

**T/M İLE ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM ESASLI
MALZEMELERİN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE
TAKVİYE ELEMANI İÇERMELERİNE BAĞLI TEL
EREZYONDA İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

2011

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Emre YURTKURAN

**T/M İLE ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM ESASLI MALZEMELERİN ALAŞIM
ELEMENTLERİ VE TAKVİYE ELEMANI İÇERMELERİNE BAĞLI TEL
EREZYONDA İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

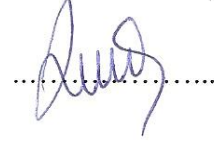
Emre YURTKURAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Şubat 2011**

Emre YURTKURAN tarafından hazırlanan “T/M İLE ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM ESASLI MALZEMELERİN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE TAKVIYE ELEMANI İÇERMELERİNE BAĞLI TEL EREZYONDA İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Gökhan SUR



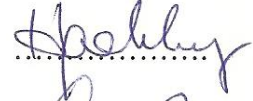
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04 / 02 / 2011

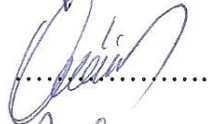
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜRÜN (GÜ)



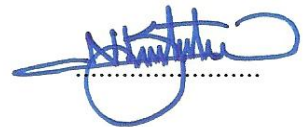
Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)



...../...../2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Emre YURTKURAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

T/M İLE ÜRETİLMİŞ ALÜMİNYUM ESASLI MALZEMELERİN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE TAKVİYE ELEMANI İÇERMELERİNE BAĞLI TEL EREZYONDA İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre YURTKURAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd.Doç.Dr.Gökhan SUR

Şubat 2011, 137 sayfa

Bu çalışmada, toz metalurjisi (T/M) yöntemi ile üretilmiş alüminyum esaslı malzemelerin farklı alaşım elementleri ve takviye elemanları içermelerine bağlı olarak tel elektrot erezyon yöntemi ile işlenebilirlikleri araştırılmıştır. Alüminyum esaslı T/M malzemelere belirli oranlarda Cu ve Mg gibi alaşım elementleri ile SiC parçacıkları takviye edilerek preslenmiştir. Daha sonrasında argon atmosferi altında yapılan sinterleme işleminin ardından beş farklı numune elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler tel elektro erezyon tezgahında kesilmiştir. Üretilen her bir malzeme grubu için puls ara süresi ayar parametresi ile tel elektrot ilerleme hızı değişken olarak tayin edilmiştir. Tel elektrodun kesim yaptığı yüzeylerden yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş bu şekilde alaşım elementleri ve takviye elemanı katkısının etkisi incelenmiştir. Kesilen yüzeylerden alınan sertlik değerleri ile malzemenin kendi sertliği arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca tel elektrotta meydana gelen

ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçülerek ağırlık kayıpları yardımıyla tel elektrotta meydana gelen aşınma miktarı tespit edilmiştir. Kesilen yüzeyde meydana gelen mikroyapı değişimleri fotoğraflanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Tel erezyon, toz metalurjisi, mikrosertlik ve mikroyapı,
işlenebilirlik

Bilim Kodu : 914.1.093

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF WEDM MACHINABILITY OF ALUMINIUM BASED P/M MATERIALS DEPENDING UPON ALLOYING ELEMENTS AND REINFORCEMENT PHASE

Emre YURTKURAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Gökhan SUR

February 2011, 137 pages

In this study, WEDM (wire electrical discharge machining) machinability of aluminum based materials produced via powder metallurgy (P/M) route was investigated depending upon alloying elements and reinforcement phase. Aluminum based P/M materials were produced by with the addition of Cu and Mg as alloying elements and SiC particles as reinforcement to aluminum powders at the specified rates. Then, the blended powders were cold pressed. Finally, 5 different test samples were obtained at after sintering process under argon atmosphere. The produced samples were cut in a wire electrical discharge machine. The puls OFF duration adjustment parameter and wire electrode feed rate were specified as variables for each material group produced. Surface roughness was evaluated on the WEDM cut

surface and the effect of alloying elements and reinforcement phase were analyzed. Comparisons were made between hardness values on the WEDM cut surfaces and hardness of sample material. Additionally weight loss occurred in wire electrode was evaluated with a scale and wear amount of wire electrode was determined. The microstructural changes on the cut surface were photographed. The obtained results were presented and discussed in graphic forms.

Key Words : Wire EDM, powder metallurgy, hardness and microstructure, machinability

Science Code : 914.1.093

TEŞEKKÜR

Emek ve bilgisiyle bu tez çalışmasının ortaya çıkarılmasında tüm gücüyle yardımcı olan, hiçbir aşamasında beni yalnız bırakmayan tez danışmanım çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökhan Sur'a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyesi, Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜRÜN'e, malzeme üretim aşamasındaki tecrübelerinden yararlandığım Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Görevlisi Hanifi ÇİNİCİ'ye, malzeme laboratuvarını bize açan Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e, metalografi işlemlerinde yardımlarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Arş. Gör. Engin ÇEVİK'e ve Yüksek Lisans Öğrencisi Bünyamin ÇİÇEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimle ilgili işlerdeki yön göstericiliklerinden dolayı Fen Bilimleri Enstitüsü yönetimine, özellikle de Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ ve Enstitü Sekreteri Ümran ÇELİK'e, bu tezin ortaya çıkarılması sürecinde benimle birlikte olan ve desteklerini esirgemeyen Hakan YURTKURAN, Ali Rıza G. ÖZTÜRK ve Mahir AKGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1. T/M ve KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMLERİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.2. ELEKTRO EREZYON TEZGAHLARINDA İŞLENEBİLİRLİK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	8
BÖLÜM 3	13
TOZ METALURJİSİ	13
3.1. GİRİŞ.....	13
3.2. TOZ METALURJİSİNİN TARİHÇESİ	13
3.3. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN TEMEL BASAMAKLARI	15
3.3.1. Toz Hazırlama ve Toz Üretim Teknikleri	16
3.3.2. Presleme.....	19
3.3.3. Sinterleme.....	20
3.4. TOZ METALURJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI.....	21

	<u>Sayfa</u>
3.4.1. Takım Çelikleri	21
3.4.2. Sermetler	21
3.4.3. Sert Metaller	21
3.4.4. Elektrik ve Manyetik Uygulamalar	21
3.4.5. Gözenekli Metaller ve Filtreler	22
3.4.6. Sürtünme Elemanları	22
3.4.7. Askeri Uygulamalar	22
3.4.8. Kaymalı Yataklar	23
3.5. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJLARI.....	24
3.6. TOZ METALURJİSİNİN SINIRLILIKLARI	25
BÖLÜM 4	26
TEL ELEKTRO EREZYON YÖNTEMİ	26
4.1. TEL ELEKTRO EREZYON TEKNİĞİ İLE İŞLEME ÖZELLİKLERİ	26
4.2. TEL ELEKTRO EREZYON İLE İŞLEMENİN MEKANİĞİ.....	28
4.3. TEL ELEKTRO EREZYON İLE İŞLEMENİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	30
4.4. TEL ELEKTRO EREZYON TEZGAHLARININ DONANIMI.....	31
4.4.1. Konum İzleme Sistemi	31
4.4.2. Tel İlerletme Sistemi	32
4.4.3. Güç Kaynağı	32
4.4.4. Dielektrik Sistem	32
4.4.5. İşleme Parametreleri	33
4.4.5.1. Puls Süresi (ON Time).....	33
4.4.5.2. Puls Ara Süresi (OFF Time)	33
4.4.5.3. Ana Güç Kaynağı Maksimum Akımı (IP).....	33
4.4.5.4. Yardımcı Güç Kaynağı Devresi (HP).....	34
4.4.5.5. Puls Ara Süresi Ayarı [M(A)].....	34
4.4.5.6. Aralık Voltajı (SV)	35
4.4.5.7. Ana Güç Kaynağı Voltajı (V).....	35
4.4.5.8. Tabla İlerleme Hızı (SF)	36
4.4.5.9. Tel Gerilmesi (WT).....	36
4.4.5.10. Tel İlerleme Hızı (WS)	36

	<u>Sayfa</u>
4.5. TEL ELEKTRO EREZYON SİSTEMİNİN AVANTAJ ve SINIRLILIKLARI.....	36
4.6. TEL ELEKTRO EREZYON YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI .	39
4.6.1. Kalıp ve Kalıp Parçaları	40
4.6.2. Sac Metal Pres Kalıpları.....	40
4.6.3. Ekstrüzyon Kalıpları	40
4.6.4. Prototip İmalatı	40
4.6.5. Kesici Takımlar	40
BÖLÜM 5	41
MATERYAL ve METOD.....	41
5.1. GİRİŞ.....	41
5.2. NUMUNE ÜRETİMİ	41
5.2.1. Toz Malzemeler ve Özellikleri	41
5.2.2. Tozların Karıştırılması ve Preslenmesi.....	42
5.2.3. Numunelerin Sinterlenmesi	43
5.2.4. Mikroyapı İncelemesi	44
5.2.5. Sertlik Ölçümü.....	45
5.3. TEZGAH ve PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ	45
5.3.1. Kesme İşleminde Kullanılan Tezgah ve Teknik Özellikleri	45
5.3.2. Kesme İşleminde Kullanılan Tel Elektrot	47
5.3.3. Kesme Parametreleri.....	47
5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN ÖLÇÜMÜ	49
5.5. TEL ELEKTROT İLE İLGİLİ İŞLEMLER	50
5.5.1. Tel Elektrot Ağırlıklarının Ölçülmesi.....	50
BÖLÜM 6	52
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	52
6.1. GİRİŞ.....	52
6.2. T/M MALZEME ÜRETİMİ	53
6.3. MİKROYAPI ve SERTLİK ÖLÇÜMLERİ.....	53
6.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	56

6.4.1. AL999 ve AL231 T/M Malzeme Grubu İçin Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	57
6.4.1.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.	57
6.4.1.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	63
6.4.1.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	64
6.4.1.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme...	68
6.4.2. Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M Malzeme Grubu İçin Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	69
6.4.2.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.	69
6.4.2.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	74
6.4.2.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	75
6.4.2.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme...	80
6.4.3. Al231 ve Al231SiC4 T/M Malzeme Grubu İçin Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	81
6.4.3.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.	81
6.4.3.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	86
6.4.3.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları	87
6.4.3.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme...	91
6.5. TEL ELEKTROT AŞINMA MİKTARLARI	92
6.5.1. Al999 ve Al231 T/M Malzeme Grubu İçin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı	93
6.5.1.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	93

6.5.1.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kayıpları Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	98
6.5.1.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	99
6.5.1.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	103
6.5.2. Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M Malzeme Grubu İçin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı.....	103
6.5.2.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	104
6.5.2.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kayıpları Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	108
6.5.2.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	109
6.5.2.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	112
6.5.3. Al231 ve Al231SiC4 T/M Malzeme Grubu İçin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı.....	113
6.5.3.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	114
6.5.3.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kayıpları Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	118
6.5.3.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları.....	119
6.5.3.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri ile İlgili Genel Değerlendirme	123
6.6. MİKROSERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	124
 BÖLÜM 7	126
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	126
 KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŞ	137

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. T/M yönteminin aşamaları	15
Şekil 3.2. Mekanik alaşımlama yöntemi	17
Şekil 3.3. Elektroliz ile toz üretimi.....	19
Şekil 3.4. T/M parçaların presleme basamakları	20
Şekil 4.1. Tel erezyonla işleme prensibi.....	26
Şekil 4.2. WEDM işleminin şematik görünüşü	27
Şekil 4.3. Deşarj işleminin safhaları.....	29
Şekil 4.4. Tel elektro erezyon tezgahı sistemi.....	31
Şekil 4.5. WEDM işlemini etkileyen faktörler	39
Şekil 5.1. Karışım cihazı	42
Şekil 5.2. Tek yönlü presleme kalıbı şematik gösterimi ve numune ebatları.....	43
Şekil 5.3. Sinterleme işleminin şematik görünümü.....	44
Şekil 5.4. Şeffaf reçineye alma işlemi ve numunelerin konumlandırılması.....	44
Şekil 5.5. Mikrosertlik ölçüm noktalarının şematik görünümü.....	45
Şekil 5.6. Sodick Apt II A marka CNC tel elektro erezyon tezgahı.....	46
Şekil 5.7. Yüzey pürüzlülüğü test cihazı ve bilgisayar ekranı	50
Şekil 5.8. Tel ağırlıklarının ölçüldüğü hassas terazi	51
Şekil 6.1. T/M numunelere ait mikroyapı fotoğrafları	54
Şekil 6.2. T/M malzemelere ait işlenmiş yüzey mikroyapı fotoğrafları.....	55
Şekil 6.3. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	58
Şekil 6.4. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	59
Şekil 6.5. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	61
Şekil 6.6. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	62
Şekil 6.7. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	64
Şekil 6.8. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	65
Şekil 6.9. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	66

Sayfa

Şekil 6.10. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	67
Şekil 6.11. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	70
Şekil 6.12. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	71
Şekil 6.13. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	72
Şekil 6.14. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	73
Şekil 6.15. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	76
Şekil 6.16. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	77
Şekil 6.17. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	78
Şekil 6.18. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	79
Şekil 6.19. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	82
Şekil 6.20. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	83
Şekil 6.21. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	84
Şekil 6.22. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği	85
Şekil 6.23. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	87
Şekil 6.24. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	88
Şekil 6.25. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	89
Şekil 6.26. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği..	90
Şekil 6.27. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	94
Şekil 6.28. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	95
Şekil 6.29. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	96
Şekil 6.30. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	97
Şekil 6.31. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	99
Şekil 6.32. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	100
Şekil 6.33. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	101

Sayfa

Şekil 6.34. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	102
Şekil 6.35. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	104
Şekil 6.36. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	105
Şekil 6.37. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	106
Şekil 6.38. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	107
Şekil 6.39. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	109
Şekil 6.40. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	110
Şekil 6.41. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	111
Şekil 6.42. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	112
Şekil 6.43. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	114
Şekil 6.44. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	115
Şekil 6.45. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	116
Şekil 6.46. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği	117
Şekil 6.47. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	120
Şekil 6.48. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	121
Şekil 6.49. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	122
Şekil 6.50. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği ..	123

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. T/M alanında yıllara göre gelişmeler	14
Çizelge 3.2. Metal tozlarının uygulama alanları	23
Çizelge 5.1. Deneyleerde kullanılan T/M malzemeler	42
Çizelge 5.2. Sodick Apt II A marka CNC tel elektor erezyon tezgahının teknik özellikleri.....	46
Çizelge 5.3. Tel elektrot özellikleri.....	47
Çizelge 5.4. Birim zamandaki tel elektrot sarfıyatı.....	47
Çizelge 5.5. İşleme şartları genel tablosu.....	48
Çizelge 5.6. İşleme şartları detay tabloları.....	48
Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülüğü test cihazına ilişkin teknik özellikler.....	49
Çizelge 6.1. Malzemelere ait mikrosertlik değerleri	55
Çizelge 6.2. T/M malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları	56
Çizelge 6.3. Kıyaslanan T/M malzeme grupları	57
Çizelge 6.4. M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı parametreleri.....	63
Çizelge 6.5. WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri.....	69
Çizelge 6.6. M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı parametreleri.....	75
Çizelge 6.7. WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri.....	81
Çizelge 6.8. M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı parametreleri.....	86
Çizelge 6.9. WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri.....	91
Çizelge 6.10. Kesme işlemini gerçekleştiren tel elektrottaki ağırlık kayıpları	92
Çizelge 6.11. Kıyaslanan T/M malzeme grupları	93
Çizelge 6.12. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından M ve A değişimine bağlı en uygun WS parametreleri	98
Çizelge 6.13. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından WS değişimine bağlı en uygun M(A) parametreleri	103
Çizelge 6.14. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından M ve A değişimine bağlı en uygun WS parametreleri	109
Çizelge 6.15. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri	113

Çizelge 6.16. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı parametreleri	119
Çizelge 6.17. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri	124
Çizelge 6.18. Kesilen yüzey ile anayapı mikrosertlik değerleri.....	124
Çizelge 7.1. M(A) ve WS parametrelerine bağlı ideal işleme parametreleri	125

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cr	: Krom
Mg	: Magnezyum
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum Karbür
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
µm	: Mikronmetre
Fe ₂ O ₃	: Demir Oksit
gr	: Gram
MPa	: MegaPascal
Ti	: Titanyum
Be	: Berilyum
Mg	: Miligram
Cu	: Bakır
Ar	: Argon

KISALTMALAR

T/M	: Toz Metalurjisi
WS	: Tel İlerleme Hızı
M(A)	: Puls Ara Süresi Ayarı
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
WEDM	: Tel Elektro Erezyon Tezgahı
ON	: Puls Süresi
OFF	: Puls Ara Süresi
HP	: Yardımcı Güç Kaynağı Devresi
IP	: Ana Güç Kaynağı Maksimum Akımı
V	: Ana Güç Kaynağı Voltajı
WT	: Tel Gerginliği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Üretim teknolojilerini oluşturan çeşitli endüstri dallarındaki ilerlemeler, bu sektörlerin hammaddesi olan malzemelerin üretimi ve geliştirilmesi üzerine çalışan malzeme bilimlerinin de gelişmesini zorunlu kılmıştır. Özellikle, spesifik dayanım özelliklerinde malzeme üretilebilmesini mümkün kılan toz metalurjisi (T/M) yönteminin ortaya çıkmasına yol açmıştır. T/M, saf metal ve alaşım tozları ile seramik esaslı tozların bir kalıp içerisinde şekillendirilip ısıl işlemle (sinterleme) mukavemetlendirilmesi tekniğine verilen genel addır. Son yıllarda T/M yöntemi ile üretilen parça sayısında ve parça çeşidinde artışlar olmuştur. Bunun nedenlerinden başlıcaları ekonomiklik, düşük yoğunluklarının yanında yüksek mukavemete sahip olmaları ve kullanım yerine özgü özelliklerde üretilebilmeleridir. Örneğin ekonomiklik açısından incelendiğinde 316 tipi paslanmaz çelikten talaşlı imalatla üretilen hidrolik pompa rotorunda T/M yöntemi ile üretime geçilince toplam maliyette 5,06:1, malzeme maliyetinde 1,81:1, üretim maliyetinde 2,21:1 oranında tasarruf sağlanmıştır. Yine talaşlı imalatla üretilen paslanmaz çelik dişlide T/M yöntemi ile üretime geçilince malzeme miktarında 1,83:1, malzeme maliyetinde 1,88:1, üretim maliyetinde 6,28:1 oranında tasarruf edilmiştir [1].

T/M malzemelerin avantajları arasında sayılan talaşlı imalat gerektirmemesi veya en aza indirgenmesi işlenebilirliğinin araştırılmasına engel teşkil etmemektedir. Yüzey pürüzlülüklerinin iyileştirilmesinde veya mamül üzerinde bulunan elemanların (delikler, ince cidarlı kanatlar, vb.) işlenmesinde talaşlı üretime gereksinim duyulmaktadır. Bununla birlikte alaşım elementi içeren alüminyum (Al) esaslı T/M malzemelerin zayıf işlenebilirlikleri, yaygın olarak kullanımlarını engellemektedir. Bu tür T/M malzemeler içerdikleri sert seramik parçacıklardan dolayı kesici takımların oldukça hızlı bir şekilde aşınmasına ve dolayısı ile yüksek takım maliyetine neden olurlar. Bundan dolayı, üretkenliği arttıracak ve işleme maliyetini

minimum yapabilecek kesme şartlarını belirleyebilmek için en uygun işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nokta da klasik işleme yöntemlerine göre (torna, freze, vb.) daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri sunan ve malzeme iç yapısında da işlemeden kaynaklı iç gerilmelerin oluşumunda daha az etkili bir işleme tekniği olan tel elektro erezyon yöntemi akla gelmektedir.

Tel elektro erezyon işleme (Wire Electro Discharge Machining; WEDM) tezgahları üzerinden akım geçen bir tel yardımıyla dielektrik sıvı içerisinde kıvılcım atlamalarıyla talaş kaldıran bilgisayar kontrollü tezgahlardır. Bu tezgahlarda elektrik iletkenliği olan bütün malzemelerin işlenmesi mümkündür. Tel elektro erezyon ile işleme tekniğinin başarısını, geleneksel metotlarla işlenmesi zor malzemelerin kolay işlenmesine atfetmek mümkündür. Son yıllarda, tel elektro erezyon tezgahları hızla gelişmiş ve yeni uygulama alanları kazanmıştır. WEDM genellikle, CNC kontrollü, dielektrik sıvı içerisinde işleme, güvenilir otomatik tel sürme, programlanabilir çok eksenli hareket sistemi ve otomatik su/yağ dielektrik sıvı değiştirme gibi unsurlar ile malzemelerin işlenmesindeki kolaylığından dolayı çoğunlukla çok sert malzemelerin ve karmaşık şekilli parçaların imalatı için en iyi alternatifi sağlar [2].

T/M malzemelerin preslenmesi aşamasında üzerinde bulunan küçük çaplı delikler ve ya ince feder gibi kısımların kalıptan düzgün bir şekilde çıkartılması malzemelerin mukavemetsiz olmalarından dolayı güç olmaktadır. Bu şekilde mukavemetsiz T/M malzemelerin kalıptan çıkarılsa bile sinterleme aşamasına geçişte kırılmaları ve bozulmaları olasılık dahilindedir. Bu şekilde küçük çaplı deliklerin, ince feder ve ya çıkıntı gibi kısımların sinterleme işlemi sonrasında tel elektro erezyon tezgahlarında kesimi gerçekleştirilerek maliyetten kazanç sağlanabilir. Bu çalışma ile amaçlanan hedefler; hem kalıplama, hem de üretim aşamaları arasındaki geçişte meydana gelen fireleri engellemek, üründen istenilen ölçü, şekil ve konum toleransları açısından daha dar toleranslarda ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ekonomik malzeme üretimini sağlamaktır.

Literatür taraması sonucu araştırmacılar tarafından sözü edilen ortak görüşün tel elektro erezyon tezgahının birçok parametresinin olduğu ve bu parametrelerin

hepsinin araştırılmaya muhtaç konular olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra kesme işlemine doğrudan etkisi olmayan fakat kesme kararlılığını belirleyen faktör olan puls ara süresi ayar [M(A)] parametresinin etkisinin araştırılmasına yönelik çok fazla çalışma olmadığı tarama sonucunda tespit edilen bir başka noktadır.

Bu çalışma endüstride yaygın bir şekilde kullanılan T/M yöntemiyle üretilmiş malzemelerin tel elektro erezyon tezgahında işlenebilirlik özelliklerinin takviye elemanı, alaşım elementleri ve değişken seçilen M(A) ve tel ilerleme hızı (WS) işleme parametrelerine bağlı olarak belirlenmesini kapsamaktadır. Bu kapsamda T/M üretim tekniği ile Al esaslı ve değişik oranlarda alaşım elementleri (Cu, Mg) ve takviye elemanı (SiC) içeren beş farklı T/M malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında elde edilen T/M malzemelerin mikroyapı ve bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Üretilen malzemeler birbiri ile kıyaslanabilecek şekilde gruplandırılmış ve işlenebilirlik özellikleri her bir malzeme grubu için WS ile M(A) parametrelerinin değişimi açısından değerlendirilmiştir. İşleme sonrası tel elektrodun kesim yaptığı yüzeylerden yüzey pürüzlülük ve mikrosertlik değerleri ile kesici olarak kullanılan tel elektrodun aşınma kayıpları tespit edilmiştir.

Bu çalışma; konuyla ilgili literatür incelemesi, toz metalurjisi, tel elektro erezyon ile işleme esasları, materyal ve metot, deneysel çalışma ve sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar, ulaşmak istedikleri hedeflere varmak ve hayatı kolaylaştırmak için tasarladıkları araç ve teçhizatlarda, enerjiyi verimli kullanmak ve onların kullanım ömürlerinin arttırarak ekonomik hale getirmeyi amaçlamaktadırlar. Bu da ancak kullanılan materyallerin ağırlıklarının azaltılmasına karşılık, dayanım özelliklerinin geliştirilerek, kullanım ömürlerinin de uzamasının sağlanması ile gerçekleştirilebilir. Bu amaçla, düşük yoğunluk özelliklerine karşı, yüksek dayanım özelliklerine sahip, kullanım ömürlerinin diğer malzeme gruplarına göre daha uzun ve verimli olduğu bilinen kompozit malzemelerin, üretimlerinde karşılaşılan problemlerin azaltılarak, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, şekillendirme kabiliyetlerinin kolaylaştırılması ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması üzerine, araştırmacılar çalışmalarını odaklamaktadırlar [3].

2.1. T/M ve KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMLERİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Endüstrinin birçok alanında özellikle otomotiv ve ulaşım sanayisinde son zamanlarda dikkat çeken çalışmalar, ulaşım araçlarının ya da kullanılan materyallerin ağırlığının azaltılması yönündedir. Bu sayede enerjinin verimli kullanılması sağlanarak, çevre kirliliği ve ülke ekonomisine katkıda bulunulacağı düşünülmektedir. Bu çalışmalar özellikle 1970'li yıllarından bu yana metal matrisli kompozitlerin (MMK) dizel motor pistonlarında, biyel kollarında, şaft gibi hareket iletim yerlerinde, silindir gömleklerinde ve fren disklerinde kullanılmaları ve düşük yoğunluklarına karşı sergiledikleri yüksek dayanım özellikleri nedeniyle, hız kazanmıştır [3]. Bu amaçla kompozit malzemelerin üretimleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kaya (1999), yüksek lisans çalışmasında, sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş olan Al-SiC kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Yüksek sıcaklık (615 °C) ve ince Al tozu (25,4 µm) kullanımının, üretilen Al-SiC kompozitlerinde mekanik özellikleri iyileştirdiğini saptamıştır [4].

Hiçyılmaz (1999), yüksek lisans çalışmasında, Al tozları içerisine ağırlıkça % 1, % 5 ve % 10 oranlarında, SiC ve Al₂O₃ seramik tanecikleri ayrı ayrı katılarak hazırlamıştır. Kompozit malzemelerin yük altındaki aşınma özellikleri Faleks tipi aşınma tezgahında yapılmıştır. Kompozit malzeme içerisindeki seramik tanecik destekleyici oranı arttıkça, kompozit malzemenin aşınma direncinin arttığını belirtmektedir [5].

Bolay (1998), saf Al tozunun ve Al-Cu, Al-Cu-SiC toz karışımlarının sıcak presleme davranışını incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada, düşük sıcaklıkta preslemenin ardından daha yüksek sıcaklıkta çözündürme işlemi başarılı olmamış, ayrıca ortamda sıvı faz oranının artışı başka birtakım problemlere yol açmıştır. 580 °C üzerinde presleme ve daha düşük bir sıcaklıkta çözündürme işlemi sonucunda tüm çökeltiler çözündürülebilmıştır [6].

Nai ve Gupta (2002), Al-SiC tabanlı ağırlıkça %18 SiC içeren kompozitlerin, değişik karıştırma hızları kullanarak özelliklerini araştırmışlardır. Karıştırma hızındaki artış, SiC parçacık dağılımının homojenliğini arttırdığını göstermiştir. SiC parçacıklarının ağırlıkça yüzdesindeki artış, poroziteyi ve mikro sertliği arttırdığını belirtmektedirler [7].

Shorowordi, Laoui ve Haseeb (2003), B₄C, SiC ve Al₂O₃ (Hacimce %0-20) katkı fazı içeren Al-MMK' ları incelenmişlerdir. Tozlar, karıştırılarak dökülmüş ve ardından da sıcak ekstrüzyona tabi tutulmuştur. Al- B₄C ve Al-Al₂O₃ iç yüzeylerinde reaksiyon ürünü gözlenmemiştir. Diğer yanda, Al-B₄C kompozitlerdeki iç yüzeyden uzakta, ikincil faz (Al ve diğer Al içeren fazlar, boron ve karbür) Al ana yapıda bulunmaktadır. Kırılma yüzey analizlerinden, B₄C katkı fazlı Al kompoziti diğer iki kompozitlere nazaran daha iyi iç yüzey bağına sahip olduğu görülmektedir [8].

Türker ve arkadaşları (1999), yaptıkları çalışmada Al ve SiC tozlarından mekanik alaşımlama tekniği (MA) ile daha küçük tane yapılı ve ince parçacık dağılımlı ve daha dayanıklı kompozit malzeme üretimini araştırmışlardır. MA tekniği ile daha küçük tane yapılı, ince parçacık dağılımlı ve daha dayanıklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmişlerdir. İnce dağılımlı parçacıklarla kontrol edilen küçük tane yapısı yardımıyla sıcaklık dayanımında, toklukta, korozyon ve yorulma dayanımında iyileşmeler görüldüğünü belirtmişlerdir [9].

Sukumaran ve arkadaşları (1995), Al-7Si-0.3Mg alaşım matrisli % 10 SiC parçacık takviyeli kompozitin yapı ve mekanik özellikleri üzerinde Mg katkısının etkisini incelemişlerdir. Magnezyum ilavesinin MMK malzemenin çekme dayanımını az miktarda arttırdığı bununla birlikte, fazla katıldığı zaman mekanik özellikleri kötüleştirdiği görülmüştür [10].

Abd El-Azim ve arkadaşları (2002), AlSi18CuNi esaslı MMK malzemeleri ergimiş metal karıştırma yöntemi ile ağırlıkça % 2-4-6-12 oranlarında kısa alümina fiberlerle takviye ederek üretmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve aşınma davranışlarının takviye fazının ilavesi ile matrise göre iyileşme gösterdiğini tespit etmişlerdir. Kompozitlerin aşınma dayanımlarının takviye oranının artmasıyla iyileştiğini bildirmişlerdir [11].

Daoud ve Abo-Elkhar (2002), sıvı karıştırma yöntemini kullanarak farklı alüminyum alaşımlarına (Al7Si0,3Mg, Al₃Ni, Al₆Ni, Al₉Ni, Al₂O₃ ve ZrO₂) seramik parçacıklarını ilave ederek metal matrisli kompozit malzemeler üretmişlerdir. AlSi alaşımı içerisinde takviye elemanlarının ötektoit silisyum üzerinde değişiklik yapma eğilimde olduğunu saptamışlardır. Aynı zamanda AlNi alaşımına parçacıkların ilavesi ile elde edilen kompozitlerde dikkate değer bir NiAl₃ fazının oluşumunun gözlenmediğini belirtmişlerdir. Fakat bu ifadenin Ni içeriği düşük olan matrislerde geçerli olduğunu vurgulamışlardır [12].

Kim ve arkadaşları (2000), 20 µm ortalama boyutundaki 6061 alüminyum alaşımı tozu ile yaklaşık ortalama 8 µm boyutundaki SiC partikülleri mekanik olarak

karıştırılmış, alkol çözeltilisinde ultrasonik harmanlama ve havada kurutma yapmışlardır. Harmanlanmış tozlar 570 °C’de sıcak vakum presde 50 Mpa basınçla birleştirmiştir. Bundan sonra bileşim 500 °C’ye ısıtılmış ve ekstrüzyon oranı 85:1 olmak üzere 350 °C’ye ısıtılmış fırında bekletilmiş ve 180 °C’de yaşlandırma yapılmıştır [13].

Peng ve arkadaşları (2002), alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretiminde, mekanik özellikleri geliştirici, modifiye edilmiş kısa fiber takviyeli platform kullanan, basınçlı emdirme yöntemini kullanmışlardır. Bu sayede laboratuvar şartlarında üretmiş oldukları bu kompozitlerde süneklik ve elastikiyet modülü göz ardı edildiğinde yüksek çekme dayanımlı fiber güçlendirmeli kompozit ürettiklerini belirtmişlerdir [14].

Felloni ve arkadaşları (1994), kütlece %25 SiC tane takviyeli Al 6061 T6 ve Al 6061 alaşımlı kompozit malzemelerin, hem kaba hem de son işleme için işlenebilirlik sonuçları elde edilmiştir. Yüzeylerin SEM fotoğrafları alınmış yüzeyin nitelikleri, pürüzlülüğü, sertliği ve işleme parametreleri için kirliliğin etkileri araştırılmıştır [15].

Blucher ve arkadaşları (2001), sürekli elyaf takviyeli MMK tel üretimi üzerine yeni bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu MMK tel üretiminde tel çapı 0,5-1,6 mm arasında olan Al₂O₃, SiC, Si-TiC ve karbon fiberleri kullanmışlardır. Matris malzemesi olarak alüminyum alaşımlarından AA-2014 ve AA-6061 kullanılmış ve kompozit tel üretim ünitesinde bu matris alaşımları argon gazı koruyucu atmosferinde ergitilerek, fiberlerin ergiyik içerisinden yaklaşık olarak 0,3 m/sn’ de geçişi sağlanmış ve yüzde 0,50-0,65 fiber içerikli MMK tel üretimini gerçekleştirmişlerdir. Ürettikleri bu MMK tellerin mekanik özellikleri bakımından benzerleriyle karşılaştırmasını yapmışlar, sonuç olarak benzerlerine göre çok daha iyi mekanik özelliklere sahip MMK teller ürettiklerini belirtmişlerdir [16].

Venkatamaran ve Sundararajan (2000), yaptıkları çalışmada, SiC parçacık katkılı A357 (Al-Si) alaşımının aşınma davranışını izlemişlerdir. Bu çalışma ile katkı fazlı parçacıkların kırılmaları, aşınmış yüzeyler altında açığa çıkarmaktadır. Sonuç olarak

malzeme üzerinde katkı fazlı alaşım, katkı fazsız alaşımdan daha yüksek derinlik bırakmaktadır [17].

Bermudez, Matinez, Carrion ve Rodrigez (2001), Al tabanlı sinterlenmiş kompozitlerin mekanik olarak alaşımlandırılmasının, kuru ve yağlı ortamdaki aşınma direncini incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda kompozitlerin aşınma oranlarının uygulanan yük ile arttığı tespit edilmiştir [18].

Yılmaz ve Buytoz (2001), Al_2O_3 parçacıkları, Al ana yapı içine hacimce %5, 10, 15 oranlarında ilave etmişlerdir. Yaşlandırılmış Al_2O_3 katkılı Al' un, 220 SiC zımparasıyla aşınmada aşınma oranı, 80 SiC zımparasıyla aşınmadan daha az olduğunu sonucuna varmışlardır [19].

2.2. ELEKTRO EREZYON TEZGAHLARINDA İŞLENEBİLİRLİK İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Banerjee ve arkadaşları (1993), deşarj kanalındaki sıcaklık dağılımından yola çıkarak tel elektrotun kopması hakkında yorum yapmışlardır. Çalışma da puls süresi, tel ilerleme hızı ve tel elektrot çapı gibi parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ışığında puls süresinin artışıyla birlikte deşarj kanalının çapında da genişlemeler olduğu ve sıcaklığın artış gösterdiği tespit edilmiştir. Tel ilerleme hızının etkileri ise puls süresine nispeten daha az olduğu araştırmacılar tarafından tespit edilen bir başka noktadır [20].

Tosun ve arkadaşları (2003), tel hızı, dielektrik akışkan basıncı, açık devre voltajı ve belirledikleri puls süreleri ile iş parçası yüzey pürüzlülüğünün değişimini araştırmışlardır. Deney malzemesi olarak 50 mm çapında ve 10 mm kalınlığında SAE 4140 çelik (DIN42CrMo4) malzeme ve tel elektrot olarak ise 0.25 mm çapında CuZn37 pirinç tel kullanılmıştır. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi istatistiksel olarak değerlendirilerek ve önem düzeyi değişimin analizi (ANOVA) kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. [21].

Liao ve arkadaşları (1997), Taguchi metodunu kullanarak işleme performansını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Deney malzemesi olarak SKD11 alaşım çeliği ve tel elektrot olarak 0.25 mm çapında pirinç tel kullanılmıştır. Bu çalışma ile uygulanan metodun zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı aynı zamanda işleme parametrelerinin belirlenmesinde faydalı olacağını tespit etmişlerdir [22].

W.S Lau ve arkadaşları(1989), elektro erezyon tezgahında karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeleri işlemişlerdir. Deneylerde bakır elektrot kullanılmış akım değeri arttıkça talaş kaldırma hızının arttığı tespit edilmiştir [23].

Tosun ve arkadaşları(2004), tel elektro erozyon tezgahında işleme parametrelerinin belirlenmesi ve etkilerini araştırmışlardır. Deney malzemesi olarak 200 x 140 x 10 mm ebatlarında AISI 4140 çelik kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda dielektrik sıvı basıncı, tel hızı, açık devre voltajı ve puls süresinin işleme performansına etkileri araştırılmıştır [24].

Hasçalık ve Çaydaş (2003), Sodick A320D-EX21 tip Tel Erozyon tezgahında C 000, C 500 ve C 800 kesme parametrelerinin malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve mikroyapı üzerindeki etkisi AISI 4340 çeliğinde incelenmiştir. Bunun için, seçilen işlem şartları altında kesilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri ve mikrosertlikleri ölçülmüş, mikroyapıları SEM ve optik mikroskop altında incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, kesme şartlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün, sertliğin ve ısıdan etkilenen yüzey tabakasının kalınlığının değiştiği gözlenmiştir [25].

Hasçalık ve Savaş (2000), çalışmalarında kalıpcılıkta yaygın olarak kullanılan D5 soğuk iş takım çeliği için iki farklı kesme modunda, kesme alanına bağlı olarak malzeme yüzeyinde meydana gelen sertlik değişimi ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda malzemenin yüzey sertliği her iki kesme modu sonunda da artmakta olduğu, ancak kesme alanı arttıkça, yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir. Bununla beraber, sertleştirilen numunelerde kesme alanı arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır [26].

Scott ve arkadaşları (1991), tel elektro erezyon ile işlemede etkili olan kesme parametrelerinin, işleme hızı ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları deneysel çalışma sonucunda tel ilerleme hızı, deşarj akımı ve puls süresinin artışıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde de artış gösterdiğini tespit etmişlerdir [27].

Sanchez ve arkadaşları (2007), çalışmalarında, AISI D2 (ISO 160CrMoV12) çelik ve tel elektrot olarak 0,25 mm pirinç tel kullanarak köselerin kesiminde tel ilerleme hızının parça toleranslarına etkilerini araştırmışlardır [28].

Özdemir ve arkadaşları (2002), çalışmalarında MA 956 Süperalaşım malzemesinin kıvılcımla aşındırma altındaki davranışı incelemişlerdir. Bu çalışmada tel elektro erezyon için gerekli işleme şartları deneysel olarak karşılaştırılmış, yüzey pürüzlülüğü ve işleme hızı kriterine göre elde edilen grafikler yorumlanmıştır. Buna göre puls süresi (ON) kademesindeki artışın işleme şartları ile birlikte dalgalı da olsa, yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmüştür. M kademesinin yükseltilmesiyle işleme hızındaki düşüş ve 8. Kademeye kadar yüzey pürüzlülüğündeki yükselme anlamlı bulunmuştur [29].

Rajurkar ve Wang (1993), işleme performansını artırmak ve tel kırılmalarını önlemek amacıyla kıvılcım frekansını düzenleyen bir monitör yapmışlardır. Optimum tezgah parametrelerini belirleyebilmek amacıyla kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi bu monitör yardımıyla belirleyerek tel kırılmasını analiz etmişlerdir [30].

Huang ve arkadaşları(1999), tel elektro erezyon tezgahında işleme performansı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmaya göre puls süresi(ON) arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artmaktadır [31].

Özek ve Özel (2003), çalışmalarında deney malzemesi olarak Ç8620 çelik ve tel elektrot olarak 0.25 mm çapında pirinç tel kullanmışlardır. Kesme işleminden önce ve sonra numuneler üzerinde ölçüm yapılarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Deney

sonucunda ısıtma işlemi uygulanmayan ve sertleştirilen numunelerin her iki kesme parametrelerine göre, kesme alanı büyüdükçe sertlik ve talaş kaldırma hızının düşmekte olduğu ve yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı saptanmıştır [32].

Tarng ve arkadaşları (1995), kesme hızı ve yüzey kalitesi tahminindeki en kritik parametrelerin elektrik kapasitansı, tabla hızı, servo referans voltajı, açık devre voltajı, puls süresi ve puls ara süresi olduğunu tespit etmişlerdir [33].

Çaydaş ve Hasçalık (2004), çalışmalarında tel elektro erozyon yönteminde dielektrik sıvı sirkülasyon basıncı, puls süresi, gerilim ve tel ilerleme hızı parametrelerine bağlı olarak alüminyum alaşımının yüzey pürüzlülüğü ve mikroyapı değişimi incelemişlerdir. Kesme işlemlerinden sonra, numunelerin mikroyapıları SEM ve optik mikroskopta incelenmiş mikrosertlik ve yüzey pürüzlülük ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin yüzey özelliklerinin işleme parametrelerine göre değişmekte olduğu ve malzemeden beklenen özelliklere göre uygun parametre seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir [34].

Konda ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmada, WEDM tekniğinde işleme kalitesini etkileyen 5 ana kategori belirlemişlerdir. Bu kategoriler, iş parçası malzemesi, dielektrik sıvı, işleme karakteristiği, parametreler ve iş parçası geometrisidir. Elde ettikleri bu kategorileri deney sonuçlarını (S/N) analizi yaparak doğrulamışlardır [35].

Hargrove ve Ding (2007), iş parçası yüzeyi üzerindeki sıcaklıktan etkilenmiş kalınlıkların puls süresi ve boşalım voltajını incelemişlerdir. İşlenmiş iş parçasının kesilen yüzeyine zarar veren WEDM parametrelerini araştırmak için kesme malzemesi olarak düşük karbonlu çelik (AISI 4140) kullanılmıştır [36].

D.K. Aspinwal ve arkadaşları (2008), Ti-6Al-4V ve Inconel 718 malzemesi iki farklı tezgahta işleyerek yüzey pürüzlülüğü ve oluşan yeni tabaka kalınlığını karşılaştırmışlardır. Bu çalışma ile malzemelerin mikroyapı ve mikrosertlik gibi özelliklerinin önemli bir değişikliğe uğramadığı görülmüştür [37].

Ay ve Aydoğdu (2010), tel elektro erezyon işleminde kesme parametrelerinin parçanın boyut ve şekil toleranslarına etkisi araştırmışlardır. Boyut ölçümleri için üç boyutlu kordinat ölçme cihazının kullanıladığı deneylerde, Puls ara suresi ayarı, ana güc kaynağı maksimum akımı, yardımcı güc kaynağı devresi, ana güc kaynağı voltajı, servo referans voltajı, tel ilerleme hızı, tel gerginliği, dielektrik sıvı dolaşım basıncı deney suresince sabit tutulmuştur. Taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak tel erozyonda kesme parametreleri optimize edilmistir. Çalışma sonucunda yapılan boyut hatası incelemelerinde puls suresi parametresinin optimum boyut değerlerinin elde edilmesinde en etkili parametre olduğu tespit edilmiştir [38].

Konuyla ilgili yapılan literatür taramasında araştırmacıların, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğu değerleri ve tel aşınması üzerindeki etkileri etrafında yoğunlaştıkları görölmektedir. Fakat literatürde $M(A)$ parametresinin incelenmesi üzerine çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bunun dışında zaten halihazırda tezgah üreticilerinin klasik malzemeler için en uygun işleme şartlarını (yüzey pürüzlülüğu, maliyet, vb.) içeren kılavuzları bulunmaktadır. Ancak klasik malzeme türlerinden farklı özelliklerdeki malzemelerin işlenmesindeki en uygun parametrelerin belirlenmesi üzerine de yeterince çalışma bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan farklı kılan etken, deneylerde kullanılan malzemelerin diğer klasik malzeme türlerinden daha kendine özgü özelliklerinin bulunması ve işleme parametrelerinin $M(A)$ ve WS açısından incelenmesidir.

İncelenen literatür işığında, üretimi gerçekteştirilen beş farklı T/M malzemeye yüzey pürüzlülüğu ve tel aşınmaları açısından en uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel sonuçlar grafikler halinde sunulmuş, elde edilen veriler yardımıyla üretilen beş farklı T/M malzeme için en uygun işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 3

TOZ METALURJİSİ

3.1. GİRİŞ

T/M; farklı boyut, tip, şekil ve sıkıştırılabilme özelliğine sahip tozların, yüzde ağırlık oranlarının belirlenip homojen olarak karıştırılması, karışımın uygun ortamda sıkıştırılmasıyla istenilen şekle veya forma dönüştürülerek yoğunluk kazandırılması daha sonra mukavemet ve yoğunluğun artırılması için sinterleme yapılması esası ile parça imal etme tekniği olarak nitelendirilmektedir [40].

Toz metalurjisinde, 200 µm altında boyuta sahip olan tozlar kullanılır. Seramikler ve polimerler gibi diğer mühendislik malzemelerine rağmen tozlar, birçok durumda metal esastır. Tozlar katı ve sıvı arası bir davranış sergiler. Örneğin tozlar, yer çekimi altında kalıp boşluklarını doldurabilecek şekilde akıcılığa sahiptirler. Bu anlamda tozlar sıvı gibi davranırlar. Aynı zamanda tozlar bir gaz gibi sıkıştırılabilirler [41].

3.2. TOZ METALURJİSİNİN TARİHÇESİ

T/M yönteminin tarihçesi en az beş bin yıl öncesine dayanır. M. Ö. 3000 yılında Mısırlılar'ın demir oksiti (Fe_2O_3) ergitmeden körüklerle hava üflenmesi sonucu taş kömürü ile ısıtıp indirgemişler ve elde ettikleri sünger haldeki demiri çekiçle döverek metal tozları haline getirmişlerdir. Bu tozlardan, sinterleme veya sıkıştırma yolu ile el aletleri yapmaları ilk T/M uygulamaları olarak gösterilebilir. T/M'nin bu ilk ve ilkel uygulamaları günümüzdeki T/M üretim yöntemlerine de ilham kaynağı olmuştur [41-42].

T/M'nin ilk ticari uygulaması, XIX. yüzyılın sonlarından itibaren, lamba teli olarak önceleri karbon, sonra osmiyum, zirkonyum, vanadyum, tantalyum ve en son olarak da tungsten tozlarının kullanılmasıdır. T/M yönteminde önceki uygulamalara göre daha modern gelişmelerin I. Dünya Savaşı yıllarında başladığı söylenebilir. Krupp firması 1914 yılında kobalt tozundan sert metal üretimini denemiş ve 1927 yılında da piyasaya sürmüştür. II. Dünya Savaşı sırasında, otomotiv sektörünün büyümesine paralel olarak demir tozu teknolojisi de ilerlemeye başlamıştır. 1940'lı yıllarda ve 1950'li yılların başlarında kendinden yağlamalı yataklar T/M'nin bu yıllardaki temel ürünleri olmuştur. [42]. Çizelge 3.1'de T/M alanında yıllara göre gelişimler sıralanmıştır.

Çizelge 3.1. T/M alanında yıllara göre gelişmeler [39]

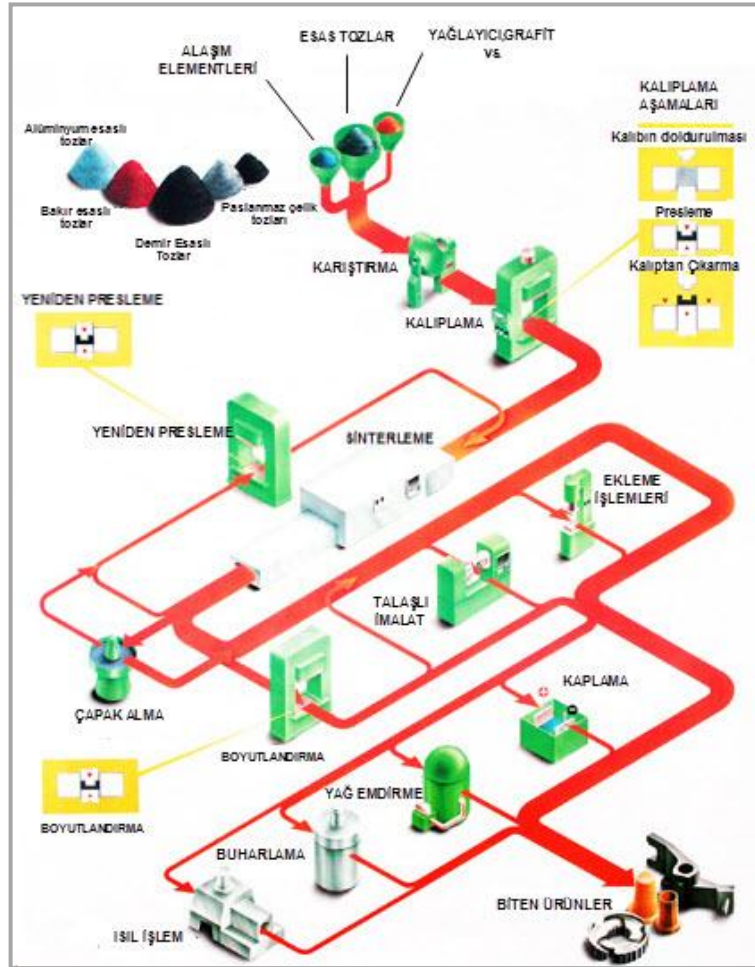
YIL	T/M ALANINDAKİ GELİŞMELER	YER
3000 MÖ	Sünger demirden el aletlerinin yapımı	Mısır, Afrika
1200 MS	Semente edilmiş platin taneleri	Güney America
1781	Eriyebilir platin-arsenik alaşımı	Fransa,Almanya
1822	Katı ingotlardan platin tozlarının imalatı	Fransa
1826	Ticari anlamda platin tozlarının sıkıştırılması	Rusya
1830	Değişik metal tozlarının sinterlenmesi	Avrupa
1870	Kendi kendini yağlayan yatakların ilk olarak yapılması	U.S.A
1878-1900	Lamba filamentlerinin yapımı	U.S.A
1915-1930	Semente edilmiş karbürlerin imalatı	Almanya
1900	Kompozitlerin ve gözenekli malzemelerin imalatı	U.S.A
1940	Demir tozu teknolojisinin geliştirilmesi	Avrupa
1970	Sıcak izostatik sıkıştırma ile T/M takım çelikleri, süper plastik alaşımların imal edilmesi	U.S.A
1980	Metal enjeksiyon teknolojisinin geliştirilmesi	U.S.A
1990	İntermetalikler, metal matris kompozitler, nano tozlar ve sıcak sıkıştırma teknolojileri	U.S.A

3.3. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİNİN TEMEL BASAMAKLARI

Gerekli boyut, şekil ve kalıplama özelliklerine sahip metal tozunu düşük yoğunluk ve yüksek mukavemetli bir şekle dönüştüren toz metalurjisinde genel olarak beş aşama mevcuttur [41]. Bu aşamalar;

1. Toz hazırlama
2. Presleme (sıcak / soğuk)
3. Sinterleme
4. Yağ emdirme ve kalibrasyon (gerekirse)
5. Tam yoğunluk işlemleridir.

Toz metalurjisinde üretim, basit olarak Şekil 3.1’de gösterilen imalat safhalarından meydana gelmektedir .



Şekil 3.1. T/M yönteminin aşamaları [43]

3.3.1. Toz Hazırlama ve Toz Üretim Teknikleri

Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler, tozların özellikleri üzerinde doğrudan rol oynar. Bu açıdan tozlardan bahsedilirken genellikle imal yöntemlerine değinilir. Kullanılan toz imal yöntemlerinin her biri farklı bir uygulama alanı için en uygun malzeme üretiminde kullanılır.

Metal tozlarının kaliteleri üretim tekniklerine doğrudan bağlıdır. Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir. Üretim tekniğinin ekonomikliğı en önemli tercih sebebidir. Birçok toz üretim tekniğı arasından, ticari olarak şu teknikler kullanılmaktadır [41].

1. Mekanik,
2. Kimyasal,
3. Elektroliz,
4. Atomizasyon toz üretim yöntemleridir.

3.3.1.1. Mekanik Yöntemler

Mekanik yöntemleri talaşlı üretim, öğütme ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç grupta incelemek mümkündür.

3.3.1.1.1. Talaşlı Üretim

Talaşlı üretim yöntemi daha çok iri ve karmaşık tozların imalinde kullanılır. Bu yöntemde oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğerk malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Yüksek karbonlu çelik tozları ile amalgam içerisindeki metal tozları bu yöntemle üretilir.

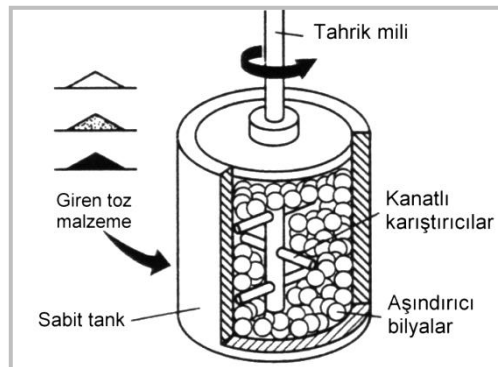
3.3.1.1.2. Öğütme

Bu mekanik yöntemle toz üretimi, bir darbeli öğütücü içerisinde metal tel, talaş veya tanelerinin kırılması ile olur. Bu yöntemle elde edilen metal tozları pul şeklindedir ve kullanılmadan önce tavlanarak gerginliği giderilmelidir.

Eğer öğütülen malzeme gevrek ise, bilyalarla çarpışmanın etkisiyle çok küçük tozlara bölünür. Öğütülen malzeme sünek parçacıklardan oluşuyor ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar ve ancak aşırı iş sertleşmesi sonucunda gevrekleşerek daha küçük toz parçacıklarına bölünebilirler. Öğütme işleminin su, alkol ve heptan gibi bir hidrokarbon sıvı içinde gerçekleştirilmesi öğütme süresini kısaltmasının yanında daha ince tozlar üretilmesini de sağlar [44].

3.3.1.1.3. Mekanik Alaşımlama

Mekanik alaşımlama (MA) yöntemi, karıştırma esnasında kuru ve katı haldeki tozların birbirlerine periyodik olarak kaynaklanmasını ve tekrar bu kaynakların kırılmasını sağlayarak daha ince ve daha homojen bir mikroyapı elde edilmesini sağlayarak, dayanımı yüksek olan kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılır [45]. Şekil 3.2’de MA yöntemi görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 3.2. Mekanik alaşımlama yöntemi

3.3.1.2. Kimyasal Yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) indirgeyici gazlarla kimyasal olarak indirgenmesine dayanır [41].

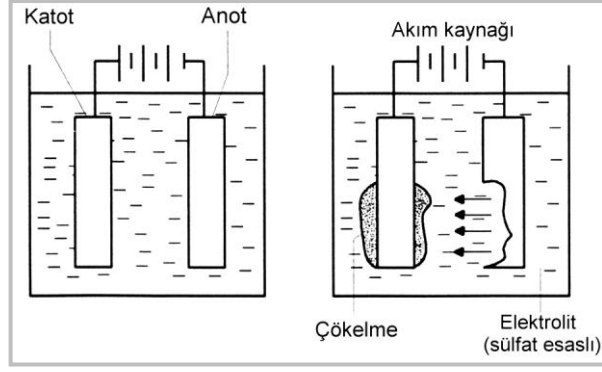
Metal oksitlerini indirgeyerek üretilen tozlar yaygın olarak hidrojen içerisinde indirgenirler. Burada ham malzemeler süngerimsi yapıda meydana gelen tozların kalitesini belirler. Bu metot zenginleştirilmiş maden cevheri ve hadde tufalından üretilen demir tozlarının yanında tungsten, molibden gibi metal tozlarının üretiminde de kullanılır [44].

Sünger demir külçeleri yüksek sıcaklıkta birbirine kaynak olmuş tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Hidrojenle tavlanarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arıtılır ve son olarak elekten geçirilir. İşlem oldukça yavaş olmakla birlikte demir tozu en ekonomik olarak bu metodla üretilmektedir [46].

3.3.1.3. Elektroliz Yöntemi

Bu yöntemin esası elektroliz kabında uygulanan voltajın etkisiyle anottan ayrılan parçaların katot üzerinde birikmesidir [41].

Şekil 3.3'de Elektroliz yöntemi ile toz üretimi şematik olarak verilmiştir. Bu metal birikmesi, ya gevşek bağlantılı tozlar halinde (bakır ve gümüş gibi) veya sıkı ancak gevrek bir tabaka halinde (demir ve manganez gibi) oluşur. Her iki halde de, katotta toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilir. Elektrolizle üretilen tozların yıkanarak elektrolitten iyice temizlenmeleri gerekir. Kurutma asal gazlar altında yapılarak oksitlenme önlenir [44].



Şekil 3.3. Elektroliz ile toz üretimi [44-46]

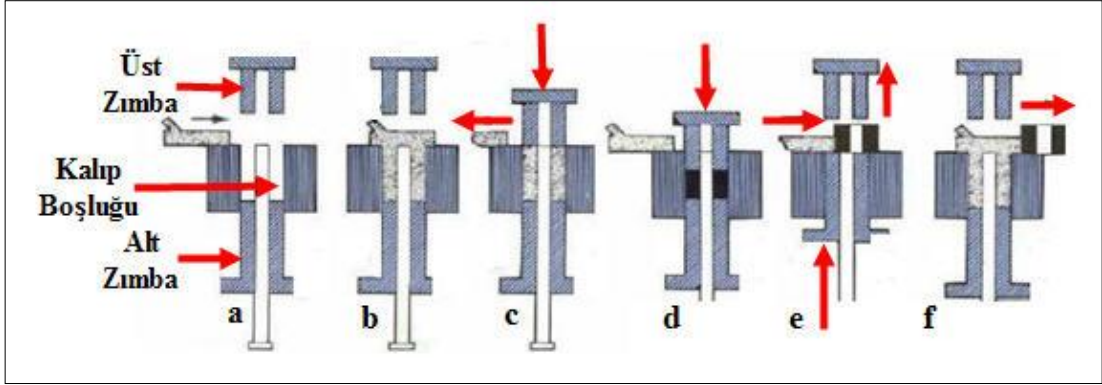
3.3.1.4. Atomizasyon Yöntemi

Bu yöntemin esası, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesine dayanır. Gönderilen bu gaz veya sıvı hüzmesi ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Daha sonra bu damlacıklar soğuyarak metal tozlarını oluştururlar.

Atomizasyon işlemlerinin verimi, yani tozun inceliği dağıtıcı hüzmenin basıncıyla artar. Tanelerin atomizasyondan sonra yeniden birbirlerine yapışmalarını önlemek için, soğumanın oldukça hızlı olması, uygun dağıtıcı gaz veya sıvı hüzmesinin kullanılması ve parçacıkların doğrudan doğruya bir su banyosuna düşmelerinin sağlanması lazımdır. Metal sıcaklığı, su veya gaz basıncı ve ateşe dayanıklı nozül çapı kontrol edilerek istenilen toz şekli elde edilebilir [47].

3.3.2. Presleme

Üçüncü aşama olan presleme aşamasında yapıya kendi ağırlığı taşıyabilecek kadar hacim ve yoğunluk kazandırılır. Endüstriyel uygulamalarda genellikle, Şekil 3.4.' de şematik olara gösterilmiş olan çift etkili presleme işlemi kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Toz metal parçaların presleme basamakları [48]

Şekil 3.4.'de toz metal parçaların presleme basamakları çift etkili sıkıştırma yöntemi ile şematik olarak sunulmuştur. İlk aşama olan Şekil 3.4.a'da uygun kalıp prese bağlanır. Şekil 3.4.b'de gösterilen ikinci aşamada, tozlar ve alaşım elementleri kalıp boşluğuna doldurulur. Üçüncü aşamada, tozların düzgün bir şekilde yerleşmesini sağlamak amacıyla titreşim mekanizması devrededir. Artan toz tanecikleri diğer toz haznesine itilir (Şekil 3.4.c). Dördüncü aşama tozların preslenme aşamasıdır. Bu aşamada toz tanecikleri hem kalıbın şekline göre hacim hem de yoğunluk kazanırlar (Şekil 3.4.d). Beşinci aşamada ise ham malzeme, belli bir sıyırma kuvvetiyle alt zimba tarafından kalıp boşluğundan çıkartılır (Şekil 3.4.e). Altıncı ve son aşamada (Şekil 3.4.f), kalıp boşluğundan çıkarılan ham malzeme sinterleme aşamasına geçmek üzere kenara itilir.

3.3.3.Sinterleme

Sinterleme işlemini, preslenerek gözenekli yapıya kavuşan tozların, özgül yüzey alanının küçülmesi, partikül temas alanının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek hacminin küçülmesine neden olan malzeme taşınımı olarak tanımlamak mümkündür.

3.4. TOZ METALURJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI

3.4.1. Takım Çelikleri

Toz Metalurjisi ile elde edilen takım çelikleri iç yapıda karbürlerin çok ince taneli olması ve homojen dağılmasından dolayı, dökümle üretilen takım çeliklerine göre daha tok ve daha uzun ömürlüdürler [44].

3.4.2. Sermetler

Sermetler, çeşitli seramik tozlarının bir metal veya metal alaşımı ile bağlanmasını ifade eder. Seramik tozu miktarı hacimce %15-85 arasında değişebilir. Sermetlerde seramik faz olarak uranyum oksit, uranyum karbür, zirkonyum borik, silikon karbür, silikon oksit, alüminyum oksit, titanyum karbür, grafit veya elmas kullanılmaktadır. Metalik bağlayıcı faz olarak; kobalt, demir, krom, nikel, molibden, tungsten, paslanmaz çelik, bronz ve süper alaşımlar kullanılmaktadır [44].

3.4.3. Sert Metaller

Toz Metalurjisi yöntemi ile elde edilen sert metaller bugün kesici takım, kaya delici taş kesici ve şekillendirme kalıbı olarak kullanılmaktadır. Sert metal takımlar ile elmas kesici takımlar karşılaştırıldığında, elmas kesicilerin maliyetlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak mükemmel iş parçası kalitesi, azalan kesme kayıpları, artan verimlilik, düşen tezgah vuruş süresi, bazı uygulamalarda ara işlemlerin eliminasyonu ile toplam maliyet düşmesi, birçok üreticiyi elmas kesici takımlara yönlendirmektedir [50].

3.4.4. Elektrik ve Manyetik Uygulamalar

Bu grubun içerisine direnç kaynağı elektrotlar, tungsten ve molibden filamanları, elektrik kontak malzemeleri, metal-grafit fırçalar, süper iletkenler ve çeşitli mıknatıslar girmektedir. Çeşitli gümüş alaşımları her tür elektrik kontaklarında

kullanılabilmektedir. Metal grafit karışımı fırçalar elektrik motorlarının en önemli parçalarıdır. Bu fırçalarda, metal miktarı %20-99 arasındadır. Metal olarak bakır yada gümüş kullanılmaktadır. Tungsten ampul filamanlarının tek üretim yöntemi toz metalurjisidir [44].

3.4.5. Gözenekli Metaller ve Filtreler

Toz metal filtreler, seramik filtrelerden daha fazla darbe mukavemetine sahip olmaları, suya ve sıcaklığa karşı daha az hassas oldukları için tercih edilirler. Filtrelerdeki gözenek miktarı %80'e kadar çıkabilir. Genellikle sıcak gazların filtre edilmesinde kullanılırlar. Basınçlı gaz sanayisinde alev engelleyici olarak, uçakların hava emme kanallarında buzlanmayı önlemek için, silah sanayisinde susturucu olarak kullanılırlar [44].

3.4.6. Sürtünme Elemanları

Bu elemanlarda ısıyı iletici toz olarak bakır ve kalay, sürtünme sağlayıcı toz olarak silikon karbür ya da alümina kullanılmaktadır. Ayrıca sürtünme katsayısını istenen değerde ayarlamak için kurşun, çinko ve grafit tozları eklenmektedir. Uçak tank, iş makinaları ve büyük frenlerin fren ve debriyaj balataları örnek olarak verilebilir [44].

3.4.7. Askeri Uygulamalar

Toz Metalurjisi'nin askeri uygulamaları iki ana gruba ayrılır. Birinci grup alışılmış T/M uygulamalarıdır. Bu gruba; çeşitli titanyum parçalar, mermi ve silah parçaları, askeri taşıtların parçaları, uçak parçaları (hafif alaşımlar, süper alaşımlar vb.) zırh deliciler ve benzerleri girer. İkinci grubu piroteknik uygulamalar oluşturur. Piroteknik uygulamalarda metal ve metal olmayan pek çok maddenin tozları çeşitli organik maddelerle karıştırılarak istenilen piroteknik bileşim elde edilir. Bu gruba; roket yakıtları, patlayıcılar, tutuşturucular, geciktiriciler, ateşleyiciler, aydınlatma bombaları ve sinyaller, dumanlar vb. girer [51].

3.4.8. Kaymalı Yataklar

Toz Metalurjisinin en önemli uygulama alanlarından birisi gözenekli yataklardır. Uygulamalarda genellikle bronz ve demir alaşımı kaymalı yataklar kullanılmaktadır. Bronz yatakların mekanik özellikleri demir yataklara göre düşük olmakla birlikte sürtünmeleri daha küçük olduğu için tercih edilirler [52].

Ayrıca T/M uygulamalarına ek olarak yaygın bir şekilde kullanılan metal tozlarının uygulama alanları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Metal tozlarının uygulama alanları [49]

Uygulama Alanı	Kullanılan Toz
Havacılık	
Frenleme Yüzeyleri	Bakır Kurşun Kalay Yüksek Nikel Alaşımları Grafit Demir
Balans Ağırlıkları	Tungsten, Bakır, Nikel, Demir
Yakıt, Hidrolik Ve Hava Filtreleri	Bronz, Paslanmaz Çelik, Nikel
Dış Çerçevesel	Alüminyum, Berilyum, Titanyum, Demir
Isı Tutucular	Berilyum, Tungsten
Isı Tutcu Kaplamalar	Alüminyum
Jet Motor Komponentleri	Süperalaşımlar
Roket Yakıtları	Alüminyum
Komponent Tamiri	Nikel-Krom, Nikel Alüminyum, Paslanma Çelik
Otomobil	
Klima	Demir, Çelik
Alternatör Regülatörleri	Platinyum Alaşımları, Demir
Buşing, Yataklar	Bakır, Kurşun, Kalay, Demir, Alüminyum, Grafit, Bronz
Filtreler	Paslanma Çelik, Bronz
Yakıt Pompa Parçaları	Bakır, Demir, Takım Çeliği
Şok Sönümleyiciler	Demir, Alüminyum
Buji Gövdeleri	Demir
Aktarma Parçaları	Demir, Bakır, Çelik
Fren Balataları	Bakır, Demir, Kurşun, Kalay, Grafit, Çinko
Karpitler	Tungsten, Titanyum, Tantalum, Niobiyum
Difüzyon Kaplamaları	Alüminyum-Titanyum Alaşımları, Krom, Çinko, Hafniyum
Elektrik Ve Elektronik	
Bataryalar	Nikel, Çinko, Gümüş, Demir, Kurşun, Grafit

Çizelge 3.2. Metal tozlarının uygulama alanları (devam ediyor)

Fırçalar	Bakır, Gümüş, Grafit
Motor Kutup Parçaları	Demir, Silikon-Demir
Baskı Devreler	Bakır, Gümüş, Paladiyum, Altın, Platinyum
Yarı İletkenler	Kurşun
Erezyon Tezgahları	
Elektrot	Bakır, Gümüş, Tungsten
Isıl İşlem	
Fırın Isıtma Elemanları	Platinyum Alaşımları, Tungsten, Molibden
Fırın Isı Koruma Kalkanları	Alüminyum, Tungsten
Yüzey Sıvama	Bakır, Pirinç, Gümüş, Manganez
Thermocapuls	Platinyum Alaşımları, Tungsten, Molibden
Genel Sanayi	
Yataklar	Bakır, Kalay, Kurşun, Bronz
Kesici Takımlar	Tungsten, Kobalt
Filtreler	Bronz, Nikel, Paslanmaz Çelik, Süper Alaşımlar, Titanyum
Alevle Kesme	Demir, Alüminyum
Sürtünme Malzemeleri	Bakır, Kurşun, Kalay, Demir, Çinko, Grafit
Birleştirme	
Sert Lehim	Bakır, Nikel, Gümüş, Kobalt, Altın, Alüminyum, Nikel-Kobalt Ve Demir-Krom Alaşımları, Nikel-Silikon-Boron Alaşımları
Ark Kaynak Elektrot Örtüleri	Demir, Nikel, Krom
Direnç Kaynağı Elektrotları	Tungsten, Bakır, Gümüş, Molibden, Manganez
Lehimleme	Kurşun, Kalay, Lehim Alaşımları
Yağlayıcılar	
Kaynaşmayı Önleyici Maleme	Bakır, Kalay, Kurşun, Grafit
Bakırlı Yağlayıcılar	Bakır
Gresler	Kurşun, Grafit
Yüksek Sıcaklık Yağlayıcıları	Alüminyum, Grafit

3.5. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJLARI

T/M yönteminin ekonomik bir üretim metodu olmasına ek olarak tercih edilmesini sağlayan diğer önemli etkenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Başlangıçtaki tüm ham malzemelerin %99'u kullanıldığından ergime

kayıpları ortadan kalkar. Bu açıdan üretimde malzeme kaybı yoktur veya en aza indirgenmiştir.

2. Talaş kaldırma gibi ikincil operasyonlar minimize edilmiştir. Böylece malzeme sarfıyatı da azdır.

3. Gözenekli yapılarından dolayı kendinden yağlamalı yataklar imal edilebilir.

4. Metal matrisli kompozitlerin imalinde en uygun metotlardan birisidir.

5. Yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip malzemeler kolaylıkla üretilebilmektedir.

6. Diğer üretim teknikleriyle üretilmesi imkansız veya çok zor olan karmaşık ve özel şekilli parçaların üretimi mümkündür,

7. Otomasyona uygundur. Bu şekilde karmaşık yapıya sahip iş parçalarının seri üretilmesi kolaydır.

8. Hassas toleranslı parça üretiminde uzun süreli ve güvenilir bir performansa sahiptir,

9. Sinterleme işleminden sonra parça kullanıma hazırdır ve ikincil işlemlere genellikle gerek kalmaz,

10. Yakın toleranslar ve düzgün son yüzeyler elde edilir.

3.6. TOZ METALURJİSİNİN SINIRLILIKLARI

Yukarıda bahsedilen avantajlar, özellikle kaliteli ve hızlı parça imalatının gerçekleştirilmesinde ve gereksinimleri karşılamada toz metalürjisi tekniğini diğer klasik yöntemlere nazaran tercih edilir hale getirmiştir. Ancak T/M teknolojisinin de avantajlarının yanı sıra bazı limitleri de mevcuttur:

1. Metal tozların maliyeti pahalıdır.

2. Mukavemet gerektiren parçalarda gözenek doldurma ve infiltrasyonu gibi ikincil işlem uygulanmaz ise, diğer yöntemlere nazaran kötü mekanik özellikler ve değişken yoğunluk değerleri,

3. Gözenekten kaynaklanan düşük korozyon dayanımı ve düşük plastisite özellikleri

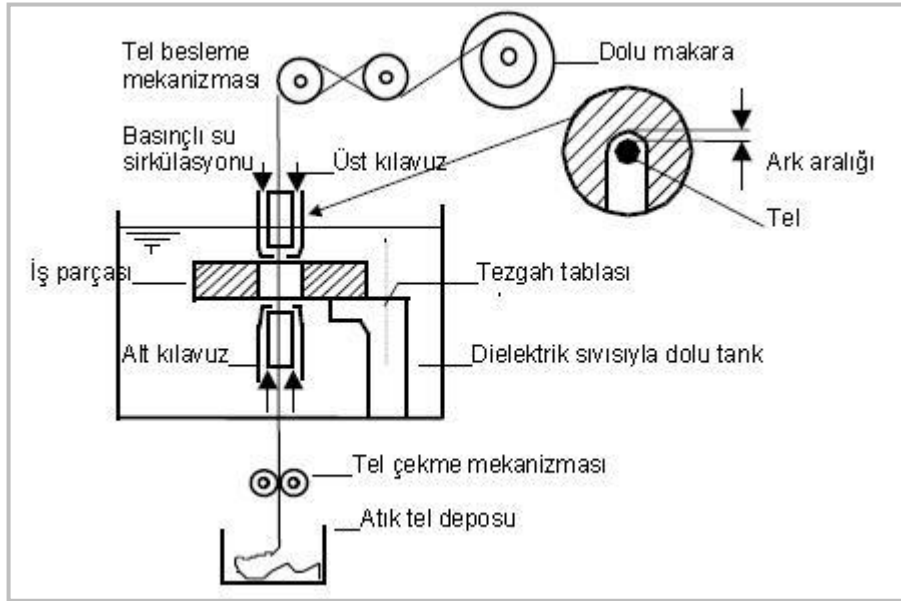
4. Büyük hacimdeki parça imalatının yapılamaması, tasarım sınırlılıkları, vb.

BÖLÜM 4

TEL ELEKTRO EREZYON YÖNTEMİ

4.1. TEL ELEKTRO EREZYON TEKNİĞİ İLE İŞLEME ÖZELLİKLERİ

Tel elektro erozyon; üzerinden yüksek yoğunlukta akım geçirilen bir tel yardımıyla kesme yöntemidir (Şekil 4.1.). Geleneksel olmayan imal usulleri arasında yer alan bu yöntemle sert, karmaşık profilli iletken parçaların mikron hassasiyetinde işlenebilmesi mümkündür [26].

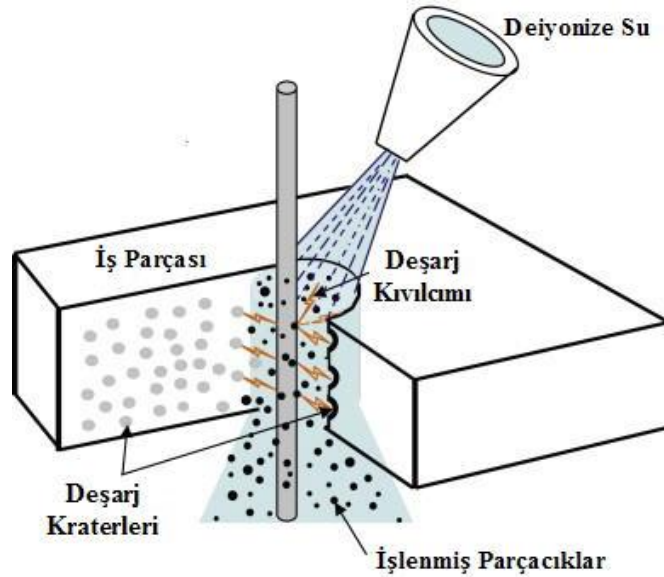


Şekil 4.1. Tel elektro erozyonla işleme prensibi [29]

Tel elektro erozyon ile işleme, pek çok malzemelerin işlenmesinde hızla yaygınlaşmaktadır. Tel elektro erozyon yönteminde kompleks parçaların hassas ve doğru bir şekilde ve kesme kuvveti olmaksızın işlendiğinden dolayı avantajlı bir işleme olmuştur.

Genellikle tel çapı 0.03 ila 0.3 mm arasındadır. Çoğu zaman iş tablasının yatay hareketi modern makineler üzerinde CNC vasıtasıyla kontrol edilir ve kesme yolu belirlenir. Bazı WEDM makinelerinde da tel kesme yolunu belirlemek için yatay olarak hareket eder. Tel elektrot bir defa kullanılır ve daha sonra iş parçasından geçtikten sonra tel aşındığından dolayı atılır.

Deiyonize suyun veya diğer dielektrik akışkanın düzenli akışı, iş parçası ve elektrot telini soğutmada kullanılır ve kesme bölgesine püskürtülür.(Şekil 4.2.) Dielektrik akışkan erimiş metale doğru püskürtülerek sürekli bir şekilde kesme alanının içini süpürür. Püskürtme işlemi ile erimiş metalin tümünü dışarı taşınamaması önemlidir. Bazı küçük parçacıklar ard arda deşarj işleminin tekrar etmesi için aralık içinde kalır [53].



Şekil 4.2.WEDM işleminin şematik görünüşü [65]

WEDM'nin ana kısımları; tel, iş parçası, kontrol ünitesi, güç kaynağı ve dielektrik kaynağıdır [54].

Bilgisayar kontrolüyle tel elektrodu yönlendiren üst kılavuzu çeşitli açılarda konum verilerek konik yüzey işlemek mümkün olmaktadır. Bu metotla işlemede genellikle 0,0025 mm tolerans tekrarı sağlanabilmektedir. İşlem hızı 40 mm kalınlıkta ve 55 HRC sertliğindeki soğuk iş takım çeliği için 13,5 mm³/dk'dır [55].

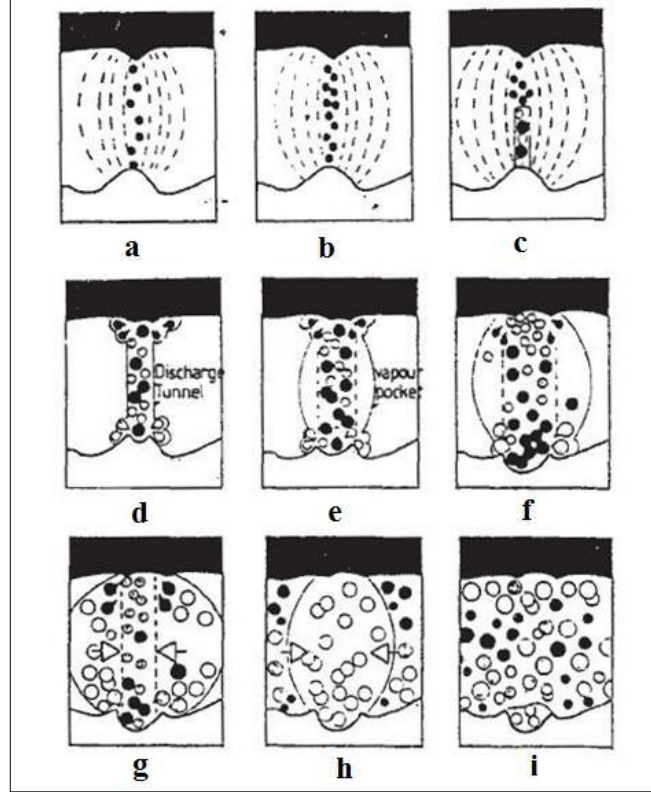
4.2. TEL ELEKTRO EREZYON İLE İŞLEMENİN MEKANİĞİ

Tel elektro erezyon, geleneksel elektrik erezyonla işlemenin (EDM) özel bir şeklidir. Burada elektrot, sürekli olarak hareket eden iletken bir teldir. Tel elektro erezyondaki talaş kaldırmanın mekanizması, doğru akım vurumlu bir güç kaynağı vasıtasıyla oluşan elektrik kıvılcımlarından oluşan erezyonu içine alır. Kıvılcımlar, dielektrik sıvının etkisi altında birbirine yakın yerleştirilen iki elektrot arasında oluşacaktır.

Güç kaynağı tarafından iki elektrotun neden olduğu şarj, güçlü bir elektrik alanı oluşturur. Bu elektrik alanı elektrotların birbirine en yakın olduğu yerde en güçlüdür (Şekil 4.3.a). Negatif yüklü partiküller negatif polariteli telden fırlatılır (Şekil 4.3.b). Bunlar malzeme üzerinde bir köprü oluşturur. Elektrot takımından fırlatılan negatif yüklü parçacıklar (elektronlar) aralıkta bulunan dielektrikteki nötr parçacıklarla çarpışır ve yeni pozitif ve negatif yüklü parçacıklar oluşur. Bu yüklü parçacıkların oluşumu sırasında dielektrik sıvının izolasyonu bozulur. Deşarjın ilk safhasını oluşturan akım akmaya başlar (Şekil 4.3.c). Dielektrik sıvının molekül ve iyonları iki ayrı noktada toplanır (kutuplaşır) ve bu iki uç arasında dar ve düşük dirençli bir kanal şeklinde yönlendirilir. Akımın esas akışına bir yol açar. Patlatma hızında negatif ve pozitif parçacık oluşumu devam eder ve pozitif parçacıklar negatif elektroda, negatif parçacıklar pozitif iş parçasına doğru taşınmaya başlar. İş parçasına çarpan negatif parçacıkların etkisiyle küçük bir alanı erimeye başlar (Şekil 4.3.d). Deşarj tüneli yanlamasına genişlemeye başlar ve akım akışı maksimuma ulaşır. Sıcaklık yükselirken bir buhar bölgesi oluşur ve bu buhar bölgesi içerisinde basınç yükselmesi olur. Dielektriğin buharlaşması nedeniyle, plazma kanalındaki basınç 20 atm gibi yüksek bir değere hızla ulaşır (Şekil 4.3.e) [56].

Akımın yüksek yoğunluğu güçlü bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan iyonlaşmış kanalı sıkıştırır ve yerel ısıtma ile sonuçlanır. Buradaki sıcaklık yaklaşık olarak 8000 ila 12000 °C arasındadır. Buharlaşma hızlı bir biçimde genişlemeye devam eder (Şekil 4.3.f). Voltaj pulsunun sonunda, voltaj kesildiği zaman, basıçta birdenbire düşer ve süper ısıtılmış metal patlama şeklinde buharlaşır. İş parçası yüzeyinde daha büyük bir krater ve elektrot yüzeyinde daha küçük bir krater oluşur. Yüklü parçacıkların sayısında ani bir düşme olur. Deşarj kanalı yok olur ve işleme

sonucu oluşan parçacıklar dielektrik sıvı içerisine karışır. Dielektrik sıvı kıvılcım aralığında talaşların birikmesini önlemek için sürekli püskürtülür (Şekil 4.3.g). Buhar tüneli söner ve malzeme çifti yüzeyleri hızla soğur (Şekil 4.3.h). Yeni bir elektriksel kıvılcım deşarjı üretmek için yeniden elektrik uygulamadan önce dielektrikteki iyonların tamamen yok olması için zaman tanınır (Şekil 4.3.i) [54].



Anot ve katotdan ayrılan metalin miktarı arasındaki ilişki, toplam akım akışı içindeki elektron ve pozitif iyonların oranına bağlıdır. Elektron akımı, pozitif iyonlar elektronlardan 10^4 kat daha büyük ve elektronlardan daha az hareketli olduğundan dolayı deşarjın en erken safhasında daha yüksektir. Bu nedenle, anot-ış parçasının eriyonu başlangıçta katot-takımından daha büyüktür. EDM ilerlerken, plazma kanalı genişlikte artar ve iç-elektrot aralığı karşısında akım yoğunluğu azalır. Azalan elektrona bağlı olarak akımın bir kısmı ile, pozitif iyonlardan katılım artar ve orantılı olarak daha fazla metal sonra katot-takımdan erir [56].

4.3. TEL ELEKTRO EREZYON İLE İŞLEMENİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

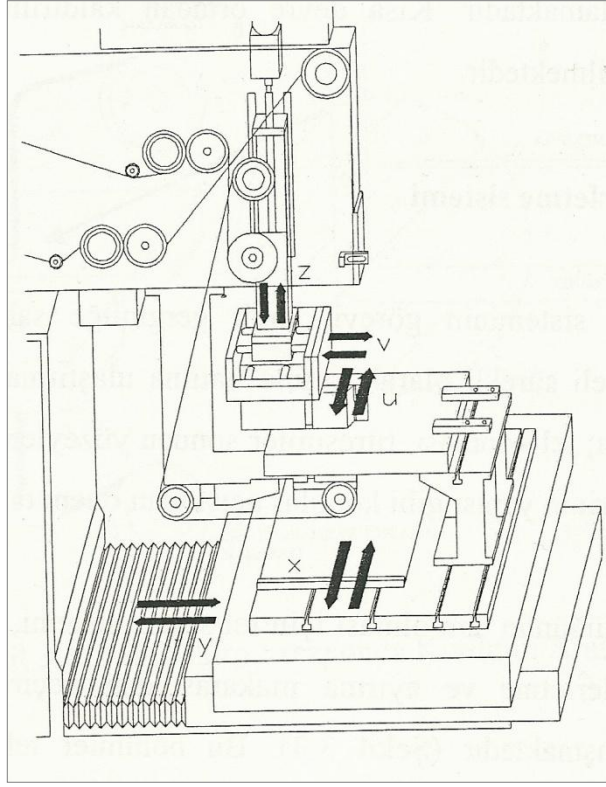
Tel iş parçasının içinden geçerek makaralar yardımıyla ilerlemeler yaparken, masaya temas edip kısa devre olmaması için masa U şeklinde yapılmaktadır. Masanın üstünde, iş parçalarından teli geçirebilmek için delik açan seri deliciler bulunmaktadır. X ve Y eksenindeki hareketi sağlayan servo motorlar ise sütun üzerine montaj yapılmaktadır.

Dielektrik sistem içerisinde yalıtkan sıvı filtre, pompa, iyon değiştirme reinesi ve soğutucu bulunmaktadır. Tezgah kontrol ünitesi; kesme şartlarını ayarlamak, tezgah organizasyonu ve elle veri girişi ile ekranda karakter görüntülemek için üç ana panel şeklinde düzenlenmiştir [55].

Tel elektro erezyon tezgahı nümerik kontrollü (NC) hareketlerle, parçanın dış hatlarını isteğe göre şekillendirmektedir. Bu tezgahta klasik EDM'deki gibi özel şekillendirilmiş elektroda ihtiyaç duyulmamaktadır. Onun yerine yüksek gerilim uygulanmış tel, işin geometrisine göre devamlı hareket ettirilmektedir. Bu kesici tel 0,03 mm ile 0,3 mm çapları arasında pirinç, bakır, çinko, tungsten veya molibdenden yapılmaktadır. Tel X ve Y eksenlerinde tek tek veya iki eksende birden hareket ederek iş parçasını aşındırmakta ve yüzeyde çok ince bir iz bırakmaktadır.

Bazı tel elektro erezyon sistemlerinde kullanılan dielektrik sıvıya iş parçası hemen hemen hiç daldırılmamakta, lokal bir akıntı kullanılmaktadır. Metalden kopan parçacıklar, kullanılan dielektrik sıvı ve sabit bir sirkülasyonla ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Dielektrik sıvı tel ile iş parçası arasındaki iletkenliği uygun bir seviyede korumakta ve kıvılcımın sebep olduğu ısıyı düşürmektedir.

Tel elektrot bir makaradan boşalmakta, iş parçasından geçerek ikinci bir makaraya sarılmaktadır. Tel besleme sistemi ile işleme sırasında ark boşluğuna sürekli kullanılmamış tel beslenmektedir. Tel ile iş parçası arasında mekanik bir temas gerçekleşmektedir. Şekil 4.4'de tel elektro erezyon sisteminin şematik gösterimi sunulmuştur.



Şekil 4.4. Tel elektro erezyon tezgahı sistemi [57]

4.4. TEL ELEKTRO EREZYON TEZGAHLARININ DONANIMI

Bir tel elektro erezyon tezgahı konum izleme sistemi, tel sürme sistemi, güç kaynağı ve dielektrik sistemi olmak üzere dört alt sistemden oluşmaktadır. Bu alt sistemlerin her biri, klasik EDM'ye göre kendine has farklı özelliklerde çalışmaktadır.

4.4.1. Konum İzleme Sistemi

Tel elektro erezyon konum izleme sistemi genelde 2 eksenli CNC kumandalı tezgah tablasından oluşmaktadır. CNC kumandasının en önemli özelliği tel ile iş parçası arasındaki ark genişliğinin, işleme süresince sabit tutulmasını sağlamaya yarayan bir kontrol mekanizmasına sahip olmasıdır. Tel, iş parçasına temas eder veya kopan parçalardan biri tel ile iş parçası arasındaki aralıkta bir köprü oluşturursa kısa devre oluşmakta ve konum izleme sistemi telin bulunduğu konumda kısa devreyi ortadan kaldırıncaya kadar geri gitmesini sağlamaktadır. Kısa devre ortadan kaldırılıncaya kadar erezyon işlemi iptal edilmektedir [57].

4.4.2. Tel İlerletme Sistemi

Tel ilerletme sisteminin görevi, sabit gerginliğe sahip ve kullanılmamış (aşınmamış) teli sürekli olarak kesme hattına ulaştırmaktır. Tel gerginliğinin sabit tutulması; tel kopması, titreşimler sonucu yüzeylerde izler oluşması veya işleme çizgilerinin yapısı gibi konular açısından önem taşımaktadır.

Telin düzgünlüğünün tam olması için tel sürme sistemi, dolu makaradan çıkan teli birkaç ilerletme ve ayırma makarasından geçirecek birçok aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.2). Bu bölümler telin imalatından doğan olumsuz etkileri kesme hattına kadar elimine edecek şekilde tanzim edilmiştir [57].

Kesme teli iş parçasından; alt ve üst yakut, seramik kılavuzların yönlendirmesine uygun olarak geçmektedir.

Günümüzde yer alan bir çok tel elektro erezyon tezgahlarında, 0,1 mm'den 0,3 mm'ye kadar tel çapları ile işleme yapılabilmektedir [57].

4.4.3. Güç Kaynağı

Tel çağının çuk küçük olması sebebiyle, telin taşıyabileceği akım miktarı sınırlı olmakta ve WEDM tezgahlarında 20 A 'yı geçmeyecek akım şiddeti kullanılmaktadır [57].

4.4.4. Dielektrik Sistem

WEDM işleminde sıvı olarak iyonsuzlaştırılmış veya arıtılmış su kullanılmaktadır. Viskozitesinin düşük ve soğutma özelliğinin yüksek olması, talaşın kesme ortamından hızlı bir şekilde uzaklaştırılabilmesi ve yanıcı olmaması, su kullanılmasının dört ana sebebini oluşturmaktadır [57].

Su hızlı elektrot aşınmasına sebep olduğundan geleneksel EDM için uygun değildir. Fakat suyun düşük viskozitesi ve hızlı soğuma oranı WEDM için idealdir (Huntress

1978, ASM 1989). Su kullanılmadan önce iyon değiştirme safhasından geçirilmelidir [54].

4.4.5. İşleme Parametreleri

4.4.5.1. Puls Süresi (ON Time)

Kıvılcımın puls süresini ayarlayan parametredir. Malzemelerin tel erozyonla işlenmesinde işleme zamanına, yüzey pürüzlülüğüne ve işlemenin verimliliğine birinci derecede etki edebilmektedir [29].

Puls süresi parametresi her kıvılcımda tele uygulanan elektrik zamanının uygunluğunu kontrol eder. Bu yüzden daha yüksek bir seviyede puls süresini ayarlamak daha büyük enerji üretimine sebep olur [59].

4.4.5.2. Puls Ara Süresi (OFF Time)

Kıvılcımın şarj zamanını ayarlayan parametredir. Elektrotlar arasında voltajın uygulanmadığı süre olarak da dikkate alınan bu parametre işleme üzerinde birinci derecede etkiye sahip olmaktadır [26].

Puls ara süresi, telden sürekli güç alan bir faktördür. Artan OFF Time, genellikle daha yavaş kesme, artan süreklilik ve daha az tel kırılması anlamına gelmektedir. Genellikle puls süresi ve puls ara süresi yaptıkları etkilerden dolayı bir arada göz önüne alınır. Puls ara süresi, puls süresinden daha düşük olmalıdır [59].

4.4.5.3. Ana Güç Kaynağı Maksimum Akımı (IP)

Ana güç kaynağı tarafından üretilen akımın zirve değerini ayarlayan ve kıvılcım enerjisini tayin eden en önemli parametredir [29].

Parametre aralığı 00-17 arasındadır. Puls süresi ile aynı derecede, daha yüksek IP, daha hızlı işleme hızı demektir. Fakat geometrik tamlık ve yüzey kalitesini düşüreceklerdir [59].

4.4.5.4. Yardımcı Güç Kaynağı Devresi (HP)

Yardımcı güç kaynağı zirve akımı değerine ayarlayan parametredir. IP parametresinin 16 ve 17 kademeleri için yüksek voltaj devresinin seçilip seçilmeyeceği, H adresine girilen değerle belirlenmektedir. Kaba işlemlerde nadiren kullanılan bu adresin normal değeri “0” sıfır alınmaktadır [29].

4.4.5.5. Puls Ara Süresi Ayarı (MA)

M ve A adreslerine girilen ayrı ayrı kademe değerleriyle (0 ile 9) kıvılcımla aşındırmada kullanılan ana akım ve volt değerlerinin etki sürelerinin ince ayarı yapılmaktadır. M değerine girilen değer kesme kararlılığını ifade etmektedir. A adresine girilen değerler ise, kararsız işleme esnasında kıvılcımın şarj (bekleme) süresini ayarlamaktadır. A adresine girilen değer artırılması kararlı ve tel kırılması olmaksızın yapılan bir işlemi sağlamaktadır. Ayrıca, A adresine girilen değer ile kararsız işleme esnasında kıvılcımın kapalı kalma süresi ayarlayan OFF parametresinin ölçek faktörü belirtilmektedir [29].

Mesela, MA değeri 22 olsun. Bu durumda, duyarlılık oldukça düşük olacaktır ve eğer bir problem belirlenirse, puls ara süresi abartılı olarak değiştirilemez. Fakat MA değeri 89 olursa, duyarlılık çok yüksek olacaktır. Eğer bir problem belirlenirse, puls ara süresi problem çözülünceye kadar büyük bir miktar artırılabilir [59].

HP gibi bu parametrenin de fonksiyonu IP'nin ayarına göre değişir. IP 16'dan az olmayacak şekilde ayarlandığında:

M : İşlem şartlarının kararlı veya kararsız olmasının hangi seviyede tetkik edileceğini ayarlar (0-9 aralığındadır).

A : Kararsız işleme sırasında pulsun kapalı (OFF) kalma süresini ayarlar (0-9). Bu parametrenin yüksek seviyede ayarlanması, tel kopma ihtimalini azaltarak işleme kalınlığını artırır [56].

IP 15'den büyük olmayacak şekilde ayarlandığında ise:

M : İşleme şartlarının kararlı veya kararsız olmasının hangi seviyede tetkik edileceğini ayarlar.

A : Kararsız işleme sırasında pulsun kapalı (OFF) kalma süresinin ölçek faktörünü ayarlar. Bu parametrenin yüksek seviyede ayarlanması, daha yüksek işleme kararlılığıyla sonuçlanan, pulsun kapalı kalma süresinin ölçek faktörünü büyütür, bu aynı zamanda işlem miktarının da azalmasına sebep olur [57].

4.4.5.6. Aralık Voltajı (SV)

Kıvılcım aralığını düzenleyen değerler içeren adres olarak 00 ile 31 kademeleri arasında değiştirilebilen bu parametrenin yüksek değerleri, kararlı kesmeyi sağlamakla beraber, iş parçası ile tel aralığındaki kıvılcım aralığının da büyümesini sağladığı için işleme hızında önemli bir düşüşe yol açmaktadır [26]. Bu parametre gerçek olarak tele güç eklemes. Eğer yüksek bir değere ayarlanırsa, kesme hızı yavaşlayacaktır [58].

4.4.5.7. Ana Güç Kaynağı Voltajı (V)

Ana güç kaynağında üretilen voltajın değerini ve IP adresine girilen değerle birlikte kıvılcım deşarj enerjisini ayarlamaktadır. İnce çaplı teller ve ince paso işleme için 00-02 aralığının, kaba paso. işleme için 03 kademesinin kullanılması tavsiye edilmektedir [29].

4.4.5.8. Tabla İlerleme Hızı (SF)

0000 ile 3999 arasında ayar kademeleri bulunan bu parametre, verilen seviyede tel ile iş parçası arasındaki kıvılcım deşarj aralığı sabit kalacak şekilde CNC kumandalı iş tablası hareketinin hızına kumanda etmektedir. Tezgahın güç ünitesinin, ortalama işleme voltajı 30 ile 40 volt arasında kalacak şekilde parametreler ayarlandığında, en verimli ancak kaba işleme şartlarını sağladığı belirtilmektedir [60].

4.4.5.9. Tel Gerilmesi (WT)

Kesme operasyonunun başlayabilmesi için, tel elektrot, iş parçası üzerindeki başlama deliğinden geçirilerek diğer makaraya sarılmakta ve tele gerginlik verilmektedir [29]. Parametre aralığı 380-2200 gr arasında değişmektedir. WT otomatik bir tel çekici ile donatılan makinalarda tel gerilmesini ayarlar [59]. Tel gerginliği, parça yüzey hassasiyeti ve düzgünlüğü büyük ölçüde etkilemektedir. Yükzek kesim hassasiyeti istendiğinde, tel gerginliği kopma seviyesinin altında kalmak şartıyla mümkün olduğu kadar arttırılmaktadır [55].

4.4.5.10. Tel İlerleme Hızı (WS)

Tel ilerleme hızının malzeme kalınlığına göre ayarlanması gerekmektedir. Malzeme kalınlığı arttıkça, tel kırılmasının önlenmesi ve tel düzgünlüğünün sağlanabilmesi için tel hızının artırılması gerekmektedir [61].

4.5. TEL ELEKTRO EREZYON İŞLEMİNİN AVANTAJ VE SINIRLILIKLARI

Avantajları

1. Bu işleme tekniği sayesinde değişken sertlikte veya karmaşık şekildeki parçaların mikron hassasiyetinde işlenmesi mümkündür [62].

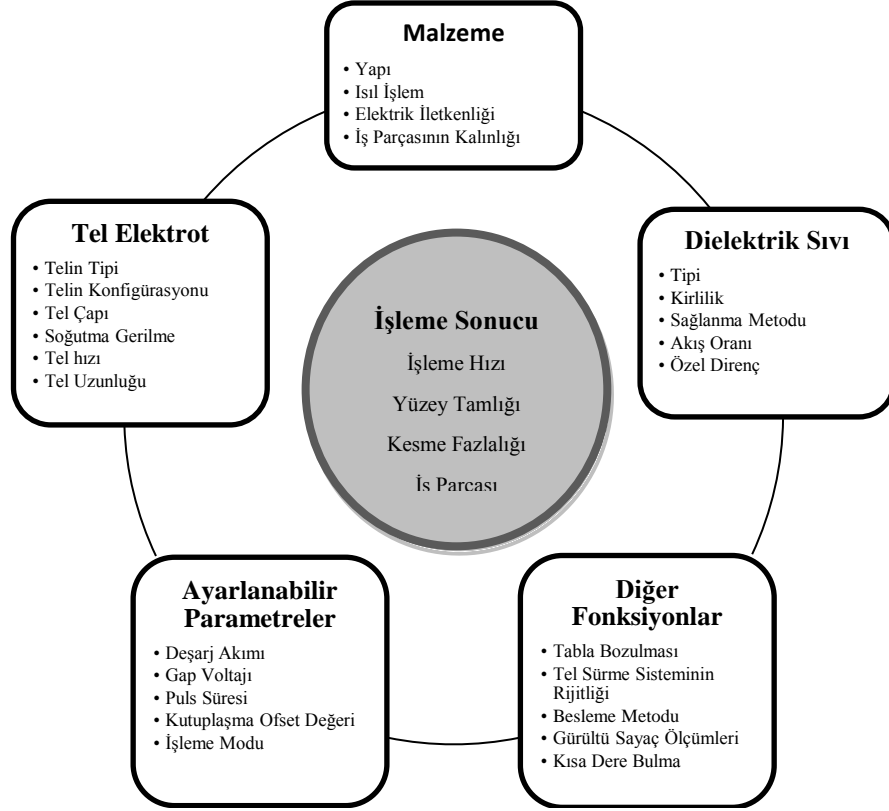
2. Bu yöntem ile elektriği ileten tüm malzemelerin işlenmesi mümkün ve tezgahın kesme hızı, işlenecek malzemenin sertliğine bağlı olmamaktadır [57].
3. Tel erozyonla işleme (WEDM), yüksek hızlarda ayna ve is parçasının dönme tehlikesi, keskin talaşların oluşması ve büyük freze çakılarının kullanımı söz konusu olmadığından güvenli işleme yöntemlerinden biridir [62].
4. İş parçalarının geometrik yapıları, kesme hızını etkilemediğinden, hassas ve kompleks parçalar üreten kalıpların yapımında kullanılan kalıp elemanlarının kolay ve kısa sürede imal edilmesine imkan sağlamaktadır [57].
5. Termoelektrik bir yöntem olan tel erozyon yönteminde is parçasından Talas kaldırmak için kullanılan ve sürekli hareket eden tel elektrot; bakır, pirinç veya volfram malzemedan 0,05-0,3 mm çap aralığında yapılarak, bu çaplarla işlenen malzemedede çok küçük köşe yarıçapları elde edilebilmektedir [63].
6. Tel erozyonla is parçasından talaş, elektro termal enerji ile kaldırıldığı için, talaş kaldırma oranı elektrik iletkenliğine ve is parçasının ergime sıcaklığına bağlıdır. Yüksek elektrik iletkenliği ve düşük ergime sıcaklığına sahip malzemeler, tel erozyon ile daha etkili işlenebildiği gibi, mukavemeti veya sertliği; takım kırılmasına veya prosesin aksamasında etkin rol oynamaz [62].
7. İşleme esnasında iş parçası üzerine kuvvet etki etmediğinden, küçük ve nazik parçalar son derece hassas, çarpılmamış ve çapaksız olarak üretilmektedir.
8. Tel çapı ince olduğundan, aynı anda hem zımba, hem de dişi kalıp imal edilmiş olmakta ve böylece birlikte çalışan elemanların birbirine alıştırmaları çok kolay gerçekleşmektedir.
9. Tel elektro erezyon yöntemi ile işlenmiş parçalarda, elde edilen yüzey kalitesi kesme hızına bağlı olmamaktadır.
10. 0,05 mm'ye kadar iç köşe kavisi elde edilebilmektedir.

11. Bir operatör birden fazla tezgaha bakabilmektedir.
12. İşleme esnasında insan dikkati gerektirmemesi ve imal edilen parçaların ölçü tamlığı, tezgah operatörünün becerisine bağlı olmaması yöntemin en önemli özelliklerini oluşturmaktadır [55].

Sınırlılıkları

1. Kesme hızı geleneksel tezgahlara göre küçük olmaktadır.
2. Tezgahın ilk yatırım maliyeti yüksek ve tezgahı kullanmak için kalifiye eleman gerekmektedir.
3. Yalıtkan malzemelerin işlenmesi mümkün olmamaktadır.
4. Tel elektrot, iş parçasının üst ve altından boydan boya geçmesi gerektiği için kör delik, oyuk türü detaylar ve büyük parçaların işlenmesi gerçekleştirilememektedir.
5. İşlenmiş iç köşelerde, tel çığına ve servo motorun hassasiyetine göre kavis oluşmaktadır. Bu da minimum 0,05 mm'dir.
6. İşleme sırasında bazı malzemelerde elektroliz oluşmaktadır [55].

Bu sınırlılıklarına ek olarak WEDM birçok parametreye bağlı olarak gerçekleşen bir olaydır. İşleme hızı, yüzey tanlığı, doğruluğu ve diğer performans ölçümleri gibi faktörler Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.5. WEDM işlemini etkileyen faktörler [54]

4.6. TEL ELEKTRO EREZYON YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI

İş parçası boyutlarının doğruluk derecesi ve iyi yüzey bitisi meydana getiren tel erozyonla işleme yöntemi, metal ve ekstrüzyon kalıpları, prototip parçalar, vs. üretimini kapsayan uygulamalar için önemlidir [56].

4.6.1. Kalıp ve Kalıp Parçaları

Kalıp ve zımba parçalarının imalatı, çok sık olarak WEDM tipi makinalar kullanılarak yapılmaktadır. Küçük koniklere ve tam boyuta ihtiyaç duyulan durumlarda, pahalı kesme elektrotları kalıp imalatı için kullanılır. Bu elektrotlar tel elektro erozyon için mükemmel bir uygulama sağlar. Kalıp işi, yüksek elektrot yüzey kalitesi ister, bu ise genellikle WEDM yöntemi kullanılarak elde edilir. Dişi kalıp ve zımba yapımında çok kolaylık sağlar [59].

4.6.2. Sac Metal Pres Kalıpları

Normal olarak takım çeliklerinde olduğu gibi sertleştirilmiş metallere üretilirler. Sac metal pres kalıpları WEDM kullanılarak uygun şekilde kesilir. İşlem ısı işleminden sonra kesmeyi kolaylaştırır. Bu suretle çarpılma önlenir. Kalıp imalatında WEDM'nin kullanımı önemli tasarruf sağlar. Bazı uzmanlar takım parçalarının geleneksel metotlarla ihtiyaç duyulan üçte bir zamandan daha a bir zamanda üretilebileceğini söylemişlerdir [64].

4.6.3. Ekstrüzyon Kalıpları

Ekstrüzyon kalıpların tel elektro erozyon işlemi uygulanmaktadır. Taşlama ve frezelemede grafit işlenirken etrafı kirletir. Bu problem WEDM ile ortadan kalkar.

4.6.4. Prototip İmalatı

Tel erozyonla işleme yöntemi (WEDM), karmaşık şekilli parçaların çabuk ve kolay işlenmesi için kullanılır. Tabaka halinde olan metal katmanlar üst üste konularak tek bir pasoda yüzlerce veya binlerce üretilebilir. Prototip işlemede, yapılacak küçük değişikliklerle parçaların üretimleri için kullanılacak prototipin sayısal kontrol (CNC) yardımıyla üretilmesi, tel erozyonla işleme yönteminin avantajlarından biri olup, üretimi hızlandırır [64].

4.6.5. Kesici Takımlar

Tel erozyonla işleme ile takımların imal edilmesi, form veya optik taslamanın zorluğunu ve yüksek maliyetini ortadan kaldırır. Karmaşık kesme açısına sahip torna takımlarının tel erozyon tezgahındaki özel programlar yardımıyla işlenmesi mümkündür. Bu programlar işlemede kolaylık sağlar [59].

Ayrıca yukarıdaki alanların dışında özel formlu malzemeler, broşlar ve şablonlar da WEDM ile üretilen iş parçalarıdır.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1.GİRİŞ

Bu çalışmada deney malzemesi olarak farklı alaşım elementleri ve takviye elemanı içeren alüminyum esaslı beş farklı malzeme kullanılmıştır. Çalışmalar;

1. T/M yöntemi ile malzeme üretilmesi,
2. Üretilen malzemelerin bazı özelliklerinin incelenmesi (Mikroyapı, sertlik değerleri),
3. Seçilen işleme parametrelerine göre WEDM ile numunelerin kesilmesi
4. Kesilen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerleri, sertlik değerleri ve mikroyapısının incelenmesi,
5. Kesmede kullanılan tel elektrot ağırlıklarının ölçümü,

Olmak üzere 5 aşamada gerçekleşmiştir.

5.2.NUMUNE ÜRETİMİ

5.2.1. Toz Malzemeler ve Özellikleri

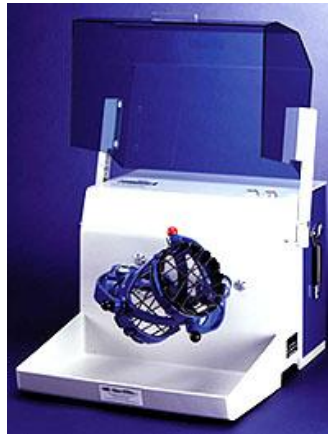
Bu çalışmada, ECKART Dorn firmasından temin edilen, “ECKA aluminium AS 91/S” kodlu, % 99.7 saflıkta, gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilmiş, ortalama boyutu 160 µm olan Al tozları matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye elemanları ve oranları Çizelge 5.1.’de görüldüğü gibidir

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan T/M malzemeler

Malzeme Kodu	Yüzde Hacim Oranı	Takviye Elemanı	Ort. Tane Boyutu
Al999	% 100 Al	Saf Al (%99,7)	160 µm
Al231	% 2,5 Cu + % 14 Si + % 0,5 Mg + % 83 Al	Cu + Si+ Mg	110 µm
Al231SiC4	% 4 SiC + % 2,5 Cu + % 14 Si + % 0,5 Mg + % 79 Al	SiC	10 µm
25Cu06Mg	% 2,5 Cu + % 0,6 Mg + % 91,5 Al	Cu + Mg	120 µm
45Cu06Mg	% 4,5 Cu + % 0,6 Mg + % 89,5 Al	Cu + Mg	120 µm

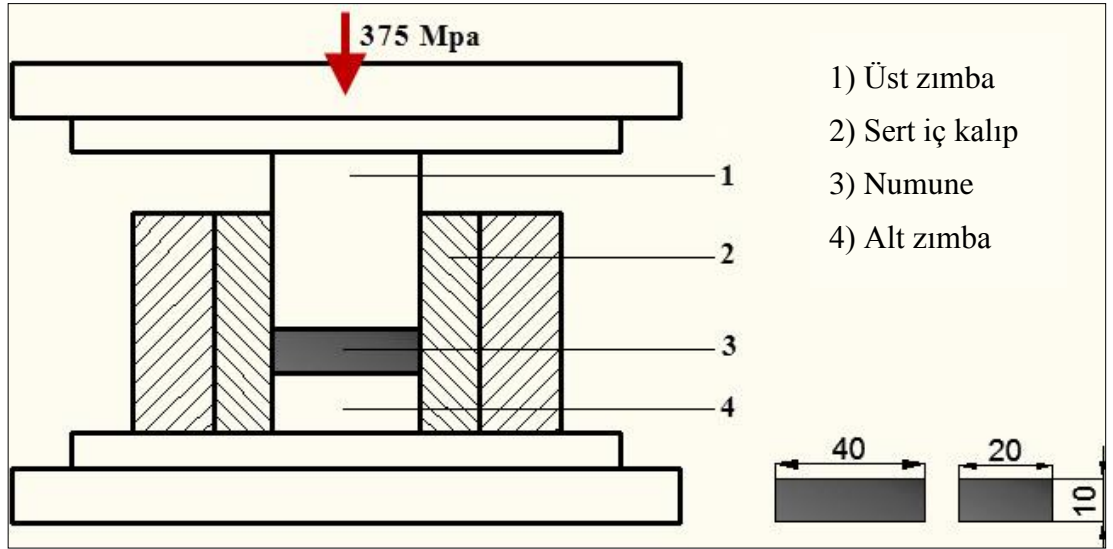
5.2.2. Tozların Karıştırılması ve Preslenmesi

Numunelerin hazırlanmasında ilk aşama matris ve takviye fazlarını oluşturan tozların ağırlık oranlarına göre tartılması ve takiben karıştırılması işlemidir. Tozların tartı işlemleri Çizelge 5.1'deki karışım oranlarına göre 1/10000 gr hassasiyetine sahip Precisa marka hassas terazi ile yapılmıştır. Karıştırma işlemi, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü laboratuvarlarındaki karıştırıcı cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1). Karıştırıcı; 2 litre hacimde karıştırma tankına sahip olup her türlü metal tozunu dönme, öteleme ve ters dönme hareketlerini aynı anda yaparak, tozların homojen bir şekilde karışmasını sağlamaktadır. Toz malzemelerin homojen karışımını sağlamak amacıyla Turbula'da karıştırma işlemi 30 dakika süreyle, 60 dev/dak'da yapılmıştır.



Şekil 5.1. Karışım cihazı

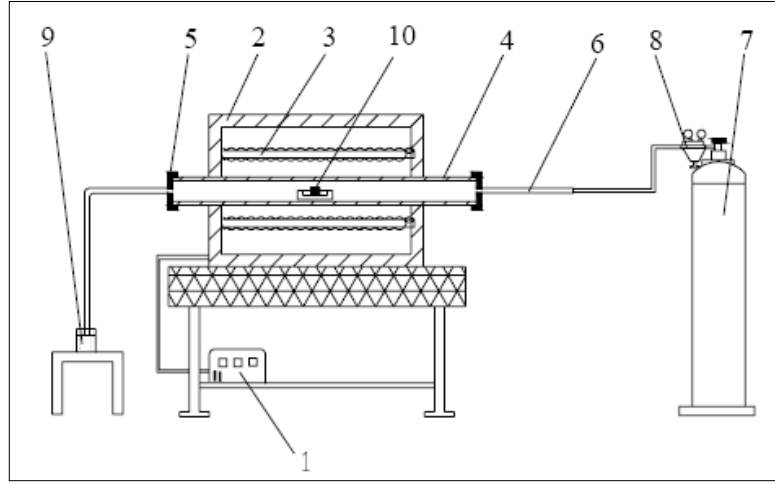
Numune üretiminde ikinci aşama karışım tozlarının preslenmesi işlemidir. Karışım oranına göre Turbula'da Çizelge 5.1'de verilen oranlarda karıştırılan tozların preslenmesi, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü laboratuvarlarındaki elektrik motorlu 60 ton basma kapasiteli hidrolik preste 375 N/mm² (MPa) sabit yük altında preslenmiştir. Numuneler, 40 x 20 x 10 mm boyutlarına göre Şekil 5.2'de sunulan tek yönlü presleme kalıbında preslenmiştir.



Şekil 5.2. Tek yönlü presleme kalıbı şematik gösterimi ve numune ebatları

5.2.3. Numunelerin Sinterlenmesi

Toz metal parçaların üretiminde son aşama sinterleme işlemidir. Numunelerin sinterleme işlemleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Ekstraktif Metalurji laboratuvarında bulunan SFL marka 1200 °C kapasiteli tüp fırında, argon (Ar) gazı koruyucu atmosfer ortamında yapılmıştır. Şekil 5.3'te, tüp fırınında yapılan sinterleme işleminin şematik olarak resmi verilmiştir. Sinterleme işlemi, 410 °C'de 1 saat yağlayıcı uçurma (%1,5 Amidwax), işlemden sonra 1 saat süreyle 600 °C'de sinterleme ısıl işlemi yapılmıştır.



Şekil 5.3. Sinterleme işleminin şematik gösterimi, 1) Kontrol paneli, 2) Fırın, 3) Resistans, 4) Alümina tüp, 5) Grafit kapak, 6) Plastik hortum, 7) Argon tüpü, 8) Manometre, 9) Gaz çıkış kabı 10) Numune

5.2.4. Mikroyapı İncelemesi

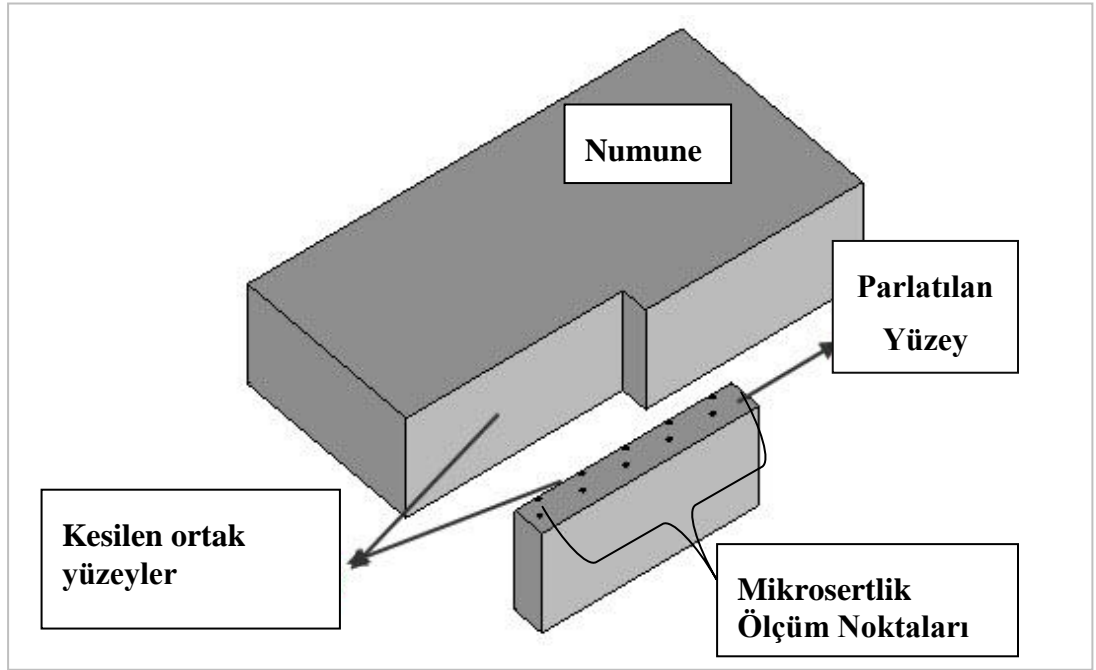
Kesilen yüzeylerde meydana gelen yapısal değişikliklerin gözlenebilmesi amacıyla, tel elektro erezyon ile kesilen yüzeye komşu bir yüzey Şekil 5.4'deki gibi silikon kalıp içerisinde şeffaf reçineye gömülmüştür. Sonrasında numuneler metalografik numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuş ve elmas pasta içeren keçe ile parlatılmıştır. Optik mikroskopla inceleme öncesinde % 2 Nital çözeltisi (Keller) ile dağlanmıştır. Dağlama işlemi sonrasında numunelerin mikroyapı özellikleri Leica marka optik mikroskop ile incelenmiştir.



Şekil 5.4. Numuneleri şeffaf reçineye alma işlemi ve konumlandırılması

5.2.5. Sertlik Ölçümü

Kesilen yüzeylerde meydana gelen sertlik değişimlerinin tespit edilmesi amacıyla kesilen yüzeylerden Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Bölümü laboratuvarında bulunan SHIMADZU marka mikrosertlik ölçüm cihazı ile 50 (gf) yük altında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler tel elektro erezyon kesiminden etkilen kenarın enine kesiti boyunca Şekil 5.5'te görüldüğü gibi yapılmıştır. Orta kısımlardan yapılan ölçümlerde ölçülen değerlerin ana matris sertliğiyle örtüşmesine dikkat edilmiştir. Bu şekilde etkilenen bölgedeki sertliğin değişimi incelenmiştir.



Şekil 5.5. Mikrosertlik ölçüm noktalarının şematik görünümü

5.3. TEZGAH VE PARAMETRELERİN SEÇİMİ

5.3.1. Kesme İşleminde Kullanılan Tezgah ve Teknik Özellikleri

Kesme işlemi Sodick Apt II A marka CNC tel elektro erezyon tezgahı ile gerçekleştirilmiştir. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 5.2.'de tezgah yerleşimi ise Şekil 5.6.'da verilmiştir.

Çizelge 5.2. Sodick Apt II A marka CNC tel elektro erezyon tezgahının teknik özellikleri

Tabla Hareketi	X Ekseni	320 mm
	Y Ekseni	200 mm
	Z Ekseni (Elle)	175 - 180 mm
	U V Ekseni (Yardımcı Tabla)	50 x 50 mm
Tel Çapı		0.1 - 0.3 mm
Tel Kapasitesi		3kg (Max. 6kg)
Tel İlerleme Hızı (max.)		250 mm/sn



Şekil 5.6. Sodick Apt II A marka CNC tel elektro erezyon tezgahı

5.3.2. Kesme İşleminde Kullanılan Tel Elektrot

0.2 mm çapında Sumitomodenko SBG 25H tel kullanılmıştır. Çizelge 5.3.'de telin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Tel elektrot özellikleri

Tel Çapı	0,2 mm
Kopma Mukavemeti	900 N/mm ²

5.3.3. Birim Zamandaki Tel Elektrot Sarfiyatı

Tezgah kontrol panelindeki 3,4,5 ve 6 kademelerinde kesme işlemine başlanılan esnada 1 dakikadaki tel sarfiyatı numune olarak alınmış ve sonrasında ölçülmüştür. Ölçülen değerler m/dak cinsinden Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Birim zamandaki tel elektrot sarfiyatı

Tel Hızı Kademesi	Tel Elektrot Sarfiyatı (m/dak)
3	4,215
4	6,197
5	7,8
6	9,9

5.3.3. Kesme parametreleri

Çizelge 5.5'te verilen tezgah kataloğundan 10 mm'lik malzeme kalınlığı için önerilen işleme parametreleri dikkate alınmıştır. Bunun sonucunda üretici firma tarafından tezgah kataloğunda tarafından tavsiye edilen C410 işleme şartı parametreleri referans alınmıştır. Deneylede kesme işlemlerinde M(A) ve WS değişken olarak alınmış diğer parametreler sabit tutulmuştur.

Çizelge 5.5. İşleme şartları genel tablosu

İşleme şartı numarası	Plaka Kalınlığı	Parametreler				Voltaj (V)	Akım (A)	F Değeri mm/dk	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Kaydırma µm (ort)
		ON	OFF	M(A)	SF					
C400	5	3	18	18	4	50	4,0	10,10	16-22	128
C410	10	2	14	14	4	30	6,8	8,50	16-22	124
C420	20	4	17	16	5	30	9,2	5,40	16-22	130
C430	30	4	15	14	6	32	10,2	4,00	16-22	132
C440	40	4	14	14	6	31	9,8	3,00	16-22	132
C450	50	4	14	14	7	31	9,7	2,40	16-22	137
C460	60	4	14	14	8	33	9,4	1,90	16-22	138
C470	70	4	14	15	9	38	8,2	1,30	16-22	139
C480	80	4	15	16	9	38	7,2	1,10	16-22	140
C490	90	4	16	16	9	38	6,8	0,90	16-22	140
C490	100	4	16	16	9	38	5,6	0,60	16-22	142

Çizelge 5.6. İşleme şartları detay tabloları

Deney 1.
İşlem
Parametreleri

ON	OFF	IP	HP	M(A)	SV	V	SF	C	WS
3	17	17	1	17	2	3	8	0	3
3	17	17	1	17	2	3	8	0	4
3	17	17	1	17	2	3	8	0	5
3	17	17	1	17	2	3	8	0	6

Deney 2.
İşlem
Parametreleri

ON	OFF	IP	HP	M(A)	SV	V	SF	C	WS
3	17	17	1	26	2	3	8	0	3
3	17	17	1	26	2	3	8	0	4
3	17	17	1	26	2	3	8	0	5
3	17	17	1	26	2	3	8	0	6

Deney 3.
İşlem
Parametreleri

ON	OFF	IP	HP	M(A)	SV	V	SF	C	WS
3	17	17	1	29	2	3	8	0	3
3	17	17	1	29	2	3	8	0	4
3	17	17	1	29	2	3	8	0	5
3	17	17	1	29	2	3	8	0	6

**Deney 4.
İşlem
Parametreleri**

ON	OFF	IP	HP	M(A)	SV	V	SF	C	WS
3	17	17	1	99	2	3	8	0	3
3	17	17	1	99	2	3	8	0	4
3	17	17	1	99	2	3	8	0	5
3	17	17	1	99	2	3	8	0	6

Çizelge 5.6.'da yer alan çizelge grubu her bir malzeme için ayrı ayrı uygulanmıştır. 40 x 50 x 10 mm ebatlarındaki numunelerden 3 x 20 x 10 mm boyutlarında parçalar kesilmiştir. Sonuç olarak 5 farklı malzemeden 80 adet parça kesilmiş ve ilgili ölçümler yapılmıştır.

5.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİNİN ÖLÇÜMÜ

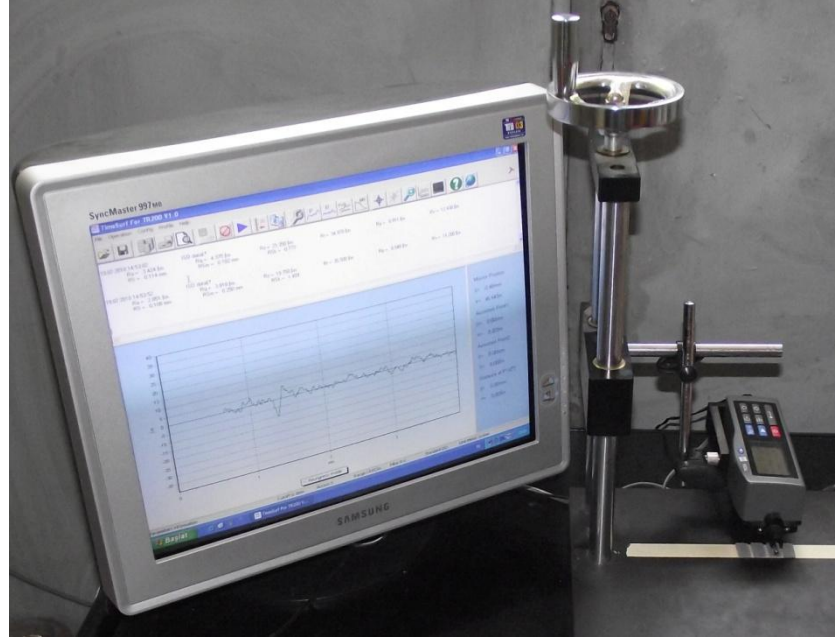
Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ISO 4287'de belirtilen esaslara uyularak, TS 971 TS 930 ve TS 6959'da belirtilen esaslara göre ardışık profil değişimini ölçebilen dokunmalı (iğneli) yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, cihazın tarama iğnesinin 5 µm çaplı elmas ucunu örnek yüzeyinde aşağı-yukarı hareket ettirirken, yüzeyde bulunan girinti ve çıkıntıların profili çıkartılmak suretiyle ölçülmüştür.

Ölçümler TIME TR-200 dokunmalı (iğneli) yüzey pürüzlülüğü test cihazı ile yapılmıştır. Cihaza ait teknik özellikler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülüğü test cihazına ilişkin teknik özellikler

Tipi	TR-200
Ölçme Parametreleri	Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, Rmaks, Rm, R3z, S, Sm, Sk, tp
Ölçme Hassasiyeti	0,001-0,04 µm
Ölçme Standardı	ISO 4287, DIN 4768, JIS B601, ANSI B46.1
Ölçüm Aralığı	0.01-40 µm (Ra için)
Enerji Kaynağı	Lithium ion şarj edilebilir batarya
Ölçme Boyu	Otomatik, 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm
Ölçüm Sayısı (Cut-Off)	1-5 Adet (ayarlanabilir)
Uygun Çalışma Sıcaklık ve Nemi	5-40 °C ve <%90 Bağıl nem
Sonuç Alma	LCD Ekran, yazıcı veya PC'ye aktarma

Ana numuneden 3 x 20 x 10 mm boyutlarında kesilen parçaların kesilen yüzeyleri üzerinde ölçümler yapılmış, tarama iğnesi ucu gözeneklere rastlandığında, grafik çizici kalem kaydediciden ayrıldığından, ölçme tekrarlanmıştır. Bu şekilde her yüzeyden 3'er adet ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Alınan bu değerler bilgisayar ortamında değerlendirilmiş ve Microsoft Excel programının yardımıyla grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca her yapılan ölçüm sonucu Time Surf yazılımı sayesinde yüzeyde bulunan girinti ve çıkıntıların profili bilgisayar ortamında görsel hale getirilmiş sonuçlar daha objektif değerlendirilebilmiştir. Şekil 5.7.'de yüzey pürüzlülüğü test cihazı ve bilgisayar ekranı görülmektedir.

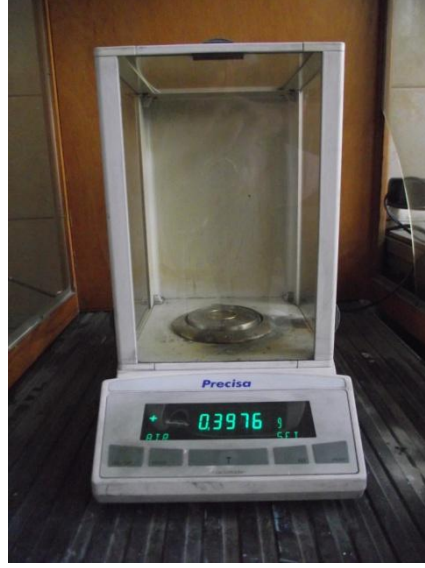


Şekil 5.7. Yüzey pürüzlülüğü test cihazı ve bilgisayar ekranı

5.5. TEL ELEKTROT İLE İLGİLİ İŞLEMLER

5.5.1. Tel Elektrot Ağırlıklarının Ölçülmesi

Tel ağırlıklarını elde etmek için 1/10000 gr hassasiyetine sahip Precisa marka hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Tel ağırlıklarının ölçüldüğü hassas terazi

Her bir deney sonucunda kullanılan tel elektrottan 1 m'lik numuneler alınarak tartılmıştır. 1 m'lik işlenmemiş tel elektrot ağırlığından işlenmiş tel elektrot ağırlıkları çıkarılarak ağırlık kaybı tesbit edilmiştir. Kesim yapmamış tel elektrotun ağırlığı 0,4 gramdır. Böylece tel elektrot üzerinde meydana gelen aşınma tel ağırlığından yola çıkılarak tespit edilmiştir. Elde edilen değerler yardımıyla grafikler oluşturulmuştur.

İşleme sonrası tel ağırlık kaybı Eşitlik 5.1'de sunulan formülle tespit edilmiştir.

$$TAK=[(KTA - İKTA) * 1000] \quad (5.1)$$

Eşitlikte TAK; Tel Ağırlık Kaybı, KTA; kullanılmamış tel ağırlığı, İKTA; İşlemede kullanılmış tel ağırlığını ifade etmektedir. 1000 ile çarpılmasındaki amaç ise sonucun Miligram (mg) cinsinden ifade edilmesi içindir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

6.1. GİRİŞ

Yapılan bu deneysel tez çalışmasında beş farklı alüminyum esaslı T/M numuneler üretilmiş ve tel elektro erezyon tezgahında kesimleri gerçekleştirilmiştir. Tel elektro erezyon tezgahında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda puls süresi (ON), puls ara süresi (OFF) yardımcı güç kaynağı devresi (HP), ana güç kaynağı maksimum akımı (IP), ana güç kaynağı voltajı (V), gerilim, dielektrik sıvı basıncı ve tel gerginliği (WT) sabit tutulmuştur. Her bir malzeme grubu için tel ilerleme hızı (WS) ile puls ara süresi ayarı [M(A)] değişken olarak tayin edilmiştir

Deneysel çalışmalar sonucunda;

1. Yüzey pürüzlülüğü,
2. İşleme yapmış teldeki ağırlık kaybı açısından aşınma,
3. Tel ilerleme hızı (WS),
4. Puls ara süresi ayarı [M(A)],
5. Takviye elemanı ve alaşım elementleri,
6. Mikrosertlik değerleri ve mikroyapı görüntüleri, incelenerek yorumlanmıştır.

Kesme performansına doğrudan etki etmese de bir kalite kontrol uzmanı gibi çalışan M ve A parametreleri, kesme işleminin kesintiye uğramaması için gerekli bir parametredir. Bu parametrenin işlenebilirliğe etkisi incelenirken öncelikle sabit bir ON ve OFF parametresi seçilmiş ve bu bütün malzemelerde sabit olarak kullanılmıştır. Bu şekilde M ve A parametrelerinin işleme sonrası yüzeypürüzlülüğü, tel ağırlık kaybı ve işleme yüzeyi sertlik değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir. M ve A parametreleri hakkında ayrıntılı bilgi Bölüm 4'te verilmiştir.

6.2. T/M MALZEME ÜRETİMİ

T/M numunelerin üretilmesine matris ve takviye fazlarını oluşturan tozların ağırlık oranlarına göre tartılmasıyla başlanmıştır. Bu işlemi takiben tozları homojen olarak karıştırma işlemine geçilmiştir. Tozların karıştırılma oranları Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Tozların karıştırılma işlemleri matris malzemesi ile diğer elementlerin homojen karışımını sağlamak amacıyla 30 dakika süreyle ve 60 dev/dak’da yapılmıştır. Her karıştırma işleminde karıştırıcı tankı içerisine 100 gr karışım toz yüklenmiştir.

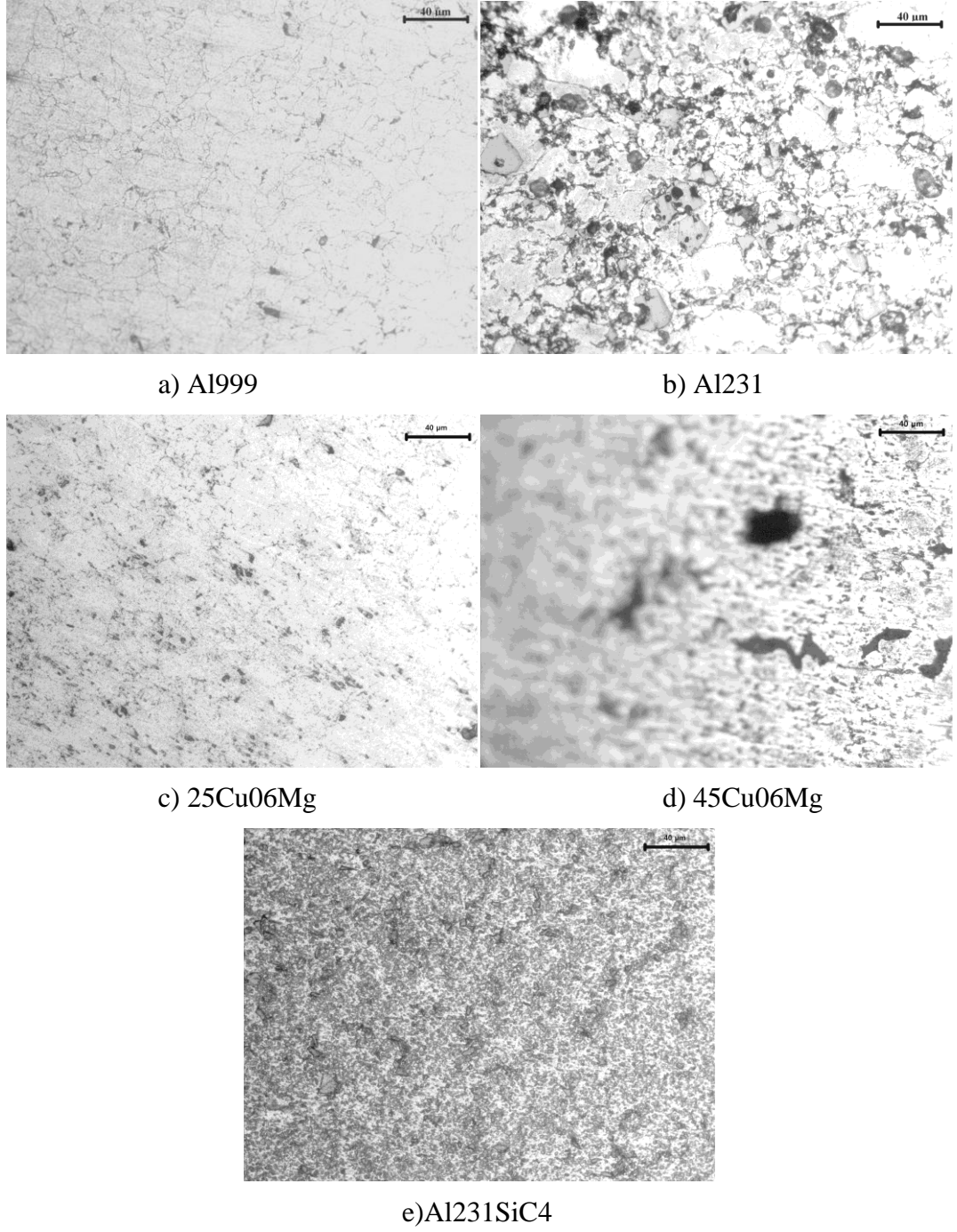
Numune üretiminde ikinci aşama olan karışım tozlarının preslenmesi işlemi 375 N/mm² (MPa) presleme basıncında 40 x 20 x 10 mm boyutlarına göre Şekil 5.2’de sunulan tek yönlü presleme kalıbında preslenmiştir.

Tartma, karıştırma ve presleme işleminin ardından 40 x 20 x 10 mm boyutlarında hacim kazanan numunelere mukavemet kazandırma aşamasına geçilmiştir. Numuneler 1200 °C kapasiteli tüp fırında, argon (Ar) gazı koruyucu atmosfer ortamında sinterleme işlemi yapılmıştır. Sinterleme işlemi, 410 °C’de 1 saat yağlayıcı uçurma (% 1,5 Amidwax), işlemden sonra 1 saat süreyle 600 °C’ de sinterleme ısıl işlemi yapılmıştır. Daha sonrasında numuneler fırın içerisinde kontrollü olarak soğutulmuştur.

Bu şekilde üretim aşamaları gerçekleştirilen numuneler tel elektro erezyon tezgahında kesilmeye uygun hale getirilmiştir.

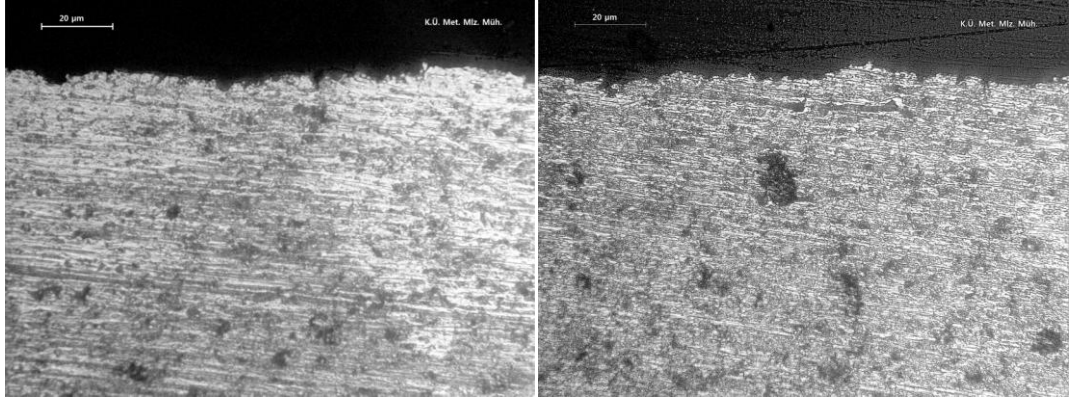
6.3. MİKROYAPI ve SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Üretimi gerçekleştirilen T/M numuneler şeffaf reçine içerisine alınarak metalografik numune hazırlama işlemlerine tabi tutulmuş ve % 2 Nital çözeltisi (Keller) ile dağlanmıştır. İşlem sonrasında optik mikroskopla mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Numunelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 6.1’de sunulmuştur.



Şekil 6.1. T/M numunelere ait mikroyapı fotoğrafları

Ayrıca işleme yüzeyine ait detayları göstermek üzere kesilen yüzeye dik mikroyapıları da optik mikroskopta incelenmiştir. Bu incelemeler yüzey pürüzlülüğü hakkındaki yorumlarda kullanılmıştır. Bu incelemelerden örnek teşkil edecek iki adet mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.2’de sunulmuştur.



a) 25Cu06Mg [WS: 6 / M(A): 1(7)]

b) Al999 [WS: 5 / M(A): 2(6)]

Şekil 6.2. T/M malzemelere ait işlenmiş yüzeye dik mikroyapı fotoğrafları

Kesilen yüzeyler ile anafaz sertlikleri arasında değişimin olup olmadığını tespit etmek amacıyla mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.1’de malzemelere ait mikrosertlik değerleri verilmiştir. Bu değerler Şekil 5.5’te görüldüğü gibi konumlardan alınmış Çizelge 6.1’deki değerler ile karşılaştırılmıştır. Nitekim yapılan değerlendirme sonucunda kesme işlemine muhatap olan kenar sertlikleri ile malzemenin kendi sertliği arasında mukayese edilebilir düzeyde bir sertlik değişiminin olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1. Malzemelere ait mikrosertlik değerleri

Malzeme	Sertlik Değeri (HV)
Al999	41,9
Al231	32,8
Al231SiC4	39,3
25Cu06Mg	81,7
45Cu06Mg	99

6.4. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM SONUÇLARI

Üretilen 5 farklı T/M malzemeler, hem tel elektro erezyon tezgahında seçilen işleme parametreleri hem de içerisinde bulunan alaşım elementi ve takviye elemanları açısından yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Elde edilen yüzey

pürüzlülüğü değerleri ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri cinsinden Çizelge 6.2’de tablo halinde sunulmuştur. Bu tablolarda yer alan değerler kullanılarak elde edilen grafikler ise alt başlıklar içerisinde sunulmuştur.

Çizelge 6.2. T/M malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Değişken Olarak Tayin Edilen Parametreler		Malzemelerin Ort. Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri (Ra) , μm				
		Al999	Al231	Al231SiC4	25Cu06Mg	45Cu06Mg
WS	M(A)					
3	1(7)	3,510	5,056	3,085	2,896	4,024
4	1(7)	3,462	4,540	2,730	2,288	4,630
5	1(7)	2,244	5,266	3,042	2,394	4,689
6	1(7)	2,447	5,090	2,851	2,372	3,859
2(6)						
3	2(6)	2,360	5,461	2,840	2,561	4,176
4	2(6)	2,188	5,617	2,661	2,527	4,325
5	2(6)	2,166	4,864	3,090	2,427	3,622
6	2(6)	2,490	5,217	2,904	2,647	5,645
2(9)						
3	2(9)	2,470	6,341	2,804	2,508	5,882
4	2(9)	2,322	5,779	2,720	2,344	6,357
5	2(9)	2,483	5,531	3,052	2,838	4,632
6	2(9)	3,257	5,977	2,761	2,761	4,623
9(9)						
3	9(9)	2,572	4,322	2,846	2,619	3,411
4	9(9)	2,464	5,559	2,824	2,460	4,616
5	9(9)	2,372	4,784	2,962	2,409	3,578
6	9(9)	2,280	4,192	2,872	3,044	3,177

Çizelge 6.2’de yer alan yüzey pürüzlülükleri ölçüm sonuçları T/M malzeme içeriği kıyaslanabilen gruplar oluşturularak incelenmiştir. Bu gruplar aşağıda Çizelge 6.3’de sunulmuştur.

Çizelge 6.3. Kıyaslanan T/M malzeme grupları

Kıyaslama Yapılan Malzeme Grupları		
Malzeme Grubu 1	Malzeme Grubu 2	Malzeme Grubu 3
Al999 ve Al231	Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg	Al231 ve Al231SiC4

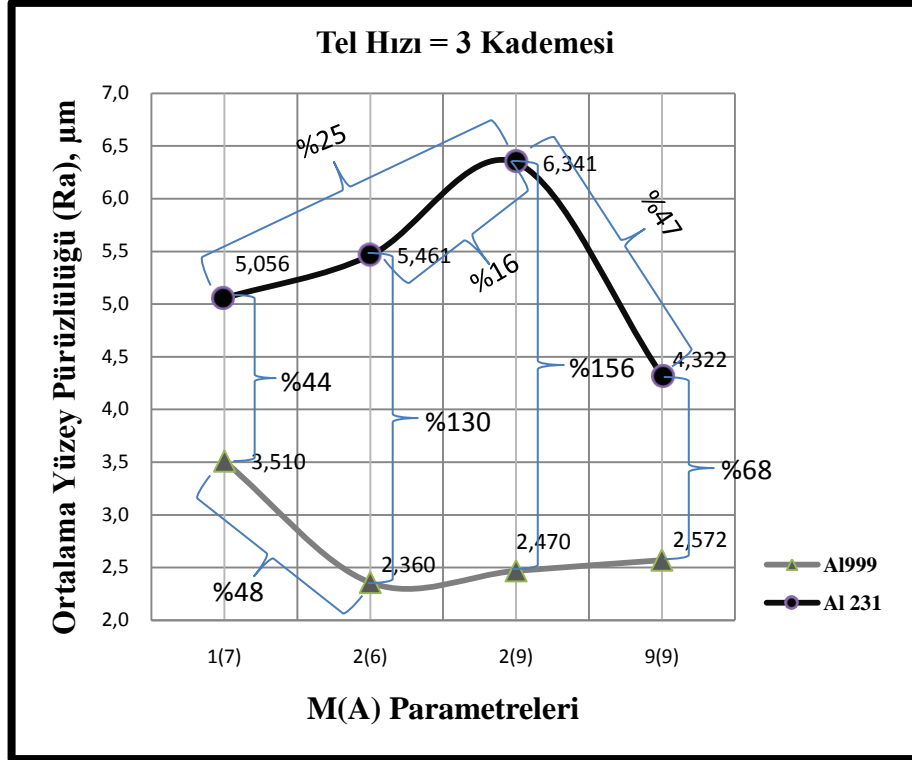
Yüzey pürüzlülükleri her bir malzeme grubu için ayrı ayrı ele alınarak, değişken işleme parametreleri olan M(A) ve WS değerlerinin etkileri açısından değerlendirilmiştir

6.4.1. Al999 ve Al231 T/M Malzeme Grubu İçin Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Bu grupta yer alan Al999 ve Al231 T/M malzeme alüminyum esaslı olup kimyasal bileşimleri farklıdır. Bu bileşimler materyal ve metot kısmında Çizelge 5.1’de sunulmuştur. İşleme deneyleri sonucunda değişken işleme parametreleri olan M(A) ve WS’nin yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkileri aşağıda grafikler yardımıyla incelenmiştir.

6.4.1.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Malzeme grubu 1 için dört farklı tel ilerleme hızı kademesi (WS)’ye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.3 ile Şekil 6.6 arasında sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde üç farklı M ve üç farklı A değeri bulunmaktadır. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında sunulmuştur.

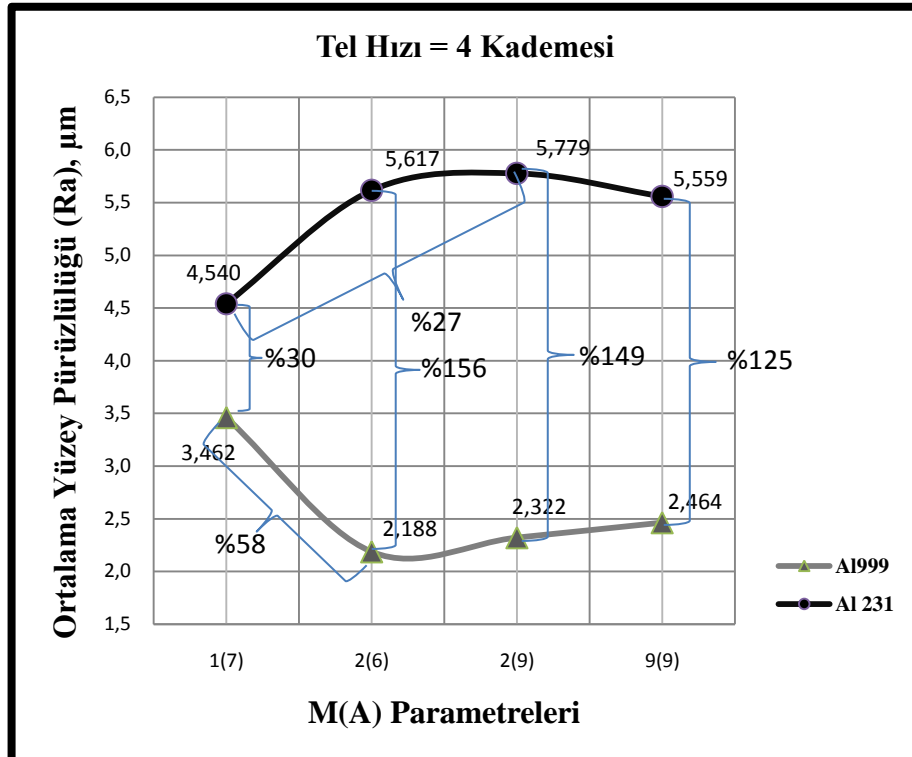


Şekil 6.3. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde tel hızı 3 kademesinde Al231 malzemesi için M parametresinin artışı (1 ~ 2) ve A parametresinin düşüşü (7 ~ 6) yüzey pürüzlülük değerlerini % 9 oranında olumsuz etkilemiştir. Ayrıca M parametresinin sabit tutulup A parametresinin arttırılması ile birlikte bu malzemenin yüzey pürüzlülük değerinin % 16 oranında olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. M parametresindeki artışın ise yüzey pürüzlülük değerini % 47 oranında iyileştirdiği grafikten tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak seçilen bu M ve A değerlerinin diğer değerlere kıyasla daha kararlı bir işleme parametresi olmasına bağlanmıştır.

Al999 malzemesi için ise artan M (1 ~ 2) ve azalan A (7 ~ 6) değerleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin iyileştiği tespit edilmiştir. Daha sonrasında seçilen M ve A değerlerinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinde ise çok yüksek olmasa da artış olduğu tespit edilmiştir. Al231 malzemesinin yüzey pürüzlülüğünün Saf Al malzemesine göre nispeten yüksek çıkmasının nedeni içerisinde barındırdığı silisyum (Si) elementine bağlanmıştır. Ayrıca Al231 malzemesi için ölçülen en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü 9(9) M(A) değeri referans alındığında % 68

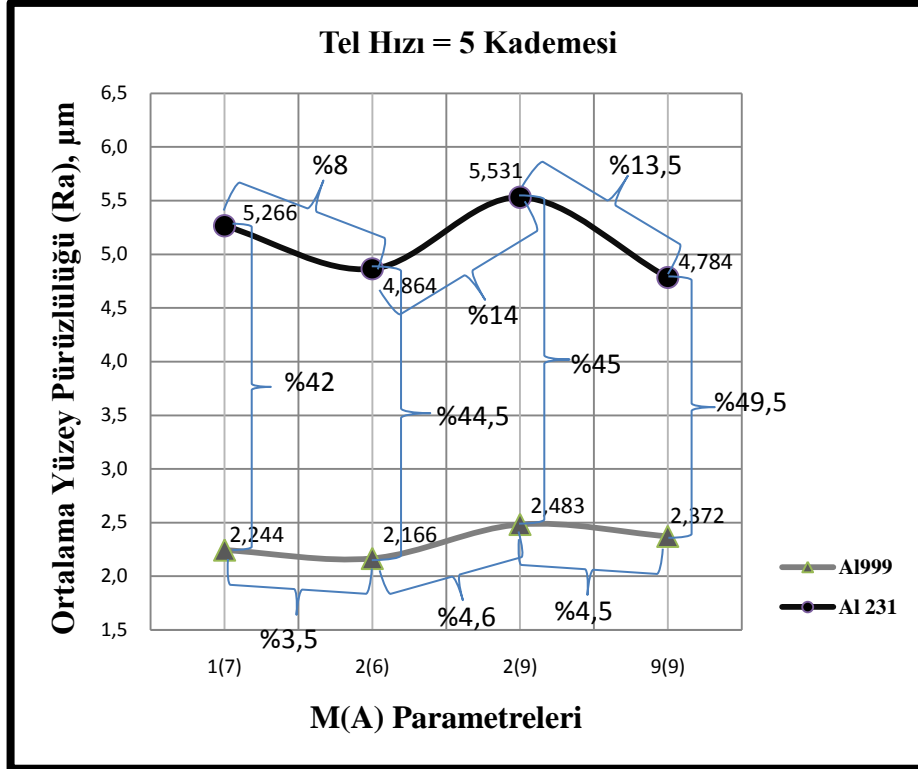
oranında kötü yüzey pürüzlülüğü değerinin elde edildiği görülmektedir. Şekil 6.3'te M(A) parametresinin değişmesiyle her bir malzeme için yüzey pürüzlülüğü değerinin etkilendiği görülmüştür. Fakat bu etkilenme malzeme yapısından kaynaklanan yüzey pürüzlülüğü değişimlerine kıyasla daha az etkilidir. Grafikte yer alan ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları M(A)'nın değişimine bağlı en yüksek % iyileşme miktarı açısından incelendiğinde en iyi sonuç Al231 T/M malzemede 2(9)'dan 9(9) parametresine % 47 oranında gerçekleşmiştir. Aynı grafikte T/M malzemenin yapı özelliklerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına en yüksek % iyileşme miktarı açısından etkileri incelendiğinde 2(9) M(A) parametresinde Al999 T/M malzemesinin Al231 T/M malzemeye kıyasla % 156 oranında daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni Al231 T/M malzemesinin bünyesinde yer alan alaşım elementlerinin varlığına atfedilmiştir. Özellikle yapı içerisindeki Si elementinin düşük elektrik iletkenliği sebebiyle kesme esnasında kıvılcım oluşumuna kötü etkisinin var olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.4. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

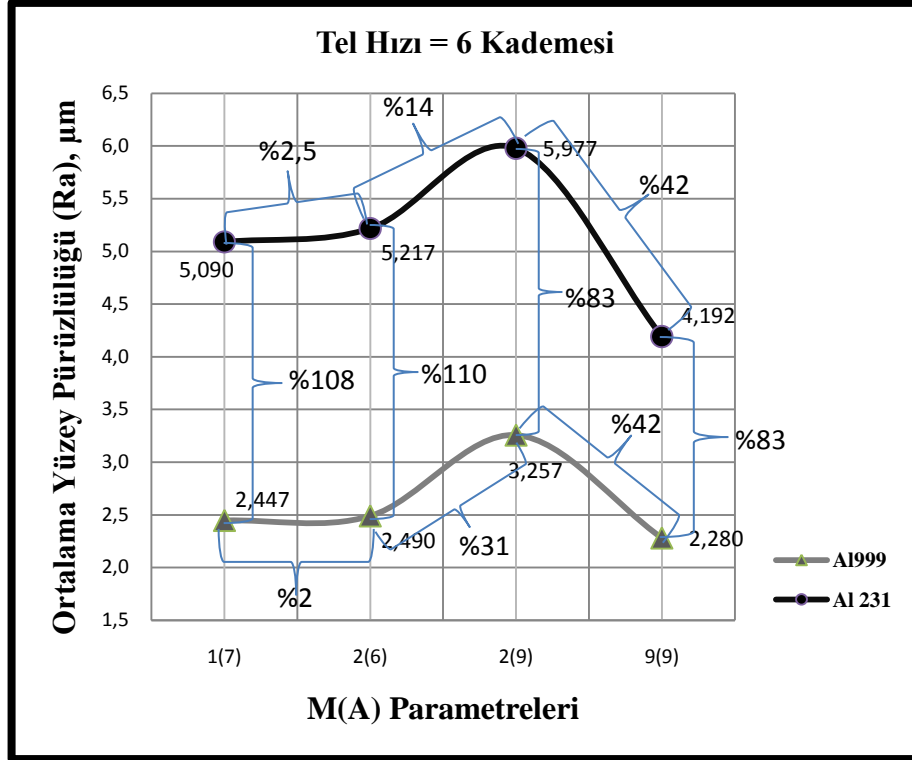
Grafik incelendiğinde artan M (1 ~ 2) ve azalan A (7 ~ 6) değeriyle birlikte Al231 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülük değerinin olumsuz yönde arttığı tespit edilmiştir. Öyle ki 1(7) ve 2(9) parametreleri arasında yüzey pürüzlülük değerinin % 27 oranında kötüleştiği görülmektedir. Bununla birlikte M parametresinin sabit tutulup A parametresinin artırılması ile de bu olumsuz yönde artış devam etmiştir. M parametresindeki artış (2 ~ 9) ise Al231 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde tesir etmiştir. Al999 malzemesi için ise artan M (1 ~ 2) ve azalan A (7 ~ 6) parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerinin düşürdüğü, en uygun parametrenin ise 2(6) olduğu tespit edilmiştir. Bu parametreden sonra M ve A değerlerindeki artış ve ya düşüşün yüzey pürüzlülük değerlerini kötüleştiği tespit edilmiştir.

Sonuçlar her iki malzeme için ortak incelendiğinde ise artan ve azalan M ve A parametrelerinin, her bir parametre değişim aralığında iki malzeme için ters etki oluşturduğu tespit edilmiştir. Al231 T/M malzemesinde en iyi yüzey pürüzlülük değeri olan 1(7) parametresi, Al999 T/M malzemesiyle karşılaştırıldığında %30 oranında bir fark bulunması Al231 T/M malzemesinin içerisinde barındırdığı alaşım elementlerine bağlanmıştır. 1(7) parametresinin Al999 malzemesi için en kötü yüzey pürüzlülük değerini verdiği ve bu halde bile %30 oranında fark oluştuğu düşünülürse bu durum bize Al231 içerisindeki alaşım elementlerinin yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkilenmesinde etkin rol oynadığını göstermektedir.



Şekil 6.5. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.5 incelendiğinde, tel ilerleme hızı 5 kademesinde M (2 ~ 9) ve A (6 ~ 9) parametrelerindeki değişimin Al231 T/M malzemesinde yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından hemen hemen benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte Al231 T/M malzemesi için en uygun M(A) parametresinin 9(9) olduğu görülmektedir. 5 kademesinde Al999 T/M malzemesi için ise artan ve azalan M ve A parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerlerine etkisinin Al231 T/M malzemesine nispeten daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Al999 için grafikte yer alan ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları M(A)'nın değişimine bağlı % iyileşme miktarı açısından incelendiğinde 1(7) parametresinden 9(9) parametresine geçişte % 5 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.6. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde M ve A parametrelerindeki değişimin genel olarak her iki malzeme grubu için aynı etkiyi oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca grafikteki değerlerden her iki malzeme grubu için de 2(9) parametresinin yüzey pürüzlülüğü değerinin iyileşmesinde dönüm noktası olduğu tespit edilmiştir. En yüksek M(A) parametresi olan 9(9) değeri her iki malzeme içinde bu tel hızında en uygun parametredir. Eğriler kendi aralarında benzer davranış sergilemişlerdir. Ancak her iki T/M malzeme aynı M(A) parametresinde birbirleriyle kıyaslandığında, yaklaşık % 100'e varan farklar tespit edilmiştir. Bu tespit ışığında Al231 T/M malzemesinin içerisindeki alaşım elementlerinin bu farkın oluşmasında etkin rol oynadığı söylenebilir. Çizelge 5.1'de verilen Al231 T/M malzemesi içerisindeki Si alaşım elementinin varlığı ise yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen alaşım elementi olduğu kanaatimizi güçlendirmektedir. Mg ve Cu elementlerine göre daha az elektrik iletkenliğine sahip Si elementi yarı iletken olarak bilinmektedir.

6.4.1.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

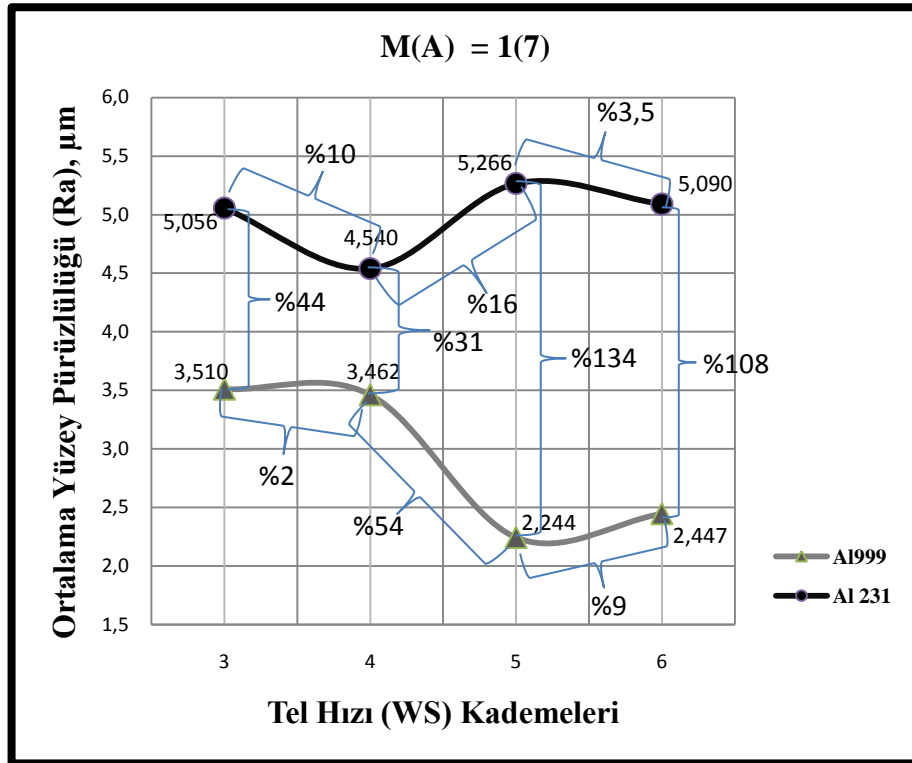
Şekil 6.3 ile Şekil 6.6 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde tel ilerleme hızının (WS) Al231 T/M malzemesi için 1(7) ile 2(9) parametreleri arasında yüzey pürüzlülüğü değerini olumsuz yönde, 2(9) ile 9(9) parametreleri arasında ise olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Artan ve azalan yüzey pürüzlülük değerlerinin aynı parametrelerde oluşması Al231 T/M malzemesi için tel ilerleme hızı (WS) değerlerinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde dikkate değer bir etkisinin olmadığı sonucunu doğurmuştur. Al999 malzemesi ise 3 ~ 4 kademelerindeki tel ilerleme hızlarında ve 5 ~ 6 kademelerindeki tel ilerleme hızlarında benzer davranış sergilemektedir. Yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış ve azalmalar her iki T/M malzeme için tel ilerleme hızı açısından bir genelleme yapılmasını güçleştirmektedir. Tel ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış ve azalmalar araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir (Rajurkar ve Wang, 1993; Spedding ve Wang, 1998). Her iki malzeme yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark Al231 T/M malzemesi içerisinde bulunan ve yarı iletken olan Si elementinin varlığına bağlanmıştır. Grafiklerde, yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, T/M malzemenin bünyesinde alaşım elementi içermesine bağlı, yaklaşık % 100 civarında olumsuz değişim sergilediği görülmektedir. Çizelge 6.4'te yüzey pürüzlülük değerleri bakımından M(A) parametrelerinin değişimine karşılık en uygun tel ilerleme hızı (WS) kademeleri verilmiştir. 2(6) ve 9(9) parametrelerinde en uygun tel ilerleme hızı kademelerinin Al999 ve Al231 T/M malzeme grubu için ortak olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.4. M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı kademeleri

		En Uygun Tel Hızı Kademesi	
		Al999	Al231
M(A)	1(7)	5	4
	2(6)	5	5
	2(9)	4	5
	9(9)	6	6

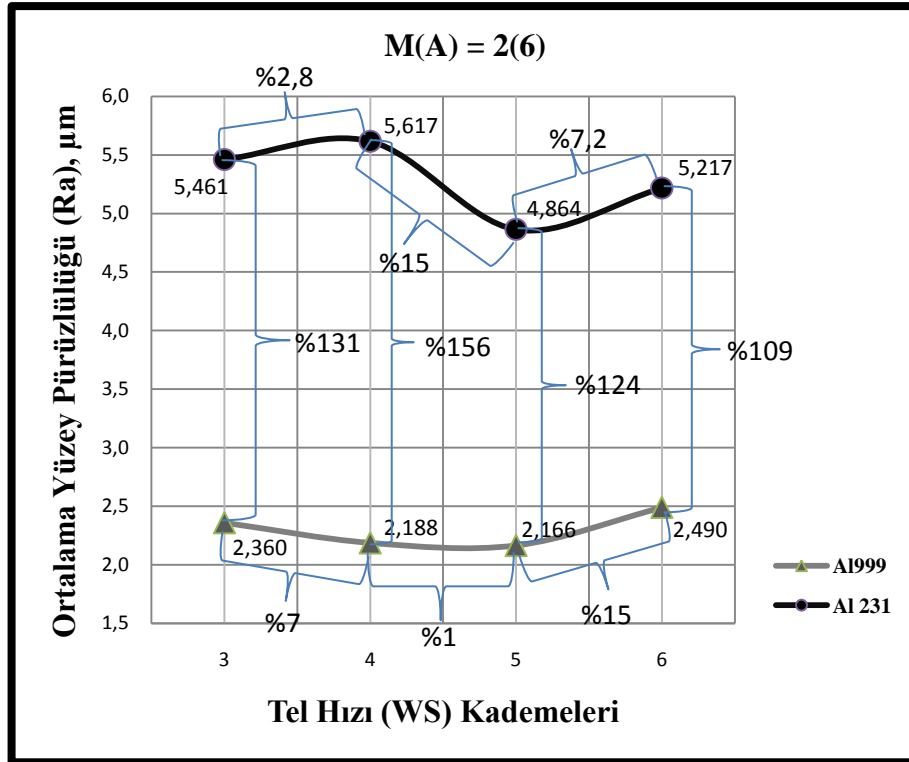
6.4.1.3. Puls Ara Süresi Ayarı M(A) Parametresinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Malzeme grubu 1 için üç farklı M ve A parametrelerine ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.7 ile Şekil 6.10 arasında sunulmuştur. Grafiklerde dört adet tel ilerleme hızı kademesi bulunmaktadır. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında sunulmuştur.



Şekil 6.7. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde artan WS değerinin her iki malzeme içinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine ters etki oluşturduğu görülmektedir. Tel ilerleme hızı, 4 kademesi malzemeler açısından dönüm noktasıdır öyle ki, Al999 malzemesi için % 54 oranında olumlu, Al231 malzemesi için ise % 16 olumsuz etki oluşturduğu görülmektedir. Dönüm noktaları açısından incelendiğinde ise yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farkın % 31 oranında olduğu belirlenmiştir. Bu M(A) değerinde yüzey pürüzlülük değerleri açısından en büyük olumlu etkinin Al999 için % 54 oranıyla, 4 kademesinden 5 kademesine geçişte, Al231 malzemesi için ise % 16 oranıyla, 3 kademesinden 4 kademesine geçişte gerçekleştiği görülmektedir.

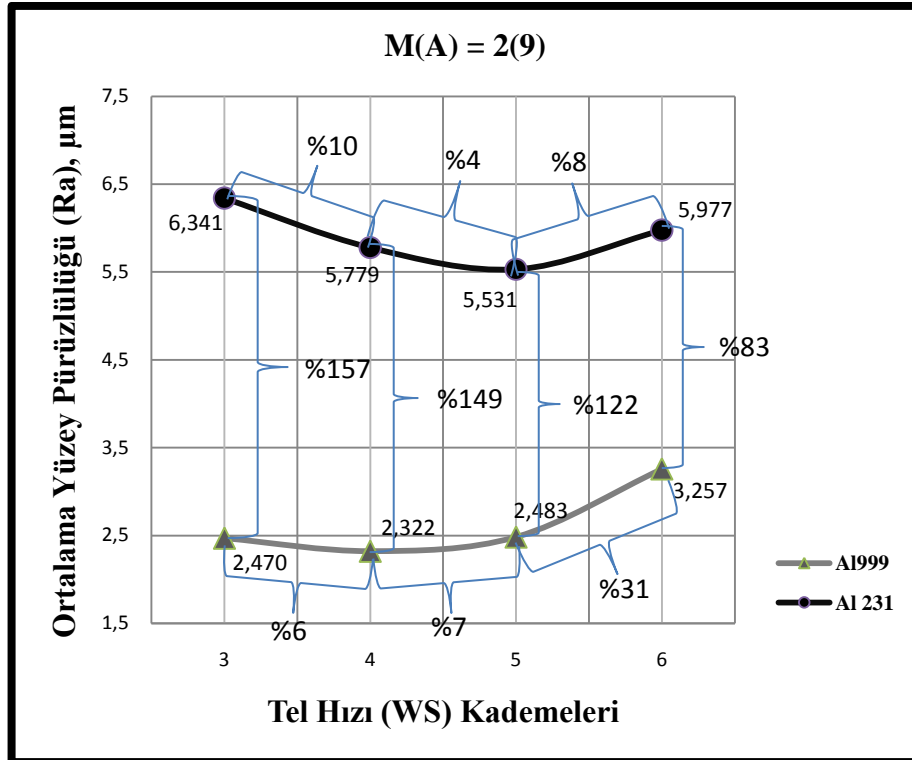


Şekil 6.8. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.8'de yer alan grafik incelendiğinde, Al231 T/M malzemesi için bu M(A) parametresinde olumsuz yüzey pürüzlülük etkilerinin gerçekleştiği 3 kademesinden 4 kademesine geçiş ile 5 kademesinden 6 kademesine geçiş yüzdeleri arasında 2/5 oranı olduğu tespit edilmiştir. Değişen tel ilerleme hızı karşısındaki yüzey pürüzlülük değerlerinin Al999 T/M malzemesi için 5 kademesinden sonra olumsuz etkilendiği görülmektedir. Al999 T/M malzemesi için en uygun tel hızı parametresinin 5 kademesi olduğu tespit edilen bir başka noktadır. Bununla birlikte Al999 T/M malzemesi için 3 kademesinden 6 kademesine kadar yüzey pürüzlülük değerlerinde dikkate değer bir artış gözlenmemiştir. Bu sonuç ışığında her ne kadar 5 kademesi en uygun yüzey pürüzlülüğü değeri olarak tavsiye edilse de tel elektrot maliyeti açısından daha düşük tel ilerleme hızı kademelerini tercih etmek daha mantıklıdır.

Her iki malzeme grubunda en düşük yüzey pürüzlülük değerinin gerçekleştiği 5 kademesinde T/M malzemenin yapı özelliklerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına % iyileşme miktarı açısından etkileri incelendiğinde Al999 T/M malzemesinin Al231 T/M malzemesine kıyasla % 124 oranında daha iyi bir yüzey

pürüzlülük değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. İki T/M malzeme arasındaki yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde % 100 oranından daha fazla bir fark bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni yine Al231 T/M malzemesinin bünyesinde yer alan alaşım elementlerinin varlığına atfedilmiştir. Bu alaşım elementlerinin ana fazla ya da kendileri aralarında reaksiyona girerek tel elektro erezyonla işlemede engel teşkil edecek intermetalik veya seramik yapılar oluşturdukları düşünülmektedir. M(A) parametresi 2(6) iken değişen tel hızlarının yüzey pürüzlülük değerlerine dikkate değer bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Al231 T/M malzemesi için en uygun tel hızı parametresinin grafikten 5 kademesi olduğu tespit edilmiştir.

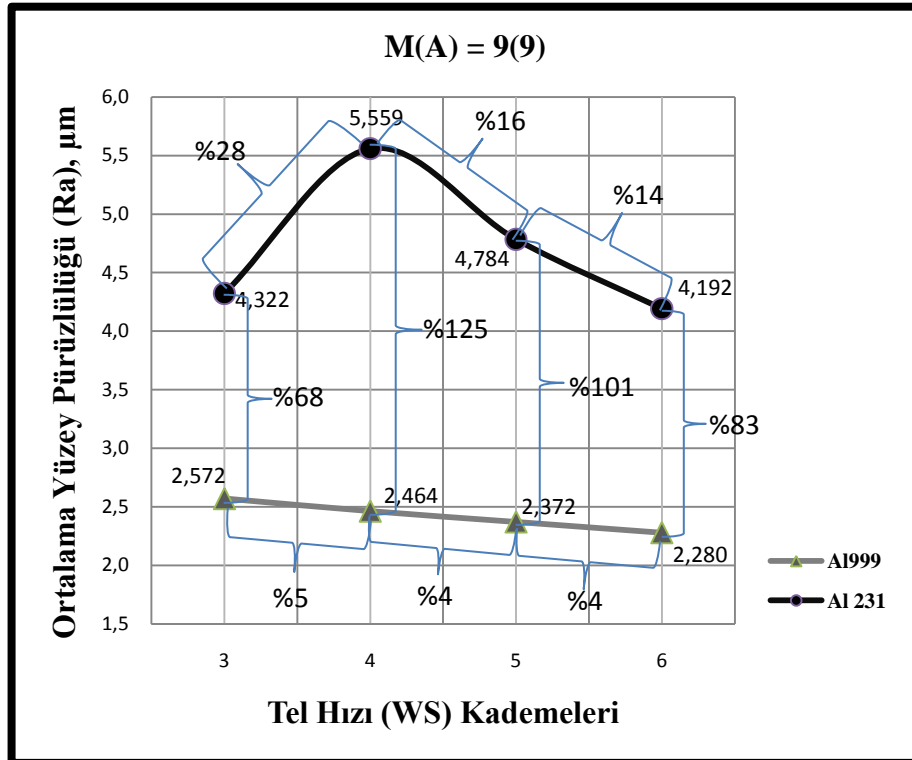


Şekil 6.9. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde artan tel ilerleme hızı kademelerinin her iki T/M malzeme için 5 kademesinden itibaren kötüleşmeye başladığı tespit edilmiştir. Al999 T/M malzemesi için en uygun tel ilerleme hızı kademesinin 4, Al231 T/M malzemesi için ise 5 kademesi olduğu gözlemlenmiştir. Al231 malzemesi için 3 ~ 5 kademelerindeki

arasındaki yüzey pürüzlülüğü değerindeki iyileşmenin % 14 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Her iki T/M malzeme ortak değerlendirildiğinde Al231 malzemesi için en iyi yüzey pürüzlülük değerini veren 5 kademesi hızı referans alındığında Al999 malzemesine kıyasla % 122 oranında daha kötü yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni Al231 T/M malzemesi içerisinde bulunan alaşım elementlerinin varlığına özellikle de yarı iletken olan Si elementinin varlığına atfedilmiştir.



Şekil 6.10. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde Al 231 malzemesi için 3 kademesinden 4 kademesine geçişin % 28 oranında olumsuz etki oluşturduğu görülmektedir. 4 kademesi bu T/M malzeme yüzey pürüzlülüğü değerleri için dönüm noktası olup sonrasında 6 kademesine dek olumlu yönde, doğrusal bir geçişin olduğu görülmektedir. Bu olumlu etkinin oranı % 30 düzeyindedir. Al999 malzemesi için ise artan tel hızı değerlerinin yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediği görülmektedir. Yüzdeler

incelendiğinde doğrusal bir geçişin olduğu grafikten tespit edilmektedir. Her iki T/M malzeme için bu M(A) değerinde en uygun tel ilerleme hızı parametresinin 6 kademesi olduğu görülmektedir. Bu parametredeki yüzey pürüzlülük değeri farkının ise % 83 dolaylarında olduğu gözlemlenmiştir.

6.4.1.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.7 ile Şekil 6.10 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde Al999 malzemesi için en uygun M(A) parametresinin 2(6) olduğu, Al231 malzemesi için ise 9(9) olduğu tespit edilmiştir. Her iki malzeme yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark Al231 T/M malzemesi içerisinde bulunan ve yarı iletken olan Si elementinin varlığına bağlanmıştır. Öyle ki grafiklerden yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde alaşım elementinin yüzey pürüzlülük değerlerini artırmada % 100 oranından daha fazla değerlerde etkin rol oynadığı tespit edilen bir başka noktadır. Grafiklerden M ve A parametrelerinin değişmesiyle her bir malzeme için yüzey pürüzlülüğü değerinin olumlu ve ya olumsuz yönde etkilendiği görülmektedir. Bu açıdan M ve A parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerlerine olan etkisinin T/M malzemenin yapısından kaynaklanan yüzey pürüzlülüğü değişimlerine nispeten daha az etkili olduğu düşünülmektedir. Grafiklerin genel değerlendirmesi sonucu M ve A parametrelerinin değişiminin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde parametreden parametreye değişiklik göstermesi bir genelleme yapılmasını güçlendirmektedir. M ve A parametresinin değişimleri ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin düzenli değişimi gözlenememiştir (Özdur, 1999). Çizelge 6.5'te yüzey pürüzlülük değerleri bakımından değişen tel ilerleme hızı (WS) kademelerine karşılık en uygun puls ara süresi ayar parametreleri verilmiştir. 6 kademesinde en uygun M(A) parametresinin her iki T/M malzeme içinde 9(9) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5. WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri

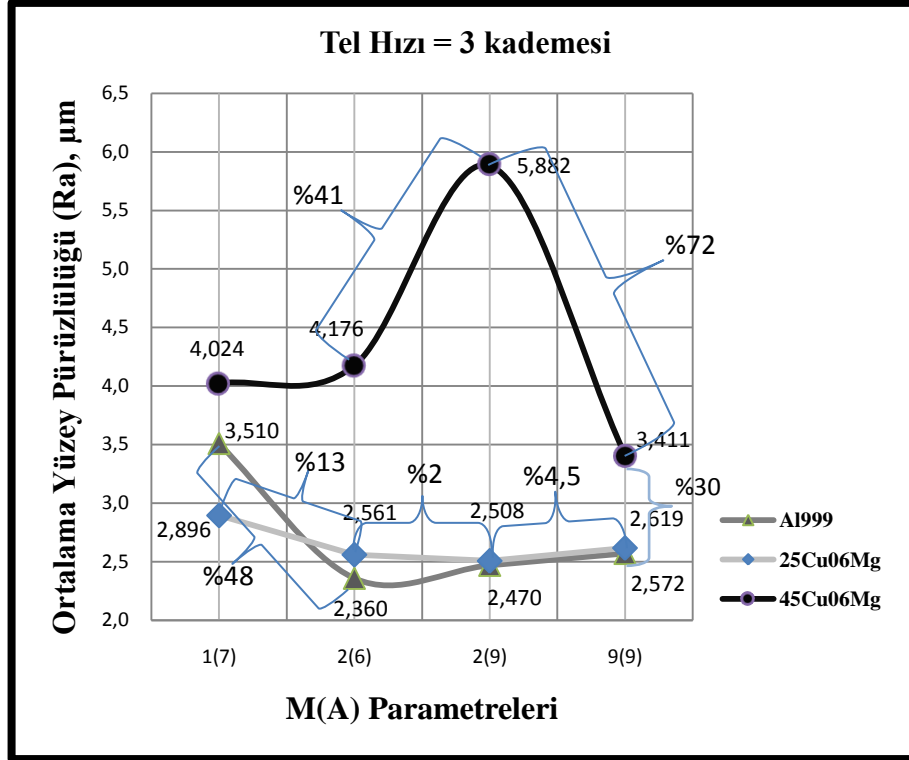
		En Uygun M(A) Parametresi	
		Al999	Al231
WS	3	2(6)	9(9)
	4	2(6)	1(7)
	5	2(6)	9(9)
	6	9(9)	9(9)

6.4.2. Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M Malzeme Grubu İçin Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Bu grupta yer alan Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M malzemeler alüminyum esaslı olup kimyasal bileşimleri farklıdır. Bu bileşimler materyal ve metot kısmında Çizelge 5.1’de sunulmuştur. İlgili çizelgeden de görüldüğü gibi bu malzeme grubu arasındaki fark bakır (Cu) oranından kaynaklanmaktadır. İşleme deneyleri sonucunda değişken işleme parametreleri olan M, A ve WS’nin yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkileri aşağıda grafikler yardımıyla incelenmiştir.

6.4.2.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Malzeme grubu 2 için dört farklı tel ilerleme hızı (WS)’ye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.11 ile Şekil 6.14 arasında sunulmuştur. Ayrıca üç farklı M ve A değerleriyle ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini içeren grafiklerin alt kısımlarında yorumları sunulmuştur.



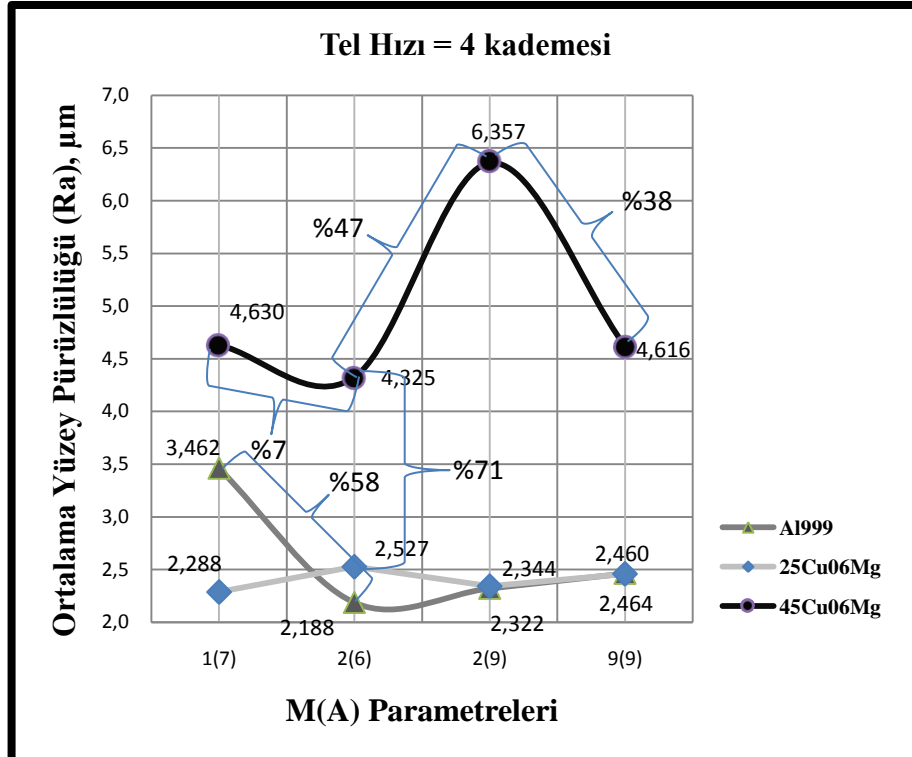
Şekil 6.11. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde T/M malzeme bileşiminde yer alan düşük oranlı alaşım elementlerinin varlığı değişen M ve A parametrelerine karşı ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) değişiminde etkin bir rolünün olmadığı tespit edilmiştir. Alaşım elementinin (Cu) % oranının artmasında ise (% 4,5) ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin M ve A parametrelerine bağlı dikkate değer oranlarda değiştiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerinde artan M (1 ~ 2) ve azalan A (7 ~ 6) parametreleri arasındaki geçişte % 48 oranında bir düşüş gerçekleşen Al999 T/M malzemesi, 2(6) parametresinden sonra 25Cu06Mg T/M malzemesi ile benzer davranış sergilemektedir. 45Cu06Mg malzemesinin yüzey pürüzlülük eğrisi incelendiğinde seçilen 9(9) değerinde yüzey pürüzlülüğü değerinin % 72 oranında iyileştiği grafikten tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak seçilen bu M ve A değerlerinin diğer değerlere kıyasla daha kararlı bir işleme parametresi olmasına bağlanmıştır.

Grafikte yer alan ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları M ve A değerlerinin değişimine bağlı % iyileşme miktarı açısından incelendiğinde en iyi sonuç

45Cu06Mg T/M malzemede 2(9)'dan 9(9) parametresine % 72 oranında, Al999 T/M malzemede 1(7)'dan 2(6) parametresine % 48 oranında gerçekleşmiştir. Aynı oran 25Cu06Mg T/M malzemede ise 1(7)'dan 2(6) parametresine % 13 oranında gerçekleşmiştir.

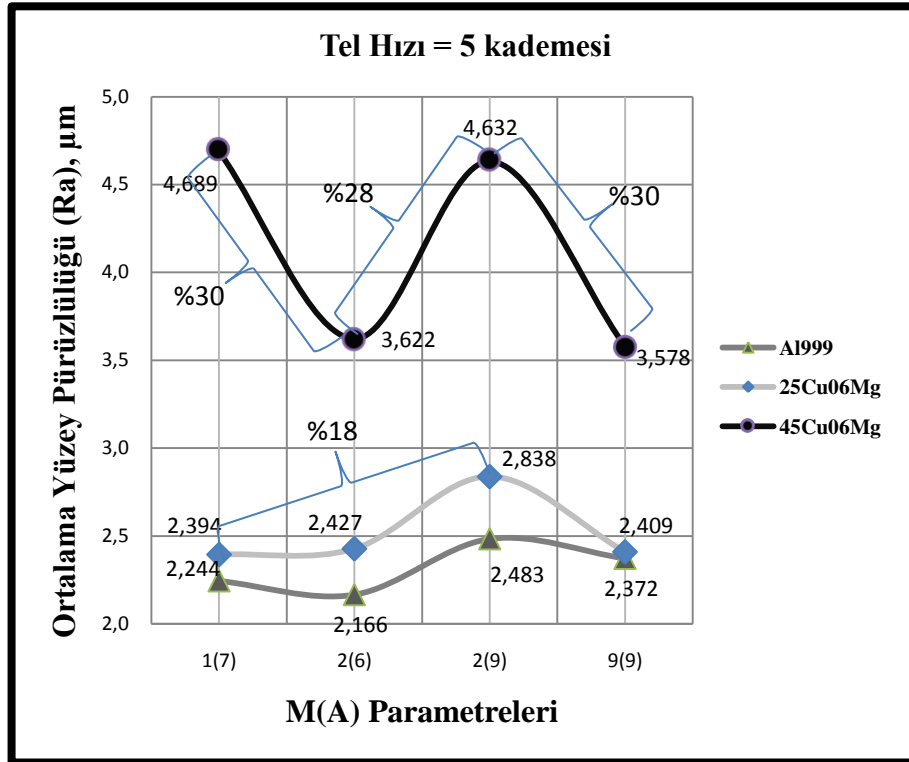
Şekil 6.11'de M ve A parametrelerinin değişmesiyle her bir malzeme için yüzey pürüzlülüğü değerinin etkilendiği görülmüştür. Fakat bu etkilenme malzeme yapısından kaynaklanan yüzey pürüzlülüğü değişimlerine kıyasla daha az etkilidir. Aynı grafikte T/M malzemenin yapı özelliklerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına % iyileşme miktarı açısından etkileri incelendiğinde 9(9) M(A) parametresinde 45Cu06Mg T/M malzemesinin 25Cu06Mg T/M malzemeye kıyasla %30 oranında daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni 45Cu06Mg T/M malzemesinin bünyesindeki porozitelerin varlığına atfedilmiştir. Ayrıca artan Cu miktarının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 6.12. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.12'deki grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 4 kademesinde M değerinin 2'den 9 değerine geçişi aralığında Al999 ve 25Cu06Mg benzer davranış sergilediği görülmektedir. Yüzey pürüzlülük değerleri açısından ise aynı parametrelerde aralarında çok yüksek farkların bulunmadığı tespit edilmiştir. Fakat Cu oranının % 2,5'ten % 4,5'e çıktığında en düşük yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 2(6) parametresinde dahi %71 oranında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç kısmen malzeme yapısındaki Cu oranının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığına, kısmen de kesilen yüzeylerdeki porozitelerin varlığına bağlanmıştır.

Sonuçlar bu üç T/M malzeme için ortak incelendiğinde ise artan ve azalan M ve A parametrelerinin, 45Cu06Mg T/M malzemesine nispeten Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemeleri için daha olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir.

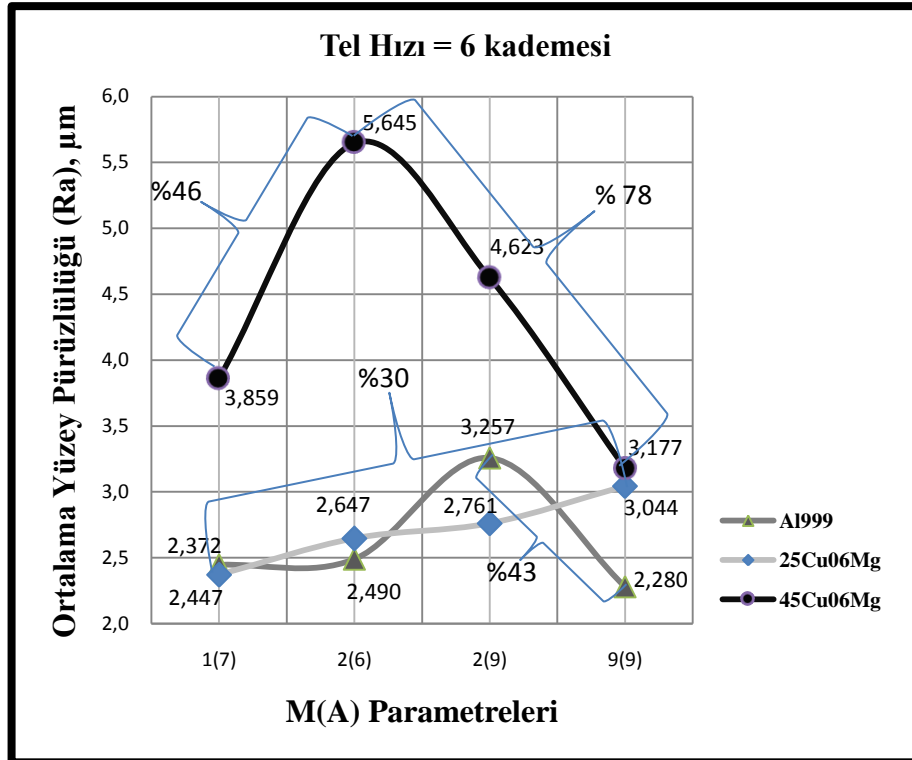


Şekil 6.13. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.13'de M ve A parametrelerinin değişmesiyle her bir malzeme için yüzey pürüzlülüğü değerlerinin etkilendiği görülmüştür. Fakat bu olumsuz etkilenme malzeme yapısından kaynaklanan yüzey pürüzlülüğü değişimlerine kıyasla daha az

etkilidir. Ayrıca Al999 T/M malzemesi ile 25Cu06Mg malzemesinin değişen M(A) parametreleri karşısında sergiledikleri davranışın benzer olduğu sonucu çıkarılabilir. 25Cu06Mg T/M malzemesinin Al999 T/M malzemesine göre yüzey pürüzlülük değerlerindeki fark içerisinde barındırdığı Cu oranına bağlanmıştır.

45Cu05Mg T/M malzemesi için 1(7) parametresinden 2(6) parametresine geçiş yüzey pürüzlülüğü açısından %30 oranında olumsuz etkiye sebep olurken, 25Cu06Mg T/M malzemesinde bu parametre değişimin etkisinin çok düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. 45Cu06Mg T/M malzemesi için yüzey pürüzlülük değeri açısından en uygun M(A) parametresinin %30 oranında olumlu etki sonucunda 9(9) olduğu tespit edilmiştir. Değişen M ve A parametreleri 45Cu06Mg T/M malzemesi için yüzey pürüzlülük değerlerindeki % iyileşme ve kötüleşme oranları açısından ortak incelenirse %30 oranında periyodik dalgalanmalar olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 6.14. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.14'te yer alan grafik incelendiğinde 6 m/dk tel ilerleme hızında AL999 T/M malzemesi için A değerinin 6'dan 9'a çıkması % 30 oranında olumsuz etkiye M

parametresinin 2'den 9'a çıkması ise % 43 oranında olumlu etkiye sebep olmuştur. Bununla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerinin en uygun olduğu parametrenin 9(9) parametresi olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise 9(9) parametresinin diğer parametrelere nispeten daha kararlı bir kesme durumu oluşturduğundandır.

25Cu06Mg T/M malzemesinin yüzey pürüzlülüğü eğrisi, değişen M(A) parametreleri karşısında doğrusal özellik sergilemektedir. 1(7) parametresinden 9(9) parametresine geçişte %30 değerinde olumsuz artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu açıdan düşünüldüğünde M ve A değerlerindeki artış ile birlikte yüzey pürüzlülük değeri de doğrusal olarak artmaktadır denilebilir. 45Cu06Mg T/M malzemesi için en uygun yüzey pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü parametrenin 9(9) parametresi olduğu tespit edilmiştir. Bu T/M malzeme için 2(6) M(A) parametresi olumsuz yüzey pürüzlülüğü artışının son bulduğu parametredir. Bu parametreden sonra artış gösteren M ve A parametreleri yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde doğrusal olarak % 78 oranında olumlu etkiye sebep olmuştur.

6.4.2.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.11 ile Şekil 6.14 arasındaki grafiklerdeki yüzey pürüzlülük değerlerindeki düşüş ve artışlar genel olarak incelendiğinde tel ilerleme hızı (WS) kademelerinin 45Cu06Mg T/M malzemesinin yüzey pürüzlülük değerini dikkate değer biçimde etkileyen bir unsur olmadığı görülmektedir. Al999 malzemesi ise 3 ~ 4 tel ilerleme hızı kademelerinde ve 5 ~ 6 tel ilerleme hızı kademelerinde benzer davranış sergilemektedir. Bu üç T/M malzeme için artan tel ilerleme hızı kademelerinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir (Çaydaş ve Hasçalık, 2004). Ayrıca bir kıyaslama yapılırsa tel ilerleme hızlarından kaynaklanan yüzey pürüzlülük değerlerindeki etkilenme malzemenin yapısından kaynaklanan etkilenmeye nispeten daha azdır. Sodick (1998), kaba bir yüzey kesme için tel ilerleme hızının artırılmasını, iyi bir yüzey için ise daha yavaş bir tel ilerleme hızı ile çalışılmasını önermiştir.

45Cu06Mg T/M malzemesinin diğer iki malzemeye kıyasla yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen olumsuz yükseliş kısmen Cu oranının artışına, kısmen de malzemenin kesilen yüzeyinde açığa çıkan porozitelere bağlanmıştır. Tel ilerleme hızının etkisi bu etkenlerden daha sonra gelmektedir.

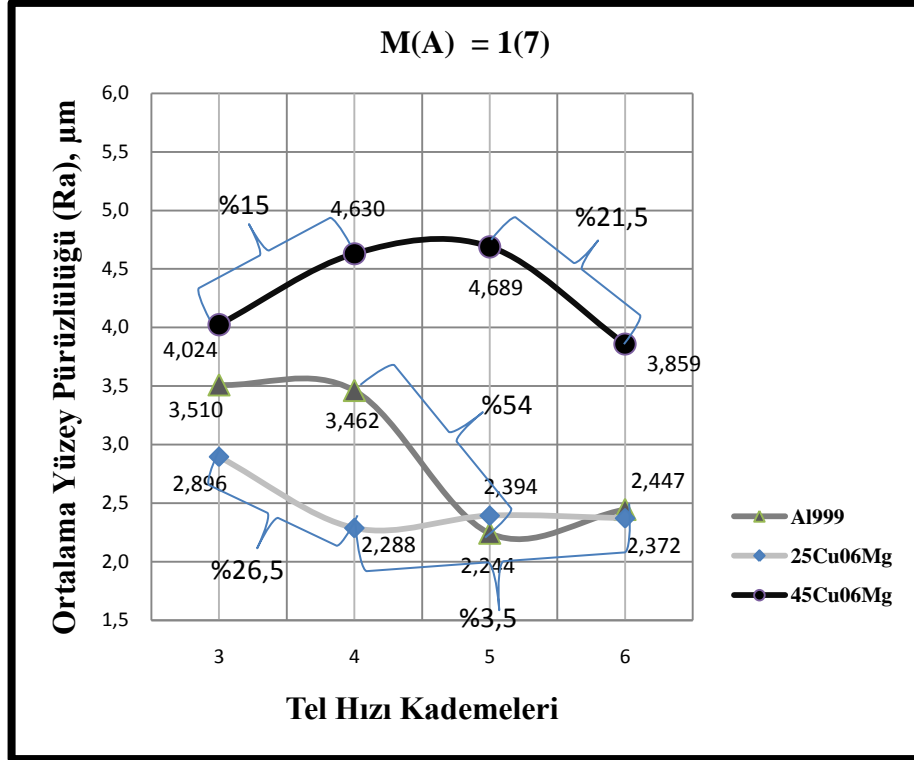
Çizelge 6.6'te yüzey pürüzlülük değerleri bakımından değişen M ve A parametrelerine karşılık en uygun tel ilerleme hızı (WS) kademeleri verilmiştir. 2(6) parametresinde en uygun tel ilerleme hızı kademesinin Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M malzeme grubu için ortak olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.6. M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı kademeleri

		En Uygun Tel Hızı Kademesi		
		Al999	25Cu06Mg	45Cu06Mg
M(A)	1(7)	5	4	6
	2(6)	5	5	5
	2(9)	4	4	6
	9(9)	6	5	6

6.4.2.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

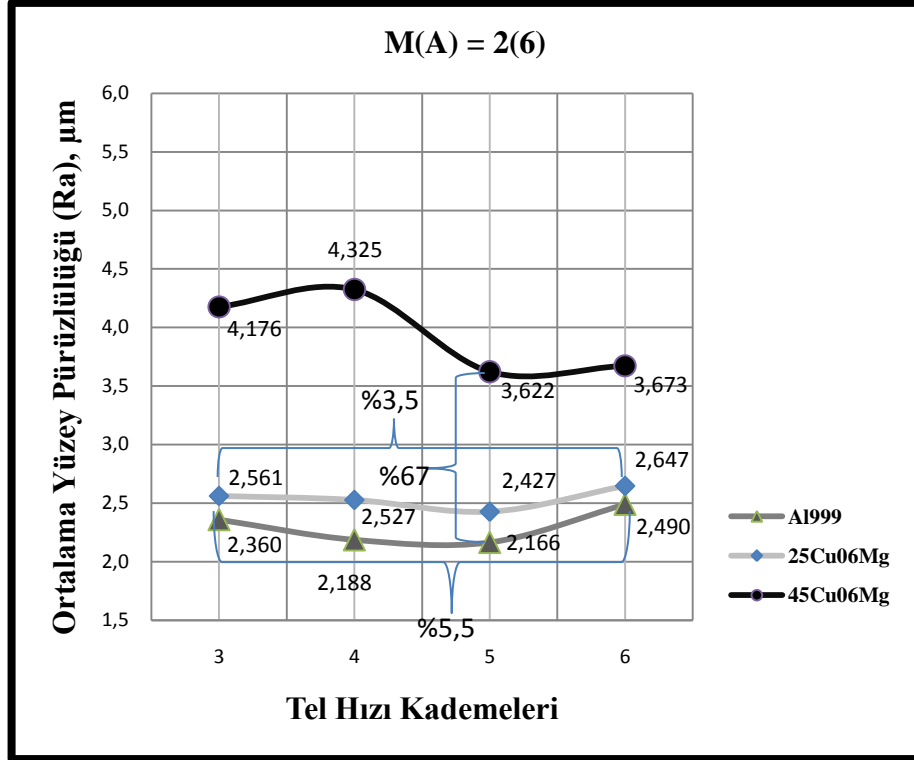
Malzeme grubu 2 için üç farklı M ve A parametresine ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.15 ile Şekil 6.18 arasında sunulmuştur. Grafiklerde 4 farklı tel ilerleme hızı kademesine göre yüzey pürüzlülük değerleri yorumlanmıştır. Genel değerlendirme kısmında ise puls ara süresi ayar parametresi değişimine bağlı olarak grafikler hakkında genel yorumlamada bulunulmuştur.



Şekil 6.15. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde 45Cu06Mg T/M malzemesi için 1(7) M(A) parametresinde tel hızının yüzey pürüzlülüğü açısından 5 kademesine kadar olumsuz yönde artış bu değerden sonra ise % 21,5 oranında olumlu yönde düşüş davranışı sergilediği tespit edilmiştir. 25Cu06Mg T/M malzemesi tel ilerleme hızı 3 kademesinden 4 kademesine geçerken % 26,5 oranında olumlu daha sonraki değerlerde ise neredeyse doğrusal özellik sergilemiştir. 4 ~ 6 tel ilerleme hızı kademeleri aralığındaki olumsuz yüzey pürüzlülüğü değerindeki artış % 3,5 seviyesindedir. Al999 T/M malzemesi için 3 ~ 4 tel ilerleme hızı kademeleri arasında olumsuz, 5 ~ 6 tel ilerleme hızı kademelerinde ise olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir.

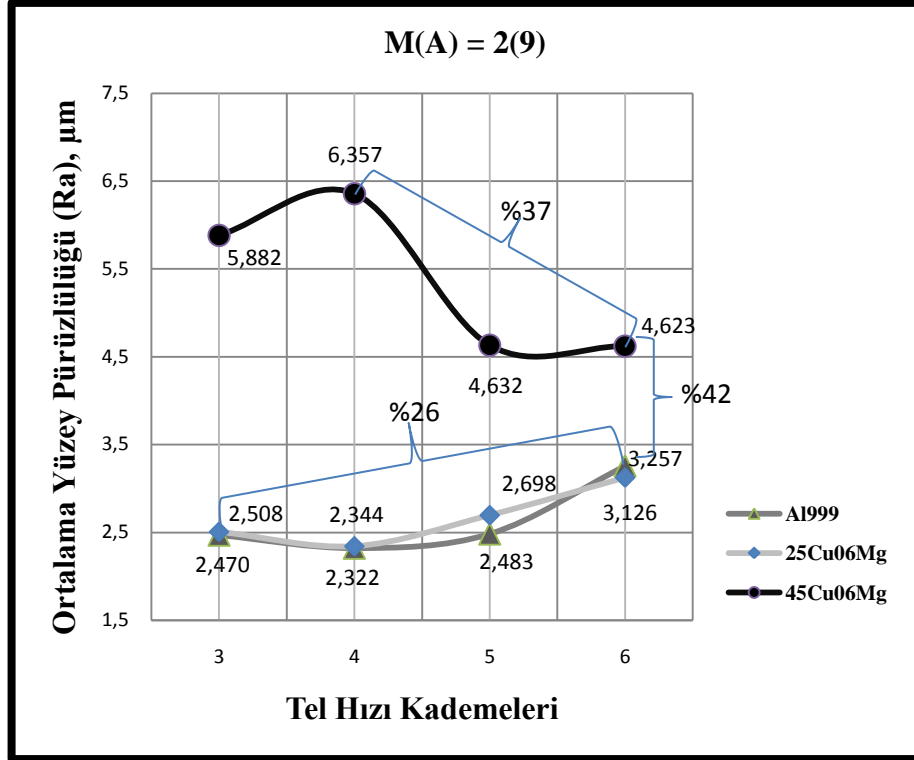
25Cu06Mg T/M malzemesi için 4 ~ 6 tel ilerleme hızı kademeleri arasında ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ile, 45Cu06Mg T/M malzemesi için 3 ile 6 tel ilerleme hızı kademelerinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakındır. Bu açıdan yüksek tel ilerleme hızı kullanmak yerine düşük tel ilerleme hızı tercih edilmesi tel elektrot maliyeti açısından daha mantıklıdır. Fakat kaba ve ya ince işleme tercihinden sonra bu seçime gidilmelidir.



Şekil 6.16. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

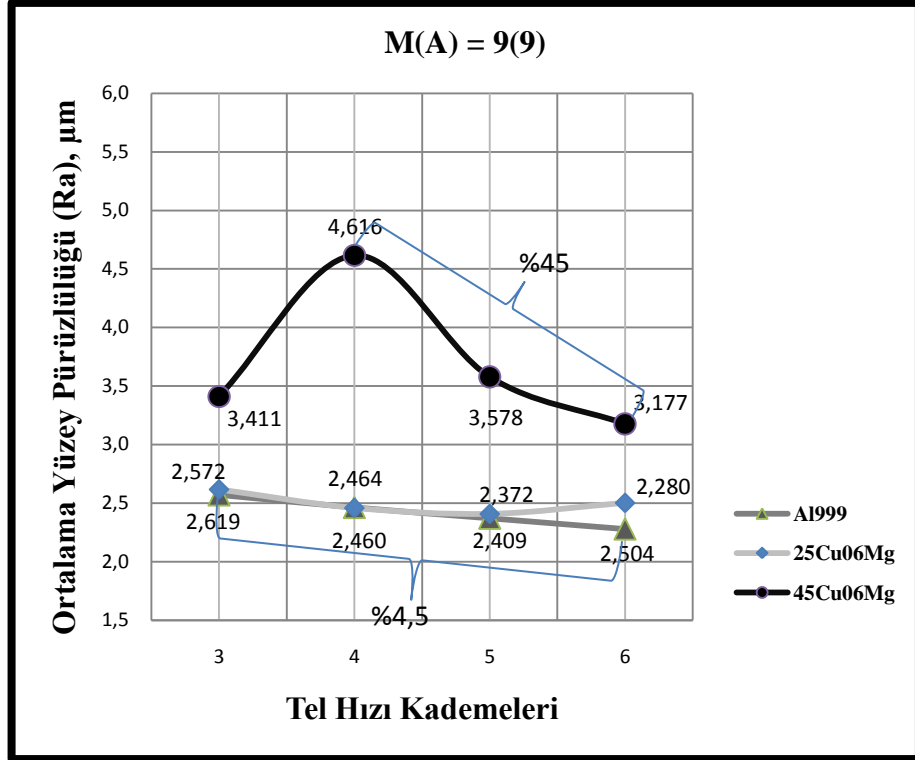
Grafik incelendiğinde Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri bakımından 2(6) parametresinde değişen tel ilerleme hızı kademelerine karşı sergilemiş oldukları davranış benzerdir.

Üç malzeme ortak incelendiğinde 2(6) M(A) parametresinde tel ilerleme hızı 5 kademesinden 6 kademesine geçişte yüzey pürüzlülük değerinin belirli oranlarda arttığı sonucuna varılmıştır. Her üç T/M malzeme için tel ilerleme hızı 4 kademesinden itibaren yüzey pürüzlülük değerlerinde iyi yönde artış kaydedildiği tespit edilmiştir. Bu üç T/M malzeme için en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü tel ilerleme hızı 5 kademesi referans alındığında ölçülen değerler arasındaki fark % 50'nin üzerindedir. Bu farkın 45Cu06Mg malzemesinin yapısındaki poroziteden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.17. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri bakımından 2(9) parametresinde değişen tel ilerleme hızlarına karşı sergilemiş oldukları davranışın benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Bu davranış yüzey pürüzlülüğüne 3 ~ 6 tel ilerleme hızı kademelerinde % 26 oranında olumsuz etki olarak yansımıştır. Bu iki T/M malzeme için tel ilerleme hızı 4 kademesinden itibaren artan tel hızı kademeleri yüzey pürüzlülüğü açısından kötü yönde artışa sebep olmaktadır. 45Cu06Mg T/M malzemesi ise yüzey pürüzlülüğü değerleri bakımından diğer iki T/M malzemeye göre farklı davranış sergilemektedir. Bu farklı davranış yapısındaki Cu miktarına bağlanmıştır. 45Cu06Mg malzemesi için tel ilerleme hızı 4 kademesi iyi yönde yüzey pürüzlülüğü değerine geçişte dönüm noktasıdır. Bu T/M malzeme için en uygun tel ilerleme hızı kademesi 6 olarak tespit edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin sağlandığı bu parametre de bile Al999 ve 25Cu06Mg malzemeleri arasındaki farkın % 42 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.18. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde Al999 ve 25Cu06Mg malzeme grubu için, Şekil 6.16 ve 6.17'de de olduğu gibi, 9(9) parametresinde değişen tel ilerleme hızlarına karşılık göstermiş oldukları davranışının benzer olduğu tespit edilmiştir. Al999 malzemesi için doğrusal bir iyileşme söz konusu olup bu iyileşmenin % 4,5 oranında olduğu tespit edilmiştir. 45Cu06Mg T/M malzemesi ise yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından incelendiğinde Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerinden farklı özellik sergilemektedir. Bu farklı davranışın tel ilerleme hızı 4 kademesinde % 87 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir.

Bu üç T/M malzeme için tel ilerleme hızı 3 kademesi 6 kademesi arasında yüzey pürüzlülük değerleri açısından önemli farkların meydana gelmemesi, imalatçılar için ince ve ya kaba işlemenin önemsiz olduğu durumlarda, tel maliyeti açısından daha düşük tel ilerleme hızlarının seçilebileceği sonucunu doğurmaktadır. Bahsedildiği gibi işleme durumundan (kaba ve ince) sonra maliyete göre seçim yapılmalıdır.

6.4.2.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.15 ile Şekil 6.18 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde puls ara süresi ayar parametresi değişiminin Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerinin yüzey pürüzlülük değerleri açısından büyük farklılıklara sebep olmadığı, 45Cu06Mg T/M malzemesi için ise bu iki malzemeye nispeten daha olumsuz sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri açısından aynı parametrelerde aralarında oluşan çok yüksek farklar kısmen malzeme yapısındaki Cu oranının % 2,5'ten % 4,5'e çıktığında artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığına, kısmen de kesilen yüzeylerdeki porozitelerin varlığına bağlanmıştır. Ayrıca Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerinin grafikleri ortak incelendiğinde puls ara süresi ayar parametresi M ve A değerlerindeki değişimin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde önemli bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir. 45Cu06Mg T/M malzemesi için ise artan ve ya azalan M ve A değerlerinin tel ilerleme hızı 3 ~ 4 kademeleri arasında yüzey pürüzlülüğü değerlerini olumsuz etkilendiği daha sonraki değerlerde ise iyileşme kaydettiği tespit edilmiştir. Bu açılarından genel ve anlamlı bir sonuç çıkarmak güçtür. Bu tür malzemeleri inceleyen araştırmacılar da M ve A parametrelerinin değişimi ile yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde dikkate değer bir etkinin olmadığına kanaat getirmişlerdir (Özdur, 1999; Ünver, 2004). Bu sonuç ışığında M ve A parametrelerindeki değişimin yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkilerinin malzemenin yapısından (takviye elemanı, alaşım elementi, porozite, vb.) kaynaklanan etkilere kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.7'de yüzey pürüzlülük değerleri bakımından değişen tel ilerleme kademelerine karşılık en uygun puls ara süresi ayar parametreleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde üç T/M malzemesi için ortak bir M(A) parametresinin olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.7. WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri

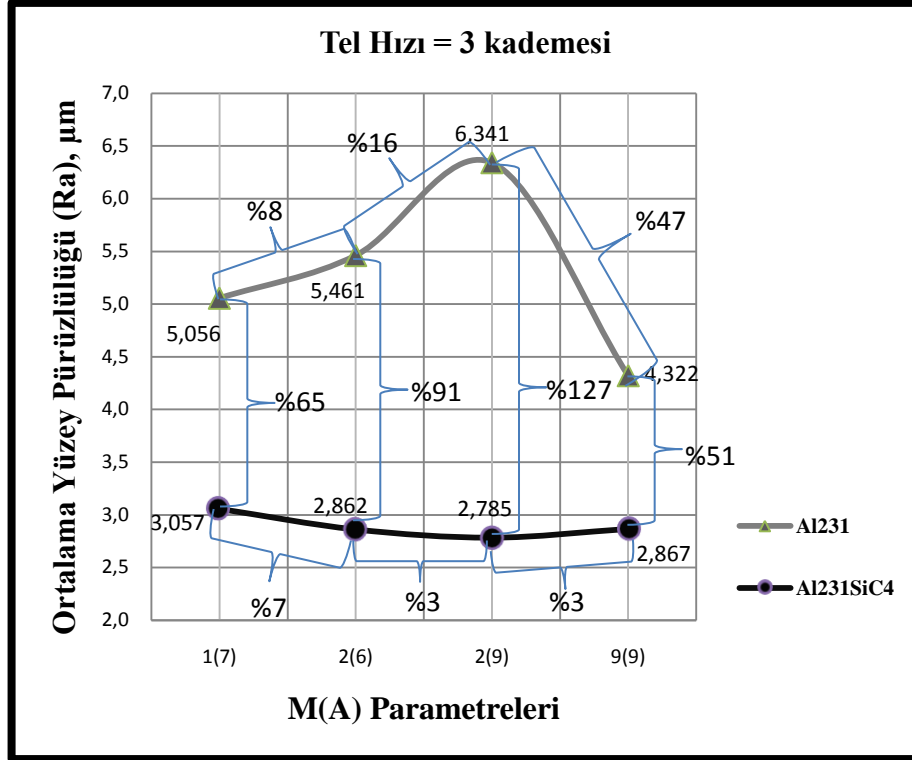
		En Uygun M(A) Parametresi		
		Al999	25Cu06Mg	45Cu06Mg
WS	3	2(6)	2(9)	9(9)
	4	2(6)	1(7)	2(6)
	5	2(6)	1(7)	9(9)
	6	9(9)	1(7)	9(9)

6.4.3. Al231 ve Al231SiC4 T/M Malzeme Grubu İçin Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Bu grupta yer alan Al231 ve Al231SiC4 T/M malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir. İki T/M malzeme arasındaki fark % 4 SiC takviyesidir. İşleme deneyleri sonucunda değişken işleme parametreleri olan M, A ve WS’nin yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkileri aşağıda grafikler yardımıyla incelenmiştir.

6.4.3.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Parametresinin Değişimine Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

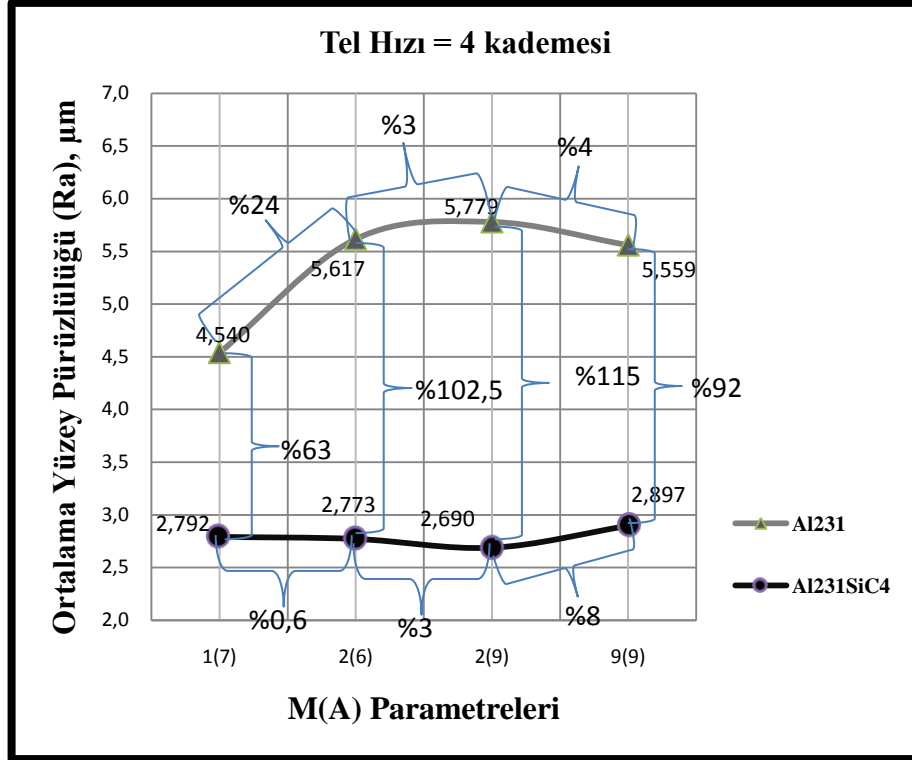
Malzeme grubu 3 için dört farklı tel ilerleme hızı (WS)’ye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.19 ile Şekil 6.22 arasında sunulmuştur. Grafiklerin yorumları alt kısımlarında verilmiştir.



Şekil 6.19. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde 3 kademesinde Al231 malzemesi için M (1 ~ 2) ve A (7 ~ 9) değerlerinin artışı ile doğru orantılı olarak yüzey pürüzlülüğü değerinin de % 25 oranında kötü yönde arttığı görülmektedir. Bu parametreden sonra M değerinin artışı (2 ~ 9) ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün % 47 oranında iyileştiği grafikten tespit edilmiştir. Bu sonuç ışığında yüzey pürüzlülüğü değerindeki iyileşme kısmen M değerinin artışına, kısmen de 9(9) M(A) parametresinin diğer parametrelere kıyasla daha kararlı bir kesme yapmasına bağlamak mümkündür.

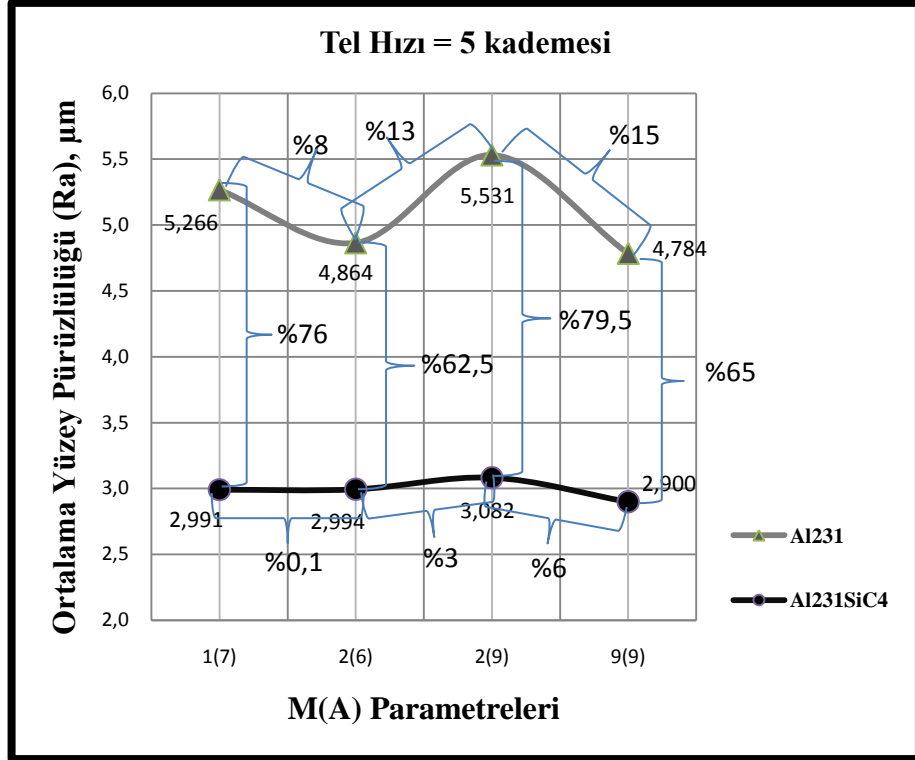
Al231SiC4 malzemesi için değişen M ve A parametreleri yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde dikkate değer bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir. Al231 malzemesi için ölçülen en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü 9(9) M(A) değeri referans alındığında % 51 oranında kötü yüzey elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu kötü yüzey % oranının M(A) parametresinin 2(6) değerinde % 127 oranında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.20. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde artan M (1 ~ 2) ve azalan A (7 ~ 6) değeriyle birlikte Al231 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülük değerinin olumsuz yönde arttığı tespit edilmiştir. Öyle ki 1(7) ve 2(9) parametreleri arasında yüzey pürüzlülük değerinin % 27 oranında kötüleştiği görülmektedir. Bununla birlikte M parametresinin sabit tutulup A parametresinin artırılması ile de bu olumsuz yönde artış devam etmiştir. M parametresindeki artış (2 ~ 9) ise Al231 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde tesir etmiştir. Bu sonuç ışığında M parametresinin değişiminin A parametresinin değişimine kıyasla yüzey pürüzlülük değerleri açısından daha olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir.

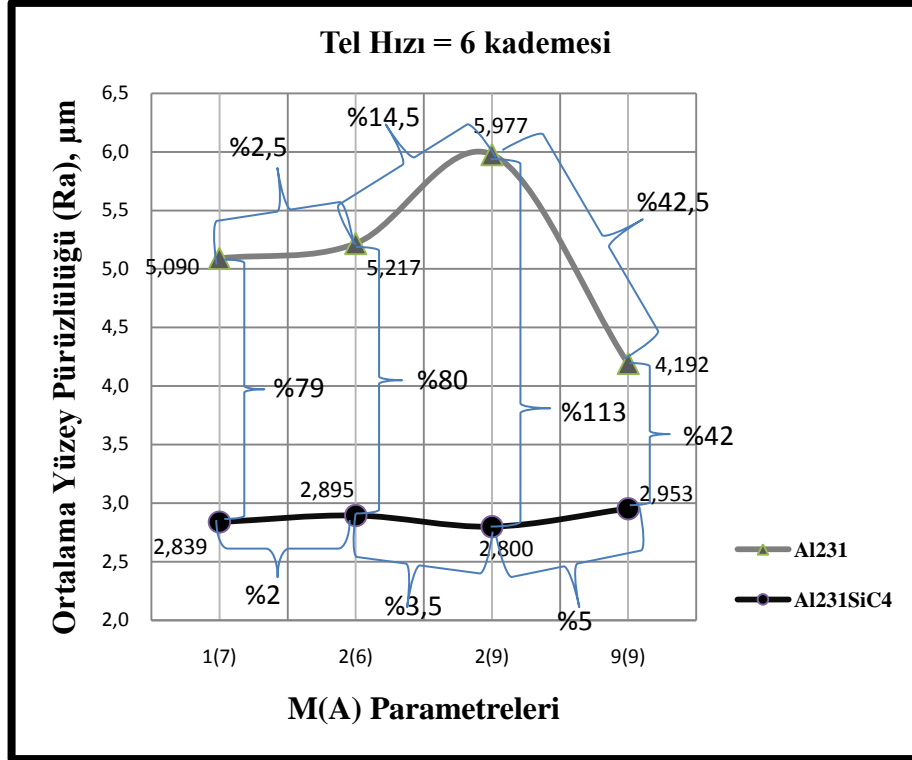
Al231SiC4 T/M malzemesi ise tel ilerleme hızı 4 kademesinde, M ve A değerlerindeki değişimine bağlı yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından 2(9) parametresine kadar olumlu yönde artma davranışı sergilediği fakat bu oranın yüksek değerlerde olmadığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından en uygun M(A) parametresinin Al231SiC4 T/M malzemesi için 2(9), Al231 T/M malzemesi için ise 1(7) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.21. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.21 incelendiğinde, tel ilerleme hızı 5 kademesinde M (2 ~ 9) ve A (6 ~ 9) parametrelerindeki değişimin Al231 T/M malzemesinde yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından dikkate değer anlamlı bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Al231 T/M malzemesi için en uygun M(A) parametresinin 9(9) olduğu görülmektedir. 5 kademesinde Al231SiC4 T/M malzemesi için ise artan ve azalan M ve A parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerlerine etkisinin Al231 T/M malzemesine nispeten daha düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Al231SiC4 T/M malzemesi için grafikte yer alan ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçları M(A)'nın değişimine bağlı % iyileşme miktarı açısından incelendiğinde M parametresi 2 değerinden 9 değerine geçişte % 6 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.22. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 6 kademesinde Al231 malzemesi için M (1 ~ 2) ve A (7 ~ 9) değerlerinin artışı ile doğru orantılı olarak yüzey pürüzlülüğü değerinin de % 17 oranında kötü yönde arttığı görülmektedir. Bu parametreden sonra M değerinin artışı (2 ~ 9) ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün % 42,5 oranında iyileştiği grafikten tespit edilmiştir. Bu sonuç ışığında yüzey pürüzlülüğü değerindeki iyileşme kısmen M değerinin artışına, kısmen de 9(9) M(A) parametresinin diğer parametrelere kıyasla daha kararlı bir kesme yapmasına bağlamak mümkündür.

Al231SiC4 T/M malzemesi ise değişen M ve A parametreleri karşısında Al231 malzemesinden tamamen farklı davranış sergilemektedir. Bu davranışın yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde, M (1 ~ 2) ve A (7 ~ 6) parametreleri arasında % 2 olumsuz, A (6 ~ 9) parametreleri arasında % 3,5 olumlu ve M (2 ~ 9) parametreleri arasında ise % 5 olumsuz etki oluşturduğu tespit edilmiştir. Al231 T/M malzemesi için en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü 9(9) değeri referans alındığında, Al231SiC4 malzemesi ile yüzey pürüzlülük değerleri açısından aralarında % 42 fark olduğu tespit edilmiştir.

6.4.3.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

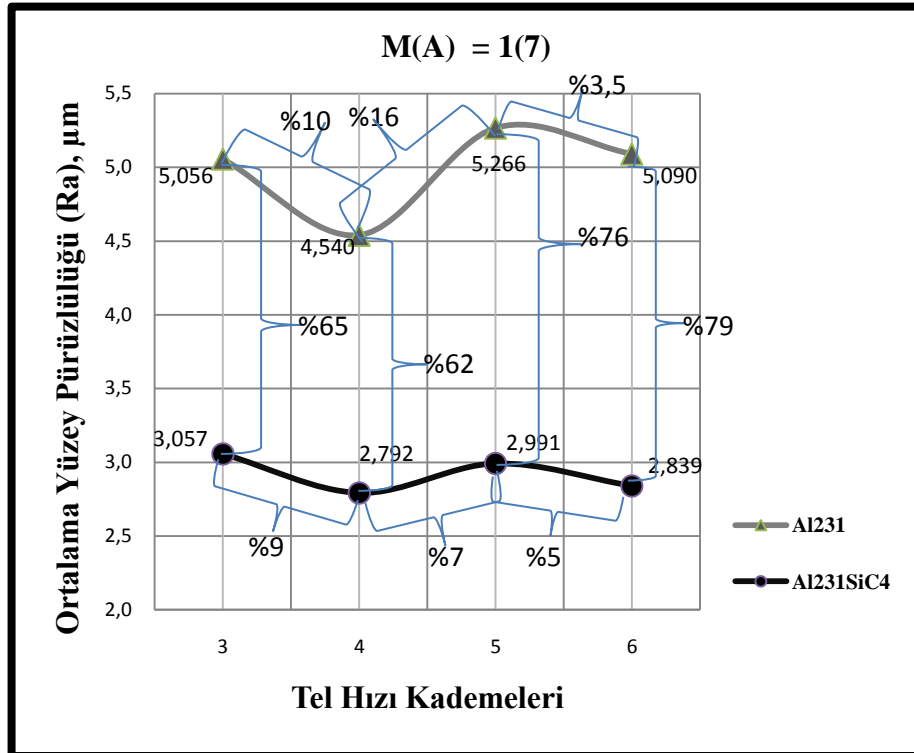
Şekil 6.19 ile Şekil 6.22 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde tel ilerleme hızı (WS) kademelerinin Al231SiC4 T/M malzemesi için yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir unsur olmadığı tespit edilmiştir. Al231 malzemesi için A parametresindeki (6 ~ 9) değişimin yüzey pürüzlülüğü değerlerini olumsuz yönde, M parametresindeki (2 ~ 9) değişimin ise olumlu yönde etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Her iki malzeme yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farkın en yüksek olduğu değer tüm grafiklerden 2(9) parametresi olarak belirlenmiştir. Bu fark malzeme yapısında bulunan alaşım elementlerinin varlığına bağlanmıştır. Al231SiC T/M malzemesine SiC takviyesi bu malzemenin yüzey pürüzlülüğünü geliştirmiştir. M ve A parametreleri Al231 T/M malzemesi için ayrı ayrı incelenirse M parametresinin yüzey pürüzlülük değerlerini geliştirmede A parametresine kıyasla daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Al231SiC4 T/M malzemesi için ise M ve A parametrelerinin yüzey pürüzlülük değerleri üzerine dikkate değer bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Çizelge 6.8’de yüzey pürüzlülük değerleri bakımından değişen M(A) parametrelerine karşılık en uygun tel ilerleme hızı (WS) parametreleri verilmiştir. 1(7) parametresinde en uygun tel ilerleme hızı parametresinin Al231 ve Al231SiC4 T/M malzeme grubu için ortak olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.8. M ve A değişimine bağlı en uygun tel hızı parametreleri

		En Uygun Tel Hızı Kademesi	
		Al231	Al231SiC4
M(A)	1(7)	4	4
	2(6)	5	4
	2(9)	5	4
	9(9)	6	3

6.4.3.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı YüzeY Pürüzlülüğü Sonuçları

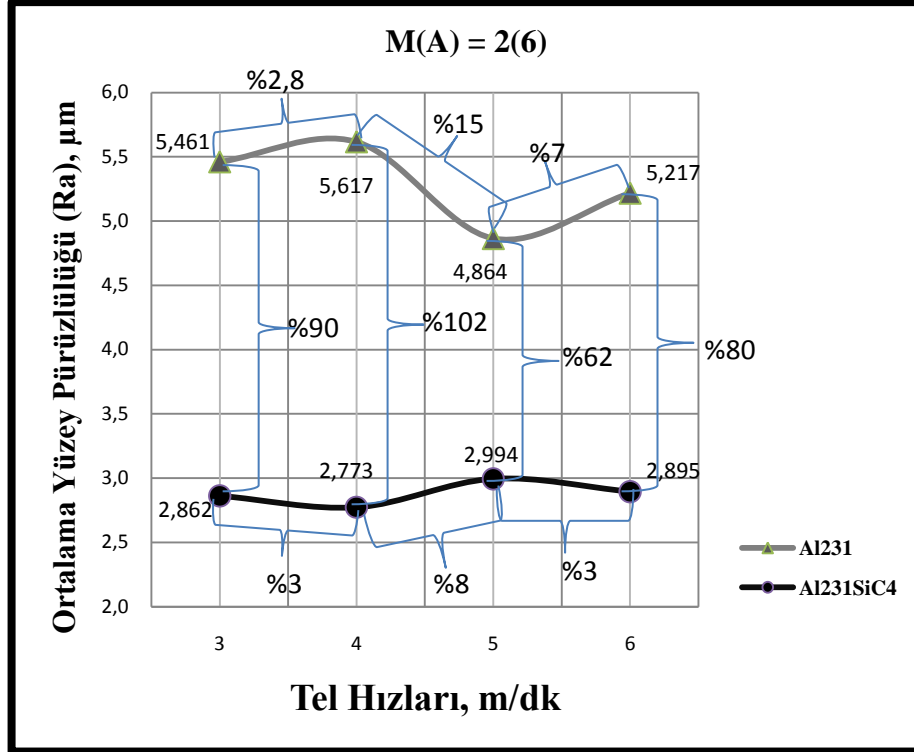
Malzeme grubu 3 için dört farklı puls ara süresi ayar M(A) parametresine ait ortalama yüzeY pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.23 ile Şekil 6.26 arasında sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde dört farklı M(A) değeri bulunmaktadır. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında sunulmuştur.



Şekil 6.23. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzeY pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde yüzeY pürüzlülüğü değerleri açısından 1(7) M(A) parametresinde değişen tel hızı kademelerine karşı sergilemiş oldukları artma ve azalma davranışı benzerdir. Al231 ve Al231SiC4 T/M malzemeleri için yüzeY pürüzlülüğü açısından en uygun değerin sağlandığı tel ilerleme hızı 4 kademesi olarak tespit edilmiştir. Her iki T/M malzeme içinde en iyi yüzeY pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü bu parametrede iki malzeme arasındaki yüzeY pürüzlülük farkı % 62 oranındadır. Bu fark Al231SiC malzemesinin içerisinde yer alan SiC katkısından kaynaklandığı öngörülmektedir. 1(7) M(A) değerinde yüzeY pürüzlülük değerleri açısından en büyük olumlu etkinin Al231 malzemesi için % 16 oranıyla

Al231SiC4 T/M malzemesi için ise % 7 oranıyla tel ilerleme hızı 4 kademesinden 5 kademesine geçişte gerçekleştiği görülmektedir.

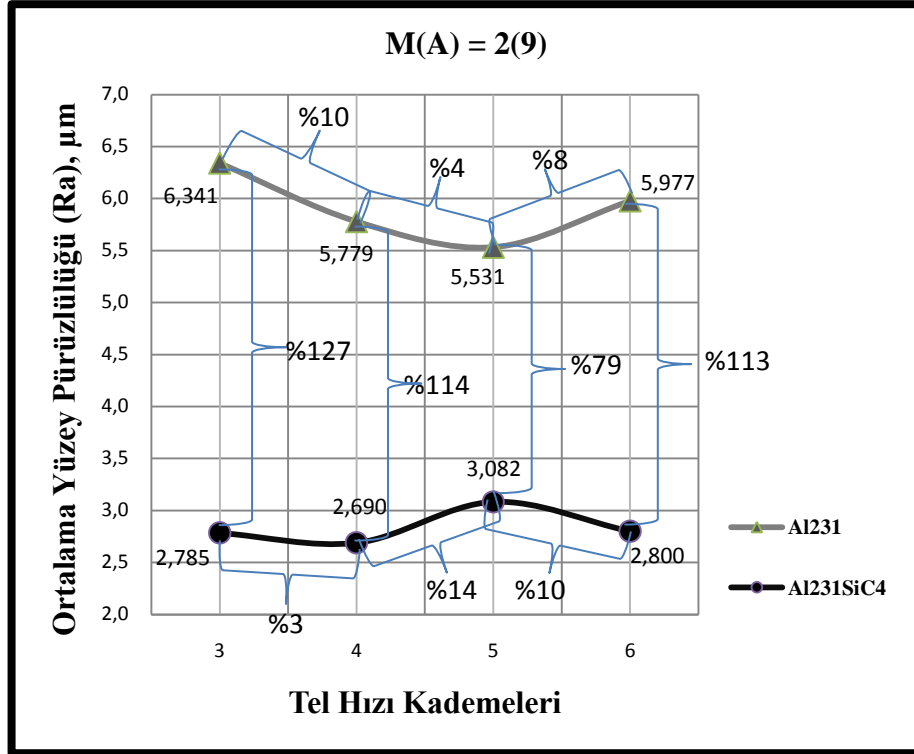


Şekil 6.24. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde M(A) parametresi 2(6) iken değişen tel ilerleme kademelerinden Al231 T/M malzemesi için uygun kademenin 5 olduğu görülmektedir. Ayrıca Al231 T/M malzemesi için bu M(A) parametresinde 3 kademesinden 4 kademesine geçiş ile 5 kademesinden 6 kademesine geçişte olumsuz yüzey pürüzlülük etkilerinin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Al231SiC4 T/M malzemesi için 2(6) M(A) parametresinde değişen tel ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerinin % değerleri düşük seviyededir. Bu açıdan imalatçılar için işleme durumu (kaba ve ya ince) önceliği yok ise düşük tel ilerleme hızı seçimi maliyet açısından daha mantıklı olacaktır.

Al231 T/M malzemesinde en düşük yüzey pürüzlülük değerinin gerçekleştiği 5 kademesinde T/M malzemenin yapı özelliklerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına % iyileşme miktarı açısından etkileri incelendiğinde, Al231SiC4 T/M

malzemesinin Al231 T/M malzemesine kıyasla %62 oranında daha iyi bir yüzey pürüzlülük değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edilmesinde tel ilerleme hızının etkisi, malzeme yapısından kaynaklanan etkiye nazaran daha düşüktür. Malzeme yapısındaki SiC takviyesinin yüzey pürüzlülük değerini iyileştirdiği düşünülmektedir.

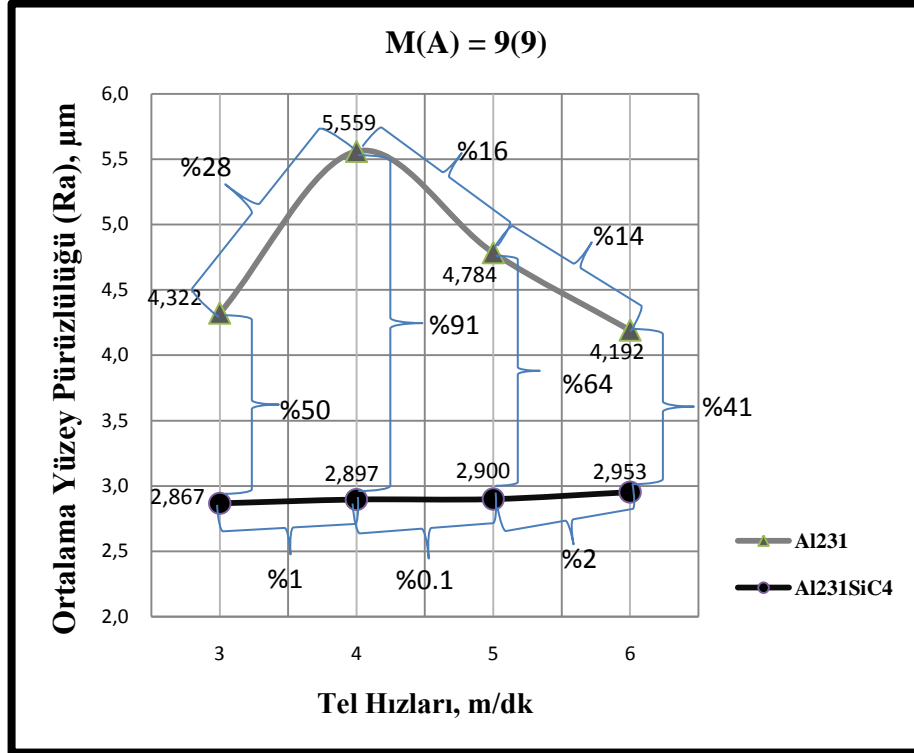


Şekil 6.25. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde 2(9) M(A) parametresinde Al231 malzemesi için tel ilerleme hızı 3 ~ 5 kademeleri arasında yüzey pürüzlülüğü açısından % 14 oranında iyileşme tespit edilmiştir. Al231SiC4 T/M malzemesi için tel ilerleme hızları 3 ~ 4 kademeleri arasındaki geçişte %3 olumlu, 4 ~ 5 kademeleri arasındaki geçişte ise %14 oranında olumsuz etki gözlenmiştir. Tel ilerleme hızının 5 kademesinden 6 kademesine çıkarılması Al231 malzemesi için % 8 olumsuz, Al231SiC4 T/M malzemesi için ise % 10 olumlu etki göstermiştir.

Her iki T/M malzeme ortak incelendiğinde Al231 malzemesi için en düşük yüzey pürüzlülüğü değerinin ölçüldüğü tel ilerleme hızı 5 kademesinde, Al231SiC4 T/M

malzemesine nispeten % 79 oranında kötü yüzey pürüzlülük değeri elde edildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.26. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6. 26'da yer alan grafik incelendiğinde Al 231 malzemesi için tel ilerleme hızının 3 kademesinden 4 kademesine geçmesinin % 28 oranında olumsuz etki oluşturduğu görülmektedir. 4 kademesi bu T/M malzeme yüzey pürüzlülüğü değerleri için dönüm noktası olup sonrasında 6 kademesine dek olumlu yönde, doğrusal bir geçişin olduğu görülmektedir. Bu olumlu etkinin oranı % 30 düzeylerindedir. Al231SiC4 T/M malzemesi 9(9) parametresinde değişen tel ilerleme hızları karşısında çok düşük olumsuz artış davranışı sergilemektedir. Öyle ki bu artışların 4 ~ 5 tel ilerleme hızı kademeleri aralığında 0,003 değeri kadar olduğu tespit edilmiştir. Bu açıdan düşünüldüğünde 9(9) parametresinde Al231SiC4 T/M malzemesi için artan tel hızı kademelerinin yüzey pürüzlülük değerlerine etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

6.4.3.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.23 ile Şekil 6.26 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde puls ara süresi ayar parametresinin Al231SiC4 T/M malzemeleri için yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir unsur olmadığı tespit edilmiştir. Al231 T/M malzemesi ise yüzey pürüzlülük değerleri açısından değişen M ve A değerleri karşısında olumlu ve ya olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Fakat bu etki bir genelleme yapılabilecek düzeyde değildir. Grafiklerin genel değerlendirmesi sonucu Al231 T/M malzemesi için M ve A parametrelerinin değişiminin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde parametreden parametreye değişiklik göstermesi bir genelleme yapılmasını güçlendirmektedir. M ve A parametresinin değişimleri ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin düzenli değişimi gözlenmemiştir (Özdur, 1999). Bu iki malzeme arasındaki yüzey pürüzlülüğü açısından % fark oranları incelendiğinde bu oranın % 50'den daha düşük olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.9'da yüzey pürüzlülük değerleri bakımından değişen tel ilerleme hızı (WS) kademelerine karşılık en uygun puls ara süresi ayar parametreleri verilmiştir. Tel ilerleme hızı 5 kademesinde en uygun M(A) parametresinin her iki T/M malzeme içinde 9(9) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.9. WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri

		En Uygun M(A) Parametresi	
		Al231	Al231SiC4
WS	3	2(9)	9(9)
	4	2(9)	1(7)
	5	9(9)	9(9)
	6	2(9)	9(9)

6.5. TEL ELEKTROT AŞINMA MİKTARLARI

T/M malzemelere ait tel elektrot aşınma miktarları hem kendi malzeme gruplarında hem de yüzey pürüzlülük değerleri ile ilişkileri açısından bir biri ile kıyaslanmıştır. Üretilen 5 farklı T/M malzemeyi kesen tel elektrotların ağırlık kaybı değerleri miligram (mg) cinsinden Çizelge 6.10'da sunulmuştur. Bu tablolarda yer alan değerler kullanılarak elde edilen grafikler ise alt başlıklar içerisinde sunulmuştur.

Çizelge 6.10. Kesme işlemini gerçekleştiren tel elektrottaki ağırlık kayıpları

Değişken Olarak Tayin Edilen Parametreler		Tel Ağırlık Kaybı Değerleri, mg				
		İşlenmemiş Tel Ağırlığı = 0,4 g				
WS	M(A)	Al999	Al321	Al321SiC4	25Cu06Mg	45Cu06Mg
3	1(7)	6,9	11,3	17,8	16,8	5,5
4	1(7)	4,7	10,5	14,9	7,5	3,3
5	1(7)	2,4	5,8	6,0	4,6	0,2
6	1(7)	3,5	6,4	6,8	3,0	4,0
WS = 3						
3	2(6)	8,6	12,8	17,5	8,0	10,5
4	2(6)	5,5	10,0	12,8	6,9	5,3
5	2(6)	4,4	7,0	9,7	3,7	2,8
6	2(6)	1,8	5,0	6,4	4,0	0,1
WS = 4						
3	2(9)	18,4	13,4	14,1	6,9	5,2
4	2(9)	7,4	10,1	9,5	6,0	4,4
5	2(9)	2,8	7,4	7,4	4,1	0,9
6	2(9)	3,2	3,0	6,1	7,9	1,6
WS = 5						
3	9(9)	9,6	12,3	17,3	7,7	2,8
4	9(9)	12,6	10,6	12,3	8,2	4,9
5	9(9)	10,7	8,4	8,8	6,3	1,7
6	9(9)	9,6	3,4	5,3	4,4	0,9

Çizelge 6.10'da yer alan ağırlık kayıpları T/M malzeme içeriği kıyaslanabilen gruplar oluşturularak incelenmiştir. Bu gruplar aşağıda Çizelge 6.11'de sunulmuştur.

Çizelge 6.11. Kıyaslanan T/M malzeme grupları

Kıyaslama Yapılan Malzeme Grupları		
Malzeme Grubu 1	Malzeme Grubu 2	Malzeme Grubu 3
Al999 ve Al231	Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg	Al231 ve Al231SiC4

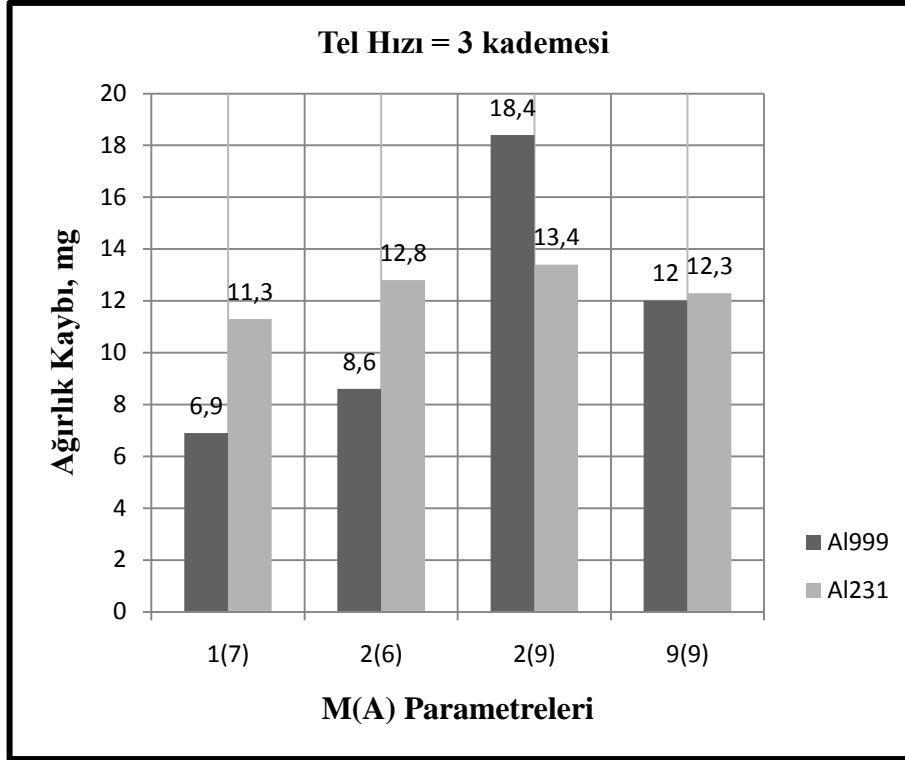
Ağırlık kayıpları her bir malzeme grubu için ayrı ayrı ele alınarak, değişken işleme parametreleri olan M(A) ve WS değerlerinin etkileri açısından değerlendirilmiştir.

6.5.1. Al999 ve Al231 T/M Malzeme Grubu İçin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

Bu grupta yer alan Al999 ve Al231 T/M malzeme alüminyum esaslı olup kimyasal bileşimleri farklıdır. Bu bileşimler materyal ve metot kısmında Çizelge 5.1’de sunulmuştur. İşleme deneyleri sonucunda değişken işleme parametreleri olan M(A) ve WS’nin tel elektro ağırlık kaybı üzerindeki etkileri aşağıda grafikler yardımıyla incelenmiştir.

6.5.1.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

Malzeme grubu 1 için dört farklı tel ilerleme hızı (WS)’ye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.27 ile Şekil 6.30 arasında sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde üç farklı M ve A değeri bulunmaktadır. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında sunulmuştur.

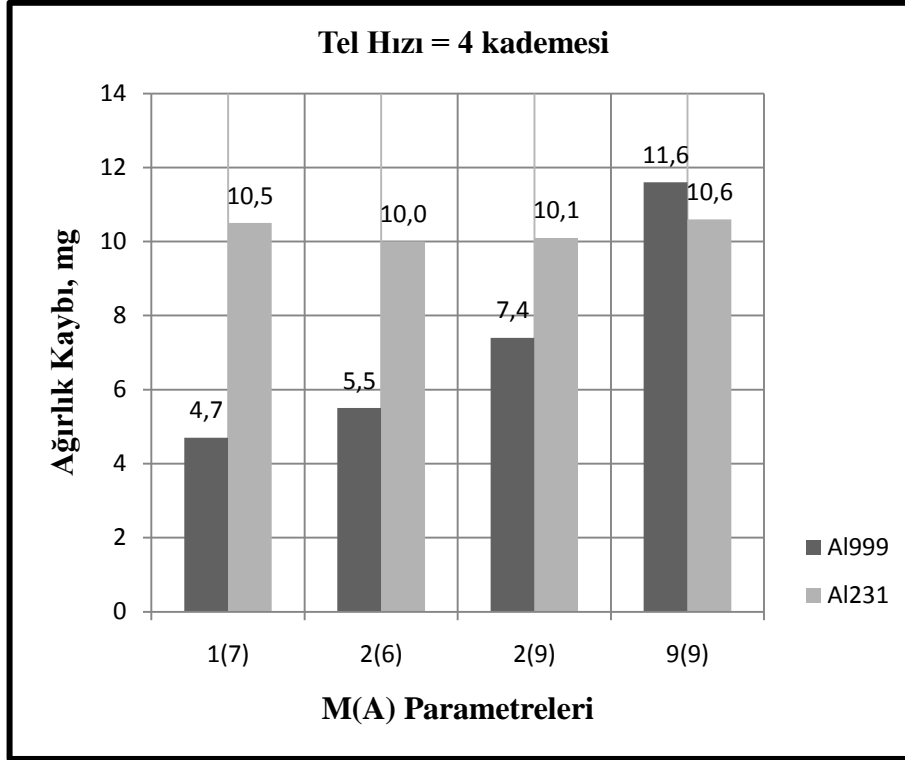


Şekil 6.27. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 3 kademesinde Al231 malzemesi için M parametresinin 1 değerinden 2 değerine, A parametresinin ise 7 değerinden 6 değerine düşmesi ve sonrasında A parametresinin 6 değerinden 9 değerine çıkması ile tel elektrot ağırlık kaybının da arttığı görülmektedir. Bu M(A) değeri aynı zamanda tel elektrot ağırlık kaybının düşmesinde bir dönüm noktasıdır. Sonrasında M parametresindeki artış (2 ~ 9) ile birlikte tel ağırlık kaybının düştüğü grafikten tespit edilmiştir. Grafik artış ve azalmalar açısından incelendiğinde her iki T/M malzemenin benzer özellik sergilediği görülmektedir.

Her iki T/M malzemede meydana gelen tel elektrot kayıpları ortak incelendiğinde Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybının Al999 malzemesine nispeten daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu grafik Şekil 6.3'deki yüzey pürüzlülüğü grafiğiyle beraber yorumlandığında yüzey pürüzlülüğü açısından Al999 T/M malzemesine nispeten daha yüksek değerlerin ölçüldüğü Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrotun daha fazla aşındığı tespit edilmiştir. T/M malzeme bazında incelenecek olursa Al231 T/M malzemesinin artan ve azalan yüzey

pürüzlülüğü değerleri ile paralel olarak tel elektrottaki kayıplarda artıp azalmaktadır. Fakat aynı durum Al999 malzemesi söylenememektedir. Al999 T/M malzemesi yüzey pürüzlülük değerleri ile tel elektrot kayıpları arasında bir ilişki kurulamamıştır.

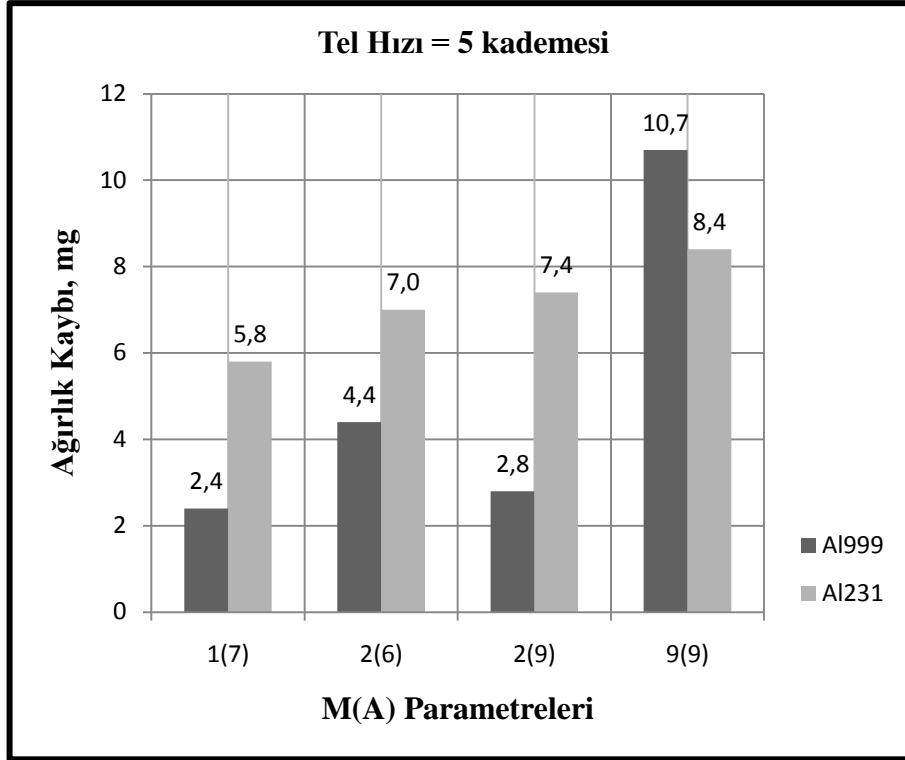


Şekil 6.28. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 4 kademesinde değişen M ve A parametrelerine karşın Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrotta dikkate değer bir artış ve ya düşüş gözlemlenememiştir. Al999 T/M malzemesinde ise artan ve ya azalan M ve A parametreleri ile birlikte bu malzemeyi kesen tel elektrottaki ağırlık kaybı da artmıştır. 1(7) ~ 9(9) parametreleri arasında Al999 T/M malzemesi %168 oranında ağırlık kaybetmiştir.

Şekil 6.30'daki grafik Şekil 6.4'deki grafik ile ortak incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ile tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları ile ilgili malzeme bazında bağlantı kurulamamakla birlikte, Şekil 6.4'de Al999 malzemesine nispeten daha büyük yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü Al231 T/M malzemesini kesen

tel elektrotun daha fazla aşındığı tespit edilmiştir. Bu fazla aşınmanın ise Al231 T/M malzemesinin yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

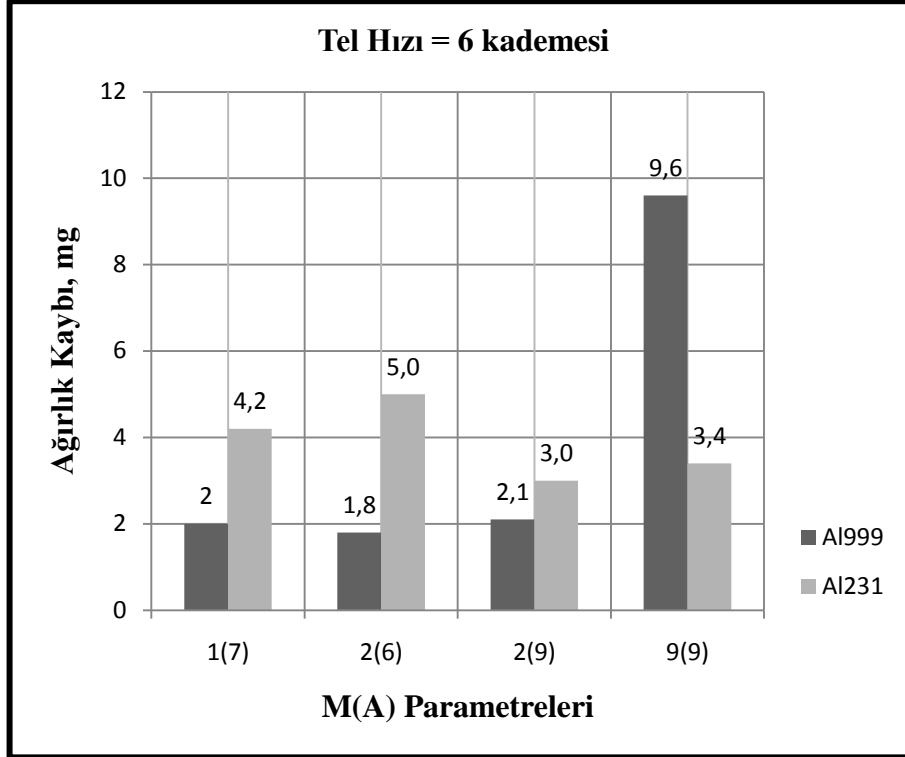


Şekil 6.29. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Şekil 6.29'daki grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 5 kademesinde M parametresinin 1'den 2'ye 2'den de 9'a artışı, A parametresinin ise 7'den 6 değerine düşüşü ve 6'dan 9 değerine çıkışı Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrottaki ağırlık kayıplarını arttırdığı tespit edilmiştir. Bu artışın miktarı 1(7) ~ 9(9) parametreleri arasında % 45 dolaylarındadır. Bu sonuç ışığında tel ilerleme hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerindeki değişim yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından dikkate değer bir sonuç teşkil etmemiştir.

Al999 T/M malzemesi, artan ve ya azalan M ve A parametreleri karşısında tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı bakımından değişken özellik sergilemektedir. Bu T/M malzeme açısından en yüksek ağırlık kaybının en kararlı işleme parametresi olan 9(9) M(A) parametresinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Artan M (1 ~ 2) ve A (7 ~ 9) parametrelerinin ağırlık kayıpları üzerine mukayese edilebilir düzeyde

etkisinin olmadığı tespit edilen bir başka noktadır. Bu grafik Şekil 6.5 ile beraber incelendiğinde artan ve ya azalan yüzey pürüzlülük değerleri ile tel elektrot kayıpları arasında bir ilişki kurulamamıştır. Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrot Al999 T/M malzemesini kesen tel elektrota nispeten daha fazla aşınmıştır. Bu aşınma Al231 T/M malzemesinin yapısında bulunan alaşım elementlerine bağlanmıştır.



Şekil 6.30. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 6 kademesinde Al231 T/M malzemesi için artan A (6 ~ 9) parametresi değerlerinin tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları açısından olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde artan M (2 ~ 9) parametresi değerinin tel elektrot ağırlık kayıpları açısından olumsuz etkiye sebep olduğu fakat göz ardı edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Al231 T/M malzemesi için en uygun M(A) parametresinin 2(9) parametresi olduğu bu parametrenin Şekil 6.6'da yer alan yüzey pürüzlülüğü grafiği ile örtüşmediği tespit edilmiştir. Bu tespitten yola çıkarak Al231 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülük değerleri ile bu malzemeyi kesen tel elektrot ağırlık kayıpları arasında bir genelleme yapılamamıştır. Al999 T/M malzemesi için en uygun parametre ise 2(6)

parametresidir. Bu değer de Şekil 6.6 ile örtüşmemektedir. Al999 malzemesi için tel elektrottaki en fazla ağırlık kaybı yüzey pürüzlülük değerinin en düşük elde edildiği 9(9) M(A) parametresinde geręekleşmiştir.

6.5.1.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.27 ile Şekil 6.30 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde Al999 ve Al231 T/M malzemeleri artan tel ilerleme hızı kademelerine karşı tel elektrot ağırlık kayıpları açısından düşüş sergilemektedir. Her iki malzeme ortak incelendiğinde tel ilerleme hızı kademeleri arttıkça tel elektrot ağırlık kayıplarının azaldığı sonucu çıkartılabilir. Tel ilerleme hızı arttıkça teldeki ağırlık kaybının azaldığı görülmektedir. Tel ilerleme hızı arttıkça teldeki kraterlerin boyutları artmaktadır. Fakat tel ilerleme hızındaki artıştan dolayı birim boydaki tel üzerinde daha az krater oluşacaktır (Tosun, 2004).

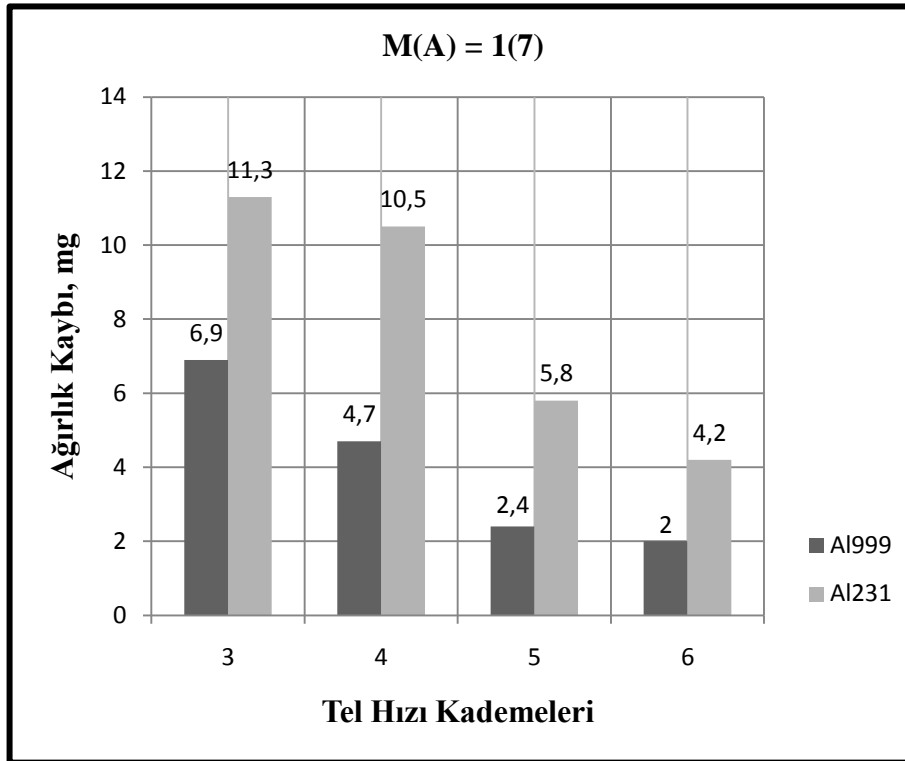
Çizelge 6.12’de tel elektrot ağırlık kayıpları bakımından değişen M ve A parametrelerine karşılık en uygun tel ilerleme hızı (WS) kademeleri verilmiştir. Çizelge 6.12 ile Çizelge 6.4 birlikte incelenirse hem yüzey pürüzlülük değerleri hem de minimum tel elektrot ağırlık kayıpları açısından her iki malzeme için en uygun parametrenin tel ilerleme hızınının 6 kademesindeki parametre olduğu tespit edilmiştir. M(A) parametresinin ise 9(9) seçilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 6.12. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından M ve A değişimine bağlı en uygun WS kademeleri

		En Uygun Tel Hızı Kademesi	
		Al999	Al231
M(A)	1(7)	6	6
	2(6)	6	6
	2(9)	6	6
	9(9)	6	6

6.5.1.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

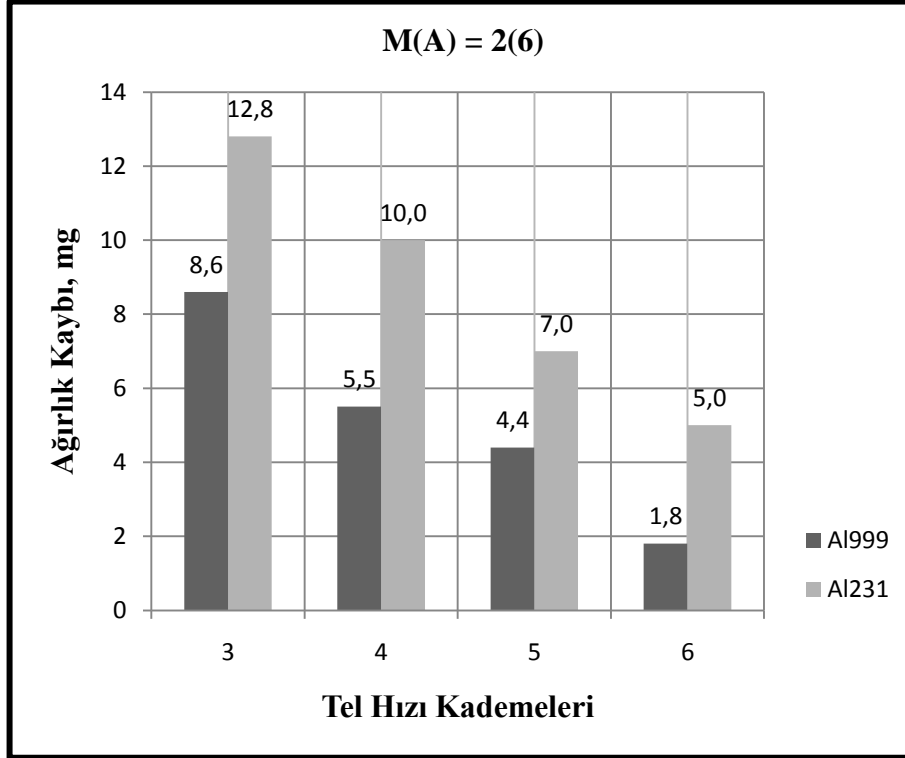
Malzeme grubu 1 için üç farklı M ve A parametresine ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.31 ile Şekil 6.34 arasında sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde dört farklı tel ilerleme hızı kademeleri bulunmaktadır. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında sunulmuştur.



Şekil 6.31. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde 1(7) parametresinde artan WS değerlerinin her iki malzeme içinde 6 kademesine dek tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde olumlu düşümlere sebep olduğu tespit edilmiştir. Her iki T/M malzemesi için tel elektrot ağırlık kayıpları açısından en uygun tel hızı parametresinin 6 kademesi olduğu tespit edilmiştir. Bu tel ilerleme hızı parametresinde Al999 ve Al231 T/M malzemeleri arasında % 110 oranında fark tespit edilmiştir. Şekil 6.31’de yer alan grafik Şekil 6.7’de sunulan yüzey pürüzlülük değerleri grafiği ile karşılaştırılacak olursa Al999 T/M malzemesi için yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana gelen artış ve düşüşlerin tel elektrot ağırlık kayıpları üzerine 5 kademesine dek aynı şekilde etki

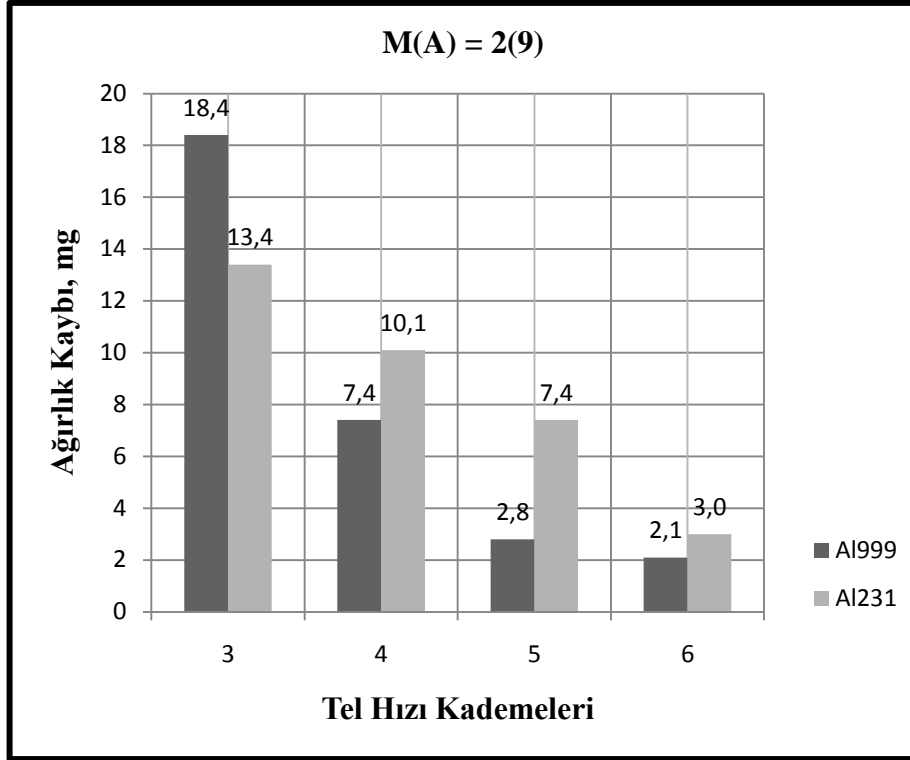
ettiği tespit edilmiştir. Al231 T/M malzemesi için ise Şekil 6.7 ile Şekil 6.31 arasında mukayese edilebilir bir ilişki kurulamamıştır.



Şekil 6.32. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Şekil 6.32 incelendiğinde M(A) parametresi 2(6) iken değişen tel hızlarının her iki T/M malzeme için tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde düşümlere sebep olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu T/M malzemeler için en uygun parametrenin 6 kademesi olduğu grafikten tespit edilen bir başka noktadır.

Her iki malzeme gurubunda en düşük tel elektrot ağırlık kayıplarının gerçekleştiği 6 kademesinde T/M malzemenin yapı özelliklerinin tel elektrot ağırlık kayıplarına % iyileşme miktarı açısından etkileri incelendiğinde Al999 T/M malzemesinin Al231 T/M malzemesine kıyasla % 177 oranında daha iyi bir tel elektrot ağırlık kaybı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

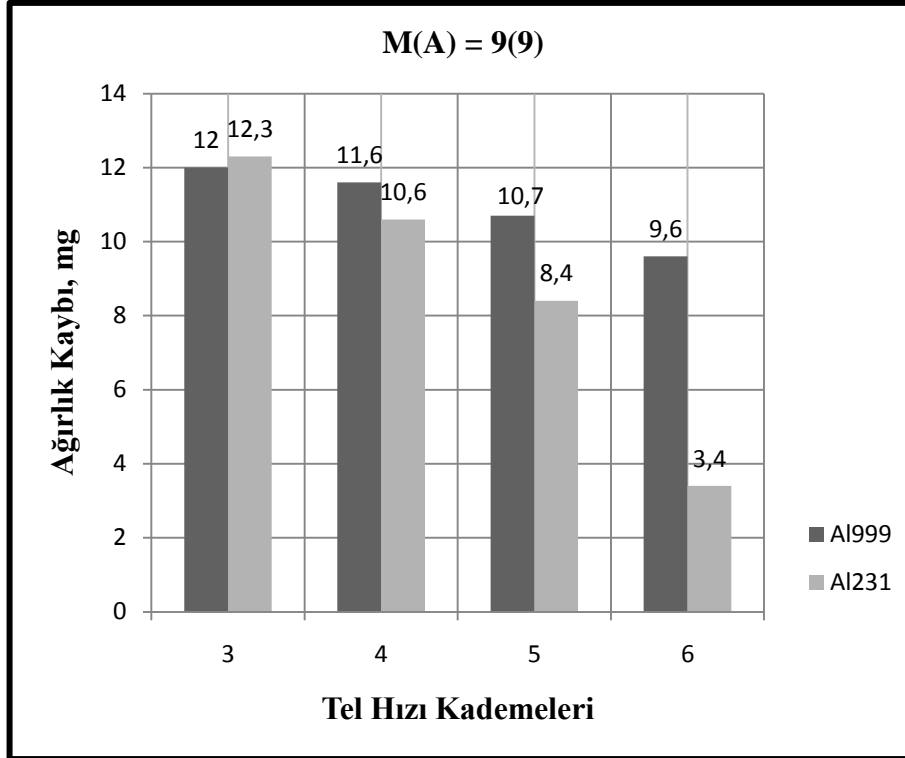


Şekil 6.33. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde 2(9) parametresinde artan tel ilerleme hızı parametrelerinin Al999 ve Al231 T/M malzemeleri için tel elektrot ağırlık kayıpları açısından olumlu etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.

Bu grafik Şekil 6.9 ile beraber incelendiğinde Al231 T/M malzemesi için tel ilerleme hızı 5 kademesine kadar bu malzemeyi kesen tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında ilişki tespit edilmiştir. Bu ilişki yüzey pürüzlülük değerleri düştükçe, tel elektrot ağırlık kayıplarının da düşmesi şeklinde tespit edilmiştir.

Her iki T/M malzeme ortak değerlendirildiğinde Al999 malzemesi için en iyi tel elektrot ağırlık kaybını veren tel ilerleme hızı 6 kademesi referans alındığında Al231 malzemesine kıyasla % 43 oranında daha olumsuz tel elektrot ağırlık kaybı elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu olumsuz kaybın Al231 T/M malzemesinin kimyasal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.34. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde Al999 ve Al231 T/M malzemeleri her tel ilerleme hızı kademesi tel ağırlık değerleri üzerinde olumlu etkilere sebep olmuştur. Her iki T/M malzeme için bu M(A) değerinde en uygun tel ilerleme hızı kademesinin 6 parametresinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu parametredeki yüzey pürüzlülük değeri farkının ise % 182 dolaylarında olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 6.34'deki grafik Şekil 6.10'daki grafikte beraber incelediğinde Al999 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülük değerleri grafiği ile tel elektrot ağırlık kaybı değerleri arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişki yüzey pürüzlülük değerlerinin düştükçe tel elektrot ağırlık kayıplarının da düşmesi şeklindedir.

6.5.1.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.31 ile Şekil 6.34 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde M ve A parametrelerindeki değişimin Al231 ve Al999 T/M malzemelerinin tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde önemli ve anlamlı bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu açıdan bir genelleme de bulunulamamıştır (Özdur, 1999)

Çizelge 6.13'te tel elektrot ağırlık kayıpları bakımından değişen tel ilerleme hızı (WS) kademelerine karşılık en uygun puls ara süresi ayar parametreleri verilmiştir. Çizelge 6.13 ile Çizelge 6.5 birlikte incelendiğinde hem yüzey pürüzlülük değerleri hem de minimum tel elektrot ağırlık kayıpları açısından ortak bir parametrenin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.13. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri

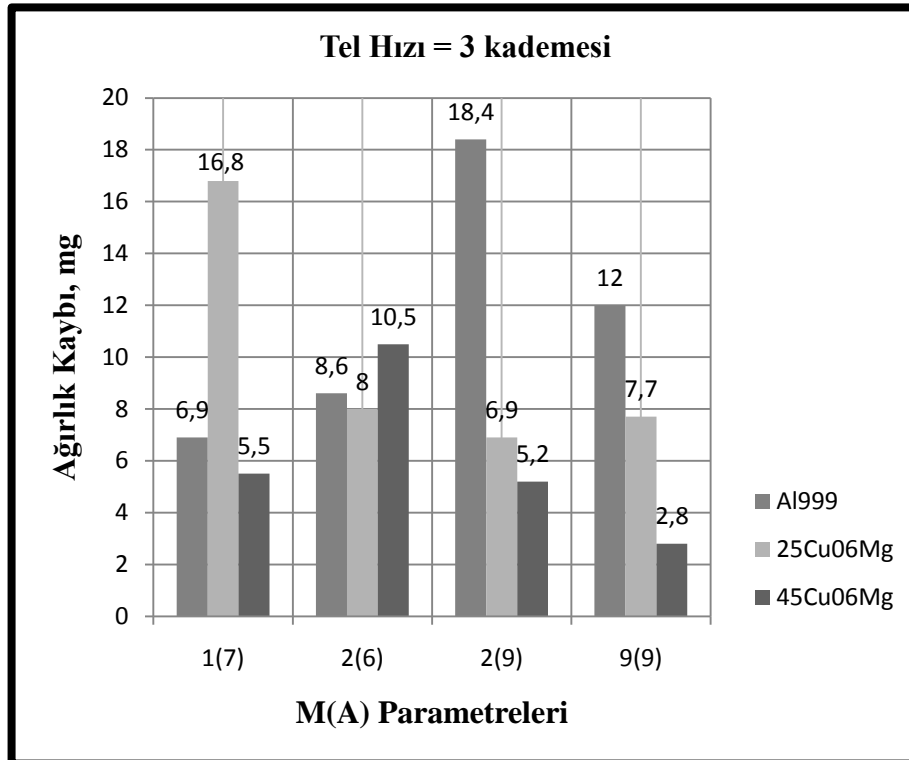
		En Uygun M(A) Parametresi	
		Al999	Al231
WS	3	1(7)	1(7)
	4	1(7)	2(6)
	5	1(7)	1(7)
	6	2(6)	2(9)

6.5.2. Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M Malzeme Grubu İçin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

Bu grupta yer alan Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M malzemeler alüminyum esaslı olup kimyasal bileşimleri farklıdır. Bu bileşimler materyal ve metot kısmında Çizelge 5.1'de sunulmuştur. İlgili çizelgeden de görüldüğü gibi bu malzeme grubu arasındaki fark Cu oranından kaynaklanmaktadır. İşleme deneyleri sonucunda değişken işleme parametreleri olan M, A ve WS'nin tel elektrot ağırlık kaybı değerlerine etkileri aşağıda grafikler yardımıyla incelenmiştir.

6.5.2.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Parametresinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

Malzeme grubu 2 için dört farklı tel ilerleme hızı (WS)'ye ait tel elektrot ağırlık kaybı değişim grafikleri Şekil 6.35 ile Şekil 6.38 arasında sunulmuştur. Grafikler ile ilgili yorumlar ilgili grafiklerin hemen alt kısmında sunulmuştur.

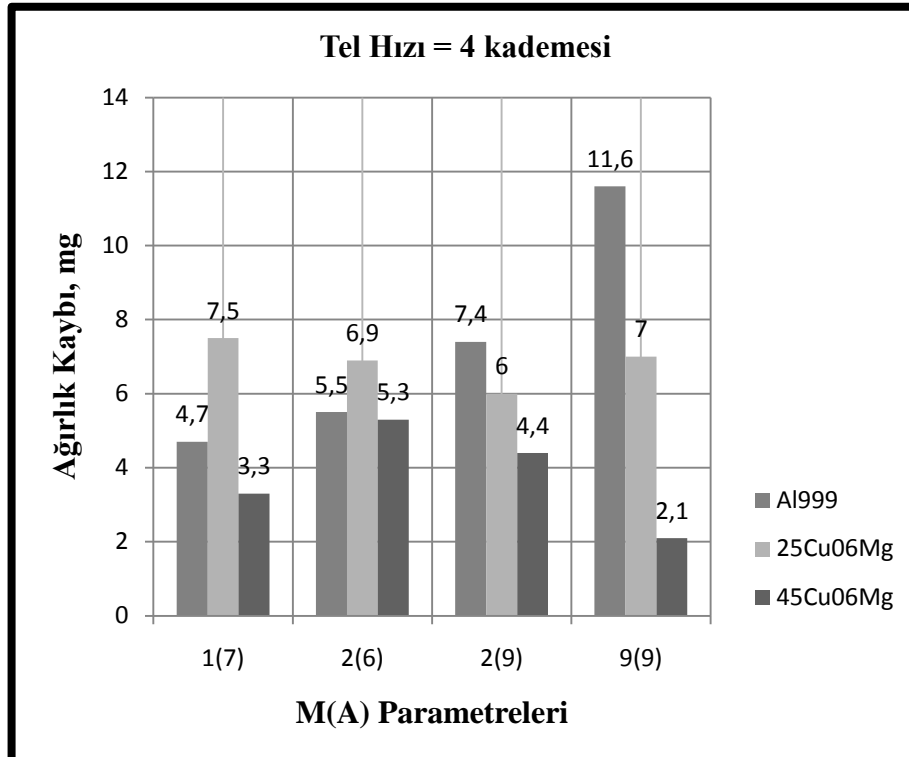


Şekil 6.35. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 3 kademesinde Al999 malzemesi için M parametresinin 1 değerinden 2 değerine, A parametresinin ise 7 değerinden 6 değerine düşmesi ve sonrasında A parametresinin 6 değerinden 9 değerine çıkması ile tel elektrot ağırlık kaybının da arttığı görülmektedir. Bu M(A) değeri aynı zamanda tel elektrot ağırlık kaybının düşmesinde bir dönüm noktasıdır. Sonrasında M parametresindeki artış (2 ~ 9) ile birlikte tel ağırlık kaybının düştüğü grafikten tespit edilmiştir. Bu açıdan M parametresinin tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde A parametresine göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Fakat M ve A

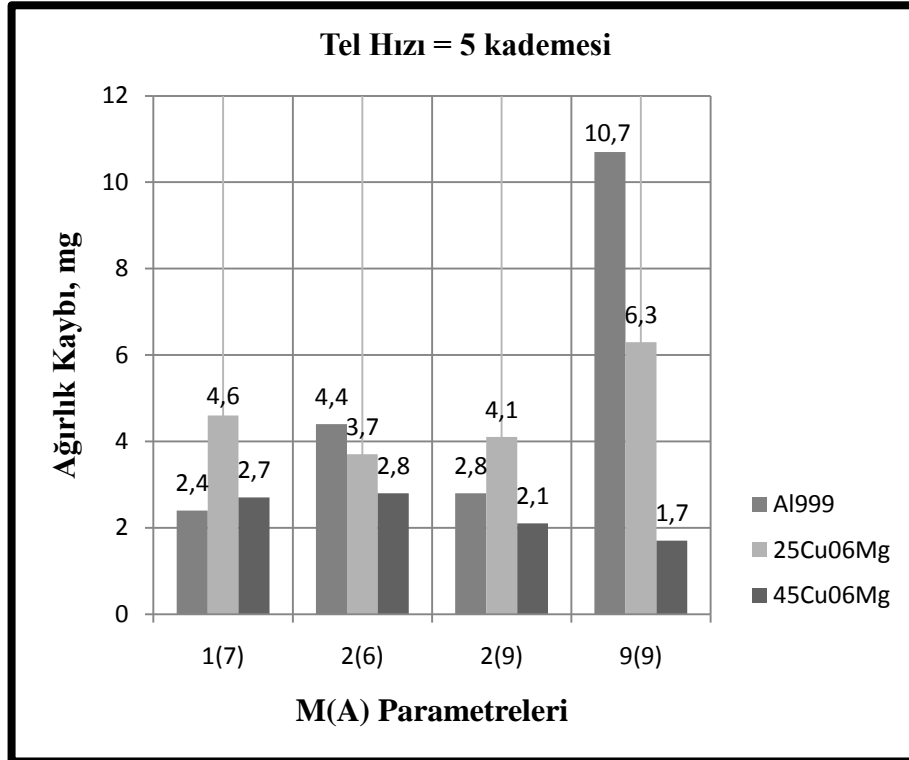
parametrelerinin tel elektrot ağırlık kayıpları üzerindeki etkisinin malzemenin yapısından kaynaklanan etkiye nazaran daha düşük olduğu düşünülmektedir.

25Cu06Mg T/M malzemesi için en büyük ağırlık kaybı 1(7) parametresinde meydana gelmiş, daha sonraki M(A) parametrelerinde ise tel elektrottaki ağırlık kaybı 1(7) parametresine nispeten olumlu yönde % 50 ~ 60 oranlarında azalmıştır. Azalması yönündeki etkinlik bakımından incelendiğinde A parametresinin M parametresine göre daha etkin olduğu söylenebilir. 45Cu06Mg T/M malzemesi için tel ilerleme hızı 3 kademesinde en uygun M(A) parametresinin 9(9) olduğu tespit edilmiştir. Grafik T/M malzemelerin içerdikleri Cu oranlarının tel ağırlık kayıplarına etkisi bakımından beraber incelendiğinde, içerisinde hiç bakır içermeyen Al999 T/M malzemesini kesen tel elektrotun daha fazla ağırlık kaybettiği tespit edilmiştir. % 4,5 Cu içeren T/M malzemeyi kesen tel elektrotun ise diğer iki T/M malzemeye nispeten daha az ağırlık kaybettiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.36. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde Al999 T/M malzemesinde artan M(A) parametreleri ile birlikte bu malzemeyi kesen tel elektrottaki ağırlık kaybı da artmıştır. 1(7) ~ 9(9) parametreleri arasında Al999 T/M malzemesi %168 oranında ağırlık kaybetmiştir. 25Cu06Mg malzemesi için kaybedilen ağırlıklar arasında büyük farklar olmamakla birlikte tel elektrot ağırlık kaybı açısından en uygun parametre 2(9) parametresi olarak tespit edilmiştir. Bu parametre Şekil 6.12'deki yüzey pürüzlülük grafiği ile bağdaşmamaktadır. 45Cu06Mg malzemesi için ise tel elektrot ağırlık kaybı açısından en uygun parametre 1(7) parametresi olarak tespit edilmiştir. Şekil 6.36'da yer alan tel elektrot ağırlık kaybı grafiği ile Şekil 6.12'de yer alan yüzey pürüzlülük değerleri grafiği arasında bir genelleme yapmak güçtür.

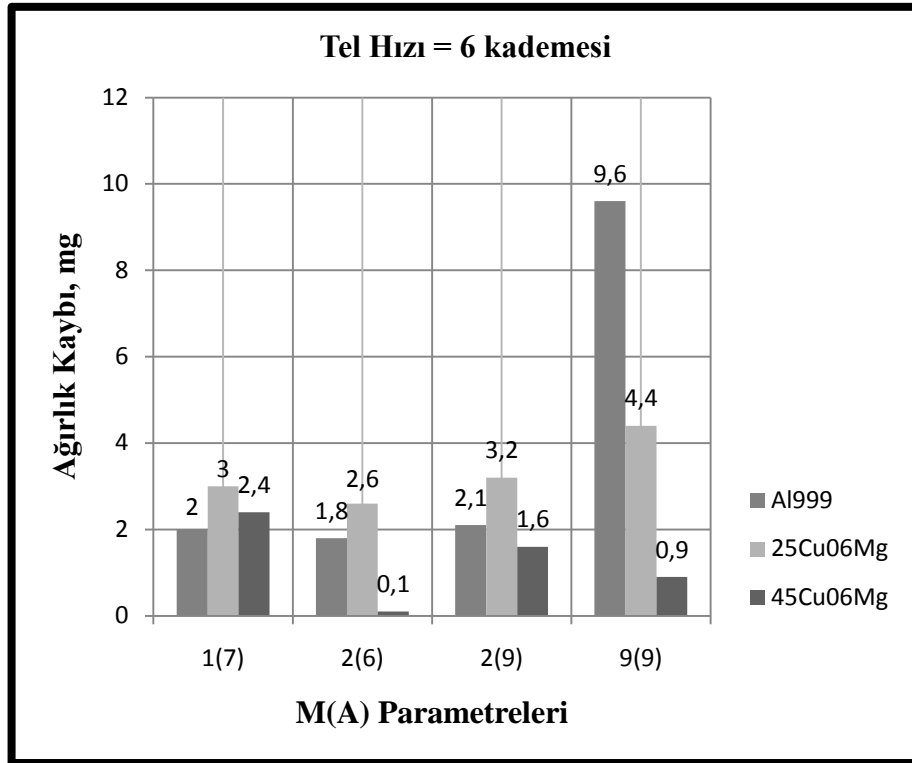


Şekil 6.37. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde bu üç T/M malzeme değişen M ve A parametreleri karşısında tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı bakımından değişken özellik sergilemektedir. Al999 T/M malzeme açısından en yüksek ağırlık kaybının en kararlı işleme parametresi olan 9(9) M(A) parametresinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu açıdan artan M parametresinin tel elektrot ağırlık kaybı üzerindeki etkisi A

parametresine kıyasla daha fazladır. 45Cu06Mg T/M malzemesini kesen tel elektrottaki ağırlık kaybı miktarları arasında önemli derecede fark bulunmamaktadır. Bu T/M malzeme Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerine nazaran daha düşük tel elektrot ağırlık kaybına sahiptir.

Şekil 6.37'deki tel elektrot ağırlık kaybı grafiği ile Şekil 6.13'deki yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiği arasında genelleme yapılabilecek düzeyde bir ilişki kurulamamıştır.



Şekil 6.38. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 6 kademesinde değişen M ve A parametrelerine göre Al999 T/M malzemesi için en uygun parametrenin 2(6) parametresi olduğu tespit edilmiştir. Al999 malzemesi için tel elektrottaki en fazla ağırlık kaybı yüzey pürüzlülük değerinin en düşük elde edildiği 9(9) M(A) parametresinde gerçekleşmiştir. 25Cu06Mg T/M malzemesini kesen tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı A parametresinin (6 ~ 9) ve M parametresinin (2 ~ 9) artışları ile olumsuz etkilenmiştir. M parametresinin artması ile gerçekleşen olumlu etkinin % 79,5 oranında olduğu tespit edilmiştir. 45Cu06Mg T/M malzemesi için tel

elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı açısından en uygun parametre neredeyse hiç ağırlık kaybının yaşanmadığı 2(6) parametresidir. Bu parametre Şekil 6.14 ile karşılaştırılırsa en yüksek yüzey pürüzlülüğünün sağlandığı değer olarak tespit edilmiştir.

6.5.2.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.35 ile Şekil 6.38 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde bu T/M malzeme grubu için artan tel ilerleme hızları tel elektrot ağırlık kayıplarının düşmesine sebep olmuştur. Bu açıdan tel ilerleme hızı arttıkça tel elektrot ağırlık kayıpları azalmaktadır denilebilir. Tel ilerleme hızı arttıkça teldeki kraterlerin boyutları artmaktadır. Fakat tel ilerleme hızındaki artıştan dolayı birim boydaki tel üzerinde daha az krater oluşacaktır (Tosun, 2004). Ağırlık kaybına sebep olan kraterlerin azalması ile tel elektrot ağırlık kayıpları da orantılı olarak azalmıştır.

Artan tel hızı ile birlikte düşen tel ağırlık kaybı değerleri malzeme bazında incelenecek olursa en uygun değerlerin 45Cu06Mg T/M malzemesinde elde edildiği görülmektedir. 25Cu06Mg T/M malzemesi ise grafiklerde diğer iki malzemeye göre yüksek tel ağırlık kaybı ile göze çarpmaktadır. Bu durumda Cu oranının % 2,5 seviyelerinde tel ağırlık kayıpları üzerinde olumsuz % 4,5 seviyelerine çıktığında ise olumlu tesir ettiği genellemesinde bulunulabilir.

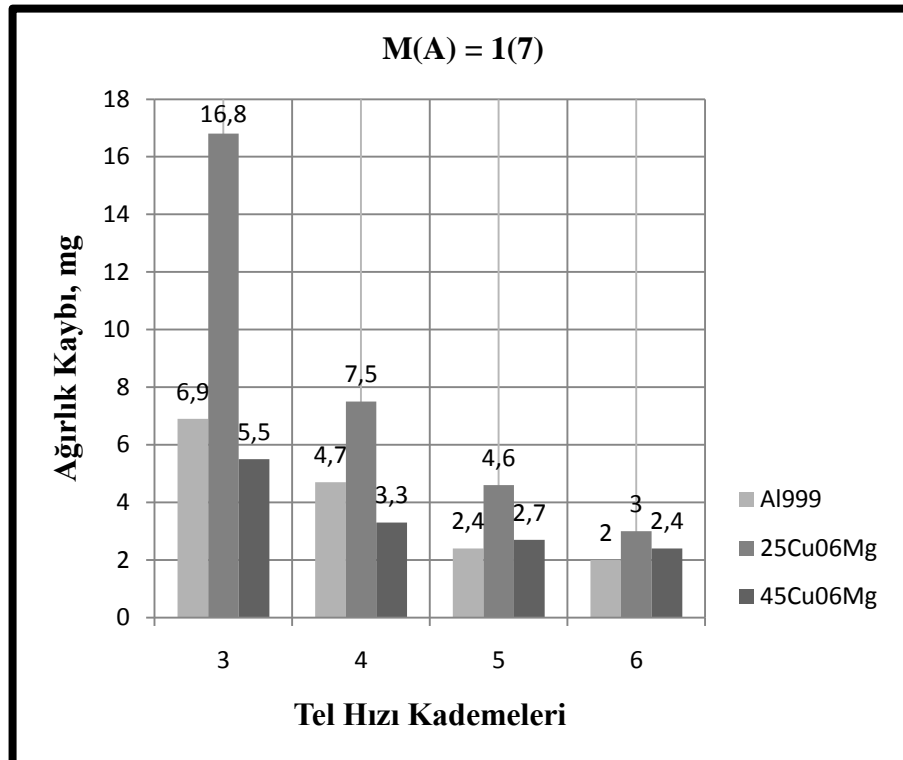
Çizelge 6.14'te tel elektrot ağırlık kayıpları bakımından değişen M ve A parametrelerine karşılık en uygun tel ilerleme hızı (WS) parametreleri verilmiştir. Çizelge 6.14 ile Çizelge 6.6 birlikte incelendiğinde hem minimum yüzey pürüzlülük değerleri hem de minimum tel elektrot ağırlık kayıpları açısından Al999 ve 45Cu06Mg T/M malzemeleri için en uygun parametrenin tel ilerleme hızı kademesi 6'ya karşılık 9(9) M(A) parametresi olduğu, 25Cu06Mg T/M malzemesi için ise ortak bir parametre olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.14. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından M ve A değişimine bağlı en uygun WS kademeleri

		En Uygun Tel Hızı Kademeleri		
		Al999	25Cu06Mg	45Cu06Mg
M(A)	1(7)	6	6	6
	2(6)	6	6	6
	2(9)	6	6	6
	9(9)	6	6	6

6.5.2.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

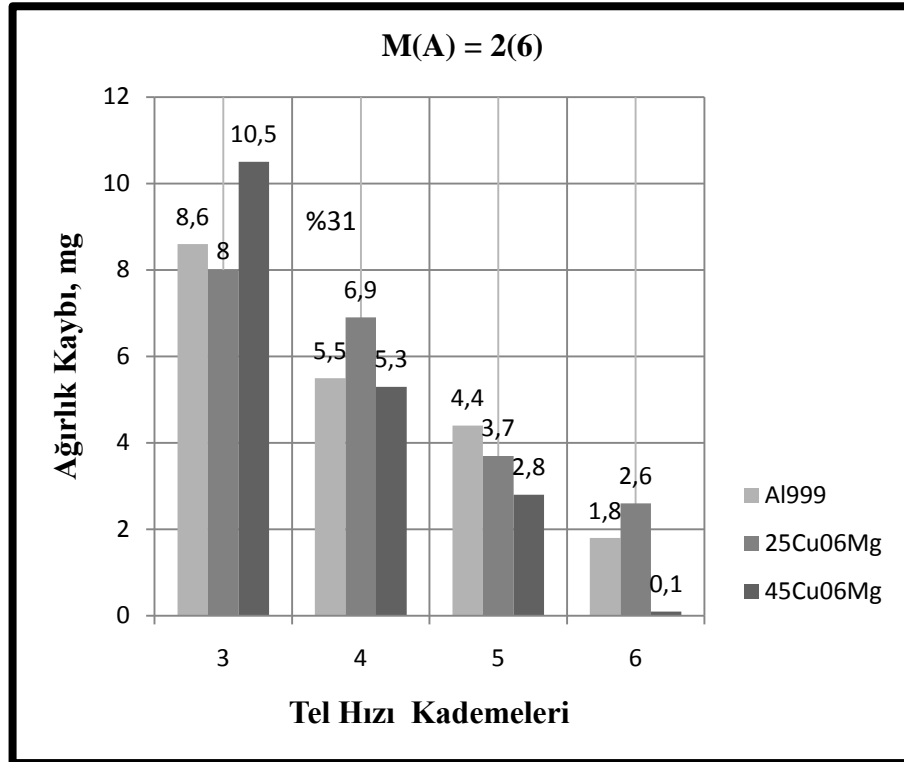
Malzeme grubu 2 için dört farklı puls ara süresi ayar M(A) parametresine ait tel elektrot ağırlık kaybı grafikleri Şekil 6.39 ile Şekil 6.42 arasında sunulmuştur. İlgili yorumlar grafiklerin alt kısımlarında verilmiştir.



Şekil 6.39. 1(7) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde 1(7) parametresinde artan WS kademelerinin, Al999, 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M malzemeleri açısından, tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde olumlu düşüslere sebep olduğu tespit edilmiştir. WS kademeleri arttıkça tel elektrot ağırlık kayıpları azalmaktadır.

Şekil 6.39'da yer alan grafik Şekil 6.15'de sunulan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiği ile karşılaştırılacak olursa bu grupta yer alan T/M malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleriyle tel elektrot ağırlık kayıpları arasında dikkate değer bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir.

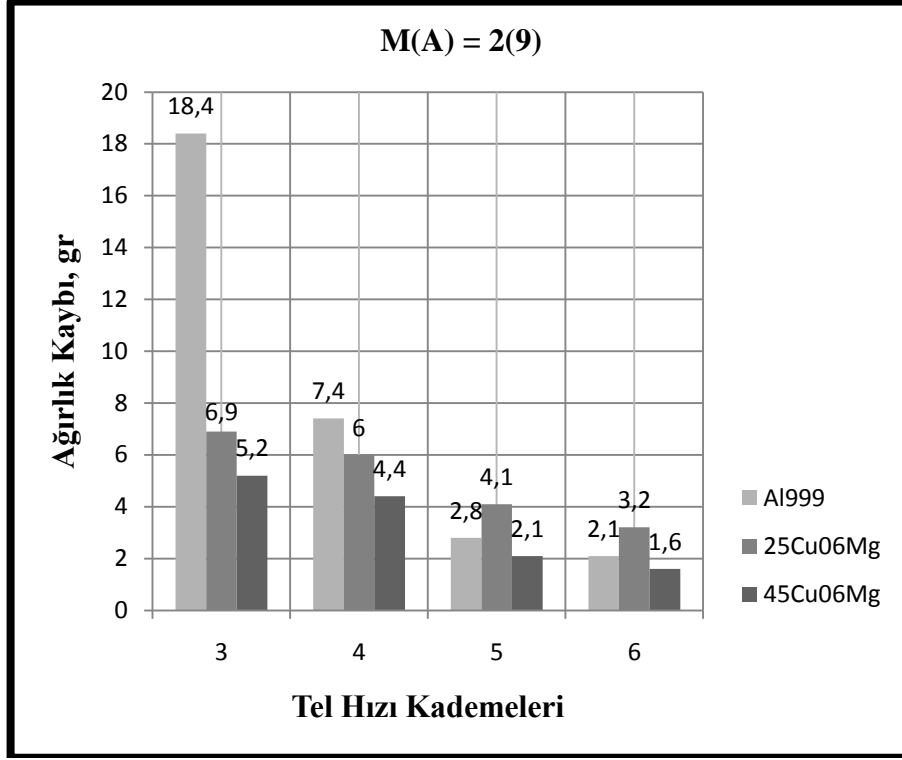


Şekil 6.40. 2(6) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde 2(6) parametresinde artan WS kademelerinin, bu gruptaki tüm T/M malzemeler için olumlu sonuçlar doğurmaktadır. WS kademeleri arttıkça tel elektrot ağırlık kayıpları azalmaktadır.

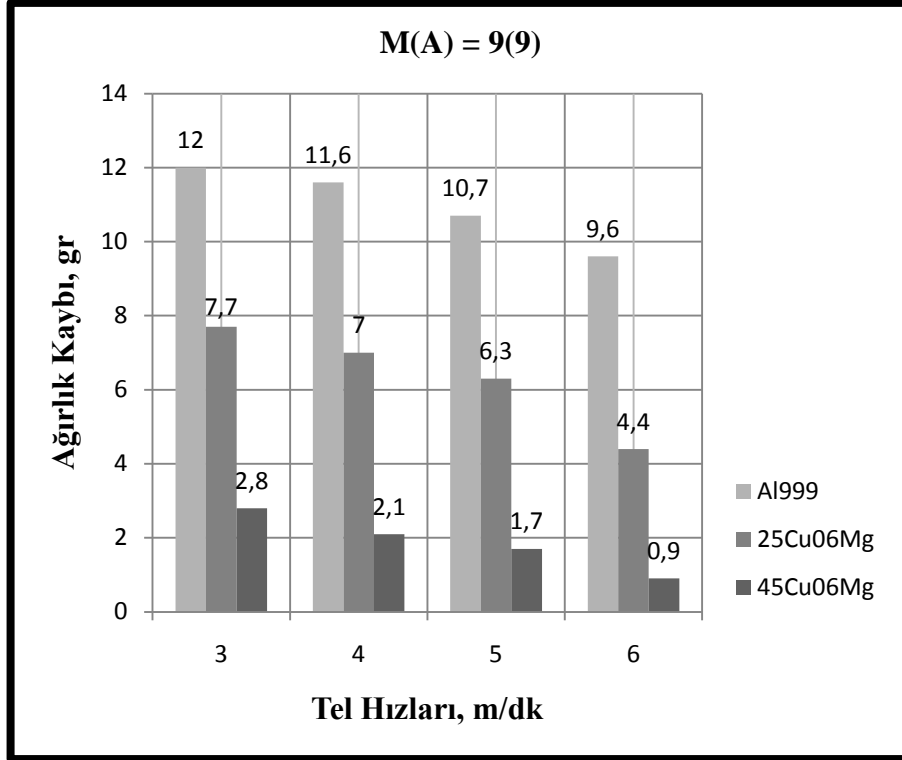
Şekil 6.42'de yer alan grafik Şekil 6.16'de sunulan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri grafiği birlikte incelendiğinde 45Cu06Mg T/M malzemesi için en kötü

yüzey pürüzlülük değerinin ölçüldüğü tel ilerleme hızı 6 kademesinde tel elektrot ağırlık kaybının minimum olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.41. 2(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Grafik incelendiğinde 2(9) M(A) parametresinde değişen tel ilerleme hızı değerleri karşısında malzeme grubu 2’de yer alan T/M malzemelerin tel elektrot ağırlık kaybı değerlerinin benzer davranış sergilediği tespit edilmiştir. Bu benzer davranışın tanımı, tel ilerleme hızlarındaki artışın tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde olumlu etkiye sebep olduğudur. Al999 T/M malzemesi için en fazla tel ağırlık kaybı tel ilerleme hızı 3 kademesinde yaşanmıştır.



Şekil 6.42. 9(9) parametresinde WS kademelerine bağlı tel ağırlık kaybı grafiği

Şekil 6.42'deki grafik incelediğinde bu M(A) parametresinde artan tel ilerleme hızları ile birlikte tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları azalmıştır. Bu durum tel ilerleme hızı kademelerinin arttıkça tellerdeki krater boşluklarının azalmasına atfedilebilir. Krater boşluklarının azalması ile birlikte tel elektrotun ağırlık kaybı da azalmıştır. Şekil 6.42 ile Şekil 6.17 beraber incelendiğinde 9(9) M(A) parametresinde Al999 ve 25Cu06Mg T/M malzemelerinin yüzey pürüzlülük değerleri ile tel elektrot ağırlık kayıpları arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişki yüzey pürüzlülük değerleri düştükçe tel elektrot ağırlık kayıplarının da düşmesi şeklinde tanımlanabilir.

6.5.2.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.39 ile Şekil 6.42 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde puls ara süresi ayar parametresinin malzeme grubu 2'de yer alan T/M malzemelerinin tel

elektrot ağırlık kayıpları üzerinde dikkate değer bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.15'te tel elektrot ağırlık kayıpları bakımından değişen tel ilerleme hızı (WS) parametrelerine karşılık en uygun puls ara süresi ayar (M(A)) parametreleri verilmiştir. Çizelge 6.15 ile Çizelge 6.7 birlikte incelendiğinde hem minimum yüzey pürüzlülük değerleri hem de minimum tel elektrot ağırlık kayıpları açısından 25Cu06Mg T/M malzemesi için en uygun tel ilerleme hızı kademesinin 3'e karşılık 2(9) M(A) parametresi, 45Cu06Mg malzemesi için tel ilerleme hızı kademesinin 3 ve ya 6'ya karşılık 9(9) parametresi olduğu tespit edilmiştir. Al999 T/M malzemesi için ise ortak bir parametre tespit edilememiştir.

Çizelge 6.15. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri

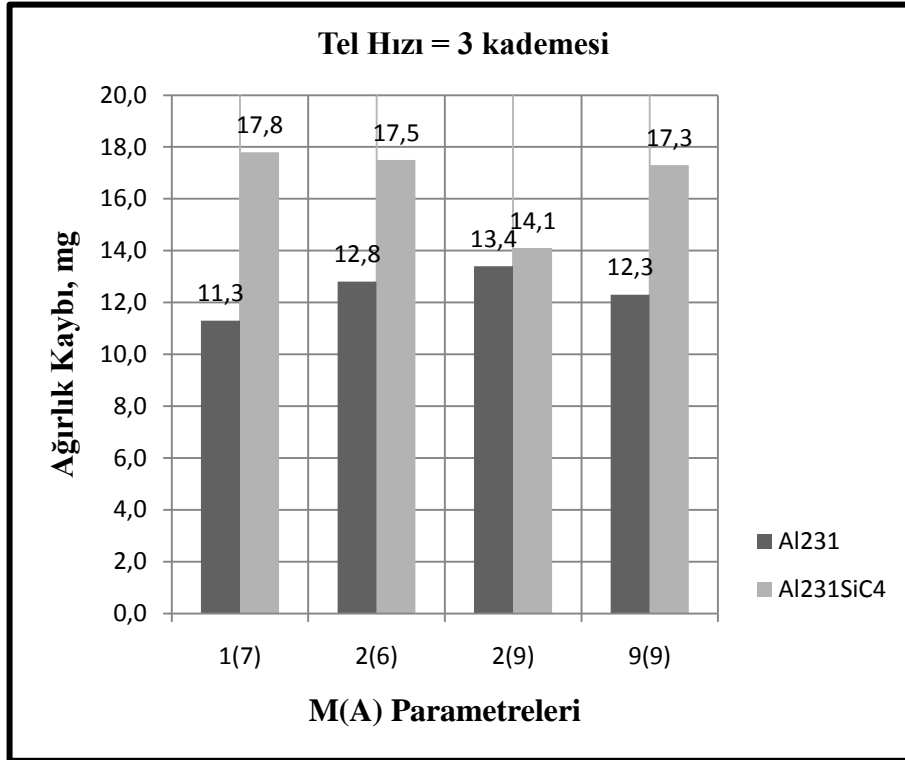
		En Uygun M(A) Parametresi		
		Al999	25Cu06Mg	45Cu06Mg
WS	3	1(7)	2(9)	9(9)
	4	1(7)	2(9)	9(9)
	5	1(7)	2(6)	9(9)
	6	2(6)	2(6)	2(6)

6.5.3. Al231 ve Al231Si4 T/M Malzeme Grubu İçin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

Bu grupta yer alan Al231 ve Al231SiC4 T/M malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir. İki T/M malzeme arasındaki fark % 4 SiC takviyesidir. İşleme deneyleri sonucunda değişken işleme parametreleri olan M, A ve WS'nin yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkileri grafikler yardımıyla incelenmiştir.

6.5.3.1. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

Malzeme grubu 3 için dört farklı tel ilerleme hızı (WS)'ye ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.43 ile Şekil 6.46 arasında sunulmuştur.. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında verilmiştir.

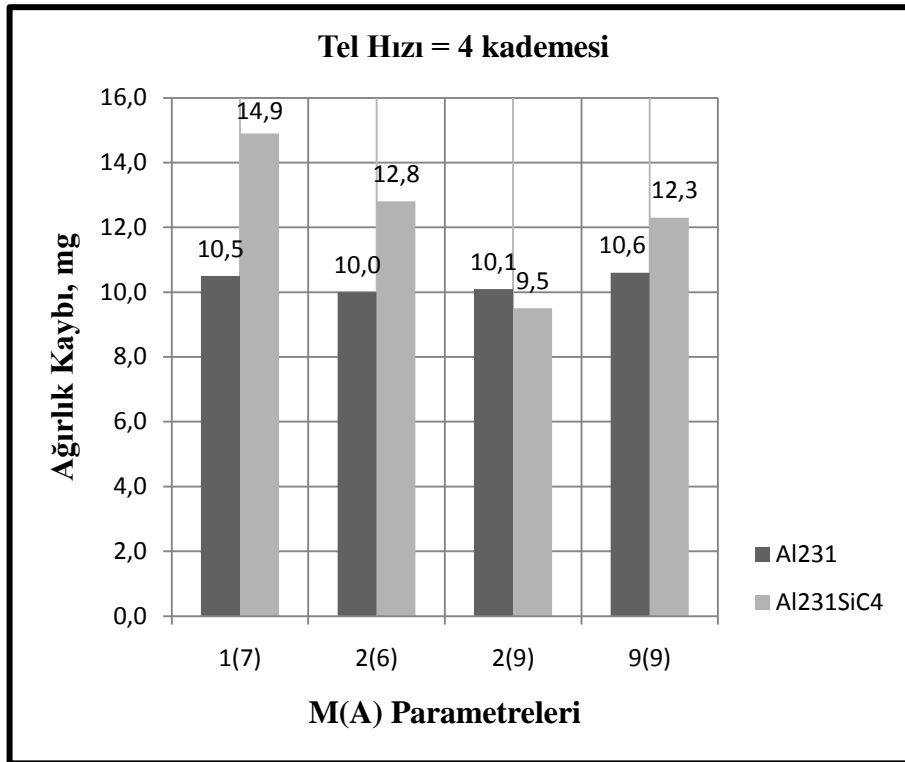


Şekil 6.43. Tel hızı 3 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 3 kademesinde Al231 malzemesi için M parametresinin 1 değerinden 2 değerine, A parametresinin ise 7 değerinden 6 değerine düşmesi ve sonrasında A parametresinin 6 değerinden 9 değerine çıkması ile tel elektrot ağırlık kaybının da arttığı görülmektedir. Bu M(A) değeri aynı zamanda tel elektrot ağırlık kaybının düşmesinde bir dönüm noktasıdır. Sonrasında M parametresindeki artış (2 ~ 9) ile birlikte tel ağırlık kaybının düştüğü grafikten tespit edilmiştir. Her iki T/M malzemedeki meydana gelen tel elektrot kayıpları ortak incelendiğinde Al231SiC4 T/M malzemesini kesen tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybının Al231 malzemesine nispeten daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu

sonuçtan yola çıkarak Al231SiC4 malzemesini kesen tel elektrotun daha fazla aşındığı görülmektedir. Bunun nedeni Al231SiC4 malzemesinin yapısında bulundurduğu SiC'den kaynaklandığı öngörülmektedir.

Ayrıca bu grafik Şekil 6.19'daki yüzey pürüzlülüğü grafiğiyle beraber yorumlandığında yüzey pürüzlülüğü açısından Al231 malzemesinin yüzey pürüzlülüğündeki artan ve azalan değerler tel elektrot ağırlık kaybı üzerine de artma ve azalma eğilimi olarak yansımıştır. Aynı durum Al231SiC4 malzemesi için de söylenebilir. Şekil 6.19'daki yüzey pürüzlülük değerlerindeki artma azalma tel elektrot ağırlık kaybı değerleriyle paralellik göstermektedir. Ayrıca grafiklerin beraber incelenmesi sonucu SiC takviyesinin yüzey pürüzlülüğünü değerlerini olumlu, tel elektrot ağırlık kayıplarını ise olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

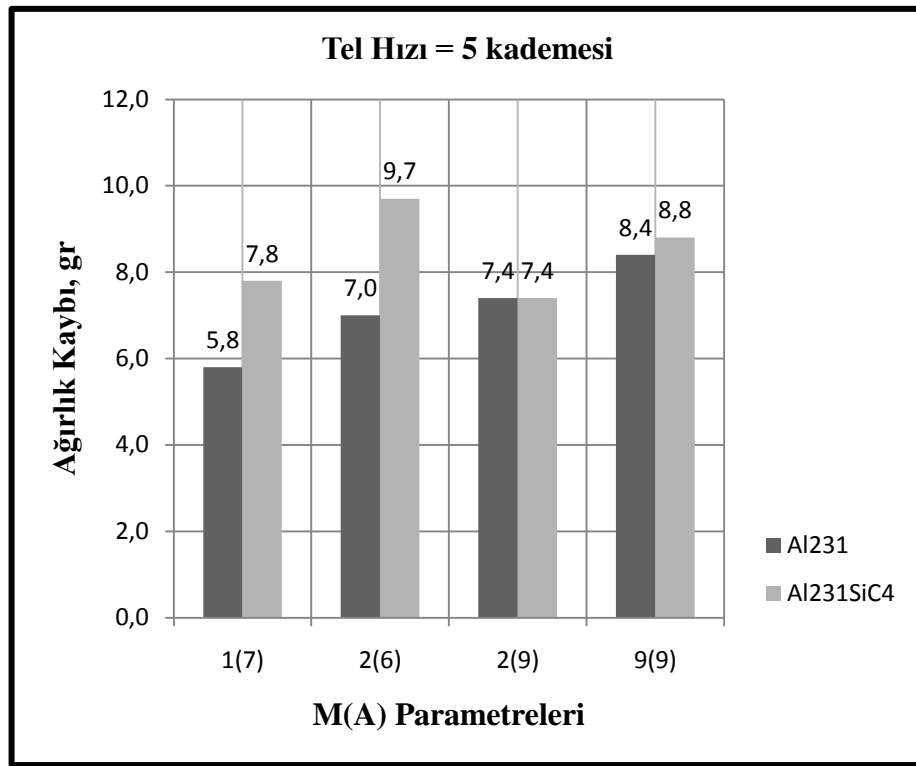


Şekil 6.44. Tel hızı 4 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 4 kademesinde değişen M ve A parametrelerine karşın Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrotta dikkate değer bir artış ve ya düşüş gözlemlenememiştir. Al231SiC4 malzemesi ise A parametresindeki

yükseliş (6 ~ 9) olumsuz, M parametresindeki yükseliş (2 ~ 9) ile olumlu yönde etkilenmiştir. Bu sonuç ışığında Al231SiC4 malzemesi için olumlu tel elektrot ağırlıkların elde edilmesinde M parametresinin A parametresine nispeten daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.44'deki grafik Şekil 6.20'deki grafik ile ortak incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ile tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları arasında, mukayese edilebilir ve bir genelleme yapılabilir düzeyde bağlantı kurulamamıştır.

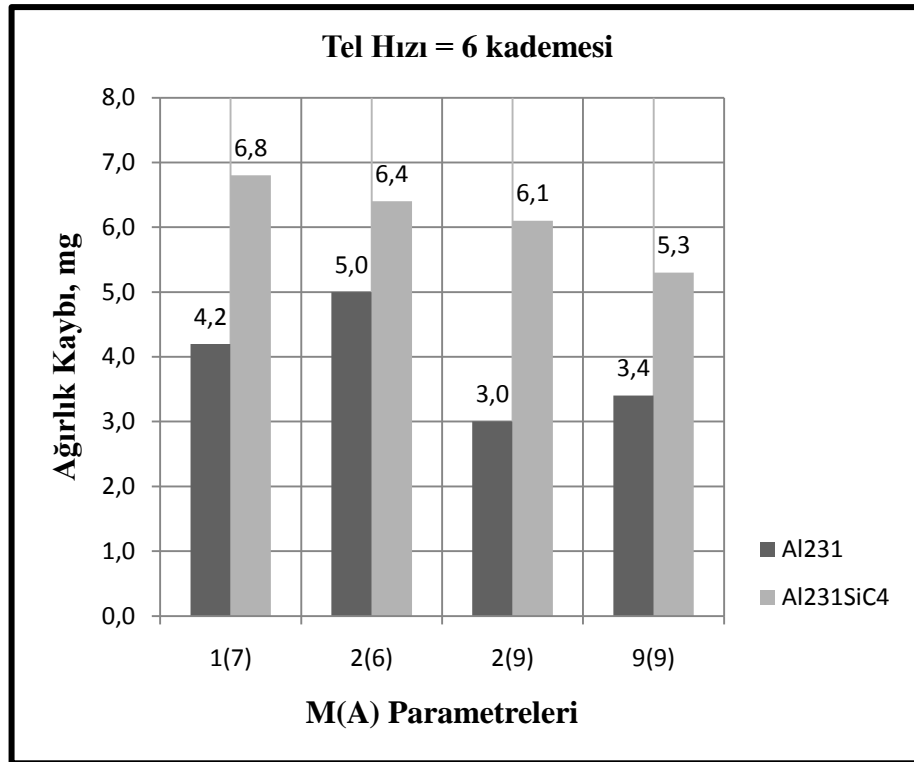


Şekil 6.45. Tel hızı 5 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 6.45'deki grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 5 kademesinde M parametresinin 1'den 2'ye 2'den de 9'a artışı, A parametresinin ise 7'den 6 değerine düşüşü ve 6'dan 9 değerine çıkışı Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrottaki ağırlık kayıplarını arttırdığı tespit edilmiştir. Bu artışın miktarı 1(7) ~ 9(9) parametreleri arasında % 45 dolaylarındadır.

Al999 T/M malzemesi, artan ve ya azalan M ve A parametreleri karşısında tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı bakımından değişken özellik sergilemektedir.

Al231SiC4 T/M malzemesi değişen M ve A parametreleri karşısında tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı bakımından değişken özellik sergilemektedir. Bu T/M malzeme açısından en yüksek ağırlık kaybı 2(6) M(A) parametresinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Al231SiC4 malzemesinin tel elektrot ağırlık kayıpları tüm parametrelerde eşit ve ya daha yüksek çıkmıştır. Bu yükseliş malzeme yapısında bulunan SiC'e bağlanmıştır. Bu grafik yüzey pürüzlülük değerleri grafiği ile incelenirse SiC takviyesi yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmiş fakat tel elektrot ağırlık kayıplarını olumsuz etkilemiştir.



Şekil 6.46. Tel hızı 6 kademesinde M ve A parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde tel ilerleme hızı 6 kademesinde Al231 T/M malzemesi için artan A (6 ~ 9) parametresi değerlerinin tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları açısından olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde artan M (2 ~ 9)

parametresi değerinin tel elektrot ağırlık kayıpları açısından olumsuz etkiye sebep olduğu fakat göz ardı edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Al231 T/M malzemesi için en uygun M(A) parametresinin 2(9) parametresi olduğu görülmektedir. Bu grafik Şekil 6.22 ile beraber incelendiğinde Al231 T/M malzemesinin yüzey pürüzlülük değerleri ile bu malzemeyi kesen tel elektrot ağırlık kayıpları arasında bir genelleme yapılamamıştır. Al231SiC4 T/M malzemesi için en uygun parametre ise 9(9) parametresidir. Bu malzeme için olumlu artışlar incelendiğinde M parametresindeki değişimin A parametresindeki değişime oranla daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

6.5.3.2. Tel İlerleme Hızı (WS) Kademelerinin Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı zerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.43 ile Şekil 6.48 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde Al231 ve Al231SiC4 T/M malzemeleri için tel ilerleme hızı arttıkça tel elektrot ağırlıklarında azalma meydana geldiği görülmektedir. Tel ilerleme hızı arttıkça teldeki kraterlerin boyutları artmaktadır. Fakat tel ilerleme hızındaki artıştan dolayı birim boydaki tel üzerinde daha az krater oluşacaktır (Tosun, 2004). Kraterlerin daha az oluşması ise telin daha az aşınmasına ve ağırlık kaybetmesine sebep olmaktadır.

Ayrıca Al231SiC4 T/M malzemesinin tel elektrot ağırlık kayıpları tüm grafiklerde Al231 malzemesine göre daha yüksek değerlerde ölçülmüştür. Bu yükseliş malzeme yapısında bulunan SiC'e bağlanmıştır. Tel elektrot ağırlık kaybı grafikleri yüzey pürüzlülük değerleri grafikleri ile beraber incelenirse SiC takviyesi yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmiş fakat tel elektrot ağırlık kayıplarını olumsuz etkilemiştir sonucu çıkartılabilir.

Çizelge 6.16'da tel elektrot ağırlık kayıpları bakımından değişen M ve A parametrelerine karşılık en uygun tel ilerleme hızı (WS) kademeleri verilmiştir. Çizelge 6.16 ile izelge 6.8 birlikte incelenirse Al231 malzemesi için hem yüzey pürüzlülük değerleri hem de minimum tel elektrot ağırlık kayıpları açısından en uygun parametrenin tel ilerleme hızı 6 kademesine karşılık 9(9) M(A) parametresinin

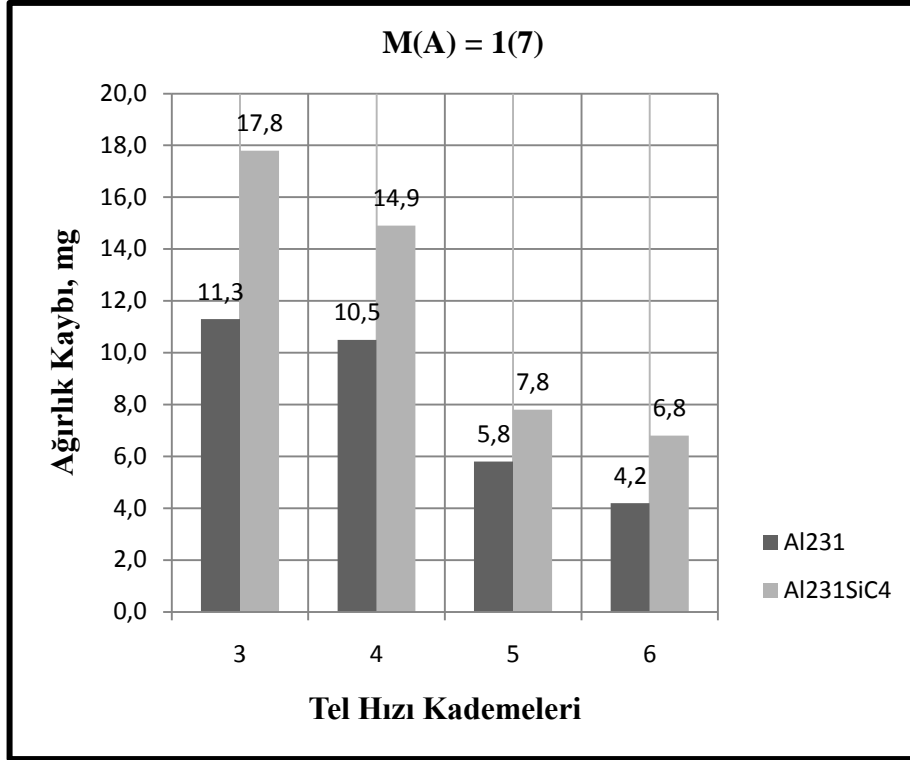
olduğu tespit edilmiştir. Al231SiC4 malzemesi için ise ortak bir parametre tespit edilememiştir.

Çizelge 6.16.Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından M ve A değişimine bağlı en uygun WS kademeleri

		En Uygun Tel Hızı Kademesi	
		Al231	Al231SiC4
M(A)	1(7)	6	6
	2(6)	6	6
	2(9)	6	6
	9(9)	6	6

6.5.3.3. Puls Ara Süresi Ayar Parametresinin Değişimine Bağlı Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Sonuçları

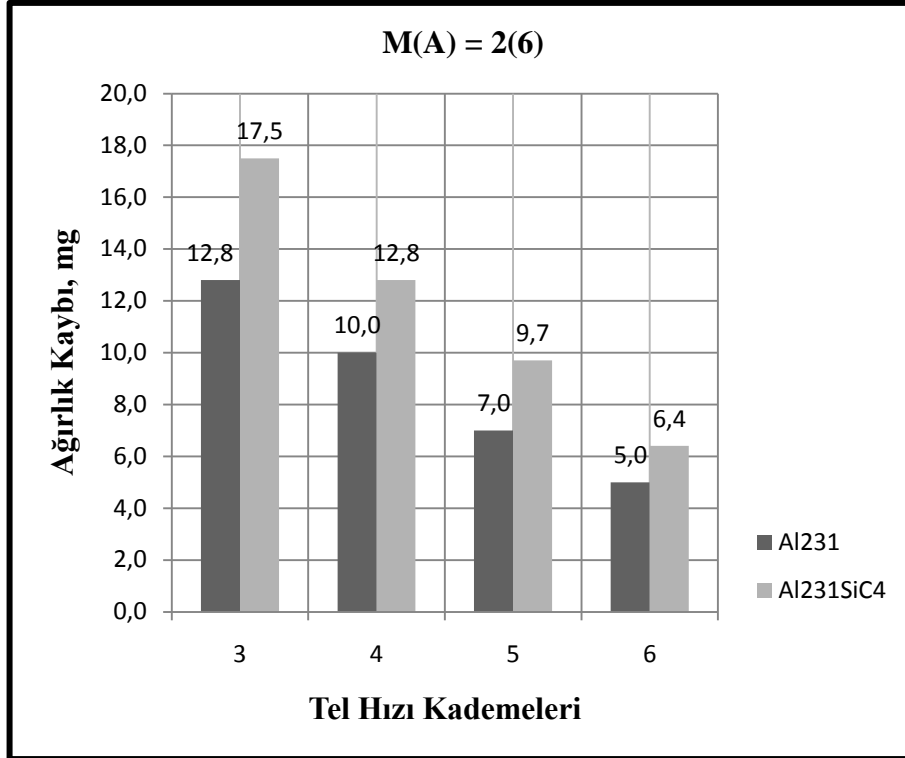
Malzeme grubu 3 için dört farklı puls ara süresi ayar M(A) parametresine ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değişim grafikleri Şekil 6.47 ile Şekil 6.50 arasında sunulmuştur. Ayrıca grafiklerde dört farklı M(A) değeri bulunmaktadır. Yorumlar ilgili grafiklerin alt kısmında sunulmuştur.



Şekil 6.47. 1(7) değerinde WS parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde 1(7) parametresinde artan WS kademelerinin her iki malzeme içinde tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde olumlu düşümlere sebep olduğu tespit edilmiştir. Her iki T/M malzemesi için tel elektrot ağırlık kayıpları açısından en uygun tel hızı parametresinin 6 kademesi olduğu tespit edilmiştir.

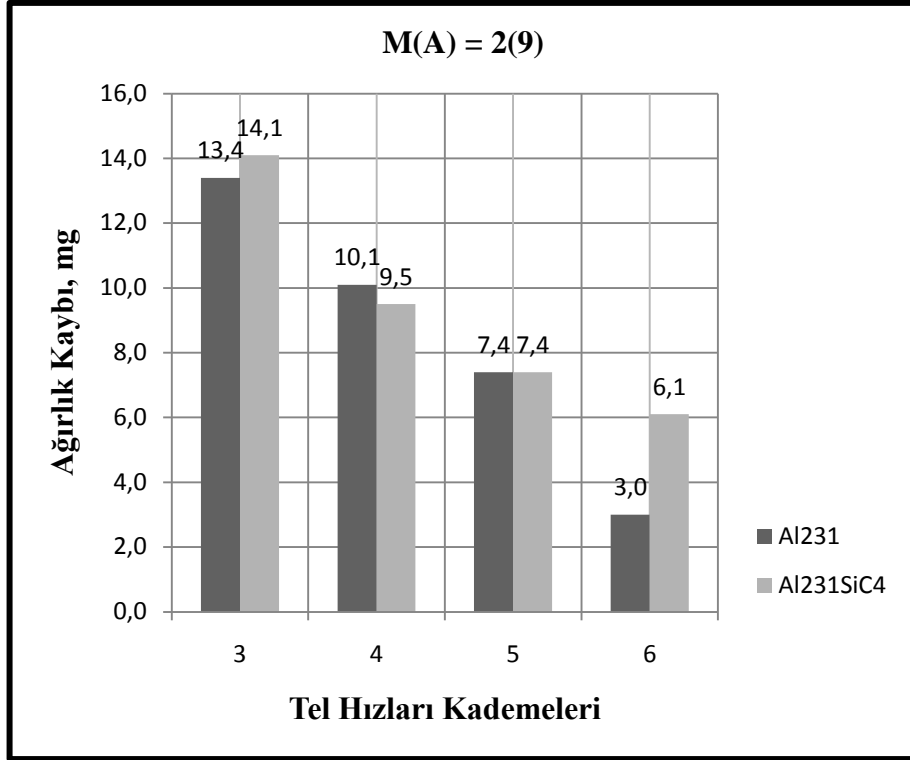
Şekil 6.47’de sunulan tel elektrot ağırlık kaybı grafiği ile Şekil 6.23’te sunulan yüzey pürüzlülük değerleri grafiği beraber incelenip her iki T/M malzemesi için de genelleme yapabilececek bir ilişki tespit edilememiştir.



Şekil 6.48. 2(6) değerinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

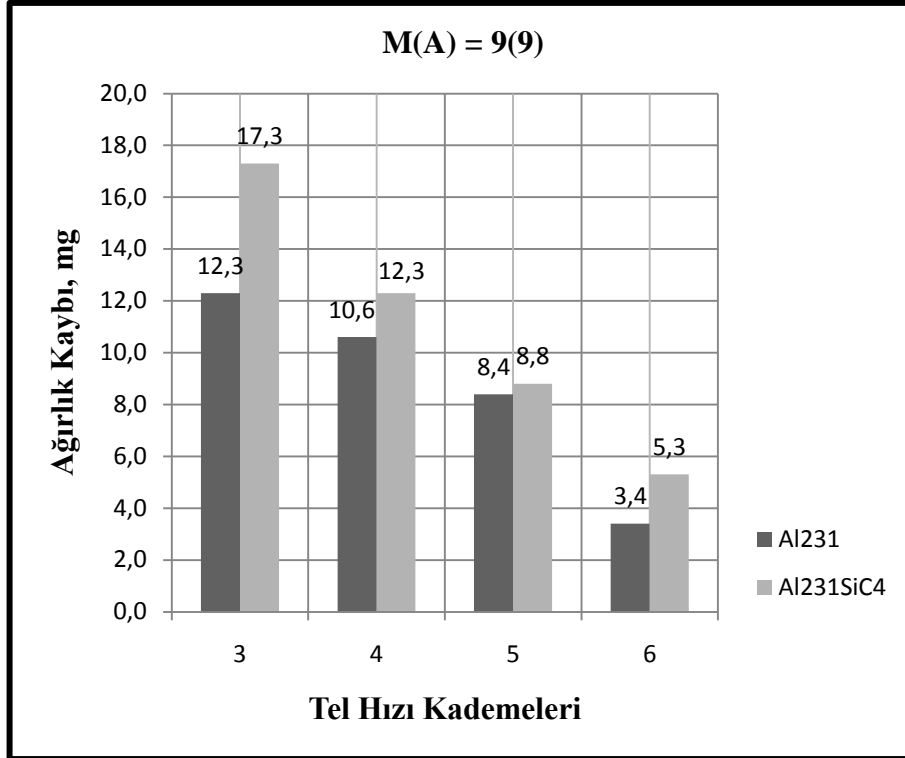
Şekil 6.48'deki grafik incelendiğinde M(A) parametresi 2(6) iken artan tel hızı kademelerinin her iki T/M malzeme için tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde olumlu düşümlere sebep olduğu tespit edilmiştir.

Her iki malzeme gurubunda en düşük tel elektrot ağırlık kayıplarının gerçekleştiği 6 kademesinde T/M malzemenin yapı özelliklerinin tel elektrot ağırlık kayıplarına % iyileşme miktarı açısından etkileri incelendiğinde Al231 T/M malzemesinin Al231SiC4 T/M malzemesine kıyasla % 10 oranında daha iyi bir tel elektrot ağırlık kaybı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu oran malzeme bünyesinde bulunan SiC'e bağlanmıştır.



Şekil 6.49. 2(9) değerinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde her iki malzeme için de tel hızları kademelerindeki artış tel elektrot ağırlık kayıpları üzerine olum etki olarak yansımıştır. En ideal parametre olan tel ilerleme hızı 6 kademesinde dahi iki malzeme arasındaki tel elektrot ağırlık kaybı farkı % 103 dolaylarındadır. Bu farkın oluşmasındaki etkenin Al231SiC4 malzemesinin yapısında bulunan SiC elementi olduğu öngörülmektedir. Bu grafik yüzey pürüzlülüğü değer grafiği ile birlikte incelenirse SiC elementinin yüzey pürüzlülüğünü olumlu tel elektrot ağırlık kaybı değerlerini ise olumsuz etkilediği görülmüştür.



Şekil 6.50. 9(9) değerinde WS kademelerine bağlı yüzey pürüzlülük grafiği

Grafik incelendiğinde M(A) parametresi 9(9) iken değişen tel hızlarının her iki T/M malzeme için tel elektrot ağırlık kayıpları üzerinde düşümlere sebep olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu T/M malzemeler için en uygun parametrenin 6 m/dk tel ilerleme hızı olduğu grafikten tespit edilen bir başka noktadır.

6.5.3.4. Puls Ara Süresi Ayar Parametresi Değişiminin Tel Elektrot Ağırlık Kaybı Üzerindeki Etkileri İle İlgili Genel Değerlendirme

Şekil 6.47 ile Şekil 6.50 arasındaki grafikler genel olarak incelendiğinde tel elektrot ağırlık kayıplarının benzer davranış sergilediği tespit edilmiştir. Bundan dolayı puls ara süresi ayar parametresinin Al231SiC4 ve Al231 T/M malzemeleri için tel ağırlık kaybını etkileyen genelleme yapılabilecek düzeyde bir unsur olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.17’de yüzey pürüzlülük değerleri bakımından değişen tel ilerleme hızı (WS) kademelerine karşılık en uygun puls ara süresi ayar parametreleri verilmiştir.

Çizelge 6.17 ile Çizelge 6.9 birlikte incelendiğinde hem minimum yüzey pürüzlülük değerleri hem de minimum tel elektrot ağırlık kayıpları açısından Al231SiC4 T/M malzemesi için en uygun parametrenin tel ilerleme hızı 6 kademesine karşılık 9(9) M(A) parametresi, Al231 malzemesi için ise tel ilerleme hızı 6 kademesine karşılık 2(9) M(A) parametresi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.17. Tel elektrot ağırlık kayıpları açısından WS değişimine bağlı en uygun M ve A parametreleri

		En Uygun M(A) Parametresi	
		Al231	Al231SiC4
WS	3	1(7)	2(9)
	4	2(6)	2(9)
	5	1(7)	2(9)
	6	2(9)	9(9)

6.6. MİKROSERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Numunelerin mikrosertlik değerleri Şekil 5.5'deki gibi noktalardan alınmıştır. Bu sayede kesilen yüzey sertliği ile malzemenin genel sertliği arasındaki farklar araştırılmıştır. Ancak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin mukayese edilebilir düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç numunelerin alüminyum esaslı olmasına ve alüminyumun ısı iletiminin yüksek olmasına bağlanmıştır. Bu incelemelerden örnek teşkil edecek iki malzemeye ait mikrosertlik değerleri Çizelge 6.18'de sunulmuştur.

Çizelge 6.18. Kesilen yüzey ile anayapı mikrosertlik değerleri

Al231SiC4			Al999		
Parametre	Ölçüm Bölgesi	Sertlik Değeri (HV)	Parametre	Ölçüm Bölgesi	Sertlik Değeri (HV)
WS: 5 / M(A): 1(7)	Orta	36,2	WS: 5 / M(A): 1(7)	Orta	42
	Kenar	37,9		Kenar	46,3
WS: 6 / M(A): 9(9)	Orta	37,9	WS: 5 / M(A): 9(9)	Orta	43,1
	Kenar	40,1		Kenar	43,4

BÖLÜM 7

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada T/M yöntemi ile beş farklı malzeme üretilmiş bu üretilen malzemeler daha sonra tel elektro erezyon tezgahında kesilmiştir. Elde edilen bu numunelere tel elektro erezyon tezgahında işleme deneylerinde, puls süresi (ON), puls ara süresi (OFF), yardımcı güç kaynağı devresi (HP), ana güç kaynağı maksimum akımı (IP), ana güç kaynağı voltajı (V), gerilim, dielektrik sıvı basıncı ve tel gerginliği (WT) sabit tutulmuştur. Her bir malzeme grubu için tel ilerleme hızı (WS) ile puls ara süresi ayarı (M ve A) değişken olarak tayin edilmiştir. Bu şekilde üretilen malzemelerin işlenebilirlik özellikleri her bir malzeme grubu için WS ve M(A) parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmış ve bazı öneriler sunulmuştur.

1. Elde edilen numunelerin tel elektro erezyon tezgahlarında yüzey pürüzlülüğü değerleri açısından en uygun işleme şartları [M(A) ve WS] aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 7.1. M(A) ve WS parametrelerine bağlı ideal işleme parametreleri

T/M Malzemeler	M(A) ve WS Açısından En Uygun İşleme Parametreleri									
	ON	OFF	IP	HP	M(A)	SV	V	SF	C	WS
Al999	3	17	17	1	2(6)	2	3	8	0	5
Al231	3	17	17	1	9(9)	2	3	8	0	6
Al231SiC4	3	17	17	1	2(9)	2	3	8	0	4
25Cu06Mg	3	17	17	1	1(7)	2	3	8	0	4
45Cu06Mg	3	17	17	1	2(6)	2	3	8	0	6

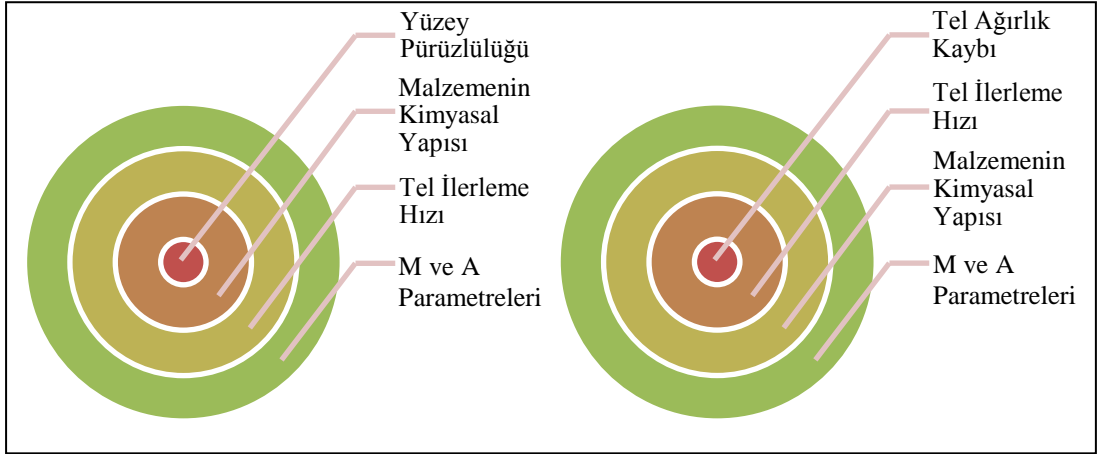
2. Deneyleerde kullandığımız T/M malzemelerin tel elektro erezyon tezgahlarında işlenebilmesi mümkündür. Tel kırılmaları gibi olumsuz sonuçlara doğrudan etki eden faktörler olan gerilim ve puls süresi parametreleri çalışmamızda sabit tutulmuştur. Sabit tutulan bu değerler, gerçekleştirilen kesimlerde hiç tel kopmasının yaşanmaması üzerine doğruluğu kanıtlanmış varsayılabilir.
3. Tel elektro erezyon yöntemi ile kesilen yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri diğer klasik imalat yöntemlerinden farklı olarak oldukça düşük elde edilmektedir. M(A) ve WS parametrelerine bağlı olarak ise yüzey pürüzlülük değerleri değişmektedir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri açısında M ve A parametrelerinin etkisi WS parametresinin etkisine nispeten daha düşüktür.
4. Tel elektro erezyon ile kesilen numunelerde işlem sonucunda, yüzeylerde sert tabakanın oluştuğu görülmüştür. Fakat mikrosertlik ölçümleri sonucunda yüzeydeki bu tabakanın sertliği, numunelerin kendi sertlikleriyle mukayese edilebilir düzeyde olmadığı görülmüştür. Bu sonuç numunelerin alüminyum esaslı olmasına ve alüminyumun ısı iletiminin yüksek olmasına bağlanmıştır. Literatür incelemesinden de Al esaslı malzemelerde bu tabakanın düşük boyutlarda oluştuğu diğer malzemelerde ise alüminyum esaslı malzemelere nispeten daha belirgin olduğu görülmüştür (Yan ve Lai, 2007; Haşçalık ve Çaydaş, 2004; Aspinwall, Soon, Berrisford ve Walder, 2008; Huang, Shih, Li ve Chang, 2006).
5. Kesme işlemi sonrasında numunelerden alınan mikroyapı fotoğraflarında bütün numunelerde belirli oranlarda çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çatlaklar plastik deformasyondan veya kesme işlemi esnasında oluşan çok yüksek ısıl gerilmelerin malzemenin çekme mukavemetini aşması sonucu kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte deneysel çalışmalar sonucunda bu çatlakların oluşmasında WS parametresinin M(A) parametresine nispeten daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Literatürde ise bu çatlakların, puls süresi ve gerime bağlı olarak arttığı tel ilerleme hızının ise nispeten daha az

etkili olduğu grlmŖtr (Griffiths, 1987; Chou ve Evans, 1997). Bu sonuç genel olarak yorumlanırsa kesilen numunelerin dinamik yükler altında alıŖması sorun teŖkil edecektir. Yorulma dayanımını dŖreceđi söylenebilir (aydaŖ ve HaŖalık, 2004). Bu açıdan kesme iŖlemi sonrasında bu kusuru gidermek açısından koruyucu iŖlemlerin yapılması gerekmektedir.

6. Kesme iŖlemi sonucunda çekilen mikroyapı fotoğraflarından, özellikle alaŖım elementi (Cu, Mg) içeren numune yüzeylerinde parçacık kopmalarının olduğu ve bu kopmalarında yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiŖtir.
7. Al999 malzemesi ile karŖılaŖtırıldıđında Al231 T/M malzeme yapısında bulunan ve yarı iletken olan Si elementinin yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıŖtır. Bu Ŗekilde Si elementi alüminyum malzemesinin elektrik iletkenliğini de dŖrmŖtr. Al231 ve Al999 malzemeleri için en ideal iŖleme parametreleri izelge 7.1’de sunulmuŖtur. Tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları açısından ise Al999 ve Al231 T/M malzemeleri için tel ilerleme hızı arttıca tel elektrot ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiŖtir. M(A) parametrelerindeki deđiŖim ise tel elektrot ağırlık kaybı üzerine etkisi tel ilerleme hızı deđiŖiminin etkisinden nispeten daha dŖktr. Al231 T/M malzemesini kesen tel elektrot daha fazla aŖınmıŖtır. Bu sonuç ıŖıđında tel elektrot ağırlık kayıpları açısından deđiŖken olarak tayin edilen parametreler önem sırasına göre sıralanırsa ilk sırayı WS, ikinci sırayı malzemenin kimyasal bileŖimi almaktadır. M ve A parametrelerinin etkisi ise bu iki deđiŖkene kıyasla daha dŖktr.
8. 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg T/M malzemelerinin yapısında bulunan Cu oranının artması, % 2,5 seviyelerine kadar yüzey pürüzlülük değerleri açısından Al999 T/M malzemesi ile önemli bir fark teŖkil etmediği sonucuna varılmıŖtır. Cu oranının % 2,5 oranından %4,5 oranına ulaŖmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinin de olumsuz yönde arttığı tespit edilmiŖtir. Bu sonuç kısmen Cu oranının artmasıyla malzeme yapısının olumsuz

etkilendiğine kısmen ise T/M malzeme yapısında yoğun bir şekilde olan porozitelere atfedilmiştir. Bu porozitelerin kesme bölgesine denk gelmesiyle birlikte yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Tel ilerleme hızı arttıkça tel elektrot ağırlık kayıplarının 25Cu06Mg ve 45Cu06Mg malzemeleri için olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Daha kesin bir ifade ile bu iki T/M malzemesi için tel ilerleme hızlarının artması tel elektrot ağırlık kayıplarının düşmesine sebep olmuştur. Artan tel hızı ile birlikte tel üzerindeki kraterlerin birim boyda daha geniş alana yayılacağından ağırlık kayıplarındaki düşüş mantıklı bulunmuştur.

9. Al₂SiC₄ malzemesinin yapısında bulunan SiC takviyesi yüzey pürüzlülük değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu malzeme için WS ve M(A) parametrelerine bağlı en ideal işleme şartları Çizelge 7.1’de sunulmuştur. Tel ilerleme hızı ve puls ara süresi ayar parametrelerindeki değişiminin Al₂SiC₄ malzemesinin yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır. Tel elektrotta meydana gelen ağırlık kayıpları açısından ise Al₂SiC malzemesini kesen tel elektrotta meydana gelen ağırlık kaybı Al₂SiC malzemesine nispeten daha büyük ölçüde gerçekleşmiştir. SiC takviyesi yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde olumlu tel elektrot ağırlık kayıpları açısından olumsuz sonuçlar doğurmuştur.
10. Bu çalışmadaki yüzey pürüzlülük değerleri ve tel elektrot ağırlık kayıplarını etkileyen değişkenler önem sırasına konulmuş hali Şekil 7.1’de sunulduğu gibidir.



Şekil 7.1. Yüzey pürüzlülüğü ve tel ağırlık kayıplarını etkileyen faktörler

Bu sonuçlara ilave olarak da ileriye dönük şu çalışmaların yapılması önerilebilir;

1. Farklı tel elektrot malzemeleri kullanılabilir.
2. T/M malzemeler dışında başka malzemeler de kullanılabilir.
3. Tel elektrot üzerindeki krater aşınmaları incelenebilir.
4. Dielektrik sıvı basıncının işlenebilirliğe etkisi araştırılabilir.

Bu çalışma sonunda, literatüre beş farklı T/M malzemenin M, A ve WS parametrelerine göre yüzey pürüzlülük ve tel elektrot ağırlık kaybı grafikleri kazandırılmıştır. İmlatçılar için ise tezgah kataloğunda bulunmayan klasik malzemeler dışındaki malzemelerin işlenebilirlik özellikleri kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Uygur, M. E., Toz metalurjisi: ekonomik bir üretim tekniği, *1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 477-484, Gazi Üniversitesi, Ankara (1996).
2. Poyrazoğlu, O., “Elektriksel kıvılcımla aşındırma metodu ile işleme : edm elektro erezyon tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı (TEKEV)Yayınları*, 7: Ankara (1994).
3. Hyo, S. L., Jae, S. Y., Soon, H. H., Duk, J. Y. and Kyung, H. N., “The fabrication process and mechanical properties of SiCp/Al-Si metal matrix composites for automobile air-conditioner compressor pistons”, *Journal of Materials Processing Technology*, 113: 202–208 (2001).
4. Kaya, G., “Mechanical properties of pm Al-SiC composites produced by conventional hot pressing method”, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 81, Ankara (1999).
5. Hiçyılmaz, N., “Toz metalurjisi yöntemi ile elde edilen seramik tanecik destekleyicili al esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 137, Ankara (1999).
6. Bolay, K., “A microstructural study of hot pressed pm aluminum copper and aluminum-copper-siliconcarbide composites”, M. Sc. Thesis, *METU*, Ankara, (1998).
7. Nai, S.M.L., “Gupta, M., “Influence of stirring on the synthesis of Al/SiC based functionally gradient materials”. *Composite Structures* 57, 227-233 (2002).
8. Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P. and Froyen, L., “Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced al matrix composites: a comparative study”. *Journal of Materials Processing Technology* 142(3): 738-743 (2003).
9. Türker, M., Özdemir, A. T., Ögel, B. ve Yavuz, A., “Al-SiC tozlarının mekanik alışılama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, Ankara, 425-431 (1999).
10. Sukumaran, K., Pillai, S. G. K., Pillai, R. M., Kelukutty, V. S., Pai, B. C., Satyanarayana K. G. and Ravikumar, K. K., “The Effects of Mg additions on the structure and properties of Al- 7Si-10SiCp composites”, *Journal of Materials Science*, 30: 1469-1472 (1995).

11. Abd El-Azim, A.N., Kassem, M.A., El-Baradie, Z.M. and Waly, M., "Structure and properties of short alumina fibre reinforced AlSi18CuNi produced by stir casting", *Materials Letters*, 56: 963–969 (2002).
12. Daoud, A., Abo-Elkhar, M., "Influence of Al₂O₃ or ZrO₂ particulate addition on the microstructure aspects of AlNi and AlSi alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 120: 296–302 (2002).
13. Kim W.J., Lee Y.S., Moon S.J. and Hong S.H., "High strain superplasticity in powder metallurgy aluminium alloy with relatively large particle size", *Materials Science And Technology*, 16: 675-680 (2000).
14. Peng, H.X., Fan, Z., Mudher, D.S. and Evans, J.R.G., "Microstructures and mechanical properties of engineered short fibre reinforced aluminium matrix composites", *Materials Science and Engineering*, A335: 207–216 (2002).
15. Felloni, L., Gatto, A., Ippolito, R. and Luliano, L., "Wed machinability of A %25 silicon carbide particle reinforced 6061/Al alloy composite", American Society of Mechanical Engineers, *Integrated Design and Manufacturing of Composites*, USA, 64: 79-85 (1994)
16. Blucher, J.T., Narusawa, U., Katsumata, M. and Nemeth, A., "Continuous manufacturing of fiber – reinforced metal matrix composite wires technology and product cahraacteristics", *Composite Part A*, 32: 1759–1766 (2001).
17. Venkatamaran, B., Sundararajan, G. and Correlation Between, " The characteristics of the mechanically mixed layer and wear behaviour of aluminium", Al-7075 Alloy And Al-Mmcs, *Wear*, 245: 22-38 (2000).
18. Bermudez, M.D., Martinez Nicolas, G., Carrion, F.J., Martinez-Mateo, I., Rodriguez, J.A. and Herrera, E.J., "Dry and lubricated wear resistance of mechanically- alloyed aluminium-base sintered composites", *Wear*, 248: 178-186 (2001).
19. Yilmaz, O., Buytoz, S., "Abrasive wear of Al₂O₃-reinforced aluminium-based MMCs". *Composites Science and Technology*, 61: 2381-2392 (2001).
20. Banerjee S., Prasad B.V.S.S.S. and Mishra P.K., " A simple model to estimate the thermal loads on an edm wire electrode", *Journal of Materials Processing Tezhnology*, 39: 305-317, (1993).
21. Tosun, N., Cogun, C. ve İnan, A., "The effect of cutting parameters on workpiece surface roughness in wire EDM" *Machining Science and Technology*, 7(2): 209-219 (2003).
22. Liao, Y.S., Huang, J.T. and Su, H.C., "A study on the machining parameters optimization of wire electrical discharge machining" *Journal of Materials Processing Technology* 71: 487-493 (1997).

23. Lau, W.S., Wang, M. and Lee, W.B., “Electrical discharge machining of carbon fiber composite materials”, *Hong Kong Politechnic*, Hong Kong, 44-49 (1989).
24. Tosun, N., Cogun, C. ve Tosun, G., “A study on kerf and material removal rate in wire electrical discharge machining based on taguchi method” *Journal of materials processing technology* 152: 316-322 (2004).
25. Haşçalık A., Çaydaş U., “Tel erezyon ile işlemede kesme parametrelerinin mikroyapı ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi” *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 3: (2003).
26. Haşçalık, A., Savaş, V., “CNC tel erozyon tezgahında d5 takım çeliği için kesme parametrelerinin araştırılması”, *Karabük Üniversitesi, Teknoloji Dergisi*, 3: 4 (2000).
27. Scott D., Boyina S. and Rajurkar K.P., “Analysis and optimization of parameter combination in wire electrical discharge machining”, *International Journal of Production Research*, 29 (11): 2189-2207 (1991).
28. Sanchez, J.A., Rodil, J.L., Herrero, A., Lopez de Lacalle, L.N. and Lamikiz, A., “ On the influence of cutting speed limitation on the accuracy of wire EDM corner cutting” *Journal of Materials Processing Technology* 182: 574- 579 (2007).
29. Özdemir, A., Türker, M., Karataş, Ç. ve Güllü, A. K., “MA 956 Süperalaşım Malzemesi İçin Tel Erozyonda İşleme Parametrelerinin Ön Tayini”, *Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi*, 4: 7-14 (2002).
30. Rajurkar, P., Wang, V.M., “Thermal modelling and on-line monitoring of wire EDM” *Journal of Materials Processing Technology*, 417-430 (1993).
31. Huang J.T., Liao Y.S. and Hsue W.J., “Determination of finish-cutting operation number and machining parameters setting in wire electrical discharge machining”, *Journal of Materials Processing Technology*, 87: 69-81 (1999).
32. Özek, C., Özel, C., “Tel erozyon tezgahında Ç8620 disli çeliginin kesilme davranışlarının araştırılması” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 5 (2): 47-42 (2003).
33. Tarn, Y.S.; Ma, S.C. and Chung, L.K., “Determination of optimal cutting parameters in wire electrical discharge machining” *International Journal Mach. Tolls Manuf.* 35: 1693-1701 (1995).
34. Haşçalık A., Çaydaş U., “Tel erezyon yönteminde işleme parametrelerinin alüminyum alaşımının yüzey yapısına etkisi” *Politeknik Dergisi*, 7 (1) : 31-36 (2004).

35. Konda, R., Rajurkar, K.P., Bishu, R.R., Guha, A. and Parsen, M., “Design of experiments to study and optimize process performance” *International Journal Quality Reliabl. Manage* 16: 56-71 (1999)
36. Hargrove, S.K., Ding, D., “Determining cutting parameters in wire EDM based on workpiece surface temperature distribution” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 295-299 (2007).
37. Aspinwall, D.K., Soon, S.L., Berrisford, A.E. and Walder, G., “Workpiece surface roughness and integrity after WEDM of Ti-6Al-4V and Inconel 718 using minimum damage generator technology”, *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, 57: 187-190 (2008).
38. Ay M., Aydoğdu D., “ Tel erezyonda kesme parametrelerinin parçanın boyut ölçüsüne etkilerinin deneysel incelenmesi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (3): 31-44 (2010)
39. ASM metals handbook,. *Powder Metallurgy and Applications*, ASM International, 7: 1145, USA (1998).
40. Karataş, Ç., Sarıtaş, S., Toz enjeksiyon kalıplama: bir ileri teknoloji imalat metodu, *Gazi Üniv., Müh-Mim. Dergisi*, 13 (2): 193-228 (1998).
41. German, R. M., “Powder metallurgy science”, *Metal Powder Industries Federation*, USA, (1994).
42. Roll, K. H., History of powder metallurgy, *Metals Handbook*, 7 (9): 14-20 Ohio (1984).
43. İnternet: (EPMA), <http://www.epma.com/>, Erişim Tarihi 20.10.2010
44. Sarıtaş, S., “Toz metalurjisi-bileşik gereçler-seramikler”, Makina Mühendisliği El Kitabı, *Makina Mühendisleri Odası Yayınları*, 1: 64-115 (1994).
45. Çiftçi, İ., “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2003).
46. Turan, H., “Gaz atomizasyonu ile metal tozu üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1993).
47. Akoral, E., “Toz metalurjisi yöntemi ile al-sic kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, (2003).
48. İnternet: (Türk Toz Metalurjisi Derneği), <http://www.turkishpm.org/>, Erişim Tarihi 05.10.2010

49. Başaran, A., “Toz metal parçalara ısıl ve mekanik yüzey işlemlerin birlikte uygulanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, (2007).
50. Karagöz, Ş., Zeren, M., “Elmaslı kesici takımların mikroyapısal dizaynı üzerine araştırmalar”, **1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı**, 459-463, Ankara, (1996).
51. Gurganus, T.B., “Aluminum powder applications”, **Advanced Materials and Processes**, 148 (2): 57-58 (1995).
52. Kurt, A., “Toz metal bronz yatak malzemelerinin özellikleri”, Y.Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (1992).
53. Schreiber, R. R., “Hot off the wire”, **Manufacturing Engineering**, 104 (6): 39-44 (1990)
54. Scott D., Boyina S. and Rajurkar K.P., “Analysis and optimization of parameter combination in wire electrical discharge machining”, **International Journal of Production Research**, 29 (11): 2189-2207 (1991).
55. Güllü, A., Poyrazoğlu, O., Gültaş, A., Şentürk, A., “Tel elektro erezyon ile işleme tekniği”, **Endüstriyel Teknoloji Dergisi**, 2 (1): 20-25 (1996).
56. Megeough, J.A., Rassuman H., “A macroscopic model of elektro discharge machining”, **Journal of Machine Tool Design And Research**, 22 (4): 333 (1982).
57. Özduur, Z., “Cnc tel erezyon tezgahında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, işleme hızı ve ölçü tamlığı etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (1999).
58. Benedict, G.F., “Non-traditional manufacturing processes”, **Marcel Dekker**, (1987).
59. Tosun, N., “Tel erezyon tezgahında tel aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün deneysel olarak incelenmesi ve modellenmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, (2001).
60. Özdemir, A., Şeker, U., “SODICK APT II A – Programlama el kitabı”, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, (1997).
61. SODICK “Fine Sodick Wire Cut-EDM Machine Tool”, 1:
62. Doğan, M., “Inconel 718 malzemesinin tel erozyon tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme performansına etkisinin deneysel analizi ve optimum parametrelerin tayini”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2010).

63. Spedding, T.A., Wang, Z.Q., “Parametric optimization and surface characterization of wire electrical discharge machining process” *Precision Engineering*, 20 (1): 5-15 (1997).
64. Drozda T.J., Wick C., *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*, 1: (1989).
65. Hsieh S.F., Chen S.L., Lin H.C., Lin M.H. and Chiou S.Y., “The machining characteristics and shape recovery ability of Ti–Ni–X ternary shape memory alloys using the wire electro-discharge machining” *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 509-514 (2009)
66. Yan M. and Lai Y., “Surface quality improvement of wire-EDM using a fine-finish power supply”, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 1686-1694, (2007).
67. Aspinwall, D.K., Soon, S.L., Berrisford, A.E. and Walder, G., “Workpiece surface roughness and integrity after WEDM of Ti-6Al-4V and Inconel 718 using minimum damage generator technology”, *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, 57: 187-190 (2008).
68. Huang C. A., Shih C. L., Li K.C. and Chang Y., “The surface alloying behavior of martensitic stainless steel cut with wire electrical discharge machine”, *Applied Surface Science*, 252: 2915-2926 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Emre YURTKURAN, 1986 yılında Kırıkkale’de hayata gözlerini açtı. İlköğrenimini Kırıkkale Battal Gazi İlköğretim okulunda, Ortaöğrenimini ise Kırıkkale Anadolu Meslek Lisesi CNC bölümünde tamamladı. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programına girmeye hak kazandı. 2009 yılında iyi pekiyi derece ile mezun oldu. Aynı yıl Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Konstrüksiyon ve İmalat alanında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde öğrenimine devam etmektedir. Yazar mesleki olarak CNC ve CAD/CAM Teknolojileri ile sosyal olarak ise kurucusu olduğu Makine ve Bilişim Teknolojileri Kulübü’nün Onursal Başkanlığını sürdürmektedir.

İletişim Bilgileri:

Adres : Kaletepe Mah. 976. Sok. No :14 Merkez / KIRIKKALE
E-ileti : yurtkuranemre@gmail.com