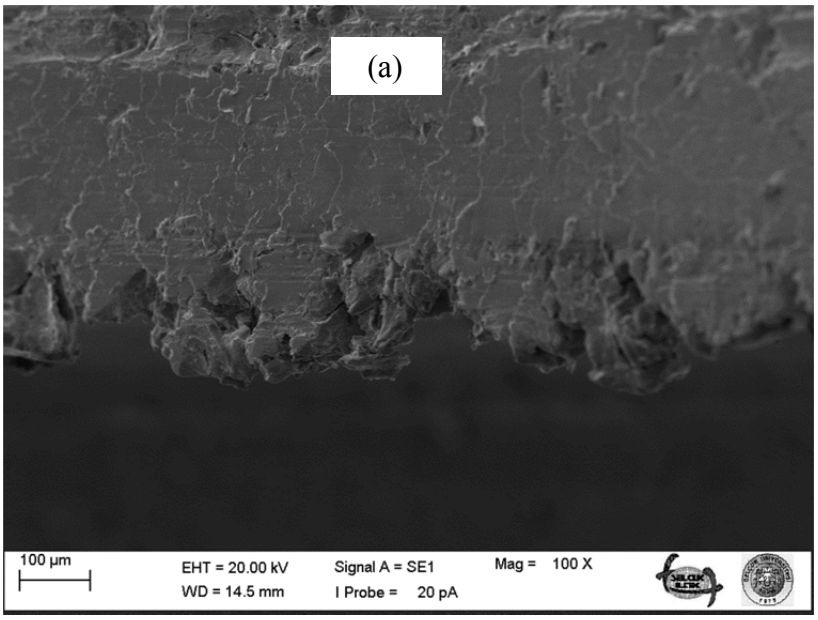
Şekil 4.8de A bölgesinden alınan SEM görüntüleri AFM işlemi öncesi ve sonrası için verilmiştir. AFM öncesinde, daha koyu renkli girintili ve çıkıntılı olarak görünen bölge, yüzey işleme sırasında talaş kaldırmaya bağlı köşe kısımlarda kopmaya yakın küçük talaş parçalarıdır (Şekil 4.8a). Bu küçük talaş parçacıkları basınçlı yağın akışı esnasında koparak yağın içerisinde kirliliğe sebebiyet vermekte ve hidrolik sistem devrelerine zamanla hasar vermektedir. AFM işlemi sonrasında ise bu küçük talaş parçalarının tümüyle yok edildiği ve düzgün radüslü bir köşenin oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.8b).

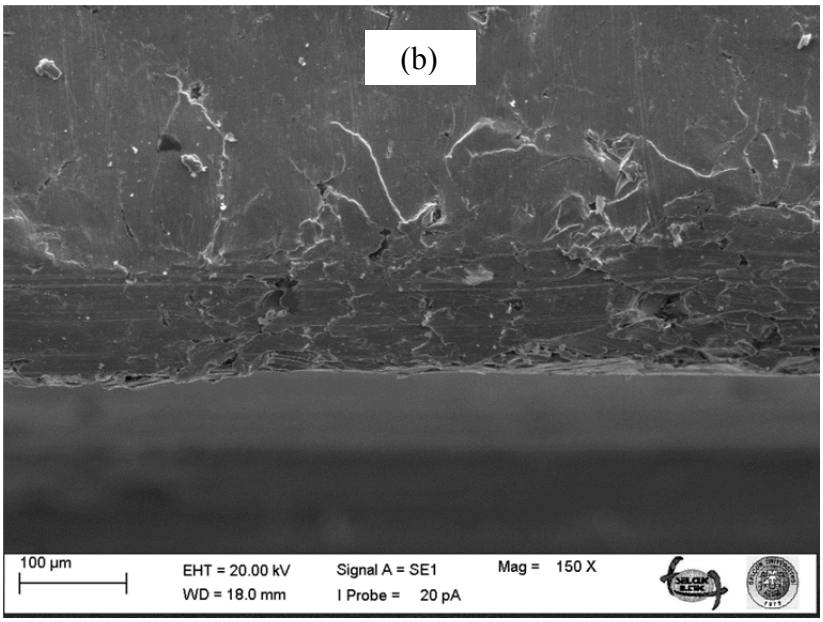




Şekil4.8. Kesiti alınmış valfin A bölgesinin SEM görüntüsü, (a) AFM işlemi öncesi (b) sonrası.

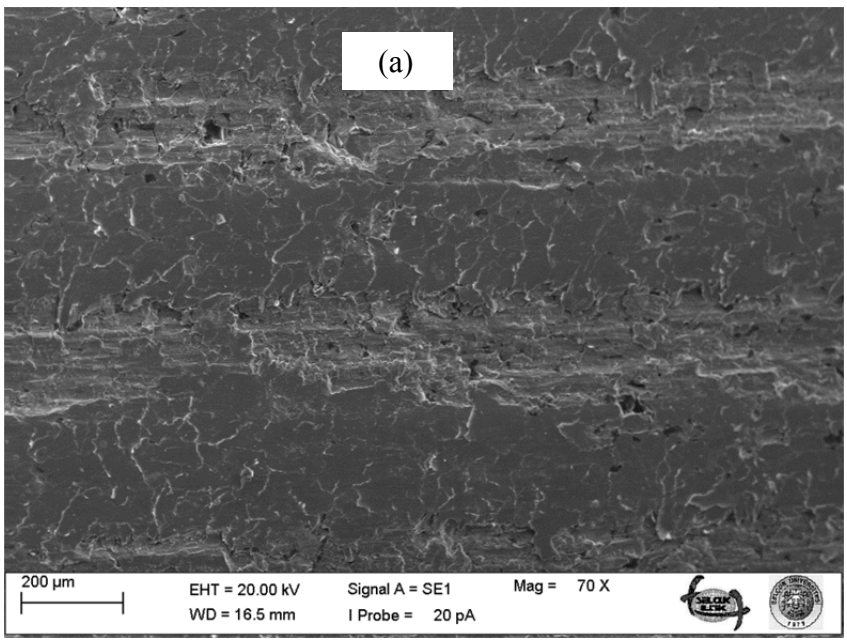
Şekil 4.9 da B bölgesinden alınan SEM görüntüleri AFM işlemi öncesi ve sonrası için verilmiştir. AFM öncesinde koyu gri olan ve A bölgesine göre daha az girintili ve çıkıntılı olarak görünen bölge, aynı şekilde yüzey işleme sırasında talaş kaldırmaya bağlı köşe kısımlarında kopmaya yakın küçük talaş parçalarıdır (Şekil 4.9a). AFM işlemi sonrasında ise bu küçük talaş parçalarının yine tümüyle yok edildiği ve düzgün radüslü (yuvarlatılmış) bir köşenin oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.9b).

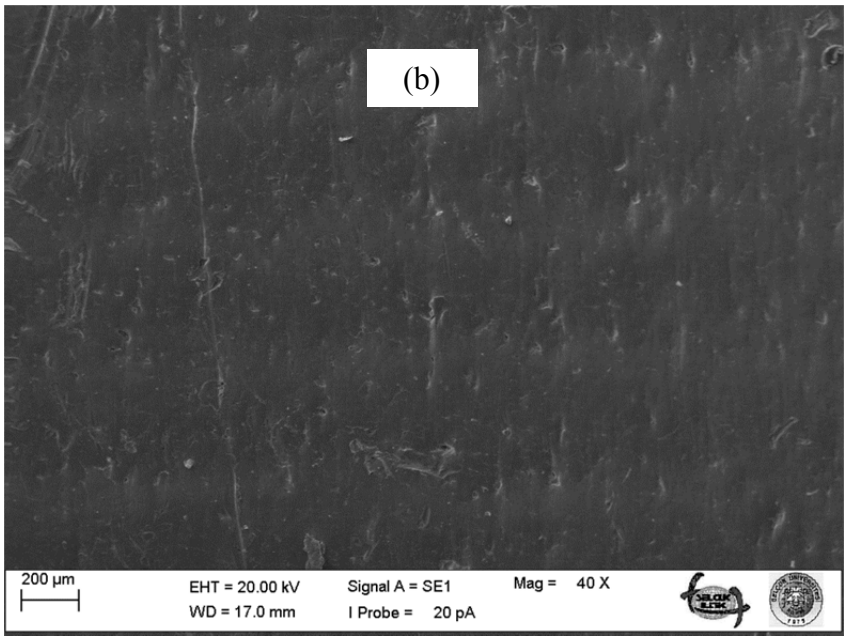




Şekil4.9. Kesiti alınmış valfin B bölgesinin SEM görüntüsü, (a) AFM işlemi öncesi (b) sonrası.

Şekil 4.10'da C bölgesinden alınan SEM görüntüleri AFM işlemi öncesi ve sonrası için verilmiştir. AFM öncesinde, talaşlı işlemeye bağlı olarak talaş kaldırma doğrultusunda takım ucunun yüzeye bırakmış olduğu izler çok açık şekilde görülmektedir (Şekil 4.10a). Bu yüzeylerin daha pürüzsüz hale getirilmesi için honlama ve ezme yöntemi ile finiş yüzey işleme yapılmakta iken, AFM yöntemi ile daha basit ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir (Şekil 4.10b).



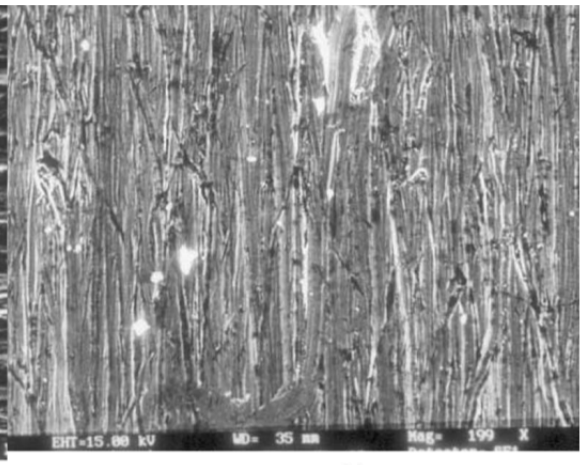


Şekil 4.10. Kesiti alınmış valfin C bölgesinden alınmış SEM görüntüsü, (a) AFM işlemi öncesi (b) sonrası.

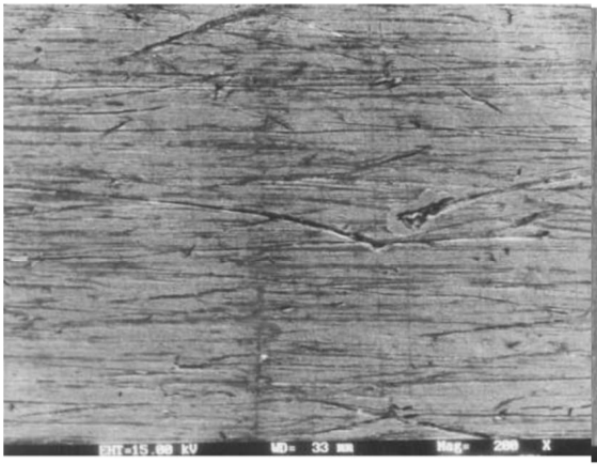
Singh ve ark. (2008) tarafından yapılmış bir çalışma da ise %99 saf alüminyum ve pirinçden yapılmış iş parçalarının AFM metodu işlendikten sonra ki SEM görüntüleri şekil 4.11a ve şekil 4.11b'de verilmiştir. Bu çalışmada da çevrim sayısı ile yüzeylerde kayda değer bir yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği görülmektedir. Ayrıca aynı metotla işlenmesine rağmen pirinç malzemeden iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün alüminyuma göre daha iyi olduğu belirtilmiştir.



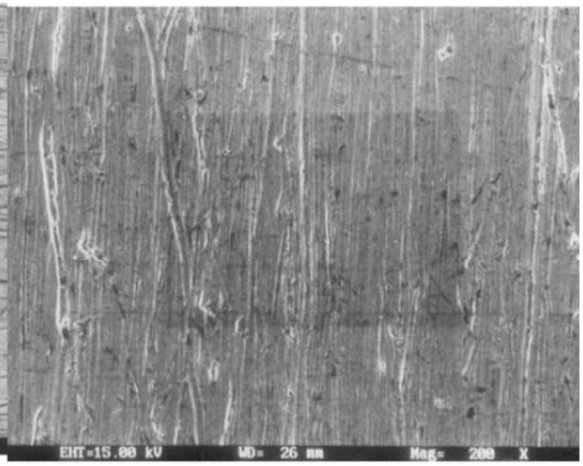
(a)



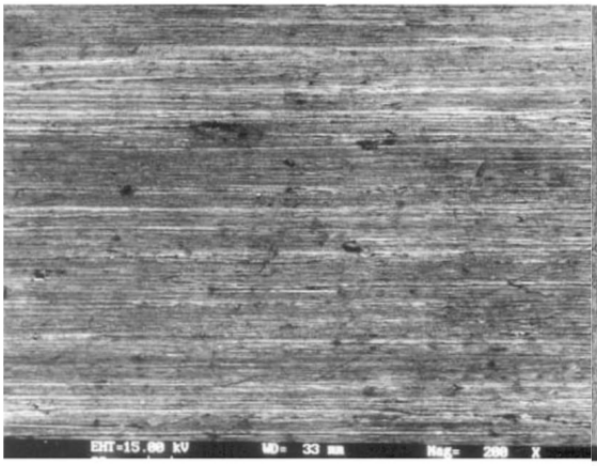
(a)



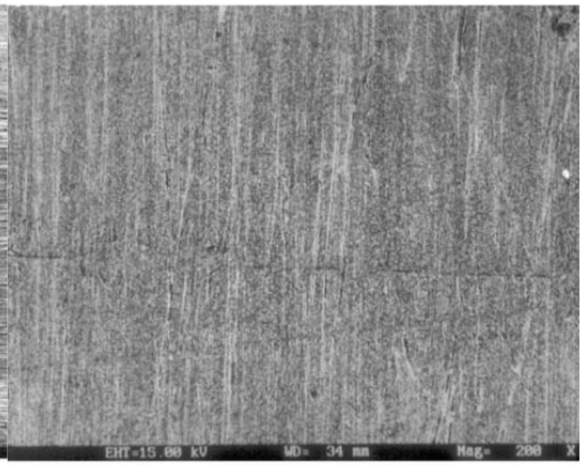
(b)



(b)



(c)



(c)

Şekil 4.11a. AFM ile işlenmiş alüminyum iş parçasının farklı çevrim sayısında SEM görüntüleri (x200) a) 1 çevrim sonunda b) 2 çevrim sonunda c) 3 çevrim sonunda (Singh ve ark.,2008)

Şekil 4.11b. AFM ile işlenmiş pirinç iş parçasının farklı çevrim sayısında SEM görüntüleri (x200) a) 1 çevrim sonunda b) 2 çevrim sonunda c) 3 çevrim sonunda (Singh ve ark.,2008)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, aşındırıcı akışkanla yüzey işleme makinasının (AFM) tasarımı, imalatı ve performansı incelenmiştir. Aşındırıcı akışkanla yüzey işleme(AFM), geleneksel bir yüzey işleme yöntemi olmayıp ileri bir yüzey işleme metodudur. İç kenar köşelerde, ulaşılması zor dip kenarlarda yuvarlatma, çapak alma, parlatma, önceden tanımlanmış köşe ve yüzeyler elde etmede kullanılmaktadır.

Bu amaçla AFM makinesinin şase konstrüksiyon, hidrolik devre ve elektronik kontrol ünitesi tasarlanmış, imalatı ve montajı yapılmıştır. AFM makinesinin performansı için bir iş parçasındaki yüzey pürüzlülüğünün, macun içerisinde bulunan parçacık yoğunluğu, direnç basıncı, macun hızı ve çevrim sayısına göre değişimi araştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda macun hızı,direnç basıncı sabit tutularak parçacık yoğunluğu ve çevrim sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Buna göre parçacık yoğunluğu arttıkça daha az çevrim sayısında yeterli yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir. Ancak macun içerisindeki parçacık yoğunluğunun kütlesel olarak % 70 in üzerine çıkması durumunda macun dağılmakta ve yoğunluk artışından dolayı akış direncinin arttığı görülmüştür. Bu durum hidrolik sistemde yüksek basınçta çalışmaya neden olmaktadır. Aynı parçacık yoğunluğunda çevrim sayısı artıkça yüzey pürüzlülük değeri düşmektedir. Belirli bir çevrim sayısından sonra ise yüzey pürüzlülüğünde kayda değer bir değişim olmamaktadır.

Ayrıca bu çalışmada, GGG 40 malzemeden imal edilen tekli yön kontrol valfinin yağ kanallarının iç yüzeyleri AFM yöntemi uygulanarak pürüzlü ve keskin köşeler daha pürüzsüz ve yuvarlatılmış olarak elde edilmiştir. Bunun için iç yüzeylerdeki keskin köşelerden ve yüzeylerden fotoğraf ve SEM görüntüsü alınarak AFM öncesi ve sonrası olan değişimler incelenmiştir. Buna göre çok açık bir şekilde yüzey pürüzlülüğünde azalma ve talaşlı imalattan kalan kırılmamış köşe talaşlarının bertaraf edildiği görülmüştür.

5.2. Öneriler

AFM metodu ile yapılan talaş kaldırma işleminde yüzey kalitesini ve talaş kaldırma miktarını etkilen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin iyileştirilmesi ve birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemek için aynı deney şartlarında deneylerin yapılması ve hatta bu deneylerin endüstriyel ölçekte bir makinede yapılması çalışmaların uygulanabilirliği açısından önem arz etmektedir.

Macun ve iş parçası arasındaki temasın sağlanması için farklı metotların denenmesi mümkündür. Böylece macun iş parçası yüzeyine daha iyi temas ederek daha fazla talaş kaldırma imkânına erişecektir.

Önemli bir parametre olan macun içerindeki aşındırıcı parçacık yoğunluğunun burada dikkate alınmayan macun hızı ve direnç basıncı karşısında nasıl bir değişim gösterdiği de ileride yapılacak çalışmalar arasında düşünülebilir.

AFM prosesinin farklı malzemelerde nasıl bir sonuç vereceği konusunda da farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

Biing-Hwa Y., Biing-Hwa Y., Hsinn-Jyh T., Finishing effects of spiral polishing method on micro lapping surface. International Journal of Machine Tools and Manufacture 47, 920-926, 2007.

Davies P.J., Fletcher A.J., The assessment of the rheological characteristics of various polyborosilixane/grit mixtures as utilized in the abrasive flow machining, Proceedings of Instn. Mech. Engrs. 209, 409-418, 1995.

Erden A., Mekatronik/Üretim Mühendisliği Bölümü Atılım Üniversitesi, Ankara 2008

Extrudehone co. EXTRUDEHONE CO., USA: **http://www.extrudehone.com**,(Son Erişim: 06.02. 2010)

Fletcher A.J., Hull J.B, Mackie J., Trengove S.A., "Computer modeling of the Abrasive Flow Machining process", Proceeding of International Conference on Surface Engineering, Toronto, pp. 592-601, 1990.

Gilmore , "OrbitalPolishing An Emerging Technology", SME Buffand Polish Clinic,1997.

Gorana V.K., Jain V.K., Lal G.K., "Experimental Investigation Into Cutting Force sand Active Grain Density During Abrasive Flow Machining", Int. J. Mach. Tool&Manufacture,Vol.44, 201-211, 2004.

JainV.K., Adsul S.G., "Experimental Investigations into Abrasive Flow Machining(AFM)", Int. J. Mach. Tool&Manufacture, Vol.40,1003-1021, 2000.

Jain V.K., Jain R.K., "Modeling of Material Removal and Surface Roughness in AFM Process", Int. J. Mach. Tool&Manufacture, Vol.39, 1903-1923, 1999.

Jones, A.R.,Hull, J.B., "Ultrasonic flow machining",Ultrasonics, Vol.36, 97-101, 1998.

Loveless T.R., Willams R.E., Rajurkar K.P., Astudy of the effects of abrasive flow finishing on various machined surfaces, Journal Material Processing Technology, 47 pp.133-151, 1994.

Micro Technica Gmbh, 2011, Micro TechnicaGmbg. www.micro-technica.com (son erişim, 2011)

Petri K.L., Billo R.E., Bopaya Bidanda., A Neural Network Process Model for Abrasive Flow Machining Operations, Journal of Manufacturing Systems Vol.17/No.1, pp. 52-64, 1998

Rajeshwar G., Kozak J., Rajurkar K.P., Modeling and computer simulation of media flow in abrasive flow machining process, Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Chicago, PED, 68, pp.965-971, 1994.

Ravi Sankar M., Jain V.K., Ramkumar J., Experimental Investigations into rotating workpiece abrasive flow finishing, 17 th International conference on Wear of materials (WOM-2009), Las Vegas, April 19-23, 2009

Rhoades, L.J., "AFM and its Uses" Non-traditional Machining Conference Proceedings, Cincinnati, OH, December, 111-120, 1985.

Rhoades, L.J., "Abrasive Flow Machining, A Case Study", Manufacturing Engineering, November 75-78, 1988.

Rhoadesve ark., Rhoades L.J.,Kohut T.A., Reversible Unidirectional AFM, US patent number 5, 070 ,652, Dec 10th, 1991.

Rhoades, L.J., "AFM: A Case Study", J Mater Proc. Tech, Vol.28, 107-116, 1991.

Rhoades L.J., Kohut T.A., Nokovich N.P., Yanda D.W., "Unidirectional abrasive flow machining", US patent number 5,367,833, Nov 29th, 1994.

PrzyklenkK., "Abrasive Flow Machining" ASME, PED, Vol.22, 101-110, 1986.

Shinmura T.,Yamaguchi, H., "Study on a New Internal Finishing Process by Application of Magnetic Abrasive Machining", JSME,Int. J. Ser. C, Vol. 38(4), 798-804, 1995.

Williams R.E., Rajurkar K.P., "Stochastic Modeling and Analysis of Abrasive Flow Machining", Trans. ASME J Eng. Ind., Vol.114, 78-81, 1992.

Williams R.E., Rajurkar, K.P., "Metal Removal and Surface Finish Characteristics in AFM", ASME PED, Vol.38, 93-106, 1989.

Williams R.E., Rajurkar, K.P., "Performance Characteristics of AFM", SME Tech Paper, 898-906, 1989.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

AdıSoyadı : Mahmut Sami Şahin
Uyruğu : TC
DoğumYeriveTarihi : Karaman 1971
Telefon : 05323145071
Faks : 03323464558
e-mail : mssahin@simyahidrolik.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**BitirmeYılı**
Lise	:	**İHL,Karaman**	**1989**
Üniversite	:	**S.Ü. Müh.Mim. Fak. MakinaMüh. Bl. Konya**	**1993**
YüksekLisans	:	**Devamediyor**	**-**
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1995	İttifakMakina A.Ş.	ÜretimŞefi
1996	Metosan Ltd. Şti.	ProjeMüdürü
1998	SimyaHidrolik Ltd. Şti	ŞirketMüdürü

UZMANLIK ALANI

HidrolikOtomasyon

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR