

**TİTANYUM-NİKEL ALAŞIMLI MALZEME
ÜRETİMİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Fatih Yasin ŞAHİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2012

ANKARA

Fatih Yasin ŞAHİN tarafından hazırlanan “TİTANYUM NİKEL ALAŞIMLI MALZEME ÜRETİMİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Nihat GEMALMAYAN.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Yusuf ŞAHİN.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Bedri TUÇ.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Yusuf ŞAHİN.....

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Muammer NALBANT

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Nihat GEMALMAYAN.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Osman Selim TÜRKBAŞ.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

31/10/2012

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatih Yasin ŞAHİN

**TİTANYUM-NİKEL ALAŞIMLI MALZEME
ÜRETİMİ VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fatih Yasin ŞAHİN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
EKİM 2012**

ÖZET

Şekil bellekli alaşımlar (ŞBA) birçok mühendislik ve tıp alanında fonksiyonel malzemeler olarak başarı ile kullanılmaktadır. Şekil bellekli alaşımların teknolojik önemi, şekil bellek özelliği ve süperelastik özellik göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Bu özellikler sıcaklık ve gerilmeye bağlı olarak martenzit ve ostenit fazlarında alaşımda kristal yapı değişimi ile oluşur. Bu yüzden bu alaşımlara intermetalik kompozit malzemeler de denilmektedir.

Bu çalışma üç aşamadan oluşmakta olup birinci aşamada klasik pim-on disk türü standart bir deney düzeneği yük hücresi kullanılmak suretiyle sürtünme kuvvetinin ölçülebilmesi amacıyla bilgisayar destekli hale getirilmiştir. İkinci aşamada saf Ti ve NiTi alaşımı malzemeler Toz Metalürjisi (TM) metoduyla üretilmiş, sertlik ve yoğunluk değerleri ölçülmüş ve mikroyapıları incelenmiştir. Son aşamada üretilen bu intermetalik malzemelerin farklı deney şartlarında kuru aşınma davranışları ve abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir.

İlk aşamada sürtünme katsayısının ölçülebilmesi için aşınma davranışlarının incelenmesinde kullanılan pim-on disk aşınma deney düzeneği revize edilmiş ve aşınma deney düzeneğine yük hücresi düzeneği tasarlanmış ve bilgisayar

destekli hale getirilmiştir. Aşınma deney düzeneğinde sürtünme katsayısının doğru olarak hesaplanabilmesi amacıyla sürtünme katsayısı bilinen PTFE ve MS70 malzemeler üzerinde aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş ve sürtünme kuvveti deneyler esnasında sürekli ölçülmüştür. Bu çalışmanın ikinci aşamasında, nikel-titanyum şekil bellekli alaşım üretmek maksadıyla, ticari saflıkta nikel ve titanyum tozları kullanılarak Ti_{100} ve $Ni_{52}Ti_{48}$, $Ni_{52}Ti_{48}$ alaşımları Toz Metalürjisi (TM) yöntemiyle imal edilmiştir. Alaşımlar, elementel toz karıştırma metoduyla homojen bir şekilde karıştırıp 650 MPa tek etkili sıkıştırma basıncı ile çelik kalıp içerisinde sıkıştırılmış ve argon koruyucu gaz ortamına sahip tüp fırında, 1100 °C' de beş saat süreyle sinterlenerek üretilmiştir. Üretilen numunelerin optik mikroskop aracılığı ile mikroyapı incelemeleri yanında sertlik değerleri, yoğunluk ve porosite ölçümü de yapılmıştır. Son aşamada revizyon işlemi tamamlanan pin-on disk türü aşınma deney düzeneğinde TM ile üretimi yapılan numunelerin farklı deney şartlarında kuru aşınma davranışları incelenmiş ve sürtünme katsayıları ölçülmüştür. Ayrıca numunelerin abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda; aşınma deney düzeneğinde tasarlanan yük hücresi sistemi araçlığıyla sürtünme kuvvetinin ve sürtünme katsayısının doğru bir şekilde ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Saf titanyuma nikel ilavesi ile sertlik miktarında artışlar meydana gelmiş olup Rockwell B sertlik değeri 59 HRB ölçülmüşken NiTi alaşımlarının sertlik değeri yaklaşık olarak 83 HRB olarak ölçülmüştür. Optik mikroskopla yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda daha küçük gözenek fakat daha fazla gözenek oluşumu saf Ti'da gözlemlenmiştir. Buna ilaveten, aşınma deneyleri sonucunda üretilen NiTi alaşımlarının matris malzemesi olan Saf Ti'ye göre daha az aşındığı gözlemlenmiştir. Adhesiv aşınma deneyleri sonucunda yükün artmasıyla birlikte hacimsel aşınma oranının da arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, saf Ti' nin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,37 iken NiTi alaşımlarının sürtünme katsayısı ise yaklaşık olarak 0,40 civarında ölçülmüştür. Bunun ötesinde, abrasiv aşınma deneyleri sonucunda ise uygulanan kuvvetin/yükün artması ve

elek boyutunun küçülmesiyle hacimsel aşınma miktarı artmıştır. Abrasive aşınma direnci bakımından da; saf Ti' nin NiTi alaşımlarına oranla daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir. Fakat Ni48Ti52 ve Ni52Ti48 alaşımının aşınma dirençleri bakımından birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.094
Anahtar Kelimeler : ŞBA, aşınma, sürtünme katsayısı, Ni-Ti, toz metalürjisi, soğuk presleme
Sayfa Sayısı : 103
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Nihat GEMALMAYAN
Prof.Dr. Yusuf ŞAHİN

**PRODUCTION OF TITANIUM-NICKEL ALLOY
MATERIAL AND INVESTIGATION OF THEIR WEAR BEHAVIOR
(M.Sc.Thesis)**

Fatih Yasin ŞAHİN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
OCTOBER 2012**

ABSTRACT

Shape memory alloys (SMA) are successfully used for their potential use as functional material in many engineering and medical applications. The technological importance of shape memory alloys is coming from their shape memory effect (SME) and superelastic (SE) capability. SME and SE capability are due to martensitic phase transformation, that is occurred by changing temperature and applied stress, so these alloys are called as intermetallic materials.

This study is consists of three phases. In the first stage, classical pin-on-disc type of a standard experimental setup using a load cell units has been made a computer-aided testing machine in order to measure the friction force for testing of any type of materials. In the second stage, pure Ti and NiTi alloy materials were produced by powder metallurgy (PM) method. Microstructures were examined by optical microscope. Hardness, density and porosity measurement were made. In the last stage, dry wear and abrasive wear behavior of these intermetallic materials were investigated under different experimental conditions.

In the first stage, to measure the friction coefficient of the wear behavior of the produced alloys, pin-on-disc wear test rig has been revised using a load cell unite and assembled with table type of computer. Thus, friction force would be able to be measured continuously during the experiments. In order to calculate the coefficient of friction correctly, wear tests were carried out on known coefficient friction of PTFE and MS70 materials. The second phase; Ti100, Ni52Ti48 and Ni52Ti48 SMAs were produced by PM method using commercial-purity nickel and titanium powders. The mixture of pre-alloyed and alloyed powders were uniaxially cold compacted using a cylindrical die of 6.5 mm diameter and 20 mm height at a pressure of 650 MPa using a single action press. The compacts were then sintered in a rapid heating pipe type of furnace under a control of Ar gas. By adjusting the auto-controlled power of the induction heat system, the mixed powders were sintered at 1100 °C for 5 hours. The heating rate was about 100 °C/h. Hardness, density, porosity and microstructure by means of optical microscopy were investigated. At the last stage, wear behavior and friction coefficients were measured through the modified pin-on-disc type wear testing machine, which is coupled with table computer. In addition, abrasive wear behavior of the pure Ti and SMAs were studied at various testing conditions.

The experimental results showed that the friction force measurements were able to be made correctly due to load cell unite and coupled with computer on the wear experimental set up when wear tests were carried out at any conditions. For example, friction coefficient of pure Ti was measured about 0.37 while friction coefficient was approximately 0.40 for the NiTi alloys, respectively. Optical microscope examination revealed that porosity distribution seemed to be more in pure Ti than that of NiTi alloy, but porosity size was slightly larger for NiTi alloy. It was found that hardness increased with adding Ni content to pure Ti matrix. Hardness of pure Ti and NiTi alloys were measured as 59 HRB and 83 HRB, respectively. The density also increased with Ni content for the base material. Moreover, the experimental results showed that volumetric wear rate of

pure Ti and NiTi alloys increased with increasing load, but there was big differences between the matrix and SMAs because of microstructure and hardness values under dry conditions. As for the case of abrasive wear when tested against SiC abrasive paper, wear behaviour of NiTi alloys was found to be much better than pure Ti in spite of the fact that hardness of Ni₄₈Ti₅₂ and Ni₅₂Ti₄₈ alloys was very close to each other. Furthermore, the volumetric wear rate increased with increasing the load, abrasive grain size and time. Among the parametres, abrasive size exerted a great effect on the wear, followed by the load, but the least effect was indicated by the abrasive time.

Science Code : 914.1.094
Key Words : SMA, wear, friction coefficient, Ni-Ti, powder metalurgy, cold pressing
Page Number : 103
Adviser : Ass.Prof. Nihat GEMALMAYAN
Prof. Yusuf ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında her konuda engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen ve destek sağlayan Hocam Yrd. Doç.Dr. Nihat GEMALMAYAN' ve Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca yardım ve desteklerini hiçbir şekilde esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Hasan Basri ULAŞ' a, Aras. Gör. Kerim Emre ÖKSÜZ' e, Aras. Gör. Semih AĞCA' ya ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve çok değerli arkadaşlarıma ve ayrıca çalışmalarım esnasında bana en büyük desteği veren EÜAŞ Afşin-Elbistan Linyitleri İşletme Müdürü Ahmet YALDIZ' a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine mali desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	x
İÇİNDEKİLER.....	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. TİTANYUM VE NİKEL-TİTANYUM ALAŞIMLARI.....	12
3.1. Titanyum Metalinin Temel Özellikleri.....	12
3.2. Nikel-Titanyum Alaşımaları.....	13
3.2.1. Şekil hafıza mekanizması.....	13
3.2.2. Nikel-Titanyum alaşım sisteminin faz diyagramı	17
3.2.3. Nikel-Titanyum esaslı şekil hafızalı alaşımının kristal yapısı	19
3.2.4. Ni-Ti şekil hafızalı alaşımların genel fiziksel ve mekanik özellikleri.	20
3.2.5. Nikel-Titanyum şekil bellekli alaşımların farklı sıcaklıklardaki gerilme birim şekil değiştirme diyagramları	21
3.3. Nikel-Titanyum Şekil Hafızalı Alaşımların Üretim Yöntemleri	21
3.3.1. Toz metalürjisi (sinterleme) ile üretimi	23
3.4. Nikel-Titanyum Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	25

Sayfa

4.SÜRTÜNME VE AŞINMA	28
4.1. Sürtünme.....	28
4.1.1. Kayma sürtünmesi.....	29
4.1.2. Yuvarlanma sürtünmesi.....	29
4.1.3. Kuru sürtünme.....	30
4.1.4. Sınır sürtünmesi	31
4.1.5. Sıvı sürtünmesi.....	31
4.1.6. Sürtünme kanunları	31
4.1.7. Sürtünme katsayısı	32
4.2. Aşınma.....	34
4.2.1. Aşınmayı etkileyen faktörler.....	35
4.2.2. Aşınma türleri	36
4.2.3. Aşınma deney yöntemleri	41
4.2.4. Aşınma deney cihazları	43
5. MEVCUT DENEY DÜZENEĞİ VE MODİFİKASYONU	46
5.1.Yük Hücresi ve Yazılım	47
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	50
6.1. Aşınma Deneyleri ve Aşınma Deney Düzeneginde Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi.....	50
6.2. MS70 Pirinci ve PTFE'nin Test Numunelerinin Hazırlanışı.....	53
6.3. NiTi Test Numunelerinin Hazırlanışı	54
6.3.1. Toz karışımlarının hazırlanması.....	54
6.3.2. Karıştırma işlemi sonrasında tozların preslenmesi.....	54

Sayfa

6.4. Titanyum-Nikel Alaşımli İntermetalik Malzemelerin Sinterlenmesi.....	55
6.5. Titanyum-Nikel Alaşımli İntermetalik Malzemelerin Karakterizasyonu.....	56
6.5.1. Yoğunluk ölçümleri ve porozite miktarlarının belirlenmesi.....	56
6.5.2. Numunelerin sertlik ölçümleri	57
6.5.3. Metalografik muayene	57
6.5.4. Numunelerin aşınma deneyleri	57
7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	58
7.1. MS70 Pirincinin ve PTFE'in Aşınma Davranışlarının İncelenmesi	58
7.1.1. MS70 pirincinin aşınma davranışlarının incelenmesi	58
7.1.2. PTFE'nin aşınma davranışlarının incelenmesi	60
7.2. Ni-Ti Numunelere Uygulanan Deneysel İşlemler Sonucunda Elde Edilen Deneysel Bulgular	64
7.2.1. Numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi	64
7.2.2. Numunelerin yoğunluklarının ve porozite oranlarının belirlenmesi ...	64
7.2.3. Metalografik muayene	66
7.2.4. Aşınma davranışlarının incelenmesi	68
8. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	86
EKLER.....	90
EK-1 Adhasiv aşınma deneylerine ait aşınma miktarları ve hacimsel aşınma oranları	91
EK-2 Abrasif aşınma deneylerine ait aşınma miktarları ve hacimsel aşınma oranları	92
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Titanyum elementinin mekanik özellikleri	12
Çizelge 3.2. Nikel-titanyum ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin özelliklerinin karşılaştırılması	20
Çizelge 6.1. İz çapları	51
Çizelge 6.2. Her bir iz çapı için moment alınarak hesaplanan katsayılar	53
Çizelge 7.1. Davim'in yapmış olduğu deneyler neticesinde elde ettiği sonuçlar	58
Çizelge 7.2. MS70 pirincinin sürtünme katsayısının kuvvet ve hıza göre değişimi..	59
Çizelge 7.3. Ünal H. ve arkadaşlarının yapmış oldukları deneyler sonucunda elde ettikleri sürtünme katsayısı ve kütle kaybı değerleri.....	61
Çizelge 7.4. PTFE'ye uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı ve kütle kaybı değerleri.....	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tek yönlü hafıza etkisi	14
Şekil 3.2. Çift yönlü hafıza etkisi	14
Şekil 3.3. Şekil dönüşüm gerilmelerinin oluşumu.....	15
Şekil 3.4. a) Kayma ile yerleşme, b) İkizlenme ile yerleşme.....	16
Şekil 3.5. Şekil bellekli alaşımlarda martenzitik faz dönüşümü	17
Şekil 3.6. Ni-Ti faz diyagramı.....	18
Şekil 3.7. %30-%65 arası nikel oranı bölgesi	18
Şekil 3.8. Martenzitik dönüşüm öncesi B2 (a) sonrası B19 (b) kristal yapısı	19
Şekil 3.9. Ni-Ti alaşımlarına uygulanan gerilmenin birim şekil değiştirme üzerine etkisi	21
Şekil 3.10. Toz metalürjisi ile parça üretim aşamaları.....	24
Şekil 3.11. Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların ortopedik kullanımı	26
Şekil 4.1. Birbirine temas eden cisimlerin kayma ve yuvarlanma hareketi.....	28
Şekil 4.2. Sıvı sürtünmesi.....	31
Şekil 4.3. Sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler	32
Şekil 4.4. Makara sisteminde sürtünme kuvvetinin ölçülmesi.....	33
Şekil 4.5. Eğimli yüzeyde sürtünme kuvvetinin ölçülmesi	34
Şekil 4.6. Görünen ve gerçek temas alanları	37
Şekil 4.7. Pürüzlü sert bir yüzey veya abrasif parçacıkların bir yüzeye yapışık olması	38
Şekil 4.8. Yüzeylerden en az birinden daha sert abrasif parçacıkların iki yüzey arasında sıkışması	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Yorulma aşınması oluşum mekanizması	39
Şekil 4.10. Kayma Aşınması İçin Kullanılan Geometrik Düzenler.....	41
Şekil 4.11. Deneş cihazlarında temas biçimleri	42
Şekil 4.12. Levha-kayış aşınma deney cihazı.....	44
Şekil 4.13. Dört top aşınma deney aparatı	45
Şekil 5.1. Aşınma deney cihazının revizyon işleşi öncesi şematik görünümü	46
Şekil 5.2. Wheatstone köprüsü	47
Şekil 6.1. Aşınma deney düzeneğinde taşıyıcı kol üzerine etkişen kuvvetlerin görünümü	52
Sekil 6.2. Silindirik toz metal blok parçaların preslenmesi	55
Şekil 7.1. 0,5 m/s ve 50 N yük altında MS70'in sürtünme katsayısı grafiğı	59
Şekil 7.2. 1 m/s hız ve 85 N yük altında MS70'in sürtünme katsayısı grafiğı.....	60
Şekil 7.3. 5 N yük altında PTFE'nin sürtünme katsayısı grafikleri.....	62
Şekil 7.4. Üretilen numunelerin sertlik değerleri	64
Şekil 7.5. Numunelerin teorik yoğunluk ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri ..	65
Şekil 7.6. Numunelerin porozite oranları.....	65
Şekil 7.7. Uygulanan kuvvetin hacimsel aşınma miktarına etkisi	69
Şekil 7.8. Titanyum numunenin 20 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi	70
Şekil 7.9. Titanyum numunenin 40 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi	71
Şekil 7.10. Titanyum numunenin 60 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi	71

Şekil	Sayfa
Şekil 7.11. Ti için ortalama sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimi ...	72
Şekil 7.12. Ni ₄₈ Ti ₅₂ alaşımı için 20 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi.....	72
Şekil 7.13. Ni ₄₈ Ti ₅₂ alaşımı için 40 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi.....	73
Şekil 7.14. Ni ₄₈ Ti ₅₂ alaşımı için 60 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi.....	73
Şekil 7.15. Ni ₄₈ Ti ₅₂ alaşımı için ortalama sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimi	74
Şekil 7.16. Ni ₅₂ Ti ₄₈ alaşımı için 20 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi.....	74
Şekil 7.17. Ni ₅₂ Ti ₄₈ alaşımı için 40 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi.....	75
Şekil 7.18. Ni ₅₂ Ti ₄₈ alaşımı için 60 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi.....	75
Şekil 7.19. Ni ₅₂ Ti ₄₈ için ortalama sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimi.....	76
Şekil 7.20. TM metoduyla üretilen Saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 45 sn boyunca yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları.....	77
Şekil 7.21. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 90 sn boyunca yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları.....	78
Şekil 7.22. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 120 sn boyunca yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları.....	78
Şekil 7.23. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 180 µm tane boyutuna sahip zımpara ile yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları	79
Şekil 7.24. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 70 µm tane boyutuna sahip zımpara ile yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları	80

Şekil	Sayfa
Şekil 7.25. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 20 µm tane boyutuna sahip zımpara ile yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları	80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Endodonti de kullanılan döner kök kanallı alet ve uygulaması	25
Resim 3.2. Ni-Ti diş teli uygulaması	26
Resim 3.3. Kemik dokusunda kullanılan nikel-titanyum bağlantı perçinleri.....	27
Resim 3.4. Medikal uygulamalarda kullanılan kateterler için süperelastik kılavuz tel	27
Resim 5.1. Aşınma deney düzeneğine montajlanan 20kg kapasiteli yük hücresi	48
Resim 5.2. Aşınma deney düzeneği.....	48
Resim 5.4. Bir aşınma deneyi esnasında bilgisayarda okunan kuvvet değerlerini gösteren programın görüntüsü.....	49
Resim 5.6. Aşınma deney düzeneğinin revizyon işlemi sonrası görüntüsü.	49
Resim 6.1. Aşınma deneylerinde kullanılmış bir disk	53
Resim 7.1. Titanyum numunelerin optik mikroskop görüntüsü	66
Resim 7.2. Ni ₄₈ Ti ₅₂ 'nin optik mikroskop görüntüsü	67
Resim 7.3. Ni ₅₂ Ti ₄₈ 'nin optik mikroskop görüntüsü	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Af	Östenit dönüşüm bitiş sıcaklığı
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Ar	Argon
As	Östenit dönüşüm başlangıç sıcaklığı
Au	Altın
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
Mf	Martenzit dönüşüm bitiş sıcaklığı
Mn	Mangan
Ms	Martenzit dönüşüm başlangıç sıcaklığı
N₂	Azot
Ni	Nikel
Si	Silisyum
Sn	Kalay
T	Sıcaklık
Ti	Titanyum
TiH	Titanyum hidrür
TiO₂	Titanyum oksit
Zn	Çinko

Kısaltmalar**ÇYD****G.Ü.T.F****PTFE****ŞHA****ŞMA****TYD****T/M****Açıklama**

Çift yönlü şekil değişimi

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakóltesi

Politetrafloretillen

Şekil hafızalı alaşım

Shape Memory Alloy

Tek yönlü şekil değişimi

Toz metalurjisi

1.GİRİŞ

Günümüzde şekil bellekli alaşımlar tıp alanı (ortodontik diş telleri, endodontik uygulamalarda kullanılan aletler, damar tıkanıklıklarının ameliyatsız tedavisinde kullanılan stentler, ortopedik bağlantı elemanları), uzay araçları, sönümlenme elemanları, elektrik bağlantıları ve ince film uygulamaları, robot ve hareketlendirici teknolojisi, mikro-elektro-mekanik sistemler gibi çok geniş uygulama alanları bulmuştur. Şekil bellekli alaşımlar arasında NiTi alaşımları özel tersinir martensitik dönüşümü sayesinde iyi bilinen şekil bellekli alaşımlar arasında yerini almıştır [Xu YZ., 2000]. Son yıllarda yapılan çalışmalar bu alaşımın şekil bellek özelliğinin iyi olmasının yanı sıra aşınma direncinin de iyi olduğunu ortaya koymuştur [Li DY., 2000]. Ayrıca diğer ticari malzemelerle kıyaslandıklarında TiNi alaşımları sınırlı süneklik miktarı ve kötü işlenebilirlik özelliği gösterirler [Bertheville, 2005].

Ti gibi pahalı ve geniş alaşım sistemlerinin malzeme kaybı olmaksızın imal edilebilmesi ve standartlara uygun kimyasal kompozisyona sahip tozlardan “Toz Metalürjisi Yöntemi” kullanılarak imalat maliyetlerin düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle, bu alandaki çoğu bilimsel araştırma toz metalürjisi yönteminin Ti esaslı implant imalatında kullanılabilirliği üzerine yoğunlaşmaktadır. Toz metalürjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalürjisini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır [Ttmd, 2012]. Uzun zamandır TM teknolojisi, demir, bakır ve nikel esaslı malzemelerin sıklıkla kullanıldığı bir sektör iken, bugün Titanyum (Ti), Tantalum (Ta), Vanadyum (V) gibi değişik metal tozların üretilebildiği ve bu tozlardan da endüstriyel parça üretilebilir bir sektör haline

gelmiştir. Titanyum döküm-ingot metalürjisinde oluşan malzeme hataları (gözenek, lunke vs), işleme zorlukları ve alaşımlandırma limitleri uzay-uçak, deniz altı ve biyomalzeme gibi özel malzeme teknolojisindeki uygulamalarda bazen yetersiz kalmaktadır. İkincil operasyona ihtiyaç olmadan parça imal etme imkânını veren ileri toz metal teknolojileri, TM tekniğinin endüstriyel kullanım yelpazesini genişletmiştir. Araştırmalar neticesinde konvansiyonel TM tekniği ile imal edilen yapısal parçalarda oluşan istenmeyen gözenekler mümkün olduğu kadar ortadan kaldırılması için toz enjeksiyon kalıplama (TEK), metal enjeksiyon kalıplama (MEK), lazer sinterleme sistemi (LSS), sıcak-soğuk izostatik sıkıştırma (SIP) ve metal matris kompozit (MMK) gibi ileri toz metal teknolojilerinin kullanılması önerilmektedir (Imap, 2006; Morgan, 2006). Bu sayede, uzay sektörüne Ti gibi pahalı tozlardan malzeme israfı olmadan yapısal parça imalatının gerçekleştirilmesi ve kemikle uyumlu, istenilen kemik yapısına uygun mekanik ve fiziksel özelliklere (gözenekli veya yoğun yapı) sahip implantların imal edilebilmesi için, Ti toz metalürjisini vazgeçilmez hale getirmiştir [Epma, 2011].

Bu çalışmada; ilk olarak saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının sürtünme kuvvetinin / katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla klasik bir pim-disk türü aşınma deney düzeneğine yük hücresi sistemi tasarlanmış ve tasarlanan sistem elemanları aşınma deney düzeneğine montajlanarak, deney düzeneği revize edilmiştir. Bununla beraber, sistem bilgisayar ile de bütünleştirilerek sürtünme ve aşınma deneyi sırasında sürtünme kuvvetinin ölçülmesine imkan sağlanmıştır. Daha sonra sistemin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığını gözlemlemek amacıyla ticari saflıktaki PTFE ve MS70 pirinç malzemelerinin aşınma testleri gerçekleştirilmiş ve sürtünme katsayıları ölçülmüştür. Buna ilaveten saf Ti, Ni₄₈Ti₅₂ ve Ni₅₂Ti₄₈ alaşımlarının TM yöntemiyle üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzemelerin sinterleme sonrası yoğunluk, sertlik ve mikroyapıları incelenmiştir. Ayrıca, üretilen bu malzemelerin aşınma davranışları, modifiye edilen pim-disk türü deney cihazında hem adhesiv (metal-metal) hem de abrasive (metal-SiC abrasive paper) deneyleri kuru ortamda ve farklı deney şartlarında araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Burada; Aşınma deney düzeneğinin revize edilmesi amacıyla referans olarak kullanılan ve saf Ti ve intermetalik NiTi alaşımlarının üretimi mekanik özellikleri ve aşınma davranışları konusunda yapılan çalışmalar ve bunların sonuçları özet halinde sunulmuştur.

Bor ve Aydoğmuş (2010) yapmış oldukları çalışmalarda TiNi alaşımı üretimi ve karakterizasyonun belirlenmesi yönünde deneyler yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda %21-%26 oranında poroziteye sahip Ti-Ni alaşımı (%50.6 Ti-%49.4 Ni) toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş ve üretim esnasında ortalama 21 µm boyutlarında Ti-Ni tozları kullanılmıştır. Malzemeyi köpürtmek amacıyla karıştırma esnasında Ti-Ni tozlarına ilave olarak 250-600 µm toz boyutuna sahip magnezyum tozları karışıma eklenmek suretiyle tozlar bir süre karıştırıldıktan sonra elde edilen toz karışımı 779 MPa basınç altında oda sıcaklığında preslenmiştir. Presleme işlemini takriben elde edilen numuneler 1100 °C de Ar gazı atmosferinde 1 saat süreyle sinterleme işlemine tabii tutulduktan sonra numuneler 60-75 °C/dk hızla Ar gazı atmosferi altında soğutulmuşlardır. Hazırlanan numunelerin bir kısmı 400 °C 1 saat süreyle yaşlandırma işlemine tabii tutulmuştur. sinterleme işlemi sonrasında numunelerde Mf ve Ms sıcaklıklarının ve Af ve As sıcaklıklarının yükseldiği gözlemlenmiş ve bu sıcaklıkların yaşlandırma işlemi sonrasında daha da yükseldiği tespit edilmiştir. Vücutta kemik yerine kullanılmak amacıyla üretilen bu parçalarda gözeneklerin çok küçük olmasından ötürü vücutla uyum sağlayamayacağı anlaşılmış ancak bu malzemenin filtreleme işlemlerinde kullanılabileceği öngörülmüştür.

Cheng ve arkadaşları (2007) yapmış oldukları çalışmalarda ağırlıkça Ni_{50,6}Ti_{49,4} alaşımının aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çubuk şeklinde piyasadan temin edilen alaşım 1223 K'e kadar ısıtılıp çekme işlemine tabii tutulduktan sonra kesilerek 10x10mm blok halinde numuneler elde edilmiştir. Kesilen numunelerin bir kısmı 773 K' de iki saat süreyle sinterlenmiştir. Elde edilen bu numunelerin sertlik değerleri ölçülmüş ve sırasıyla 161 HV ve 178 HV olarak ölçülmüştür. Hazırlanan bu numuneler 0,42 m/sn, hız 50 N ve 250 N yük ve 3 km kayma mesafesinde aşınma

deneylerine tabii tutulmuşlardır. Yapılan deneyler sonucunda yaşlandırma işlemine tabii tutulan numunelerin diğer numunelere oranla daha az aşındığı tespit edilmiştir. Ayrıca yaşlandırma ısıl işleminin NiTi alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Kaya ve arkadaşları (2008) TM yöntemi ile üretilen Ni-Ti alaşımında gözenek oranının basma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Farklı gözenek oranlarına sahip TiNi alaşımları implant malzemesi olarak kullanılmak amacıyla toz metalürjisi yöntemlerinden kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (SHS self-propagating high temperature synthesis) yöntemi ile üretilmiştir. Malzemenin üretiminde Ni-%49.5, Ti atomik orandaki tozları 24 saat süreyle karıştırılmış ve farklı basınçlarda (50, 100, 200 MPa) preslenmiş ve preslenen ham gözenekli malzemeler soygaz atmosferinde 200 °C'de ön ısıtmaya tabii tutulduktan sonra yüksek voltajla tutuşturularak farklı gözenek şekillerine ve oranlarına sahip açık ve kapalı gözeneklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca presleme basıncının artırılmasıyla gözenek oranının azaldığı ve basma dayanımının arttığı belirlenmiştir.

Seung- Baik Kong ve arkadaşları (2002) gözenekli yapıdaki TiNi alaşımlarının kemik yerine kullanılması ve kemiğin TiNi alaşımı içerisindeki ilerlemesini yaptıkları çalışmalarla incelemişlerdir. Bu çalışmada kullanılmak üzere 30 adet blok halinde 5mmx5mmx7mm boyutlarında TiNi SMA (Shape Memory Alloy) implantlar hazırlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan TiNi alaşımlı gözenekli malzemede gözeneklerin boyut $323\pm 89\mu\text{m}$ civarında tutulmuş olup porozite oranı ise $55.3\pm 6.7\mu\text{m}$ aralığında tutulmuştur. Bu çalışma için bilim adamları 50 adet beyaz yenzellanda tavşanı üzerinde çeşitli deneyler yapmışlardır. Yapılan deneylerde tavşanların vücutlarına implantlar yerleştirilmiş ve yerleştirilen implantlar belirli sürelerde gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde implantlarda istenmeyen herhangi bir reaksiyon gözlenmemiş ve altı hafta sonunda kemik dokuları arasına yerleştirilen implantlarda gözeneklerin 78.3 ± 9.7 civarında kemik dokusu tarafından doldurulduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma TiNi alaşımlarının vücutla ne kadar mükemmel uyum sağladığını göstermektedir.

Gunderov ve arkadaşlarının (2009) yapmış oldukları çalışmalarda YBB (Yüksek Basınç Burulması) yöntemiyle elde ettikleri $Ti_{50,2}Ni_{49,8}$ ve $Ti_{49,4}Ni_{50,6}$ alaşımlarına yaşlandırma işlemi uygulanmış ve bu alaşımlarda yaşlandırma sonucu meydana gelen yapısal değişiklikleri ve özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. YBB ile üretilen TiNi alaşımlarına farklı sıcaklık ve zaman periyotlarında ısıl işlemler uygulanmıştır. $Ti_{49,4}Ni_{50,6}$ alaşımına uygulanan ısıl işlem neticesinde tane boyutunun 30-50 nm aralığında olduğu gözlemlenmiştir. $Ti_{50,2}Ni_{49,8}$ alaşımına 400 °C’de bir saat boyunca uygulanan ısıl işlem neticesinde daha büyük olduğu ve yaklaşık 150nm civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Zel’davich ve arkadaşlarının (1997) yapmış oldukları çalışmalarda TiNi alaşımlarına Ti_3Ni_4 çökeltisinin martenzit dönüşümüne etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmalarda TiNi alaşımının izotermal yaşlandırılması sonrasında termoelastik martenzitik dönüşümler $Ti_{49}Ni_{51}$ ve $Ti_{48}Ni_{52}$ için geçirimli elektron mikroskobu ve dilatometry vasıtasıyla incelenmiştir. TiNi içerisinde yer alan farklı boyutlara sahip Ti_3Ni_4 çökeltilerinin martenzit çekirdeklenmesini ve martenzit dönüşüm sıcaklığını ve tane dizilimlerini etkilediği gözlemlenmiştir. Alaşım içerisindeki nikel oranının yüksek olması ve ısıl işlem sıcaklığının doğru seçilmemesi neticesinde TiNi alaşımında Ti_3Ni_4 çökeltilerinin oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Yuan ve arkadaşları (2004) elementel Ni ve Ti tozlarıyla Sıcak İzostatik Presleme (SİP) metodunu kullanarak gözenekli yapıya sahip NiTi esaslı şekil hafızalı alaşım üretmişlerdir. Üretilen alaşımda uniform dağılımlı boşluklar gözlemlenmiş ve yapı içerisinde oluşan küresel boşlukların büyüklüğü de yaklaşık 50-200 µm arasında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca üretilen numuneler izotropik bir yapı sergilemiştir. Bu gözenekli yapıya sahip NiTi alaşımlı malzemelerin farklı yaşlandırma şartlarında; mikroyapı, martenzitik dönüşüm ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda faz dönüşüm davranışlarının Ni’ce zengin NiTi alaşımlarına benzer olduğu ortaya çıkmıştır. Bu şekil hafızalı alaşım hemen tam süper-elastiklik davranış sergilemiştir.

Imbeni ve arkadaşları (2003) TiNi şekil hafızalı alaşımların aşınma davranışlarını mikro düzeyde incelemiştir. Yaptıkları araştırmalarda TiNi alaşımının diğer SMA' lardan çok daha iyi şekil değiştirme kabiliyetine sahip olduğunu ve süperelastik davranışlarının benzersiz olduğu sonucuna varmışlardır. Mikro boyuttaki aşınmaları farklı ticari aşındırıcılara karşı (silikon karbür, alümina, cam gibi) olan davranışlarını incelemek amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda esas amaç laser cut cardiovascular stentlerde iç yüzeylerde meydana gelen aşınmaların incelenmesidir. Yapılan çalışmalarda 50 µm Al₂O₃ , 17,5 µm Al₂O₃ , 50 µm kırılmış cam, 20 µm SiC tane boyutlarına sahip aşındırıcı disklerde ıslak zeminde aşınma deneyleri yapılmış ve aşındırma işlemi esnasında 0,05 N'luk yük uygulanmıştır. Bu çalışmalarının sonucunda aşındırıcı disklerdeki malzemelerin tane boyutlarının farklı olması ve malzeme farklılıklarının aşınmayı artırdığı veya azalttığı anlaşılmıştır.

Xianhua ve arkadaşları (2007) yapmış oldukları çalışmalarda çubuk halinde piyasadan temin ettikleri Ni_{50,6}Ti_{49,4} alaşımını sıcak ekstrüzyonla istenilen boyutlara kadar getirdikten sonra numuneleri istenilen boyutlarda kestikten sonra numunelerin bir kısmına tavlama ısıl işlemi uygulamışlardır. Tavlama ısıl işlemi 773 K' de iki saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yapılan sertlik ölçümleri sonrasında tavlama ısıl işlemi uygulanan numunelerin sertlik değerleri 178HV(yaklaşık olarak 85 HRB) olarak ölçülürken diğer numunelerin sertlik değerleri 161 HV (yaklaşık olarak 81 HRB) olarak ölçülmüş ve sertlik değerlerinde artışlar meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Aşınma deneyleri sonucunda tavlama ısıl işlemine tabii tutulan numunelerin diğer numunelerden daha az aşındığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak tavlama ısıl işlemine sonucunda TiNi alaşımının daha az aşındığı ve mekanik özelliklerinin iyileştirildiği tespit edilmiştir.

Zhang ve arkadaşları (2009) süperelastik özelliğe sahip iki farklı NiTi alaşımının ve Ti ve Ni'nin aşınma davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmalarda piyasadan temin edilen 50x50x3 mm boyutlarındaki NiTi-10 ve NiTi-25 alaşımları kullanılmıştır. Aşınma deneyleri ball-on disk türü bir aşınma deney düzeneğinde 92

HRA sertliğe sahip tungsten karbür bir yüzeyde gerçekleştirilmiştir. 10N 20N ve 40N yükler altında ve 40, 50, 60 m/dak hız koşullarında yapılan aşınma deneyleri sonucunda en fazla hacimsel aşınma oranının sırasıyla Ti ve Ni daha sonra ise NiTi alaşımlarında meydana geldiğini tespit gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler neticesinde en yüksek sürtünme katsayısının Ni'de meydana geldiğini ve yaklaşık olarak 0,69 civarında olduğunu gözlemlenmiştir. Ti'nin sürtünme katsayısı 0,38 civarında ölçülürken NiTi-10'un sürtünme katsayısını 0,58 NiTi-25'in ise 0,53 civarında olduğunu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Ti ve Ni'nin NiTi alaşımlarına oranla daha fazla aşındığını ancak NiTi alaşımlarının aşınma oranları arasında çok fazla bir fark olmadığını gözlemlenmiştir.

Lin ve arkadaşları (2000) yapmış oldukları çalışmalarda konvensiyonel tungsten arc ergitme tekniğini kullanmak suretiyle Ni₅₀Ti₅₀ ve Ni₄₉Ti₅₁ alaşımlarını aşınma davranışlarını ve mekanik özelliklerini incelemek amacıyla üretmişlerdir. Yapılan çalışmada 1050 °C'de 24 saat sürede üretilen alaşımlar 800 °C'de 30 dakika boyunca bekletilmişlerdir. Üretilen numunelerin sertlik değerleri oda sıcaklığında ölçülmüş ve Ni₅₀Ti₅₀ alaşımının mikro sertlik değeri 200 HV olarak ölçülürken Ni₅₁Ti₄₉ alaşımının sertlik değeri 320 HV olarak ölçülmüştür. Farklı yükler altında, farklı hızlarda ve farklı kayma mesafelerinde gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Ni₅₁Ti₄₉ alaşımının Ni₅₀Ti₅₀ alaşımına göre daha az aşındığı tespit edilmiş ve mekanik özelliklerinin de daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dört ana mekanizmanın, adhezyon, abrasyon, yüzey pürüzlülüğü ve sertliğin aşınma üzerine etki eden en önemli parametreler olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda aşınma üzerinde metalurjik özelliklerin, yükün, kayma mesafesinin ve hızın aşınma NiTi alaşımlarının aşınması üzerinde belirgin özellikleri olduğunu gözlemlenmiştir.

Sabancı ve arkadaşları (2005) yapay kas kullanarak örümcek robot üretmişler ve Ti-Ni alaşımının yapay kas olarak kullanılabilirliği üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada, şekil bellekli bir alaşım olan nitinolün robotik alanda uygulamasına bir örnek verilmiştir. Nitinol teller, yapay kas olarak kullanılmış ve bir örümcek robot prototipi gerçekleştirilmiştir. Günümüz teknolojilerinde kullanımı yaygınlaşan,

çevreyi kirletmeyen, sessiz çalışan, ekonomik olan ve kontrolü kolay olan nitinol teller kullanılarak bir örümceğin hareketi sınırlı ölçülerde simüle edilmiştir. Oluşturulan sisteme çeşitli testler uygulanarak performansı incelenmiştir. Gerçekleştirilen sistemde kas olarak yer alan nitinol tellerin kontrolü için PIC16F877 mikro kontrolörü kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda bacaklarına verilen hareket motorla sağlanan klasik tip örümcek robotlara oranla daha küçük ve daha sessiz çalışan bir örümcek robot tasarlanmış ve üretilmişlerdir. Gerçekleştirilen robot örümceğin kaslarını oluşturan nitinolün değişik çekme ve bırakma süreleri için robotun hızındaki değişim incelenmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda örümcek robotun performansının en iyi olduğu değerler belirlenmiştir.

Li ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmalarda yüksek porozite oranına sahip TiNi alaşımını titanyum hidrit kullanarak üretmişleridir. Gözenekli yapıya sahip TiNi alaşımları $TiH_{1.5}$ kullanılarak düşük basınçta sinterleme (LPS-Low Pressure Sintering) işlemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir. Üretilen gözenekli malzeme %45 poroziteye sahip olmakla birlikte gözeneklerin boyutu 200-300 μm aralığındadır. Bu yöntemle üretilen malzemelerde konvansiyonel sinterlemeye oranla iyi süperelastisite ve çok iyi mekanik özellikler sergilediği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan toz boyutları Ti ve Ni için 50 μm seçilmiştir. Köpürtme amaçlı kullanılan $TiH_{1.5}$ %30 oranında kullanılmış olup toz boyutu 50 μm seçilmiştir. Tozlar dört saat boyunca 150 rpm hızla karıştırıldıktan sonra hidrolik preste farklı basınçlarda preslenmiştir. Presten çıkan numuneler 5 MP Ar gazı atmosferinde 1050 °C de 3 saat boyunca sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerden bazıları 450 °C'de 30 dakika yaşlandırma işlemine tabii tutulduktan sonra buzlu suda soğutma işlemine tabii tutulmuşlardır. Bu işlemler sonrasında üretilen malzemelere uygulanan deneyler sonucunda termomekanik dönüşümler sonrasında malzemelerin mekanik özelliklerin çok iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Liu ve arkadaşları (1999) yapmış oldukları çalışmalarda $Ti_{51}Ni_{49}$ alaşımına TiC ilavesi TiC takviyeli TiNi kompozit malzeme üreterek üretilen numunelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. 45 μm tane boyutuna sahip ticari saflıktaki Ti, Ni ve

TiC tozları farklı oranlarda iki saat süreyle karıştırıldıktan sonra 787 Mpa basınç altında preslenmişlerdir. Preslenen numuneler 900 ila 1500⁰C arasında farklı sıcaklıklarda 6 saat süreyle sinterlendikten sonra üretilen numuneler 50 N, 133 N ve 167 N yükler altında 1m/sn hız koşullarında ve 600 m mesafede aşınma deneylerine tabii tutulmuşlardır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde TiC ilavesi ile NiTi alaşımının sertliğinin arttığı ve aşınma davranışlarında belirgin iyileşmeler meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Kaya ve arkadaşları (2009) TM ile implant malzeme olarak üretilen Ti-Ni şekil hatırlatmalı alaşımın aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda farklı gözenekli Ni-Ti SHA -325 mesh büyüklüğünde Ni(%99,5) ve Ti (%99,8) tozları kullanılarak Ni-49%Ti atomik oranında üretilmiştir. Üretim hazırlanan bir fırın içerisinde soygaz gaz ortamında farklı ön ısıtma sıcaklıklarında kendi ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi (YSS) ile gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen numunelerin mikroyapısı optik mikroskobu ile incelenmiş numunelerin yüzeyi, mikro yapıdaki fazların incelenmesi için parlatıldıktan sonra 10%HF, 5%HNO₃ ve su karışımından oluşan dağlayıcı ile dağlanmıştır. Numunelerin sertliğini belirlemek için her numunenin 5 farklı bölgesinde 10 saniye süreyle 200 g yük altında mikrosertlik ölçümleri alındı. Aşınma testleri disk üzerine pim tipi aşınma aparatı kullanılarak yapıldı. Abrasiv aşınma testi 80 mesh'lik SiC zımparayla 44.3 mm çapında bir yüzeyde 0.13 m/s kayma hızı ile 20 m kayma mesafesinde yapılmıştır. Aşınma süresi boyunca 10 N'luk yük kullanılmış aşınma yüzeyleri optik mikroskobu ile incelenmiştir ve aşınma sonucu kütle kaybı 0.001 mg duyarlılığında kütle ölçüm aleti kullanılarak ölçülmüştür. Bu çalışmada kullanılan numunelerin gözenek oranları 100, 200 ve 300 °C'de sentezlenen numuneler için sırasıyla %57.9, 55.3 ve 54.3 olarak belirlenmiştir. Numunelerin gözenek oranları ham yoğunluğa ve ön ısıtma sıcaklığına göre değiştiği belirtilmiştir. Farklı bölgesinde alınan mikro sertlik ölçümlerinin ortalaması farklı gözenekli numuneler için sırasıyla; 313.4, 308.7 ve 315.5 HV olarak belirlenmiştir. Yani numunelerin sertliği gözenek oranı ile önemsenmeyecek şekilde değişmediği tespit edilmiştir.

Paula ve arkadaşları (2008) Titanyumca zengin olan NiTi alaşımının termomekaniksel davranışlarını incelenmiştir. Bu çalışmada özellikle soğuk-haddelemenin etkisi (%10-%40 kalınlık azalması), ve tavlamanın etkisini incelenmiştir. Bu amaç için, bir grup numuneler 773 °K ısıtılma tabii tutulmuş, bunun akabinde haddeleme işlemine maruz kalınmıştır. Daha sonra da, 673-1073 °K arasında sıcaklıklarda ısıtılma uygulanmıştır. Diğer grup ise 1040 °K de 3 saat tutulduktan sonra hava da 773 °K'e kadar soğutulmuş sonrasında sıcak haddeleme (%50) ve oda sıcaklığında suda sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Faz dönüşümleri; DSC, XRD ve elektriksel direnç ölçümü ile yapılmıştır. 773 °K yapılan ısıtılma çok aşamalı faz dönüşümünü sağlamıştır (Soğutmada (B2-R), ısıtmada(B2-B19; R-B19). ısıtılma sıcaklığı 673-1073 °K sıcaklıkları da faz dönüşümünü etkilediğinden dolayı Ti' ce zengin olan NiTi alaşımı oluşmuştur (%10-40).

Özyürek (2002) MA yöntemiyle titanyum bazlı metal matris kompozit malzemelerin üretimi ve karakterizasyonunu incelemiştir. TM yöntemleriyle üretilen metal tozları szegvari atritör tipi mekanik alaşımlama değirmeninde zirkonyum oksit (ZrO₂), titanyum oksit (TiO₂) ve titanyum diborür (TiB₂) seramik tozlarıyla birlikte 10 mm çapında çelik bilye, 750 dev/dak'lık öğütme hızı, 20:1 BTO, argon gazı ortamı ve etanol kullanılarak mekanik alaşımlama/öğütme (MA/MÖ) ile titanyum ve titanyum alaşımı MMK malzemeler üretilmiştir. Titanyum ve titanyum alaşımlı MMK malzeme üretiminde sünger titanyum, gaz atomize titanyum tozu, 60Al/40V bileşimli master alaşım tozu ve ön alaşımlanmış Ti6Al4V alaşım tozu kullanılmıştır.. Toz boyutu analizi sonucunda sünger titanyumun gaz atomize titanyum tozlarına göre daha iyi öğütülebilirliğe sahip olduğu belirlenmiştir. TM yöntemlerinden soğuk presleme ile üretimi yapılan parçalar 650, 750, 850 ve 1200 °C'de 2 saat süre ile argon ortamında sinterlenmiştir. 60 dakikalık mekanik öğütme işlemi sonunda sünger titanyum tozlarının gaz atomize titanyum tozlarına göre deformasyon miktarına bağlı olarak pekleştiği ve daha düşük sıcaklıklarda yeniden kristalleştiği gözlemlenmiştir.

Yalçın (2007) implant endüstrisinde sıklıkla kullanılan Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb ve Ti-5Al-2.5Fe alaşımlarının yanı sıra klasik Ti-6Al-4V alaşımına % 4Ta ilavesi ile Ti-

6Al-4V-4Ta alaşımı TM yöntemiyle imal etmiştir. Alaşımları, elementel toz karıştırma metoduyla 450-550 MPa tek etkili sıkıştırma basıncı ile elik kalıp içerisinde sıkıştırılmış ve argon koruyucu gaz ortamına sahip tp firında, 1200 ° C iki saat süreyle sinterlenelerek imal etmiştir. İmal edilen numunelerin, sinterleme öncesi yoğunluklarının sinterleme sonrası değişimi, çekme ve eğme mukavemeti, mikrosertlik, kuru ve vücut sıvısı ile özdeş hank sıvısı içerinde aşınma performansları yapılan deneylerle tespit etmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Ti-6Al-4V-4Ta alaşımında diğer alaşımlara nispeten yüksek eğilme dayanımı ve buna karşılık gelen sehım miktarı ve kemiğe en yakın elastisite modül ile birlikte kabul edilebilir çekme dayanımı, kuru sürtünme ve hank sıvısı ortamında (sıvı sürtünme) yüksek aşınma performansı olduğunu saptamıştır. Ti-6Al-4V alaşımında Ti-6Al-4V-4Ta alaşımı ile benzer aşınma performansına karşılık bu alaşımda eğme durumunda daha kırılğan bir yapı ve çekme deneylerinde daha yüksek tokluk, yüksek elastisite modül değeri elde etmiştir. Ti-5Al-2.5Fe alaşımında ise, yüksek süneklik, eğme-çekme dayanımı ve tokluğa karşı düşük aşınma performansı, yüksek elastisite modül ve yüksek yüzey pürüzlülük değerleri tespit edilmiştir. TM Ti-6Al-7Nb alaşımında ise düşük eğme dayanımı ve düşük aşınma performansı ile birlikte düşük süneklik, kabul edilebilir çekme dayanımı ve yüksek elastisite modül tespit edilmiştir. Deneysel incelemeler sonucunda, Ti-6Al-4V- 4Ta alaşımı diğer alaşımlara nispeten kabul edilebilir çekme dayanımı ile birlikte daha iyi mekanik, tribolojik ve metalografik özelliklere sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Karabaşoğlu (2008) yapmış olduğu çalışmalarda Plint firmasının ürettiği TE 97 aşınma deney cihazını model olarak yeni bir aşınma deney cihazı tasarlamış imal etmiştir. Tasarlanan aşınma deney cihazı üzerinde bazı değişiklikler yapılarak farklı deneyler yapılabilir. Karabaşoğlu tasarlamış olduğu deney cihazında, 500 m kayma mesafesinde, 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarında, 20 N, 40 N ve 60 N kuvvet altında 1,2080 ve 1,2842 takım çeliklerinden üretilen deney numunelerini aşınma deneylerine tabii tutmuştur. Yapılan deneyler sonucunda her iki malzemede de artan yük ile birlikte aşınma miktarının arttığını tespit etmiştir. Yapılan deneylerle tasarlamış olduğu deney cihazının doğru olarak çalıştığını tespit etmiştir.

3. TİTANYUM VE NİKEL-TİTANYUM ALAŞIMLARI

3.1. Titanyum Metalinin Temel Özellikleri

Yaklaşık kırk yıldır bilinen şekliyle kullanılmakta olan titanyum, ilk olarak 1790 yılında Reverend William Greor tarafından bundan iki yüz yıl önce tanımlanmıştır. Yeryüzünde alüminyum, demir ve magnezyumun ardından en çok rezerve sahip dördüncü elementtir. Titanyum reaktif bir metaldir ve saf olarak elde edilmesi zordur. Saf titanyum, Dr. Wilhelm tarafından açıklanan “Kroll processı” yöntemiyle titanyumun inert gaz atmosfer ortamında sodyum (Na), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) ile titanyumun indirgenmesi ile elde edilir [Uzun, 2010].

Titanyum metali düşük yoğunluk, korozyon direncinin yüksek olması ve mekanik özelliklerinin yüksek olmasından ötürü günümüzde çok fazla tercih edilmektedir. Çizelge 3.1’ de titanyum elementinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Titanyum elementinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri
[Yalçın, 2007]

Özellik	Değeri
Elastisite Modülü (Gpa)	120
Çekme Mukavemeti (MPa)	240-550
Sertlik (HRB)	70-74
Poisson Oranı	0.361
Yoğunluk (gr/cm ³)	4.51
Ergime Noktası (°C)	1668
Isıl İletkenlik (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	11.4 (oda sıcaklığında)
Elektrik İletkenliği	%3 Bakıra göre(%100)
Hesaplanmış Atom Çapı (metre)	176x10 ⁻¹²
Kristal Kafes Yapısı(α-β)	<882.5 ⁰ C ise Sıkı Paketlenmiş>882.5 ⁰ C ise Hegzagonal-HMK

3.2. Nikel-Titanyum Alaşımları

Nikel-Titanyum alaşımları uygun bir ısıl prosedür sonucu gerçek şekline veya boyutuna geri dönebilme yeteneğine sahip olan şekil hafızalı alaşımlardır (şHA) . Bu alaşımlar martenzitik yapıda iken belli bir dış kuvvete maruz kalmaları sonucu değişen orijinal şekillerini, ısıtılmaları sonucu östenit fazına geçtiklerinde büyük oranda geri kazanabilirler. Östenit fazda bulunan alaşımın, herhangi bir sıcaklık değişimi olmaksızın, sadece uygulanan stresin ortadan kalkması sonucu malzemenin orijinal formunu tekrar kazanması ise süperelastisite olarak tanımlanır.

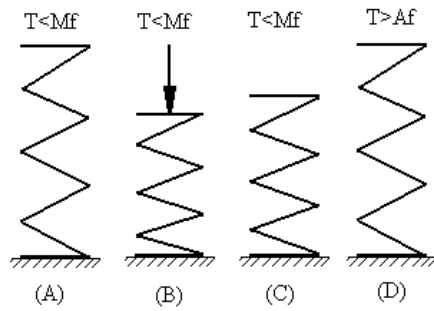
Nikel-Titanyum alaşımının şekil bellek etkisi A.B.D Deniz şavaş Araçları Laboratuvarında W.J.Buehler ve arkadaşları tarafından 1962'de keşfedilmiştir. Nikel-Titanyum alaşımları sahip oldukları şekil hafıza özelliği, yüksek sönümleme kabiliyeti ve süperelastiklik gibi özelliklerinden dolayı çok önemli şekil bellekli alaşımlardandır. Bu alaşımlar aynı zamanda yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra yüksek korozyon direnci ve biyouyumluluğa sahiptirler. Yüksek mekanik bellek özelliği gösteren bu alaşımlar ticari ismiyle Nitinol (Ni-Ti Naval Ordnance Laboratory) olarak adlandırılmaktadırlar [Dilibal, 2005].

Birçok alaşım şekil hafıza davranışı göstermektedir. Bu ancak alaşımlardan birkaçı (Ni-Ti, ,Cu-Zn-Al, Ni-Ti-Cu gibi) ticari olarak gelişebilmiştir. Bu alaşımlar içerisinde Ti-Ni alaşımları mekanik özellik çok iyi olması, yüksek korozyon direnci ve biouyumluluğunun iyi olması gibi özelliklerinden dolayı daha geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Bununla birlikte, son zamanlarda yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen Cu esaslı Cu-Zn-Al gibi ve Cu-Al-Ni, Ni-Al, Ni-Ti (Zr, Hf) ve Ti-Pd gibi şekil hafızalı alaşımlar geliştirilmiştir.

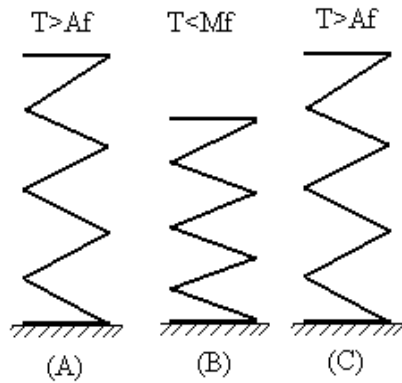
3.2.1. şekil hafıza mekanizması

şekil hafızalı alaşımların en önemli özelliği, alaşıma giren elementlerin oranlarıyla ve cinsiyle belirlenebilen bir dönüşüm sıcaklığının üzerinde ve altında farklı iki şekil ve kristal yapısına sahip olabilmeleridir. Belirlenebilen bu sıcaklığın üzerindeki

sıcaklıklarda östenitik yapı (ana faz), altındaki sıcaklıklarda ise martenzitik yapı kendini gösterir. Alaşım martenzitik yapıda iken deformasyona uğradıktan sonra dönüşüm sıcaklığı üzerine ısıtıldığında ana faza dönüşürken ilk şeklini geri kazanır. Şekil bellekli alaşımların bu özelliğine şekil hafıza özelliği denir. Şekil bellek özelliği tek yönlü şekil bellek davranışı (TYD) ve çift yönlü şekil bellek davranışı (ÇYD) olmak üzere iki çeşittir [Kurt vd., 2003].

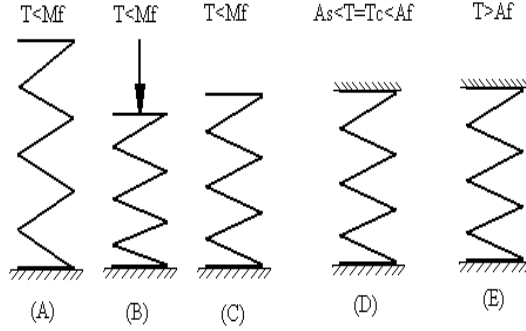


Şekil 3.1. Tek yönlü hafıza etkisi: Numune, M_f sıcaklığı altında yük uygulanarak deforme edilmiş (A–B) ve yük kaldırılmış (B–C) kalıntı deformasyon, numunenin A_f sıcaklığı üzerine ısıtılmasıyla ortadan kalkar (C–D).



Şekil 3.2. Çift yönlü hafıza etkisi: A_f sıcaklığı üzerindeki bir numuneyi M_f sıcaklığı altında soğutmayla kendiliğinden şekil değişimi meydana gelir (A–B). sonradan A_f sıcaklığı üzerine tekrar ısıtmayla numune ilk haline geri döner (B–C)

Mekanik Şekil Hatırlama: Hafıza etkisinin şekil değişiminden etkilendiği ve bu nedenle 800 MPa' a kadar gerilmelerin olduğu uygulamaları içine alan zorlanmış dönüşüm. Bu durum Şekil 3.3' de şematik olarak görülmektedir [Kurt vd., 2003].



Şekil 3.3. Şekil dönüşüm gerilmelerinin oluşumu: numune M_f sıcaklığında deforme edilmiş (A–B) ve yük kaldırılmıştır (B–C) dönüşüm gerilmeleri A_s ve A_f arasında bulunan sabit T_c sıcaklığından başlayan ısıtmayla oluşur (D–E)

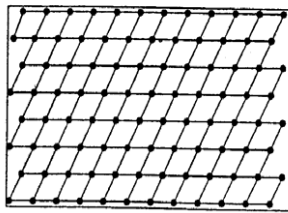
Termoelastik martenzitik faz dönüşümü :

Şekil hafızalı alaşımların çoğu termoelastik martenzitik yapı sergileyen malzemelerdir. Yapısal faz dönüşümleri difüzyonlu ve difüzyonsuz olmak üzere iki gruba ayrılır. Martenzitik dönüşümler atomların birlikte hareketiyle meydana geldiğinden difüzyonsuz dönüşümler (aynı zamanda 'enerjisiz dönüşümler') olarak adlandırılır. Kural olarak, tüm metaller soğutma ve ısıtma sıcaklığı yeteri kadar hızlı tutulduğunda difüzyonsuz dönüşüme uğrayabilirler. Birçok metalik veya metalik olmayan bileşikler ve minerallerde martenzitik dönüşüm meydana gelebilir.

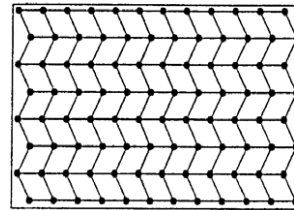
Martenzitik faz dönüşümü, difüzyonsuz bir katı hal faz dönüşümüdür. Bu dönüşümün termoelastik ve termoelastik olmayan martenzitik dönüşüm olmak üzere iki tipi vardır. Termoelastik martenzitik dönüşüm hareketli ikiz ara yüzeylerinden oluşan ve kristalografik olarak geri dönüşüm gösterebilen bir mekanizmadır [Dilibal, 2005].

Şekil bellekli alaşımlarda martenzitik dönüşümün termoelastik olması; alaşımda sıcaklığın düşmesi ile martenzit plakaların oluşması ve büyümesi, sıcaklığın artması ile ise büyüme yönünün tam tersi yönde kaybolması olarak açıklanabilir. Bu alaşımlarda yüksek sıcaklıkta kararlı olan ostenit fazı ve düşük sıcaklıkta kararlı olan farklı bir kristal yapısına sahip martenzit fazı bulunmaktadır. Ana fazda (östenit fazı) kafes yapısı çoğunlukla kübiktir ve martenzit fazda kafes yapısı düşük simetri gösterir. Şekil bellekli alaşımlarda sıcaklık, martenzitik dönüşümün başlangıcı olarak görülen belirli sıcaklığın altına düştüğünde, martenzitik dönüşüm kayma benzeri bir mekanizma ile başlar. Martenzitik yapıda kafes yapısı düşük simetri gösterdiğinden, dönüşüm farklı kristalografik oryantasyonlarda ortaya çıkar. Bu yapıların her biri martenzitik yapının varyantları olarak isimlendirilir.

Martenzitik faz dönüşümü çelikler gibi diğer bazı alaşımlarda da elde edilmesine rağmen, dönüşüm karakteristiği şekil bellekli alaşımlarda görülen mekanizmadan farklıdır. Termoelastik davranış göstermeyen bu dönüşüm çeliklerde genellikle yüzey sertleştirme işlemlerinde kullanılır. Kayma mekanizması ile birlikte oluşan bu martenzitik yapının önceki haline geri dönüşümü olanaksızdır (Şekil 3.4.a). Fakat Şekil 3.4.b’ de ikizlenme ile oluşan ve termoelastik martenzitik dönüşüm gösteren yapının önceki haline dönüşümü mümkündür.



(a)

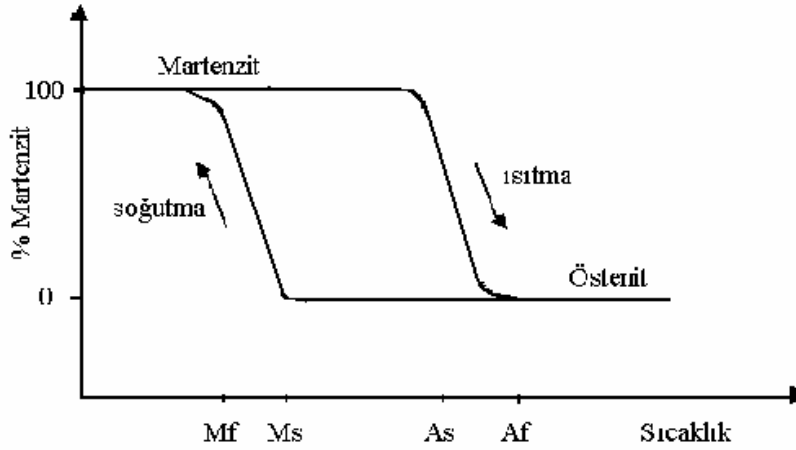


(b)

Şekil 3.4. a) Kayma ile yerleşme, b) İkizlenme ile yerleşme

Faz dönüşümünün oluşturduğu çevrim olan martenzit fazdan ana faza geçiş ve ana fazdan martenzitik faza geçiş bir histerisis gösterecek şekilde farklı sıcaklıklarda oluşur. Her alaşımanın gösterdiği histerisis farklıdır. Bu histerisis üzerinde sıcaklığın düşmesi ile martenzitik yapının başlangıcı; M_s , tamamen martenzitik dönüşümün

gerçekleşmesi; M_f , sıcaklık artırıldığında ise östenitik yapının başlangıcı; A_s ve tamamen östenitik yapının elde edilmesi A_f ile gösterilmektedir. Şekil 3.5’ de şekil bellekli alaşımlarda martenzitik ve östenitik faz dönüşümlerinin oluşumları şematik bir diyagram üzerinde gösterilmiştir.

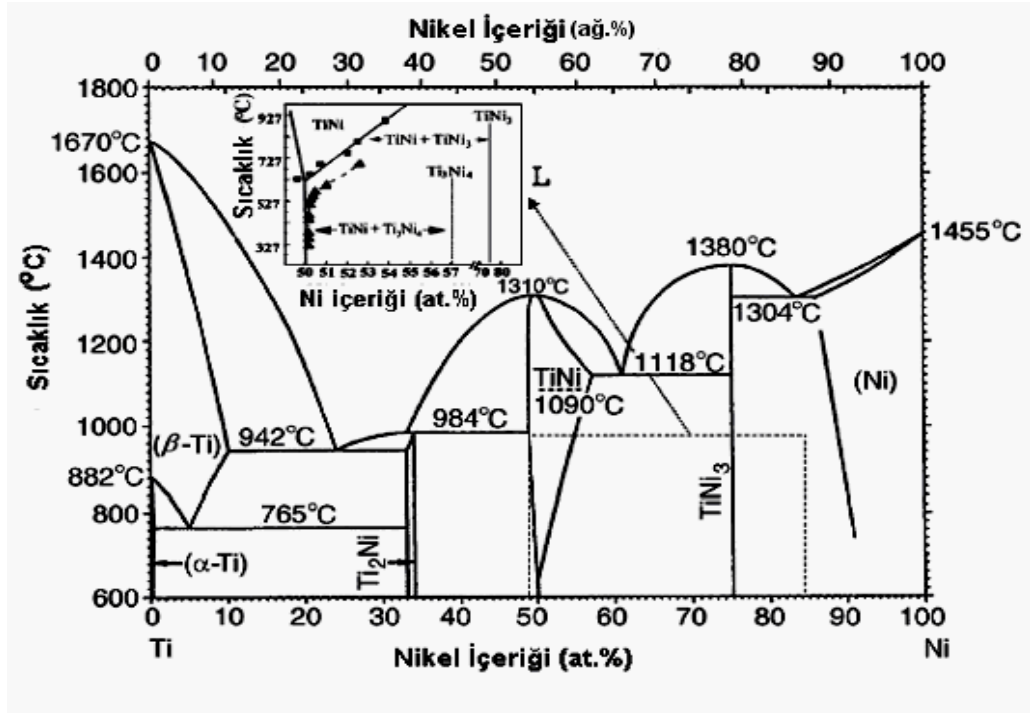


Şekil 3.5. Şekil bellekli alaşımlarda martenzitik faz dönüşümü [Thompson, 2002]

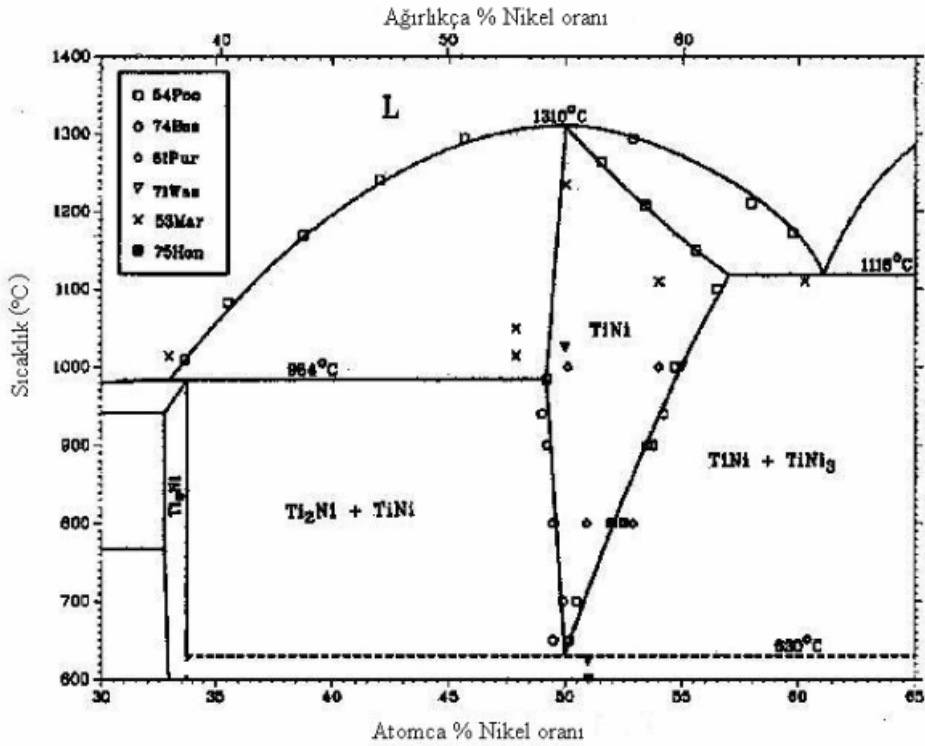
3.2.2. Nikel-Titanyum alaşım sisteminin faz diyagramı

Şekil 3.6’ daki titanyum-nikel alaşım sisteminin faz diyagramı incelendiğinde, atomca % 50 nikel bölgesinde intermetalik Ni-Ti alaşımının oluştuğu görülür. Saf titanyum ergime derecesi 1670°C , saf nikelin ergime derecesi 1455°C ’dir. Atomik olarak aynı oranda Ni ve Ti içeren Nitinol’un ergime derecesi ise 1310°C ’dir. Ni-Ti intermetalik yapı 630°C ’den itibaren Ni-Ti ara fazı oluşturur. Faz diyagramında nikelce zengin bölge olarak görülen, atomca %50.5 - %55 nikel oranına sahip, azalan çözünürlüğün bulunduğu bölgede uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi, matris içerisinde dağılmış TiNi_3 ve Ti_3Ni_4 çökeltilerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Ti_3Ni_4 bileşiğinin NiTi alaşımında çökmesiyle ana fazda sertleşme meydana gelmekte ve şekil hafıza karakterlerin düzelmesi sağlanmaktadır. NiTi alaşımını düşük sıcaklıkta yaşlandırıldığında yapıda yoğun bir şekilde dağılmış plakalar halinde Ti_3Ni_4 bileşiği görülmektedir [Otsuka vd, 1999].



Şekil 3.6. Ni-Ti faz diyagramı [Akdoğan vd. 2006]

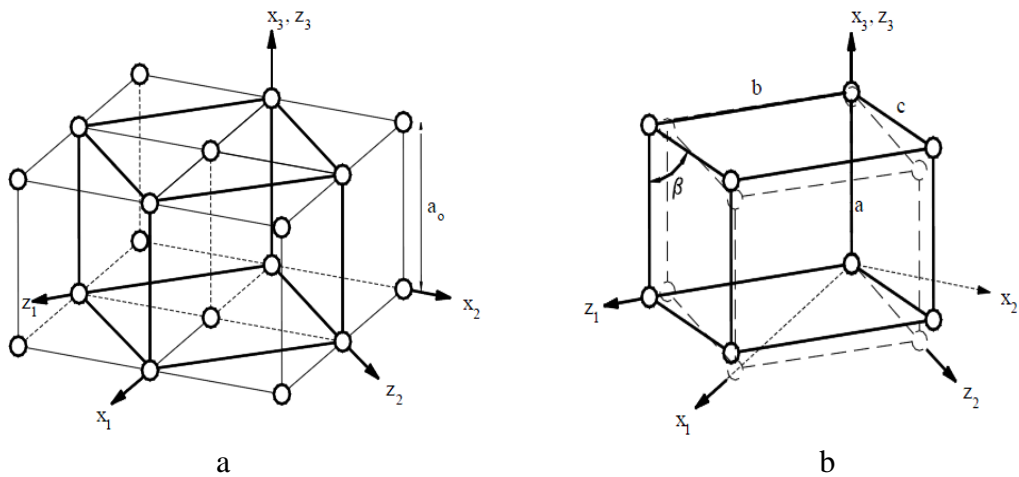


Şekil 3.7. %30-%65 arası nikel oranı bölgesi [Dilibal, 2005]

Yapılan deneysel çalışmalarda atomca %50-%75 nikel oranının bulunduğu bölge üzerinde yoğunlaşmış ve ısı işlemler sürecinde yapıda matris ile uyumlu ince Ti_3Ni_4 çökeltilerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda faz diyagramının bu bölgesi Ti_3Ni_4 intermetalik yapıyı da gösterecek şekilde yeniden düzenlenmiştir [Dilibal, 2005].

3.2.3. Nikel-Titanyum esaslı şekil hafızalı alaşımının kristal yapısı

Ni-Ti alaşımının ana faz yapısı B2 tipi düzenli yapıdır. Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımının martenzitik faz dönüşümü sonucunda kristal yapısı östenit fazda iken kübik kafes yapısında, martenzit fazda iken monoklinik kafes yapısını meydana getirmektedir. Östenit fazda iken kafes parametresi $a_0 = 2.99$ dır. Martenzit fazdaki kafes parametreleri ise $a=2.88^{\circ}A$, $b= 4.12^{\circ}A$, $c= 4.62^{\circ}A$ ve $\beta= 96.8$ dır [Otsuka, 2005]. Şekil 3.8.a' da NiTi şekil bellekli alaşımın östenit birim hücresi ve bu hücrelerin oluşturduğu tetragonal hücre görülmektedir. Burada östenit birim hücresi x_1 , x_2 , x_3 eksenlerine göre tanımlanmıştır. Martenzitik dönüşüm esnasında bu tetragonal yapı belirli bir birim şekil değiştirme ile Şekil 3.8.b' deki monoklinik yapıya dönüşür. Şekil 3.8.a' nın rotasyonu ile 12 farklı şekilde monoklinik birim hücre oluşur. Bunlar NiTi şekil bellekli alaşımın martenzit varyantlarıdır.



Şekil 3.8. Martenzitik dönüşüm öncesi B2 (a) sonrası B19 (b) kristal yapı [Otsuka, 2005]

3.2.4. Ni-Ti şekil hafızalı alaşımların genel fiziksel ve mekanik özellikleri

NiTi şekil bellekli alaşımların mekanik özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklığın değişmesiyle birlikte yapı içerisinde faz değişimi meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak mekanik özelliklerde değişiklikler gözlenmektedir. Ni-Ti şekil hafızalı alaşımların şekil bellek özelliği ve süperelastik özelliğinin sağladığı avantajlardan ötürü bir çok alanda kullanımı olan 300 serisi paslanmaz çeliklerin yerini almıştır. Özellikle en etkili kullanım alanlarından biri olarak ortodontik diş telleri olarak kullanılan paslanmaz çeliklerin yerini tamamen nikel-titanyum şekil hafızalı alaşım kullanılarak geliştirilen diş telleri almıştır [Mihalez, 2001]. Ayrıca tamamen östenitik yapıdaki bir Ni-Ti cerrahi malzeme implantlar için uygun özelliğe sahiptir. Ni-Ti implantlar A₁ sıcaklığının altında yüksek sönümleme kabiliyetine sahiptirler. Bu özellik kemik ve implantlar arasındaki ani darbeleri sönümlemede kullanılabilir. Bu özellik kemik ve implantlar arasındaki ani darbeleri sönümlemede kullanılabilir.

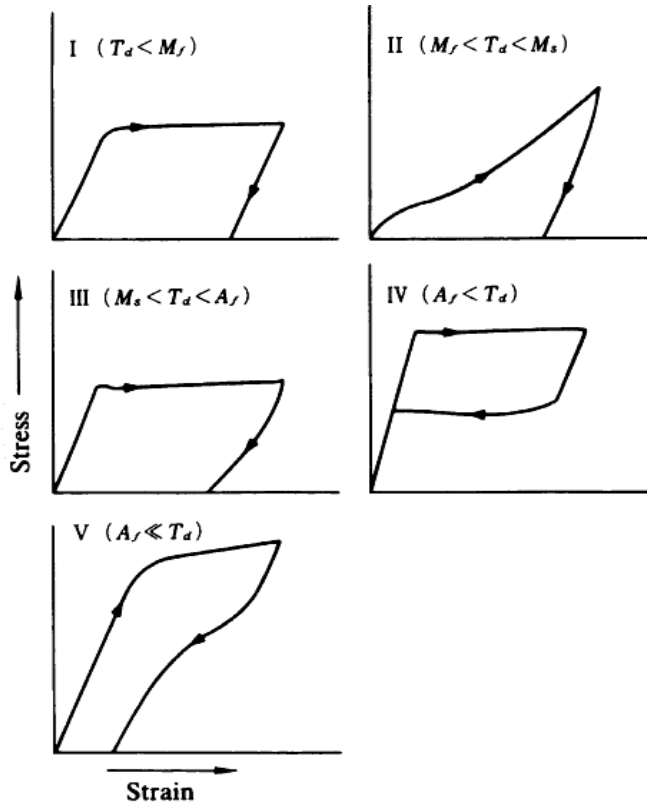
Çizelge 3.2. Nikel-titanyum ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin özelliklerinin karşılaştırılması [Mihalez, 2001]

Özellik	NiTi	Paslanmaz Çelik
Geri dönüşümlü uzama	% 8	% 8
Çekme Dayanımı	Martenzit 103-1100 Mpa Östenit 800-1500 Mpa	yaklaşık 760 MPa
Elastisite Modülü	Martenzit 28 - 41 Gpa Östenit 83 GPa	yaklaşık 193 GPa
Yoğunluk	6.45 g/cm ³	8.03 g/cm ³
Özdirenci	Martenzit 80 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ Östenit 100 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$	72 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$
Isıl Genleşme Katsayısı	Martenzit $6.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ Östenit $11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$17.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

300 serisi paslanmaz çeliğin geri dönüşümlü uzama katsayısı Ni-Ti şekil hafızalı alaşımının yaklaşık %10'u kadardır. Çeliğin yoğunluğu alaşımın yoğunluğundan daha fazladır. Alaşım, östenit fazda iken elastisite modülü martenzit fazdaki elastisite modülünden yaklaşık 4 kat daha büyüktür.

3.2.5. Nikel-Titanyum şekil bellekli alaşımların farklı sıcaklıklardaki gerilme birim şekil değiştirme diyagramları

Şekil 3.9.I nolu diyagramda, martenzit fazda bulunan nikel-titanyum uygulanan gerilme ile birlikte akma sınırının üzerinde akmaya tabi olup plastik şekil değiştirmektedir. Şekil 3.10.II nolu diyagramda malzeme bu sıcaklıkta henüz tam olarak martenzite dönüşmemiştir. Mikroyapıda östenit bulunduğu için uygulanan gerilme ile birlikte öncelikle gerilme altında martenzite dönüşüm arkasından devam edildiğinde plastik şekil değişimi görülmektedir. Şekil 3.10.IV nolu diyagramda nikel-titanyum malzeme tamamen östenitik yapıda bulunduğu için süperelastik davranış göstererek uygulanan gerilme ile birlikte elastik deformasyona maruz kalır. Akma sınırının altında tamamen martenzitik yapı elde edildiğinde gerilme ortadan kaldırıldığında malzeme tamamen geri dönüşümle elastik şekil değişimi öncesindeki yapıya döner.



Şekil 3.9. Ni-Ti alaşımlarına uygulanan gerilmenin birim şekil değiştirme üzerine etkisi [Turner, 2001]

3.3. Nikel-Titanyum Şekil Hafızalı Alaşımların Üretim Yöntemleri

Titanyum ve nikel korozyon direnci çok iyi olan metallerdir. Ergime sıcaklıklarının çok yüksek olması bu metallerin şekillendirilebilmesi olanağını kısıtlamaktadır. Titanyum, 1670°C ergime sıcaklığına sahip olmanın yanı sıra 400 °C de bile yüksek korozyon dayanımına sahip olan bir metaldir. Bu özelliğinden ötürü yüksek korozyon direnci olan yerlerde daha çok tercih edilmektedir. Bu özelliğinin yanı sıra titanyum düşük çekme dayanımı ve yüksek şekillendirilebilme özelliklerine de sahiptir. Aynı şekilde nikelde yüksek korozyon direncine sahip bir metaldir. Ergime sıcaklığı 1455 °C olan saf nikel, manyetik alan etkisinde kaldığında küçük boyutsal değişimlere uğramaktadır.

Nikel-Titanyum alaşımının ergime sıcaklığı malzeme içerisinde bulunan Ti ve Ni oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ni-Ti alaşımlarının en önemli özelliği ise yüksek korozyon direncinin yanı sıra şekil hafıza özelliğine sahip olmalarıdır. Ni-Ti alaşımlarının, titanyumun 900°C' nin üzerinde oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girmesinden ötürü, koruyucu gaz atmosferi altında veya vakumlu bir ortamda üretilmeleri gerekmektedir.

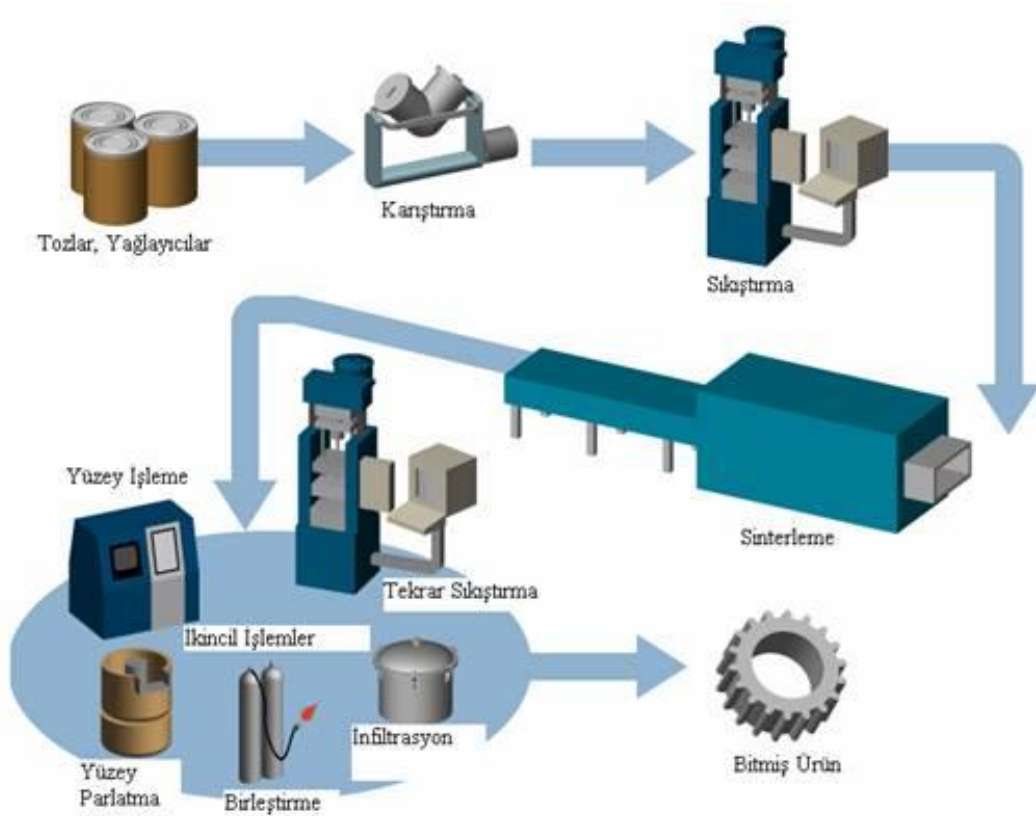
Ni-Ti şekil bellekli alaşımın üretimi için öncelikle dikkat edilmesi gereken üç aşama vardır. Bunlar sırasıyla; alaşımın bileşim oranı, sıcak ve soğuk şekil verme işlemleri ve alaşıma şekil belleği kazandırma işlemleridir. Alaşıma sıcak şekil verme işlemi 700°C - 900°C arasında yapılmaktadır. Genel olarak tel, levha ve bar olarak sıcak şekil verilir. Sıcak şekil verme işlemleri için vakumlu bir ortama gerek yoktur. Tel çekme en fazla kullanılan yöntemlerden birisidir. Tel çekme ile alaşım 0.05 mm. çapına kadar indirilebilmektedir. Alaşıma uygulanan uygun ısıl işlemler vasıtasıyla alaşımın istenilen şekil belleğini alması sağlanır. Şekil belleği kazandırma işlemleri olarak bilinen ısıl işlemler sonucunda, NiTi alaşımı sıcaklık değişimleri ile birlikte kazandırılan şekilleri alarak istenilen alanda kullanıma hazır olur.

Ni-Ti alaşımları döküm yöntemiyle veya toz metalürjisi (sinterleme) yöntemiyle üretilebilmektedir. Ni-Ti alaşımları yüksek ergime sıcaklığına sahip olmalarından ötürü genellikle toz metalürjisi yöntemi ile üretilmektedirler. Alaşımın yüksek sıcaklıklarda oksijene olan ilgisinin artmasından ötürü her iki yöntemde de üretim atmosfer kontrollü ortamlarda yapılmaktadır. Döküm yöntemleri olarak; Vakum Ark Yöntemi, Vakum indüksiyon Yöntemi, Elektron Işını Ark Yöntemi ve Plazma Ark Yöntemi yaygın olarak kullanılırlar.

3.3.1. Toz metalürjisi ile üretim

Toz metalürjisi çok küçük partikül boyuna sahip tozların birleştirilerek parça haline getirme işlemidir. Başka bir ifade ile toz metalürjisi toz şeklindeki malzemelerin preslenerek yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesiyle parça üretimidir. İnce partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerinin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir. Toz metalürjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok azdır, belirli derecede porozite (geçirgenlik) oluşur.

Toz metalürjisinde presleme işlemi bazen oda sıcaklığında bazen de yüksek sıcaklıklarda yapılabilmektedir. Bu seçilen üretim prosesine göre malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Şekil 3.10' da toz metalürjisi ile parça üretim aşamaları verilmiştir. Burada ikincil işlemler olarak adlandırılan kısım isteğe bağlı olarak, sinterlemeden çıkan parçaya kazandırılmak istenen özelliklere göre uygulanır.



Şekil 3.10. Toz metalürjisi ile parça üretim aşamaları

Ni-Ti gibi alaşımlardan özel döküm yöntemleriyle üretilen parçalar toz metalürjisi yöntemi ile çok rahat bir şekilde üretilmektedirler. Ti ve Ni'in ergime sıcaklıklarının yüksek olması ve oksitlenme gibi sebeplerden ötürü toz metalürjisi ile Ni-Ti alaşımlı parça üretimi daha ekonomik ve güvenli olmaktadır. Toz metalürjisi yöntemi ile Ni-Ti alaşımlı parçalar iki farklı şekilde üretilmektedir. Bunlardan birincisi iki saf metal tozunun belirli oranlarda karıştırılması şeklinde üretimdir. Bu yöntemde karıştırma esnasında homojenlik tam olarak sağlanamamaktadır. İkinci yöntem de ise alaşım tozu sinterlemeden önce hazırlanır. Böylece homojenlik daha kolay sağlanabilmektedir.

Sinterleme işlemi esnasında katı durum difüzyonu ile homojenleştirme uzun bir zaman gerektirir. Oluşan sıvı fazın varlığı kütle geçişinin kinetiğini artıracığından sonuçta hızlı homojenleştirmeye neden olur. Sıvı faz nikel titanyum tozlarının hızlı homojenleştirmesini sağlamasına rağmen, mevcudiyeti birçok poroziteyi oluşturur.

Sinterleme yönteminde poroz bir mikro yapının elde edilmesi, alaşımın biyomedikal uygulamalarda tercih edilen bir yöntem olmasını sağlamıştır [Dilibal, 2005].

3.4. Nikel-Titanyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Nikel-titanyum alaşımları denilince akla ilk olarak biyomalzemler gelmektedir. İnsan bedeni ile uyumluluk sağlayabilen Ni-Ti alaşımlarının günümüzde medikal alanda birçok kullanım yeri bulmuştur. Ni-Ti alaşımlarının korozyona karşı direncinin yüksek olması, dayanım ve şekil hafıza etkilerinin bulunması insan vücudunda biyomalzeme olarak kullanılan birçok malzemenin yerine geçmesine olanak sağlamıştır. Kalp damar cerrahinde kullanılan stentler, ortodontide kullanılan diş telleri, medikal uygulamalarda kullanılan katerler için teller Ni-Ti alaşımlarının uygulama alanlarına en iyi örnekleri teşkil etmektedir.

Diş hekimliğinde geniş kullanım alanına sahip Ni-Ti alaşımları endodontide NiTi döner kök kanalı aleti olarak kullanılmaktadır. Ni-Ti döner kök kanalı aletlerinin yüksek elastik deformasyonu sayesinde endodonti tedavileri hız kazanmıştır. Günümüzde paslanmaz çelik kanal aletleri yerine büyük oranda NiTi kanal aletleri kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bükülme ve torsiyon karşısında paslanmaz çelik aletlere oranla nikel-titanyum döner kök kanalı aletlerinin yaklaşık 2-3 kat daha fazla esneyebildiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.7' de endodontide kullanılan döner kök kanalı aletinin resmi ve uygulaması gösterilmiştir.



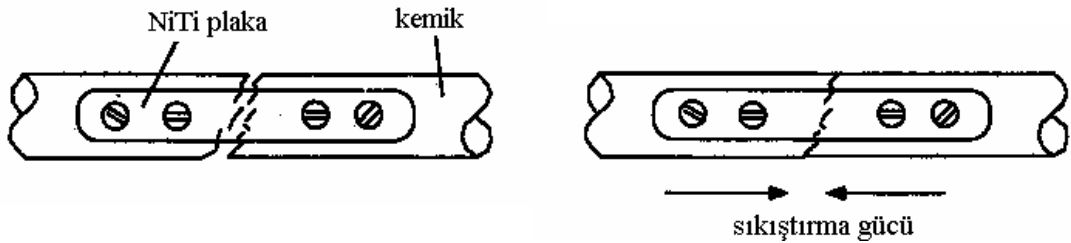
Resim 3.1. Endodonti de kullanılan döner kök kanallı alet ve uygulaması

Ortodontik diş telleri, çarpışık olan dişlere uygulanan en eski yöntemlerden ve gayet başarılı sonuçlar alınan uygulamalardan birisidir. Önceleri diş telleri paslanmaz çelik malzemeden yapılıırken artık bunun yerini Ni-Ti alaşımları almıştır. Bu teller çarpık dişlere dış kuvvet uygular ve dişlerin uygun mesafe ve aralığa gelmelerini sağlar. Ayrıca Paslanmaz çeliğe oranla daha yüksek kuvvet uygulama özelliği sayesinde nikel-titanyum diş tellerinin değiştirilme sıklığı son derece düşüktür. Resim 3.2.’ de bir Ni-Ti diş teli uygulaması gösterilmiştir.



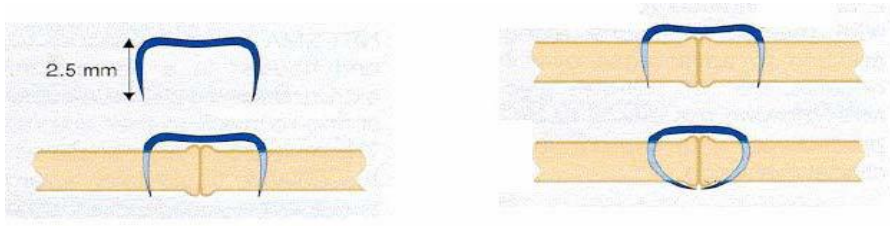
Resim 3.2. Ni-Ti diş teli uygulaması

Ayrıca Ni-Ti alaşımları tıbbi alanda kırılan kemiklerin birleştirilmesinde de kullanımlarına rastlanmaktadır. Şekil 3.11’ de Ni-Ti plakaların kırık kemiklerin birleştirilmesinde kullanımına bir örnek gösterilmiştir. Plakalar kırık kemiklere vidalanmak suretiyle tutturulurlar. Tutturulan plakalar vücut sıcaklığına ulaştıklarında iki kemiği birbirine yakınlaştırmak suretiyle kemiklerin birbirine kaynamasına yardımcı olurlar.



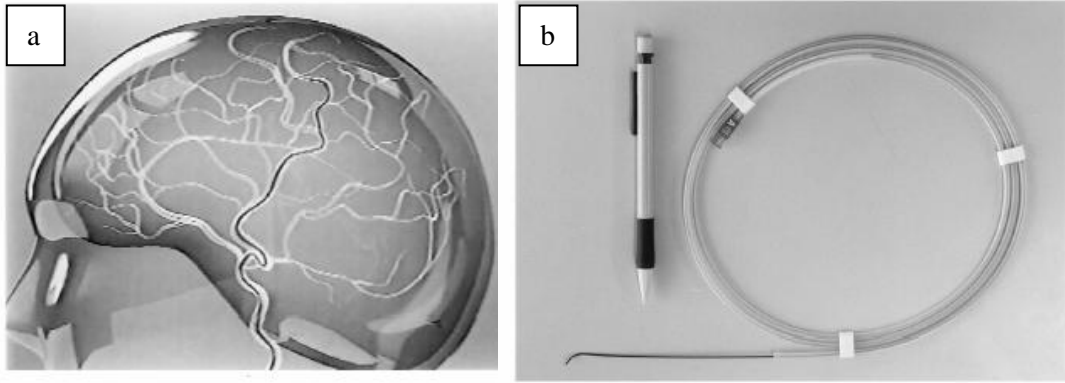
Şekil 3.11. Nikel-titanyum şekil bellekli alaşımların ortopedik kullanımı
[Otsuka,1998]

Resim 3.3. de NiTi alaşımlarının bağlantı perçini olarak kullanıldığı bir örnek gösterilmiştir.



Resim 3.3. Kemik dokusunda kullanılan nikel-titanyum bağlantı perçinleri

Ayrıca bir diğer uygulama alanı da Resim 3.4’ da görülen Ni-Ti kılavuz tellerden ibaret kontrol edilebilir katerlerdir.



Resim 3.4. Medikal uygulamalarda kullanılan kateterler için süperelastik kılavuz tel
(a) Beyine ait bir uygulama; (b) Kılavuz telin görünümü.

Ni-Ti Alaşımları şekil bellek etkisi, yüksek dayanım, aşınmaya karşı yüksek direnç göstermeleri, korozyona karşı dirençlerinin yüksek olması ve mekanik özelliklerinin iyi olmasından ötürü endüstriyel alanda da bir çok kullanım alanı bulmuştur. Ni-Ti alaşımlarının en çok kullanım alanlarından bir tanesi uzay anten sistemleridir. Bu sistemlerde düşük sıcaklıkta paket olarak belli bir bölgeye ulaştırılan antenin ısınması ile birlikte normal anten şekline dönüştüğü uygulamalar ilk uygulamalar arasındadır. Ayrıca uzay uydu sistemlerinde uydu kanatçıklarında da kullanılmaktadırlar. Bunun yanı sıra robotik alanda ve çeşitli hidrolik kontrol elemanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

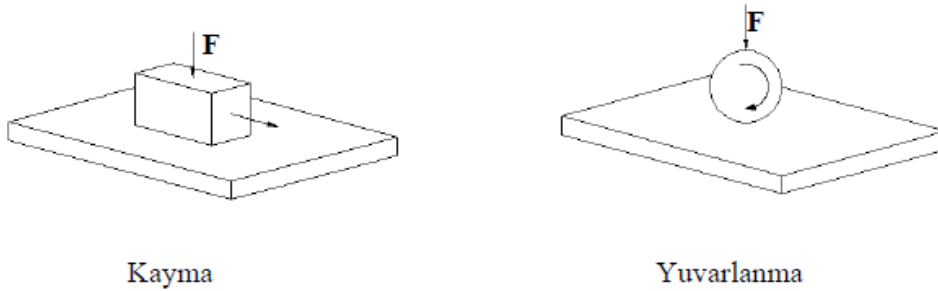
4. SÜRTÜNME VE AŞINMA

4.1. Sürtünme

Sürtünme, birbiri ile temasta olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan elemanlar arasındaki harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanabilir. Sürtünmenin sayısal değeri pratikte, bazı durumlarda çok küçük olsa dahi, her zaman mevcuttur [Soydan, 2003].

Hareketli parçalar arasındaki sürtünme, enerji, zaman ve maddi kayıplara yol açması insanları eski tarihlerden beri bu konu ile ilgili hale getirmiştir. Bir biri ile temas halindeki hareketli parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltmak kadar belirli sınırlar içerisinde tutmakta o derece önemlidir. Örneğin tren tekerlekleri ile raylar arasındaki sürtünme ile tren tekerlekleri ile fren pabuçları arasındaki sürtünme iki farklı durumu ortaya koymaktadır. Tekerler ile raylar arasındaki sürtünme enerji kaybına sebep olmasından dolayı sistemin verimini düşürürken, teker ile pabuçlar arasındaki sürtünme trenin hareketinin kontrolü için hayati önem taşıması sürtünmenin farklı durumlarda dahi önemini açıkça ortaya koymaktadır. Birbirine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma meydana gelebilir.

Şekil 4.1' de birbirine temas eden cisimlerin kayma ve yuvarlanma hareketleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Birbirine temas eden cisimlerin kayma ve yuvarlanma hareketi

4.1.1. Kayma sürtünmesi

Birbirine temas eden veya birbiri üzerinde kayan iki yüzey ne kadar hassas işlenseler bile gerçek temas alanı görünür temas alanının 0.01 ila 0,1' i kadardır. Gerçek temas sadece küçük pürüz tepeciklerinde meydana gelecektir.

Kayma sırasında teğetsel kuvvet arttırıldığında, temas noktalarındaki birleşmeler kaymaya başlar. Tüm birleşmelerin kesilmesi için gerekli sürtünme kuvveti, birleşmelerde malzemenin gerilmesi ile orantılı olarak değişecektir.

$$F_s: A_r \cdot S \quad (4.1)$$

F_s : Sürtünme kuvveti

A_r : Gerçek temas alanı

S : Malzemenin kesme gerilmesi

Pratikte kayma sürtünmesi nem ortam, sıcaklığı vs. gibi parametrelerden de etkilenmektedir.

4.1.2. Yuvarlanma sürtünmesi

Yuvarlanma sürtünmesi, yüklü bir kürenin veya silindirin, düz bir kütle yüzeyi üzerinde yuvarlanması sırasında oluşur. Yük altındaki silindirin yuvarlanmasında sürtünme direnci, silindirin merkezine uygulanır. Bu sürtünme, aşağıda gösterilen bağıntıya uygun olarak yük ile doğru orantılı (W) ve yuvarlanma elemanın çapı ile ters orantılıdır.

$$F_r: k \cdot W^n / D^m \quad (4.2)$$

F_r : Yuvarlanma sırasındaki sürtünme direnci

k : Malzeme ve yüzey şartlarına bağlı sabit

W : Yük

D : Silindir veya kürenin çapı

n ve m : deneysel sabitlerdir.

Yuvarlanma sürtünme katsayısı μ_T kayma sürtünmesinde olduğu gibi aynı yöntemlerle bulunur.

$$\mu_T : F_f/W \quad (4.3)$$

Genel olarak yuvarlanma sürtünme katsayısı sürtünme katsayısına göre çok düşüktür. Statik ve kinetik sürtünme katsayıları ile yaklaşık olarak aynıdır [Özsaraç, 1999].

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme kuru, sıvı ve sınır sürtünmesi olarak üç halde incelenir [Demiral M., 2005].

4.1.3. Kuru sürtünme

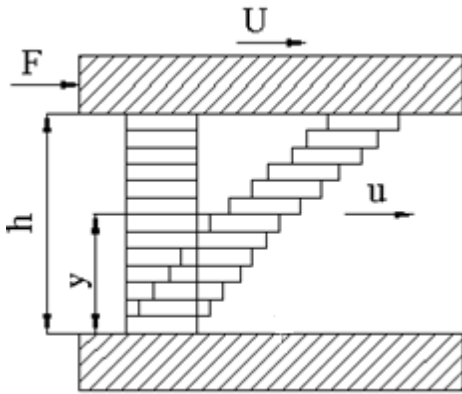
Pratikte sürtünme denilince akla gelen bu sürtünmedir. Aşınma enerji kaybı ve sıcaklık yükselişi gibi olaylar kuru sürtünme sonucu oluşur. Genel anlamda yabancı maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer şartlarındaki sürtünme halidir. Teknikte sürtünme hem istenen hem de istenmeyen olaylar olarak ortaya çıkar. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenen bir olaydır. Bu gibi yerlerde sürtünme artırılır. Bunların dışında, bütün izafi hareket yapan yüzeylerde istenmeyen bir olay olarak ortaya çıkan sürtünmenin azaltılması gerekir. Yük uygulanmadan önce temas halindeki tabii tabakalar arasında bir bağlantı oluşur. Yük uygulandıktan sonra tabakanın bir kısmı kopar ve buradaki küçük temas alanlarında metal kaynama meydana gelir. İzafi hareket yapan yüzeylerde sürtünme metal kaynak bağlar ile tabii tabakalar arasındaki bağlantıların oluşturduğu dirençtir. Sürtünme kuvveti, hem kaynak bağlarını hem de bağlantıları koparan kuvvettir [Uzuner, 2001].

4.1.4. Sınır sürtünmesi

Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşmadığı durumlarda sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme halinde, sürtünme katsayısı genel olarak 0,02 ile 0,1 arasında değişir.

4.1.5. Sıvı sürtünmesi

Sıvı sürtünmesi, madeni yüzeylerin bir yağ tabakası tarafından tamamen ayrılmış olduğu sürtünme halidir. Madeni yüzeyler ile doğrudan doğruya temasta bulunan yağ tabakaları, adsorpsiyon yolu ile malzemelere tamamen yapışmış olduğu görülür. Şöyle ki; U hızıyla hareket eden yüzeye yapışmış olan tabakanın hızı U , sabit yüzey üzerindeki tabakanın hızı ise sıfırdır. Ara tabakanın hızı y mesafesine bağlı olarak U ile sıfır arasında değişir. Böylece sıvı sürtünmesi halinde sürtünme esas itibarı ile birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Sıvı sürtünmesi

4.1.6. Sürtünme kanunları

Sürtünme kuvveti ile bilinen ilk çalışma (1452-1519) Leonardo da Vinci'ye aittir. Da Vinci'ye göre sürtünme katsayısının sürtünme kuvvetinin normal yüke oranı olduğunu bulmuştur. Ünlü fizikçi Amontons (1699) sürtünme kuvvetini yeniden keşfetmiştir. Amontons'a göre sürtünme iki ana kurala dayanmaktadır.

1. Sürtünme kuvveti normal kuvvet ile orantılıdır.
2. Sürtünme kuvveti görünür temas alanından bağımsızdır.

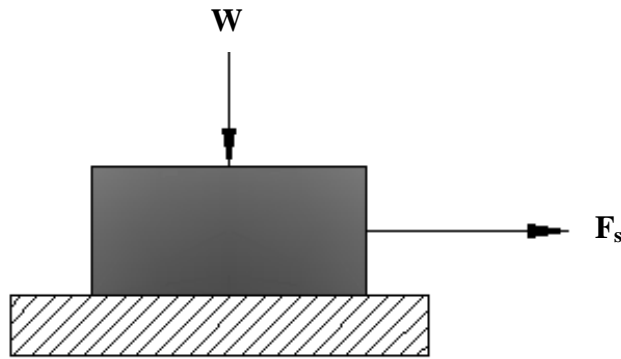
Bu kurallar ünlü fizikçi Coulomb tarafından da kabul edilmiştir. Coulomb bu iki kurala ilaveten üçüncü bir sürtünme kural olarak;

3. Sürtünme kuvveti kayma hızından bağımsızdır.

İfadesini ileri sürmüştür. Bu üçüncü kural statik sürtünme ile dinamik sürtünmenin birbirinden farklı olduğunu ortaya koymuştur.

4.1.7. Sürtünme katsayısı

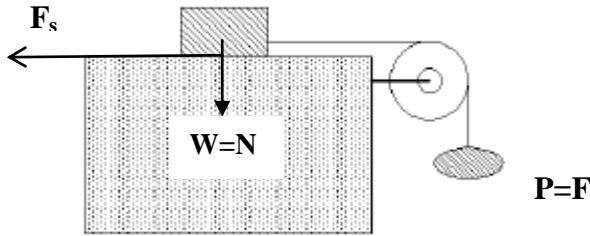
Bilindiği gibi iki katı cisim birbirine temas edecek şekilde yerleştirilirse, bu cisimlerin birbiri üzerinde kaymasını sağlamak için uygulanan kuvvete (W) dik yönde olacak şekilde bir sürtünme kuvveti(F_s) oluşur.



Şekil 4.3. Sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler

Sürtünme katsayısının ölçümleri için bazı deney düzenekleri kullanılmaktadır. Bu düzeneklerden bir tanesi makaralı sistemdir(Şekil 4.4). Bu düzenek ile sürtünme katsayısının ölçümünde, kaymayı başlatmak için sürtünme kuvveti(F_s) ve normal kuvvet(W) olarak iki farklı kuvvet bulunur. Kayma başlayıncaya kadar kuvvet (F)

artırılır ve kayma başladığı andaki uygulanan kuvvet sürtünme kuvveti (F_s) olarak belirlenir.



Şekil 4.4. Makara sisteminde sürtünme kuvvetinin ölçülmesi

Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden kuvvet N arasında;

$$F_s = N \times \mu_s \quad (4.4)$$

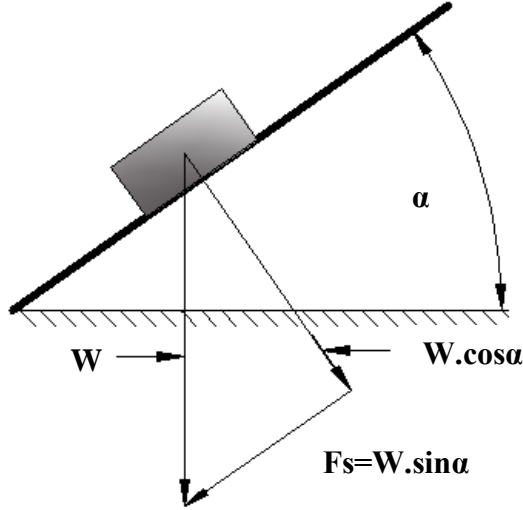
bağıntısı mevcuttur. Burada μ_s statik sürtünme katsayısıdır.

Sürekli kayma durumunda yani kayma hareketini başlatmak için uygulanan (F_s) kuvveti artırılır ve kayma hareketi sürekli olmaya başladığı andaki (F) kuvveti (F_k) olarak belirlenir.

$$F_k = N \times \mu_k \quad (4.5)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır.

Sürtünme ölçümü için kullanılan bir diğer metot olan eğimli yüzey metodu şekil 4,5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Eğimli yüzeyde sürtünme kuvvetinin ölçülmesi [Bhushan, 2001]

W : Objenin ağırlığı

N : Kayma yüzeyine dik olan normal kuvvet

F_s : Sürtünme Kuvveti

Eğik yüzey metodunda sürtünme katsayısı μ (burada α radyan cinsinden) açısına bağlıdır. Eğik yüzey üzerine yerleştirilen blok kaymaya başlayıncaya kadar α açısı artırılır. Kaymayı başlatan açının tanjantı sürtünme katsayısına eşit olur [Bhushan, 2001].

$$\mu = \frac{F_s}{N} = \frac{W \cdot \sin \alpha}{W \cdot \cos \alpha} = \tan \alpha \quad (4.6)$$

4.2. Aşınma

Aşınma için bir çok tanım yapılmakta olup, DIN 50320' ye göre aşınma; "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen istenmeyen yüzey bozulması" şeklinde tanımlanmaktadır.

Aşınma sonucunda malzeme kayıpları ile beraber makine parçası üzerinde hasarlar meydana gelir. Bu aşınma hasarları önemli ölçüde maddi kayıplara neden olabilmektedir. Aşınma olayında beş unsur vardır. Bunlar; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme(aşındıran), ara malzeme, yük ve harekettir. Ayrıca sıcaklık faktörü, nem faktörü diğer parametreler olarak değerlendirilebilir. Aşınan malzeme ve aşındıran malzemeler “aşınma çifti” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma çifti ile ara malzemeye de beraberce “aşınma kombinasyonu” denilmektedir. Aşınma çifti ile ara malzeme, sert taneli sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma sırasında oluşan aşınma parçacıkları da, ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar [Karabaşoğlu, 2008].

4.2.1. Aşınmayı etkileyen faktörler

Aşınmayı etkileyen bir çok değişik faktör bulunmaktadır. Bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

a. Malzeme secimi

b. Sürtünme

c. Yüzeye uygulanan yük

d. Kayma mesafesi

e. Yüzey sertliği

f. Yüzey kalitesi

g. Yağlama

vb. faktörler etki etmektedir. Bu faktörleri inceleyecek olursak;

a. Malzeme seçimi: Birçok zaman aşınma olayı malzeme seçimi ile yakından ilgilidir. Malzeme seçimi doğru yapılmadığında beklenen performans elde edilemediği gibi maddi kayıplara da sebep olabilmektedir. Dolayısı ile tasarımı yapılan parçaların malzeme seçimi yapılırken malzemelerin birbiri ile uyumluluk sağlayıp sağlamadığı çok iyi bir şekilde araştırılmalıdır.

b. Sürtünme: Birçok araştırmacı sürtünme ile aşınma arasındaki ilişkiyi göz önüne almamıştır. Fakat bazı metallerde sürtünme katsayısı düşük olmasına karşın büyük oranlarda aşınma oluşabilmektedir. Bununla birlikte sürtünme katsayısının yüksek olduğu bazı durumlarda aşınmanın çok az olduğu görülebilmektedir.

c. Yüzeye uygulanan yük: Yüzeye uygulanan yük ile aşınma miktarının çoğu zaman doğru orantılı olarak arttığı deneysel çalışmalar ile gözlenmektedir.

d. Sürtünme mesafesi: Sürtünme mesafesinin artması ile birlikte aşınma miktarında zamana bağılı olarak artış gözlenmektedir.

e. Yüzey sertliği: Yüzey sertliği aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Yüzey sertliği arttırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzey deformasyonu sabit tutulabilir.

f. Yüzey pürüzlülüğü: Yüzey pürüzlülüğünün aşınma miktarının etkisi çok önemlidir olmalıdır. Eğer yüzey çok temiz ise yüzeyler arasında soğuk kaynak oluşumu artar. Yüzey kaba olarak işlenmiş ise buda aşınmayı daha fazla artmasına sebep olur.

g. Yağlama: Aşınmaya karşı önleyici önlemlerden bir tanesi de yağlamadır. Sürtünen yüzeyler arasındaki yağlama ile metal metal teması ve soğuk kaynaklanma önlenir.

4.2.2. Aşınma türleri

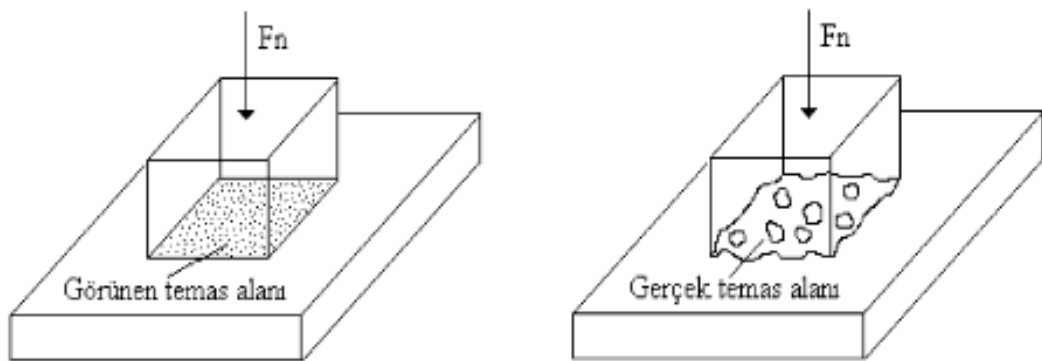
Adhezyon aşınması:

Adhezyon aşınması yapışma, ovalanma ve kavrama olarak da bilinen adhezyon aşınması, birbirine temas eden cisimlerin temas yüzeylerinin, bir normal kuvvet etkisi altında izafi hareket yapmaları sırasında görülen, cisimlerin gerçek temas yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü sebebiyle aslında çok çok küçük olduğundan, bu noktadaki gerilmeler çok küçük yük durumlarında dahi akma gerilmesi sınırına

erişirler ve akarak plastik deformasyona uğrarlar ve cisimler birbirine mikro kaynaklar ile bağlanırlar. Bu sırada iki cisim arasında devam eden izafi hareket sebebiyle kaynak bağı kopar. Bu kopma sonucu diğer cisme göre yumuşak olan malzemenin imal edilmiş cismin yüzeyinde boşluklar oluşur, diğer yüzeydeyse çıkıntılar meydana gelir ve iki yüzey arasına adheziv parçacıklar dökülür.

Ayrıca eğer parçacıklar dökülmeyp iki yüzey arasında kalırsa bu durumda abrasif aşınma söz konusu olur. Bu oluşumda yüzeylerin karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileşimleri önemli ölçüde rol oynamaktadır. Kayma halinde yüksek basınçlara ilaveten, temas noktalarında ayrıca aşırı sıcaklık artışlarının da olması, kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Oluşan bağ, malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise, o oranda kuvvetli olmaktadır. Rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı iki cisim arasındaki fiziksel bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı azaltır [Karaoğlu, 2004].

Şekil 4.6' da şematik olarak gösterildiği gibi malzemenin temas eden yüzeyleri ne kadar hassas işlenirse işlensin yüzeyde mikroskobik girinti ve çıkıntılarının olduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halinde olan iki yüzey bu çıkıntılar vasıtasıyla temas eder. Bu çıkıntılar arasındaki girintiler ise temas alanının dışında kalır.

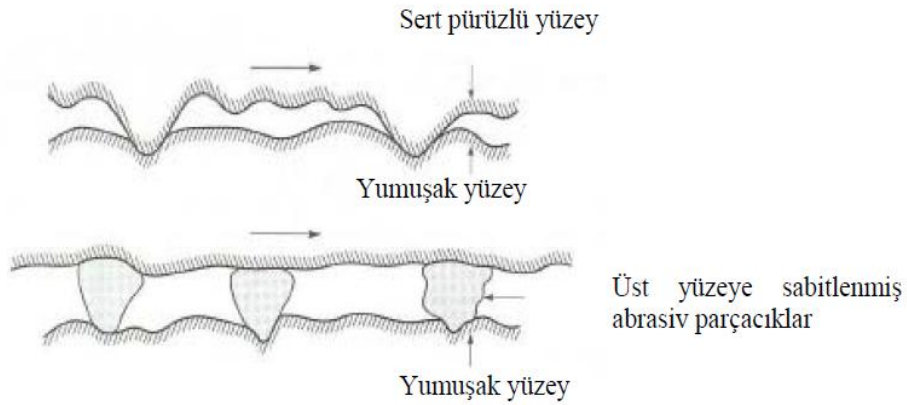


Şekil 4.6. Görünen ve gerçek temas alanları

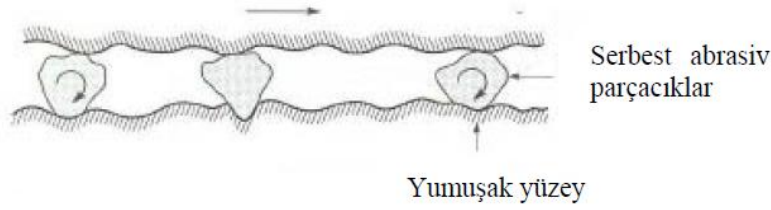
Abrasiv aşınma:

Birbirine göre izafi hareket yapan iki cisim arasında çevre etkisiyle yabancı sert parçacıkların girmesi ve bu parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırmasıyla kendini gösteren bir aşınma türüdür. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar ve yüzeyi hareket yönünde çizerler. Makine elemanlarının yüzeyleri ısıl işlem ile sertleştirilerek bu tür aşınmaya karşı önlem alınmaya çalışılır. Abrasiv aşınma mekanizmasında etkili olan temel faktörler, sertlik, aşındırıcı, tane veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı olarak sayılabilir.

Abrasif aşınma için iki genel durum vardır. Birinci durumda, Şekil 4.7’de gösterilen, sert yüzey, iki sürtünen yüzeyin daha sert olanıdır (iki cisimli abrasiyon). Bu duruma örnekler öğütme kesme ve talaşlı imalat gibi makine çalışmalarıdır. İkinci durumda, Şekil 4.8’ de gösterilen, sert yüzey, üçüncü bir cisimdir ve genellikle küçük abrasiv partiküllerdir, diğer iki yüzey arasında bulunur ve yüzeylerden birini veya ikisini de aşındırabilir (üç cisimli abrasiyon). Buradaki aşındırıcı parçacıklara sert abrasiv parçacıklarda denir. Bu tür aşınmalara örnek serbest abrasif alıştırma ve parlatmadır. Birçok durumda başlangıçta aşınma mekanizması adhesivdir. Adhesiv aşınmada aşınma partikülleri oluşur, bu partiküller ara yüzeyde sıkışır ve üç cisimli abrasif aşınmaya neden olur [Çelikyürek, 2006].



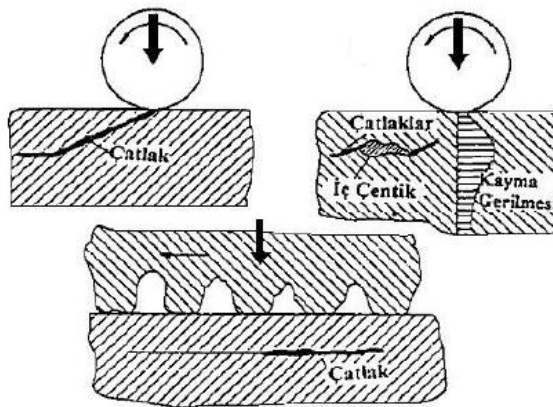
Şekil 4.7. Pürüzlü sert bir yüzey veya abrasif parçacıkların bir yüzeye yapışık olması [Çelikyürek, 2006]



Şekil 4.8.Yüzeylerden en az birinden daha sert abrasif parçacıkların iki yüzey arasında sıkışması [Çelikyürek, 2006]

Yorulma aşınması:

Değişik yüklemeler etkisi altında meydana gelen bir aşınma türüdür. İki yüzey arasında tekrarlı yükler neticesinde yüzey ve yüzey altı çatlaklarının oluşması ile meydana gelir. Böyle bir aşınma çok sayıda yüklenme periyodundan sonra meydana gelmektedir. Yüzey bölgesi, titreşimli değişken zorlanmaya maruz kaldığı zaman malzeme yüzeyinin hemen altında mikro çatlaklar oluşur. Bu çatlakların yüzeye oluşması sonucunda pulcuk kalkması meydana gelir ve yüzeyden büyük parçacıklar koparak çukur ve oyukların oluşmasına neden olur. Genellikle dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda, demiryolu raylarında, soğuk veya sıcak haddeleme işlemlerinde görülmektedir. Korozif ortamlarda yorulmalı aşınma yorulmalı korozyon olarak adlandırılır. Şekil 4.9’ da yüzey yorulmasında çatlağın oluşumu ve ilerlemesi yorulmasının meydana görülmektedir.



Şekil 4.9. Yorulma aşınması oluşum mekanizması [Mutlu, 2002]

Korozyon aşınması:

Korozyon aşınması, düşük ve yüksek korozyon aşınması olarak iki şekilde gerçekleşir.

Metalik malzemeler içerdikleri alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak yüzeylerinde 0,1 mikron kadar doğal bir oksit tabakası bulunur. Bu tabaka sayesinde korozif ortamlara karşı direnç gösterirler. Aşındırıcı ortam tarafından metal yüzeyine uygulanan tekrarlı darbeler esnasında yüzeyden malzeme ile beraber oksit tabakası da kalkar. Tekrarlı darbelerin sıklığından veya koruyucu tabakayı oluşturan elementin alaşım içinde zamanla tükenmesinden dolayı oksit tabakası tekrar şekillenmez duruma gelir. Korozyonun beraber geliştiği ve korozyonun aşınma hasarına katkıda bulunduğu bu olaya düşük sıcaklık korozyon aşınması denir.

Yüksek korozyon aşınmasına; kimya, maden ve metalürji sektörleri, nükleer reaktörler, dizel motorlar ve birçok sanayi alanında karşılaşılır. Metalik malzemeler birçok uygulamada yüksek sıcaklıklarda korozif ortamlara maruz kalırlar ve malzemenin korozyon direnci bu ortamlardan etkilenir. Sıcaklık ve ortama bağlı olarak aşınma sekiz farklı şekilde meydana gelebilir. Bunlar, oksitlenme, karbürleme ve metal tozlaşması, nitrülenme, halojen korozyonu, sülfürleme, kül (tuz) çökeleği korozyonu, erimiş tuz korozyonu ve sıvı metal korozyonudur.

Korozif ortamlar oksitleyici ya da redükleyici olarak sınıflandırılır. Oksitleyici atmosfer, yanma için hava veya oksijen girişinin olduğu, yüksek oranda moleküler oksijen (O_2) içeren oksijen aktivitesinin moleküler oksijen konsantrasyonu ile kontrol edildiği ortamlardır. Redükleyici atmosfer ise, oksijen girişinin olmadığı yanmanın oksijensiz şartlarda gerçekleştiği ortamlardır.

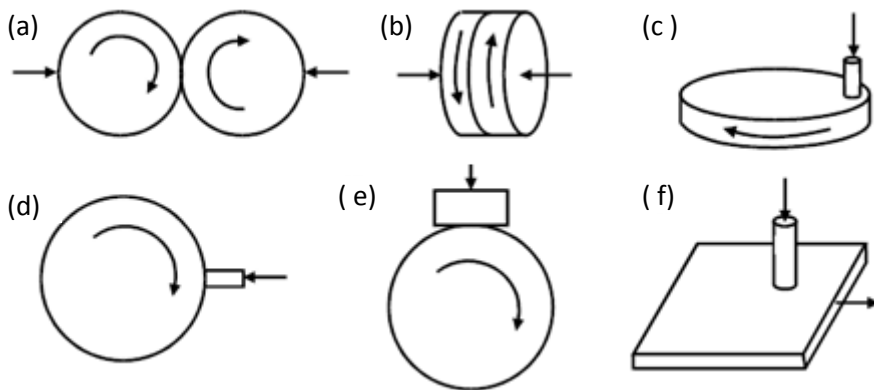
En önemli yüksek korozyon aşınma türü oksitlenmedir. Metal ve alaşımlar yüksek sıcaklıklarda hava veya oksitleyici ortama maruz kaldıklarında yüzeylerdeki oksit tabakası doğal olarak büyür. Metalik malzeme ve üzerindeki oksit tabakası farklı ısı

genleşme katsayılarına sahiptirler. Oksit tabakası, çalışma ortamındaki ısınma soğuma çevrimleriyle oluşan iç gerilmeler nedeni ile (metal tabaka ara yüzeyinde) zaman zaman dökülür ve hemen doğal olarak kendini yeniler. Koruyucu oksidin kendini tekrar yenileyemeyecek duruma gelmesi durumunda savunmasız kalan metal ise hızla oksitlenir ve zamanla pul pul dökülerek yüzeyde malzeme kaybı oluşur [Sarıkaya, 2007].

4.2.2. Aşınma deney yöntemleri

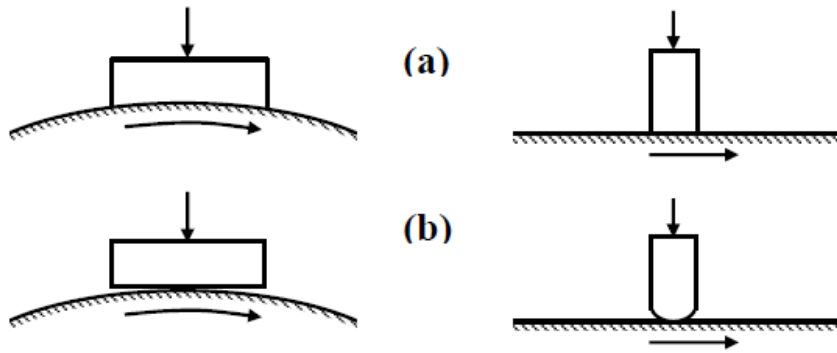
Malzemeler üzerinde aşınma oranlarını ve aşınmaya etkiyen değişkenleri tespit etmek amacıyla birçok aşınma test düzeneği geliştirilmiştir. Laboratuvar ortamlarında yapılan bu deneysel çalışmalar günümüzde malzeme seçiminde bize yardımcı olmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan birkaç aşınma metodu şematik olarak şekil 4.10' da gösterilmektedir. Bu metotlar iki tipe ayrılabilirler. Bunlardan birincisi aşınma oranının her iki kayma yüzeyinde de aynı malzemeden olsa bile aşınma oranlarının farklı olduğu asimetrik düzendedir. Bu düzene şekil 4.10'daki a ve b düzenleri örnek olarak gösterilebilir. Çok yaygın olarak asimetrik cihazlarda bir diske karşı bastırılan pim kullanılır. Bu pim diskin ya düz yüzeyi üzerine (Şekil 4.10.c) ya da kenarına (Şekil 4.10.d) bastırılır. Bu düzen tipi bileziğe karşı bastırılan bir blok (Şekil 4.10.e) veya düz bir yüzey üzerine bastırılan pim (Şekil 4.10.f) şeklinde olabilir.



Şekil 4.10. Kayma Aşınması İçin Kullanılan Geometrik Düzenler [Hutchings, 1992]

Pim kullanılan test cihazlarında temas şekilleri belirli bir alan teması (düz bir disk üzerine eğrisel uçlu bir pim veya bir bilezik üzerine tam yerleşmiş bir blok Şekil 4.11.a) veya bir nokta ya da çizgi teması (düz bir disk üzerine eğrisel uçlu bir pim veya bir bilezik üzerine tam yerleşmemiş düz bir blok Şekil 4.11.b) şeklindedir. Bu temas şekilleri şekil 4.11' de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Deney cihazlarında temas biçimleri [Özsaraç, 2000]

Kayma şartları altındaki aşınma, kayma aralığına ayrıca kayma hızı ve test süresinin her ikisinin birden büyüklüğüne bağlıdır. Kayma hızı sürtünme enerjisinin dağılıma oranına ve böylece iç yüzeydeki sıcaklık oranını etkiler. Bir aşınma testinin sonuçları ile bu aşınma testinin yarı süresi, iki kat hız ile elde edilen bir başka aşınma testinin sonuçlarının aynı olması düşünülemez. Kayma hızı değişken aşınma mekanizması ve oranında ani geçişler olabilir. Aşınma ayrıca kayma yüzeyleri arasındaki nominal temas basıncına da bağlıdır. Temas basıncındaki değişmelerin oluşturduğu geçişleri de içerir. Temas basıncından bağımsız olarak numunenin lineer boyutları da önemlidir. Uzun bir numunenin kenarına yakın bir yerdeki aşınma hasarı, temas bölgesinden geçişi esnasında kısa bir numunedeki aşınma hasarına göre daha etkilidir.

Normal yük, temas alanı, kayma hızı ve test süresindeki büyük değişikliklerden başka diğer çeşitli faktörlerde aşınma testinde hesaba katılmalı ve izlenmelidir. Test sıcaklığı malzemenin mekanik özellikleri üzerine ve sıcaklığın hareket geçirdiği

işlemler üzerinde etkisinden dolayı önemlidir. Yağlı sistemlerde yağ viskozitesi üzerine olan etkisinden dolayı test sıcaklığı önemlidir. Atmosferik bileşenler de önemlidir. Su buharı ve oksijen gibi reaktif bileşenler tüm malzemelerde aşınma oranını ve mekanizmasını kuvvetli bir şekilde etkiler. Yağlı sistemlerde, yağ filmlerindeki basınç dağılımı ve bunun sonucu film kalınlığı ve yağlayıcı maddenin miktarı da önemli faktörlerdir. Bu etkilerin geniş listesi, bir pratik uygulamanın laboratuvar benzeşimi kurmanın mümkün olmadığı ve sadece aşınma testinin bir servis deneyi olduğu akla gelebilir. Fakat çıkan sonuçların benzeşimi yapılan gerçek şartlardan çok uzak olduğu bilinmelidir. Temas gerilmeleri, temas şartları, kayma hızları ve kimyasal ortam herhangi bir aşınma testinde hepsi çok önemli bileşenlerdir. Sürtünmenin ölçülmesi ile ve testten sonra aşınan yüzeylerin ve aşınma hasarının son muayenesi ile bu önem daha iyi fark edilir. Aşınma mekanizması, servis uygulamalarına olduğu gibi testte de aynıdır. Bir laboratuvar testinin sonuçları güvenle pratik bir probleme uygulanabilir [Özsaraç, 2000].

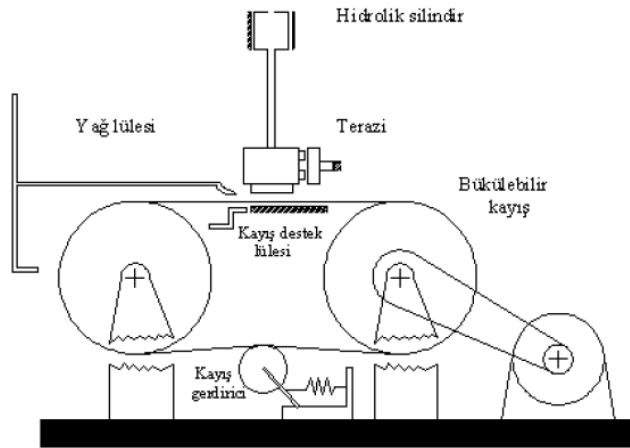
4.2.3. Aşınma deney cihazları

Pim-disk aşınma cihazı:

Pim-disk (disk üzerine pim) yöntemi, model test yöntemlerinin en basit olanlarından ve en yaygın kullanılanlarından birisidir. Deneyde kullanılan yatay döner disk genellikle metal bileşenlerden oluşmaktadır. Deneyde aşınma durumu incelenecek olan numune koni, küre veya silindir şekline sahip bir pimdir. İzafi kayma hızı, diskin merkezi ile pimin temas noktası arasındaki radyal “r” mesafesi değiştirilmek suretiyle ayarlanabilir. Pim üzerinden diske uygulanacak normal yük, mekanik, pnömatik veya bir hidrolik silindir vasıtasıyla sağlanabilir. Bu test tekniği kullanılarak kuru kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları incelenebilmektedir [Karaoğlu, 2006].

Levha - kayış cihazı:

Bu sistem iki geniş silindir ve bu silindirlerin üzerinden geçen elastikiyet özelliğine sahip bir kayıştan meydana gelir. Kayış silindirlerin etrafında dönmekte olup, kayışın gerginliği basit bir gerdirme mekanizması ile ayarlanabilmektedir. Yine silindirlere bir tanesi hız ayarlı olup, silindirin devri değiştirilmek suretiyle kayışın hızı değiştirilebilmektedir. Kayış, lastik, çelik şerit veya takviye edilmiş kompozit malzemelerden olabilir. Deneyde aşındırmayı sağlayacak yüzey, kayışın bir yüzüne zımpara kağıdı yapıştırılması veya bir aşındırıcı örtülmesi ile sağlanır. Deneyde kullanılacak olan test numunesi bir hidrolik silindir aracılığıyla kayış üzerine bastırılarak bir normal yük meydana getirilir. Kayış ve numunenin arasında oluşan sürtünme kuvvetinin tesiriyle numune deformasyona uğrar. Numuneyi tutmakta olan kafa sağ ve sol taraftan yaltaklanmıştır. Kayışın hareket yönü tarafında bulunan yatağa sürtünme kuvvetinin ölçülmesi için bir terazi yerleştirilmiştir. Şekil 4.12' de levha-kayış cihazı şematik olarak gösterilmektedir [Bhushan, 2001].

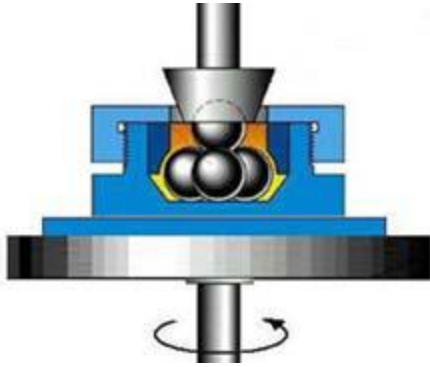


Şekil 4.12. Levha-kayış aşınma deney cihazı [Bhushan, 2001]

Dört bilya düzeneği:

Bu deneyde dört adet aynı büyüklükte bilya numune olarak kullanılmaktadır. Bu bilyalardan üç tanesi, deney esnasındaki şartlarda rahatça hareket edebilecekleri bir

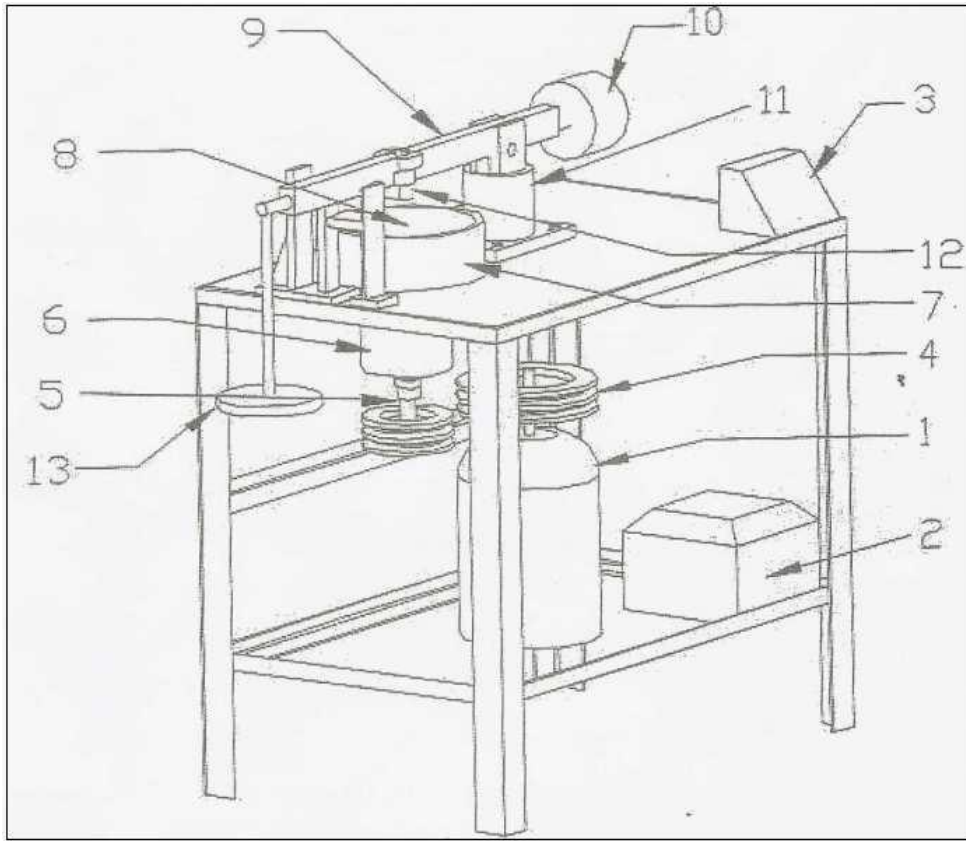
kabın içerisine konulmuşlardır (şekil 4.13). Dördüncü bilya ise kendi şekline uygun olarak oyuk açılmış bir milin içerisinde olup diğer üç bilyanın üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Mil döndürölmeye başladığında üstteki bilyanın etkisiyle altta bulunan bilyalar zıt yönde dönmeye başlarlar. Dönen bilyalardaki radyal yükün çok az miktardaki artışı yorulma ömründe çok büyük düşüşleri meydana getirecektir. Bunun sebebi de temas alanlarındaki gerilmelerin artmasıdır [Karaoğlu, 2006].



şekil 4.13. Dört top aşınma deney aparatı [Karaoğlu, 2006]

5. MEVCUT DENEY DÜZENEGİ VE MODİFİKASYONU

Aşınma deneylerinin gerçekleştirileceği pin-on disk aşınma deney düzeneği revize edilmiş ve sistemde aşınma deneylerinin yapılmasının yanı sıra deney numunelerine etkiyen sürtünme kuvvetinin de ölçülmesi ve sürtünme katsayısının hesaplanabilmesi amacıyla yük hücresi tertibatı tasarlanmıştır. Ayrıca deney düzeneğine aşındırıcı diskin devir sayısını belirleyebilmek amacıyla takometre eklenmiştir. Şekil 5.1’ de aşınma deneyi düzeneğinin revizyon işlemi öncesi şematik bir görünümü verilmiştir.



Şekil 5.1. Aşınma deney cihazının revizyon işlemi öncesi şematik görünümü

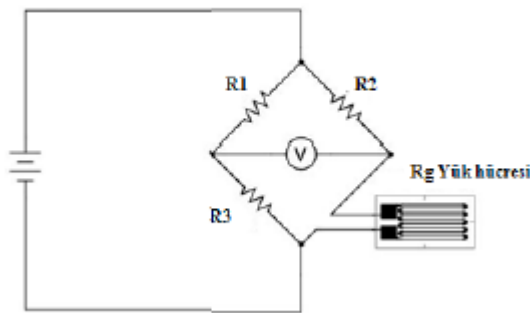
1. Elektrik motoru, 2. Hız kontrol cihazı, 3. Hız kontrol paneli, 4. Kayış kasnak sistemi, 5. Mil, 6. Mil yatağı, 7. Koruyucu çanak, 8. Sertleştirilmiş disk, 9. Taşıyıcı kol, 10. Dengeleme ağırlığı, 11. Yatak, 12. Pens sıkma tertibatı, 13. Ağırlık

5.1.Yük Hücresi (Yük hücresi) ve Yazılım

Yük hücresi, üzerine uygulanan fiziksel kuvveti elektrik sinyaline dönüştüren sistemdir. Yapı yay elemanı olarak adlandırılan, özel olarak seçilmiş ve şekil verilmiş metal şase ile gerinim ölçerler ile kurulmuş bir wheatstone köprüsünden oluşur.

Yay elamanı üzerine bir kuvvet uygulandığında bu bir deformasyona sebep olur, yay elamanında meydana gelen bu deformasyon wheatstone köprüsü üzerinden bir elektrik sinyali olarak çıktı alınır. Elde edilen bu sinyal, sinyal dönüştürücü sistemler aracılığı ile kuvvet ya da ağırlık olarak gösterilir.

Şekil 5.2' deki resimde görünen wheatstone köprüsünün çalışma prensibi olarak, eğer R_1, R_2, R_3 ve R_g dirençleri birbirine eşitse çıkış terminallerinde herhangi bir voltaj okunmaz. Yani çıkış sıfırdır. Eğer yük hücresinin R_g ' ye bağlı olduğu bacakta uygulanan yükten dolayı gerinim ölçerin direnci değişirse çıkış terminalinde voltaj artmaya başlar. Yük hücresi wheatstone köprüsüne 1 adet bağlanabileceği gibi 2,3, ve 4 bacağı da sabit dirençler yerine yük hücresi bağlanabilir.



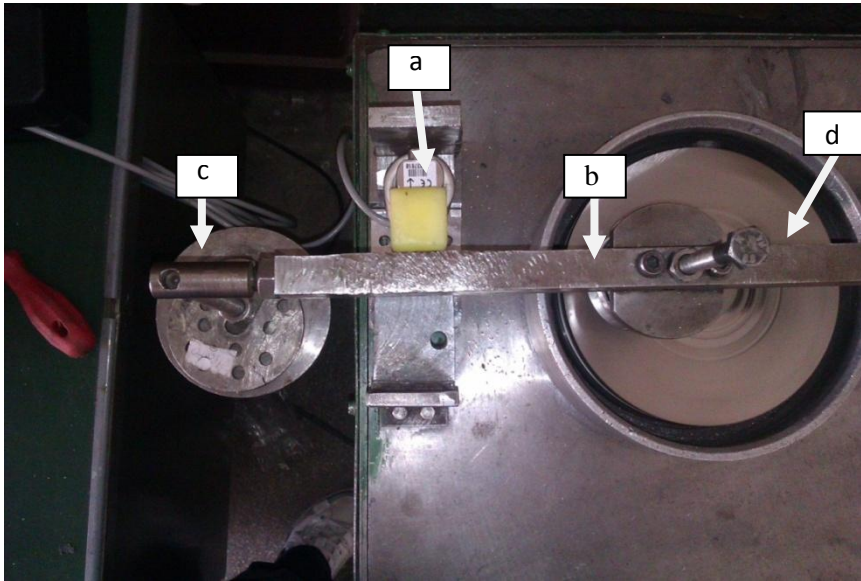
Şekil 5.2. Wheatstone köprüsü

Aşınma deney düzeneğinde HBM firmasından temin edilen Z6 model, 20 kg kapasiteli Bending Beam tip yük hücresi (resim 5.1.) kullanılmıştır.



Resim 5.1. Aşınma deney düzeneğine montajlanan 20kg kapasiteli yük hücresi

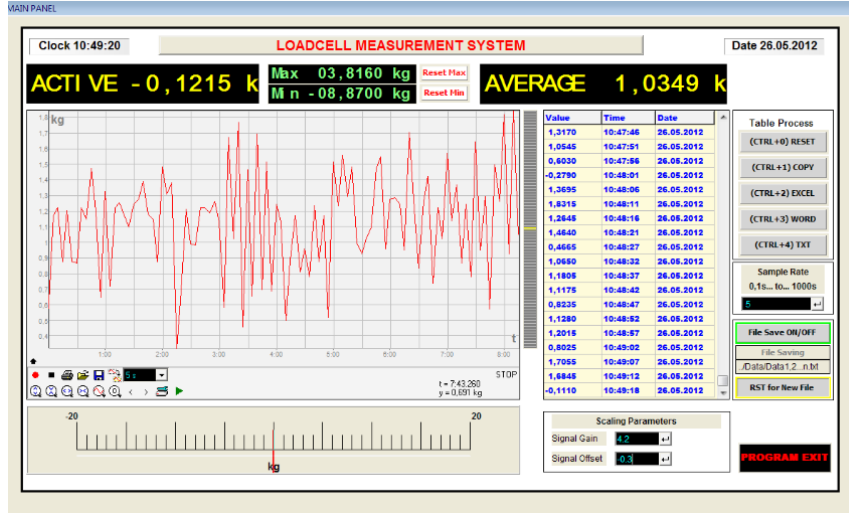
Resim 5.2' de aşınma deney düzeneğinin revizyon işlemi sonrası bir görüntüsü verilmiştir. Sistemde deney numunesine etkiyen sürtünme kuvveti taşıyıcı kola etki etmektedir. Aşınma deneyleri esnasında taşıyıcı kola etkiyen kuvvet yük hücresi tertibatı aracılığı ile kg cinsinden bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayara aktarılan kuvvet yük hücresi ölçüm programında okunmaktadır.



Resim 5.2. Aşınma deney düzeneği. (yük hücresi tertibatı montajlandıktan sonra aşınma deneyleri esnasında çekilmiş bir resim a. Yük hücresi, b.Taşıyıcı kol, c. Ağırlık, d.Disk)

Resim 5.4' de Bir aşınma deneyi esnasında bilgisayarda okunan kuvvet değerlerini gösteren programın görüntüsü verilmiştir. Yük hücresi measurment programı aracılığı ile okunan kuvvet değerlerinin kalibrasyon işlemi yük hücresi üzerine ağırlığı bilinen yükler konulmak suretiyle yapılmış ve signal gain - signal offset

değerleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılan yük hücreğine göre değişiklik göstermekte olup bilgisayar ortamında kalibrasyon katsayıları olarak kullanılmaktadır. Bu değerler; Signal Gain = 4.2, Signal Ofset = 0.03 olarak belirlenmiştir.



Resim 5.4. Bir aşınma deneyi esnasında bilgisayarda okunan kuvvet değerlerini gösteren programın görüntüsü

Resim 5.5' de aşınma deneylerinde kullanılan aşınma deney düzeneğinin revizyon işlemi sonrası bir görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.5. Aşınma deney düzeneğinin revizyon işlemi sonrası görüntüsü

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İlk olarak sisteme yük hücresi aşınma deney düzeneğine montajlandıktan sonra kalibrasyon amacıyla sürtünme katsayısı bilinen MS70 pirinç malzemenin ve ticari saflıktaki PTFE' nin aşınma davranışları incelenmiştir. Daha sonra NiTi alaşımını üretmek amacıyla Alfa-Aesar firmasından temin edilen -325 mesh boyutlarında %99.9 saflıkta Titanyum ve Nikel tozları üç farklı oranda (saf Ti, Ni₄₈Ti₅₂, Ni₅₂Ti₄₈ olmak üzere) tartılarak toz karışımları hazırlanmıştır. Daha sonra homojen olarak karışımları sağlanan tozlar belirli boyutlarda üretilmek üzere preslenmiştir. Preslenen numuneler sinterleme işlemine tabii tutulduktan sonra yüzeyleri parlatılarak sertlikleri ölçülmüştür. Üretilen intermetalik kompozit malzemelerin mikroyapı özellikleri ve aşınma davranışları incelenmiştir.

6.1. Aşınma Deneyleri ve Aşınma Deney Düzeneğinde Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi

Aşınma deneyleri revizyon işlemi tamamlanan pim-on disk aşınma deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, disk yüzeyine dik bir biçimde cihaza monte edilmiştir. Adhesiv aşınma deneylerinde, yüzeyleri 0,15 µm hassasiyetinde taşlanmış Ç 4140 çelik diskler kullanılmıştır. Numunelerin aşınma miktarları; 0,0001 gr ölçme hassasiyetine sahip precica marka elektronik terazide, deney öncesi ölçülen ağırlıklarından deney sonrası tespit edilen ağırlıklarının çıkarılması ile bulunmuştur. Aşınma işlemi; döner bir disk üzerine pens aracılığı ile bağlanan numunenin taşıyıcı kola istenen kuvvetle bastırılması yoluyla yapılmıştır. Döner disk üzerinde dört iz bulunmaktadır ve Çizelge 6.1. de uygulanan iz çapları verilmiştir. Deney sabit kayma hızında yapıldığı için, her izde çap değişeceğinden çevresel hızdan dolayı kayma hızı da değişecektir. Kayma hızını sabit tutmak için için diskin devir sayısının farklı olması gerekmektedir. Bu nedenle, disk üzerindeki numunenin temas ettiği noktaların çapları bilindiğinden her bir iz için ayrı ayrı devir sayıları hesaplanmıştır. Devir sayılarının ölçümü elektronik takometre ile yapılmıştır. Ayrıca cihaz üzerine sonradan eklenen yük hücresi ile sürtünme kuvveti de ölçülmüştür.

Tezgah devir sayısı (dev/dak);

$$N = \frac{V \cdot 1000 \cdot 60}{D \cdot \pi} \quad (6.1)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Formülde;

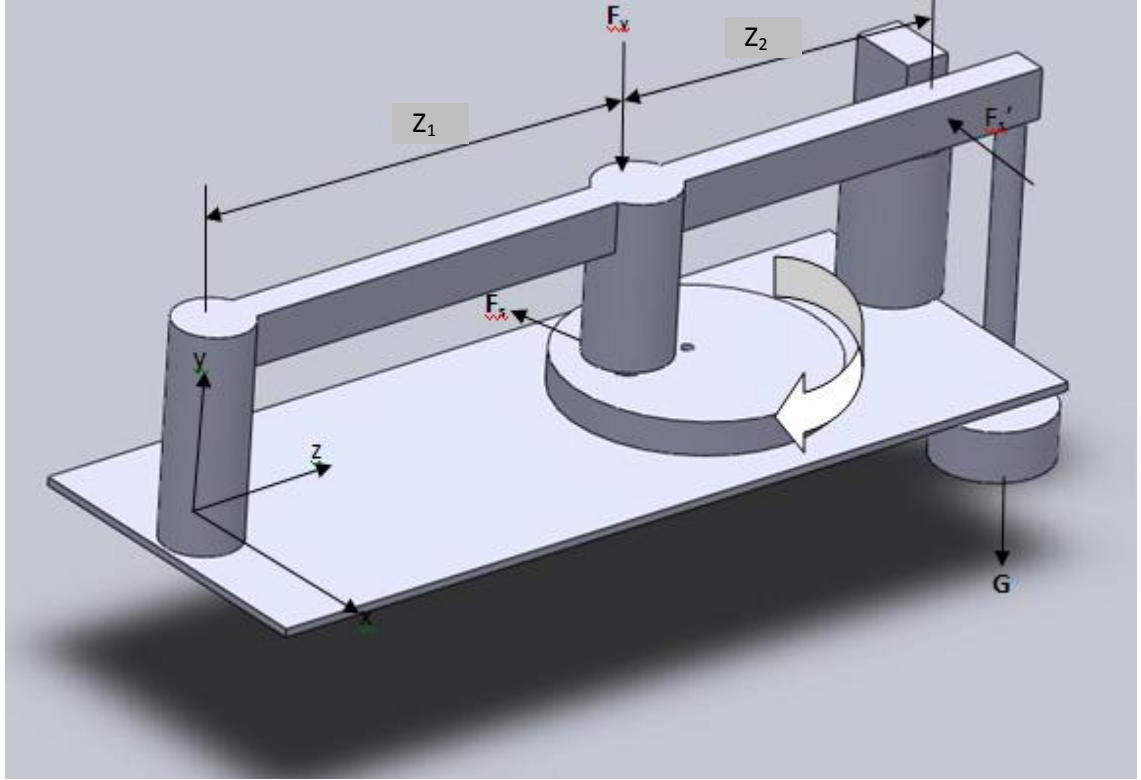
V: Kayma hızı (m/sn),

D: iz çapı (mm), olarak alınmıştır.

Çizelge 6.1. İz çapları

İz numarası	İz Çapları (mm)
1	64
2	80
3	96
4	120

Bilgisayarda okunan kuvvet gerçek sürtünme kuvveti olmayıp gerçek sürtünme kuvvetini belirlemek amacıyla her bir iz çapı için moment alınmak suretiyle bir katsayı belirlenmiştir (Çizelge 6.2). Burada moment taşıyıcı kol yatağına göre alınmıştır. Şekil 6.1' de taşıyıcı kol üzerine etkiyen kuvvetler ve sürtünme kuvveti şematik olarak gösterilmiştir. Taşıyıcı kol ve yatağı hareketli olup her bir deneyin yeni bir yüzeyde yapılabilmesi amacıyla istenilen iz çapına göre ileri geri hareket ettirilebilmektedir. Bundan dolayı yük hücresinin taşıyıcı kol yatağına olan mesafesi değişmektedir. Buda her bir iz çapının çarpım katsayısının değişmesine neden olmuştur. Yük hücresi programı aracılığı ile okunan kuvvet değerleri bu hesaplanan katsayılarla çarpılmak suretiyle de gerçek sürtünme kuvvetine ulaşılmıştır.



Şekil 6.1. Aşınma deney düzeneğinde taşıyıcı kol üzerine etkiyen kuvvetlerin görünümü

Burada;

G : Ağırlık (N)

F : Aşınma deney numunesine etkiyen kuvvet (N)

F_s : Aşınma deney numunesi ile disk arasında oluşan sürtünme kuvveti (N)

F_s' : Yük hücresi aracılığı ile bilgisayarda okunan sürtünme kuvveti değeri (N)

değerleridir. Burada;

$$F=2G$$

$$F_s=Fx\mu \quad (6.2)$$

$$F_s \times z_1 = F_s' \times z_2 \text{ 'dir.} \quad (6.3)$$

Burada z_1 mesafesi sabit olup z_2 mesafesi taşıyıcı kolun hareket ettirilmesi ile değişmektedir.

Çizelge 6.2. Her bir iz çapı için moment alınarak hesaplanan katsayılar

	1.İz çapı	2.İz çapı	3.İz çapı	4.İz çapı
Çarpım katsayısı	1,644	1,612	1,58	1,528



Resim 6.1. Aşınma deneylerinde kullanılmış bir disk

6.2. MS70 Pirinci ve PTFE'nin Test Numunelerinin Hazırlanışı

Piyasadan temin edilen 8mm çaptaki MS70 pirinç malzeme 6,5 mm çapında ve 70 mm boyunda kesilmek suretiyle deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 0,5 m/s ve 1m/s hızlarda, 50 N ve 85 N yükler altında 500 m aşınma mesafesinde aşınma deneylerine tabii tutulmuş ve sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel bulgular Davim'in çalışmasındaki sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Polikim firmasının ürünü olan ticari saflıktaki PTFE numuneler 6,5 mm çapında ve 12mm boyunda hazırlandıktan sonra aşınma deneyine tabii tutulmuşlardır. Aşınma deneyleri 0,32 m/s, 0,64 m/s ve 1,28 m/s hızlarda 45 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Her bir hız değeri için 5 N, 10 N, 20 N, ve 30 N kuvvet

uygulanmıştır. Her bir yük ve hız değeri için ayrı ayrı sürtünme katsayısı grafikleri excel programı aracılığı ile çizdirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen deneysel bulgular Ünal ve arkadaşlarının (2003), yapmış olduğu deneylerde elde etmiş oldukları deneysel bulgularla kıyaslanmıştır.

6.3. NiTi Test Numunelerinin Hazırlanışı

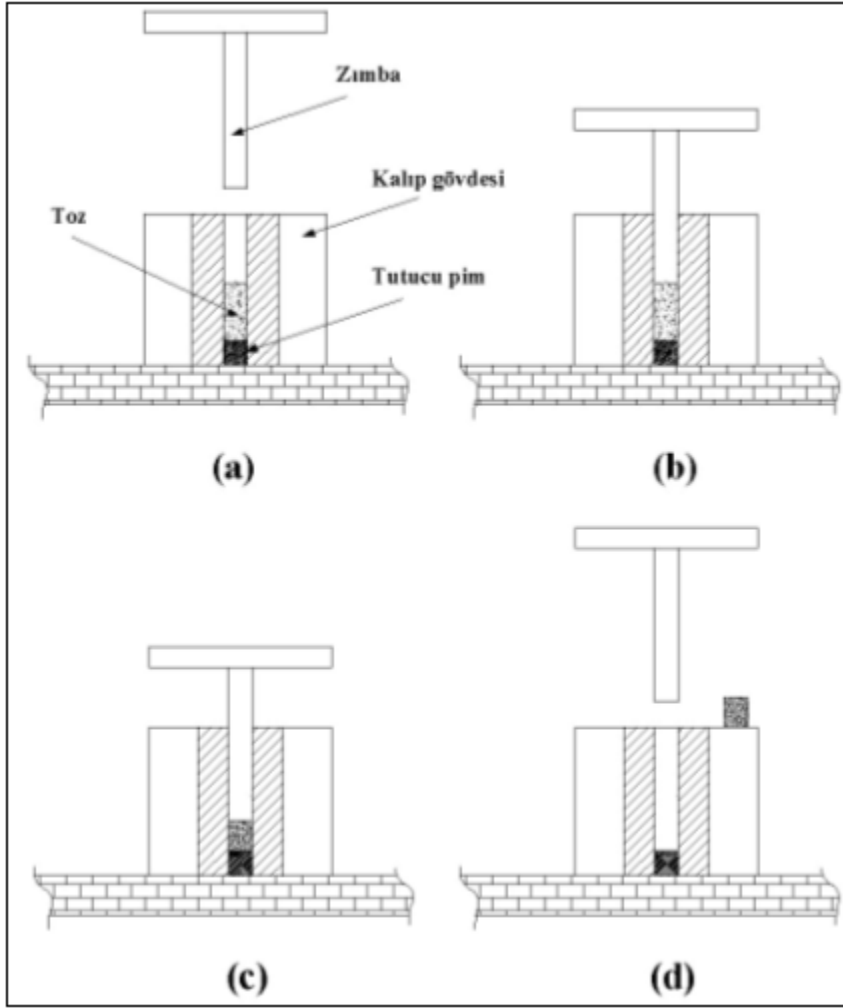
6.3.1. Toz karışımlarının hazırlanması

Ticari saflıktaki 45µm tane boyutuna sahip Titanyum ve Nikel tozları ağırlıkça Ti₁₀₀, Ni₄₈Ti₅₂, Ni₅₂Ti₄₈ oranlarında tartılarak ve içerisine %0.2 oranında yağlayıcı madde (çinko stearat) katılmak suretiyle toz karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan toz karışımları 30 dakika süreyle homojen olarak karıştırılmıştır.

6.3.2. Karıştırma işlemi sonrasında tozların preslenmesi

Karıştırma işlemi sonrasında elde edilen karışım tozlarından aşınma testi için Ø6,5x12mm boyutlarında silindirik numuneler preslenerek, blok parçalar elde edilmiştir.

Blok numuneler tek yönlü aksenal kalıpta presleme ile elde edilmiştir. 650 MPa presleme basıncı altında gerekli numune boyutlarını elde edebilmek için, kalıp içerisine Ti₁₀₀ için 1,536 gr toz karışımı, Ni₄₈Ti₅₂ için 2,255 gr toz karışımı, Ni₅₂Ti₄₈ için 2,315 gr karışım toz şarj edilmiştir. Farklı oranlarda titanyum ihtiva eden karışım tozlarının her birinden 15 adet numune preslenerek 45 adet numune elde edilmiştir. Presleme esnasında; karışım toz, kalıp içerisine sarj edilmeden önce kalıp iç yüzeyleri ile zımba dış yüzeylerine etil alkol-çinko stearat karışımı sürülerek kalıplanan numunelerin kalıptan daha kolay çıkması sağlanmış ve katmanlaşma problemi giderilmiştir (Sekil 6.2). Presleme işlemleri G.Ü.T.F. İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.



Sekil 6.2. Silindirik toz metal blok parçaların preslenmesi

- a) Tozların kalıba konması, b) Kalıp içerisine zımbanın yerleştirilmesi,
 c) Kalıp içerisinde tozların sıkıştırılması, d) Blok parçaların kalıptan çıkartılması

6.4. Titanyum-Nikel Alaşımli İntermetalik Malzemelerin Sinterlenmesi

Presleme sonrası elde edilen blok parçalarda temel olarak gerekli mukavemet artışını sağlamak için numuneler önceden belirlenen sinterleme sıcaklığında atmosfer kontrollü tüp fırında 5 saat süre ile sinterlenmiştir. Fırın oda sıcaklığında iken blok numuneler grafit bir kayık içerisinde fırının merkezine yerleştirilmiştir. Daha sonra 10 °C/dak ısınma hızı ile sinterleme sıcaklığı olarak belirlenen 1100°C'ye kadar ısıtılmış, fırın sinterleme sıcaklığına geldiğinde 5 saat süre ile bekletilmiştir.

Sinterleme süresi sonunda fırın oda sıcaklığına kadar 5°C/dak'lık soğuma hızında kontrollü olarak soğutulmuştur. Numunelerin sinterleme anında oksitlenmesini önlemek için ortamdaki sürekli olarak argon gazı geçirilmiştir. Sinterleme işlemleri, G.Ü.T.F İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.

6.5. Titanyum Nikel Alaşımın İntermetalik Malzemelerin Karakterizasyonu

6.5.1. Yoğunluk ölçümleri ve porozite miktarlarının belirlenmesi

Üretilen numunelerin yoğunluk ölçümleri, hassasiyeti 0,0001 gr olan arsihimet prensibine göre çalışan dijital terazide yapılmıştır. Ölçümler, G.Ü.T.F Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Her bir intermetalik kompozit için teorik ve deneysel yoğunluk arasındaki farklar alınarak porozite miktarları;

$$\%porozite = \frac{\rho_{teorik} - \rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}} \times 100 \quad (6.4)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

Burada;

% Porozite: Porozite miktarı

ρ_{teorik} : Teorik yoğunluk (gr/cm³)

$\rho_{deneysel}$: Deneysel yoğunluk (gr/cm³), seklindedir.

6.5.2. Numunelerin sertlik ölçümleri

Üretilen numunelerin Rockwell B (HRB) sertlik ölçme metoduyla sertlik ölçümleri 100 kg yük uygulanarak her bir numuneden 6 adet sertlik değeri alınmak suretiyle ortalama sertlik değerleri elde edilmiştir.

6.5.3. Metalografik muayene

Üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri G.Ü.T.F. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Numunelerin dağlanması amacıyla 10ml Hf, 10ml HNO₃ ve 20 ml su içeren çözelti hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanan çözeltide 5 sn süreyle bekletilmiştir. Dağlama işleminin ardından optik mikroskop görüntüleri alınmıştır.

6.5.4. Numunelerin aşınma deneyleri

Üretilen numunelerin adhasiv aşınma deneyleri 20, 40 ve 60 N yük altında 3,6 km kayma mesafesinde, 1 m/sn sabit hızda, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Adhasiv aşınma deneylerinde, yüzeyleri 0,15 µm hassasiyetinde taşlanmış Ç 4140 çelik diskler kullanılmıştır. Ayrıca gerekli hesaplamalar yapılmak suretiyle excel programı aracılığı ile sürtünme katsayısı grafiklerine ulaşılmıştır. Üretilen numunelerin aşınma miktarları; 0,0001 gr ölçme hassasiyetine sahip bir elektronik terazide, deney öncesi ölçülen ağırlıklarından deney sonrası tespit edilen ağırlıklarının çıkarılması ile bulunmuştur.

Numunelerin abrasiv aşınma deneyleri 20, 40 ve 60 N yükler altında 45 sn, 90 sn ve 120 sn boyunca, 1 m/sn sabit hızda, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 80 (180 µm), 180(70 µm) ve 500(20 µm) eleklik SiC zımparalar kullanılmıştır.

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu kısım iki bölümden meydana gelmektedir. İlk kısımda aşınma deney düzeneğinin revizyon işleminin tamamlanması ve aşınma deney düzeneğinde sürtünme katsayısının doğru ölçülüp ölçülmediğinin kontrol edilmesi amacıyla MS70 pirinç malzemeye yapılan aşınma deneyi sonucunda elde edilen verilerle ticari saflıktaki PTFE malzemeye yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen verilerden oluşmaktadır. İkinci kısımda ise üretimi tamamlanan NiTi alaşımlarına uygulanan deneysel işlemlerin sonuçları yer almaktadır.

7.1. MS70 Pirincinin ve PTFE'in Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

7.1.1. MS70 Pirincinin aşınma davranışlarının incelenmesi

İlk olarak aşınma deney düzeneğinde ölçümü yapılan sürtünme katsayısının doğruluğunun araştırılması amacıyla Davimin 1999 yılında yapmış olduğu çalışma referans alınmış ve MS70 pirinç malzemeye aşınma testleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler oda sıcaklığında 0,5 m/s ve 1 m/s hızlarda 50 ve 85 N yükler altında gerçekleştirilmiştir. Davim çalışmasını 0,5 m/s ve 1 m/s hızlarda 50 ve 100 N yükler altında gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu çalışmada sürtünme katsayısının hızın artmasıyla birlikte düştüğü gözlemlenmektedir ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 7.1' de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Davim'in yapmış olduğu deneyler neticesinde elde ettiği sonuçlar

[Davim, 1999]

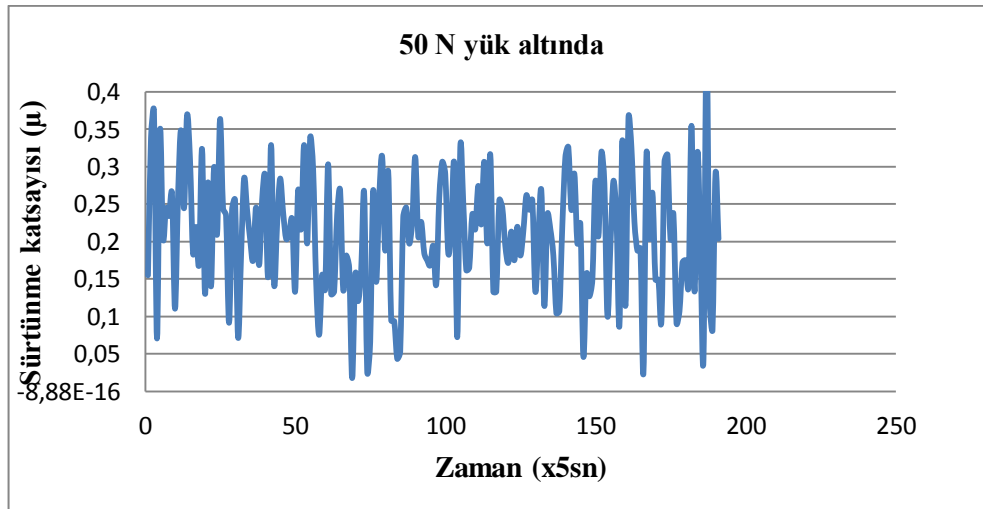
Uygulanan yük (N)	Hız (m/s)	Sürtünme Katsayısı(μ)
50	0,5	0,22
100	0,5	0,22
50	1	0,20
100	1	0,20

Davimin yapmış olduğu çalışmanın aynısı tekrarlanmış ve Çizelge 7.2’ de MS70 pirincine uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarının değerleri verilmiştir. Burada 50 N yük altında yapılan deneylerin sonuçlarına bakıldığında hızın artmasıyla birlikte sürtünme katsayısında bir miktar düşme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 85 N yük altında yapılan deneylerde de hızın artmasıyla birlikte sürtünme katsayısında düşüşler meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca çizelge 7.1’ de ki Davim’in deney sonuçları ile karşılaştırıldığında hemen hemen aynı değerlerin elde edildiği gözlemlenmektedir.

Çizelge 7.2. MS70 pirincinin sürtünme katsayısının kuvvet ve hıza göre değişimi

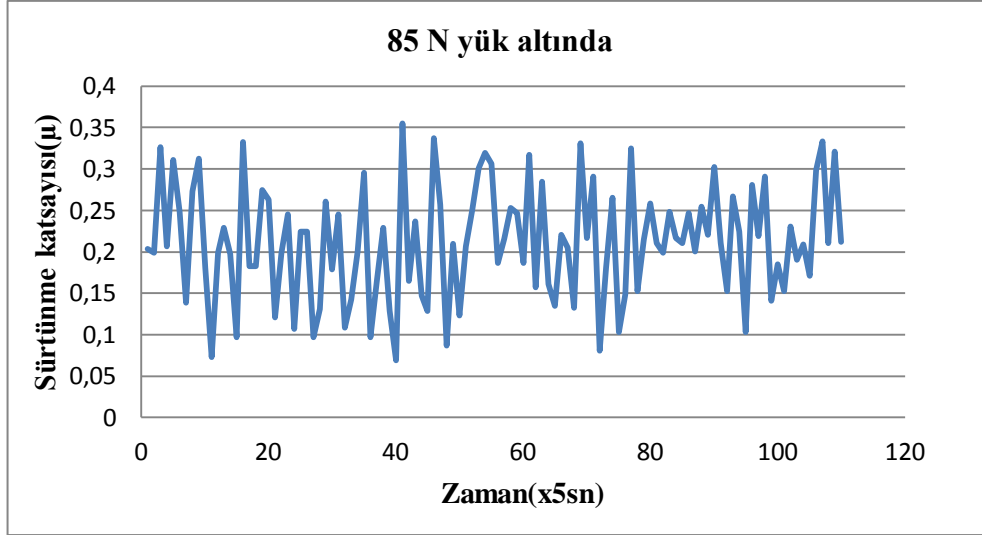
Uygulanan Yük (N)	Hız (m/s)	Sürtünme Katsayısı(μ)
50	0,5	0,22
85	0,5	0,215
50	1	0,204
85	1	0,21

Şekil 7.1.’de 0,5 m/s hız altında 50N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.1. 0,5 m/s ve 50 N yük altında MS70’in sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 7.2.'de 1 m/s hız altında 85 N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 7.2. 1 m/s hız ve 85 N yük altında MS70'in sürtünme katsayısı grafiği

7.1.1. PTFE'nin aşınma davranışlarının incelenmesi

İkinci olarak PTFE den hazırlanan deney numuneleri aşınma deneylerine tabii tutulmuşlardır. Yapılan deneylerde Ünal ve arkadaşlarının yapmış olduğu deneysel çalışmalar referans alınmış ve elde edilen deney sonuçları bu sonuçlarla kıyaslanmıştır.

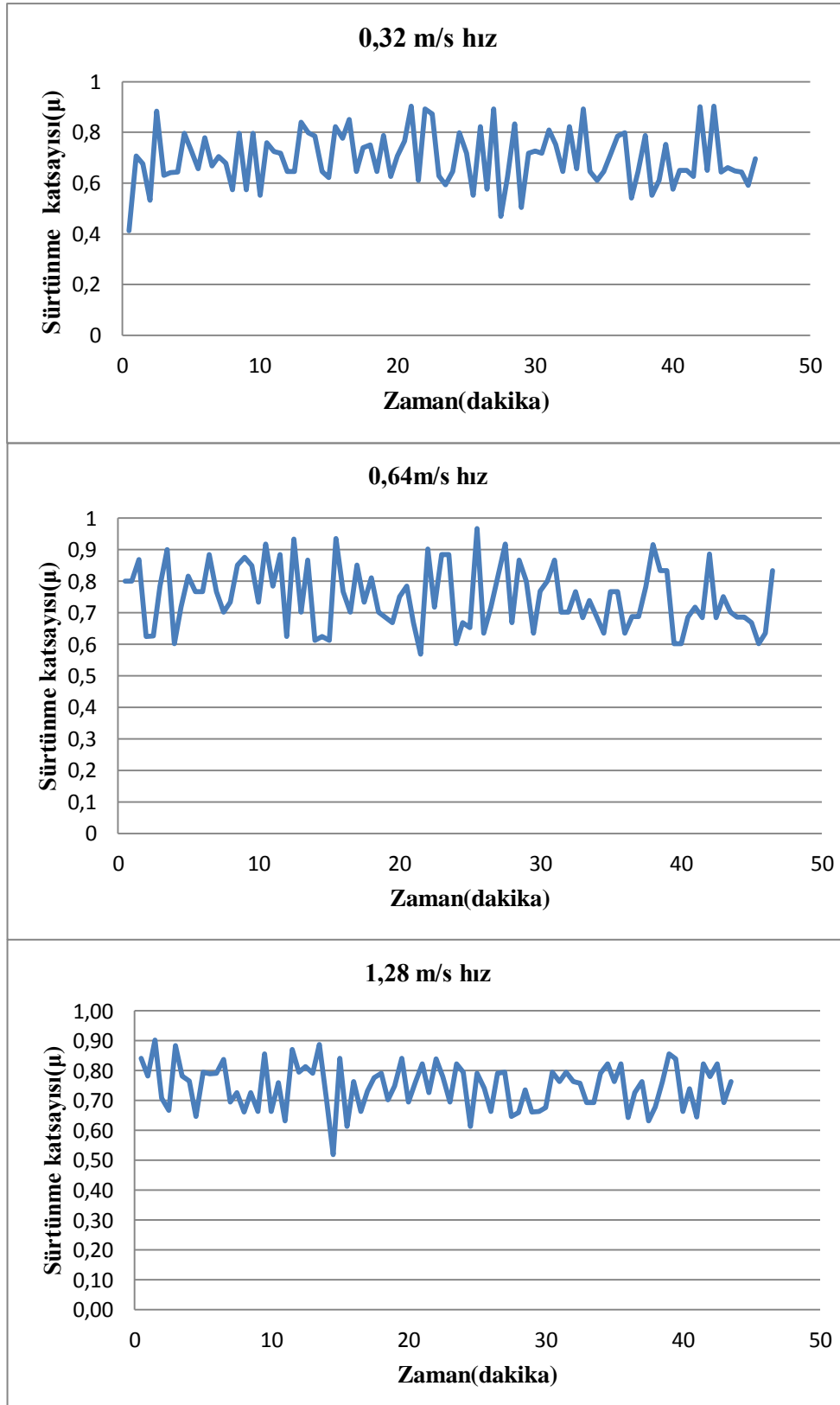
Ünal ve arkadaşları (2003) yapmış oldukları çalışmalarda dört farklı yükte ve dört farklı hızda ticari saflıktaki PTFE ve PTFE'nin birer kompoziti olan PTFE+17% GRF, PTFE+25% bronz ve PTFE+35% C içeren malzemelerin aşınma performanslarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda pin-on disk deney düzeneği kullanılmıştır. Deneyler 0,32 m/s, 0,64 m/sn, 0,96 m/sn ve 1.28 m/sn kayma hızlarında ve 5 N, 10 N, 20 N, 30 N yükler altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda yükün artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının düştüğü gözlemlenmiştir. Ticari saflıktaki PTFE için Ünal ve arkadaşlarının elde etmiş

olduğu sürtünme katsayısı ve kütle kaybı değerleri 0,32 m/sn, 0,64 m/sn ve 1.28 m/sn hız değerleri için çizelge 7.3' de verilmiştir.

Çizelge 7.3.Ünal ve arkadaşlarının yapmış oldukları deneyler sonucunda elde ettikleri sürtünme katsayısı ve kütle kaybı değerleri[Ünal, 2003]

	YÜK(N)	HIZ(m/s)		
		0,32	0,64	1,28
		Sürtünme katsayısı (μ)		
PTFE	5	0,76	0,775	0,79
	10	0,38	0,385	0,395
	20	0,19	0,19	0,20
	30	0,127	0,127	0,13
	YÜK(N)	Kütle kaybı (gr)		
	5	0,0092	0,0134	0,0380
	10	0,0183	0,0283	0,0700
	20	0,0265	0,0470	0,0112
	30	0,0560	0,0830	0,2020

Yapılan deneyler sonucunda numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla bilgisayarda okunan kuvvet değerleri iz çapına göre belirlenen katsayılarla çarpılmak suretiyle sürtünme kuvveti hesaplanmıştır. Örnek olarak Şekil 7.3' de 5 N yük altında ve 0,32 m/s, 0,64 m/s ve 1,28 m/s hızlarda 45 dakika süreyle gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. Yapılan deneyler esnasında 45 dakika boyunca bilgisayarda toplamda 45 veri okunmuştur. Bilgisayarda okunan verilerin ortalaması alınmak suretiyle ortalama sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde hızın artması ile birlikte sürtünme katsayısında çok fazla bir değişim olmadığı gözlemlenmektedir. Ayrıca farklı zamanlarda farklı sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Bunun nedeni ise aşınma deneyleri esnasında yüzeyler arasında meydana gelen parçacık kopması, araya parçacık girmesi gibi olaylardır.



Şekil 7.3. 5 N yük altında PTFE'nin sürtünme katsayısı grafikleri

PTFE numunelere uygulanan aşınma deneyleri sonrasında bilgisayarda okunan kuvvet değerleri aracılığı ile elde edilen sürtünme katsayısı değerleri kullanılmak suretiyle ortalama sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sürtünme katsayısı değerleri ve kütle kaybı değerleri Çizelge 7.4’ de verilmiştir. Buradaki veriler incelendiğinde artan yük miktarı ile birlikte sürtünme katsayısında lineer bir düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir Ayrıca hız faktörünün sürtünme katsayısı üzerinde pek bir etkisi olmadığı görülmüştür.. Bunun yanı sıra uygulanan kuvvetin artmasıyla birlikte kütle kaybında da artışlar meydana geldiği gözlemlenmektedir.

Çizelge 7.4. PTFE’ye uygulanan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı ve kütle kaybı değerleri

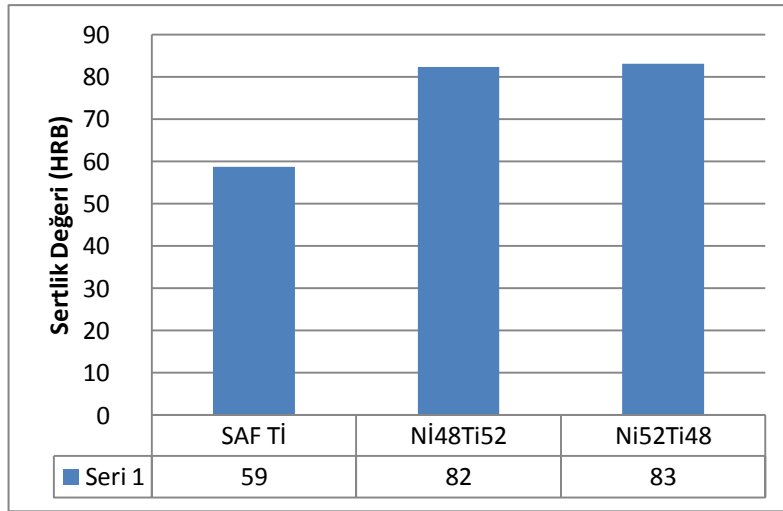
	YÜK(N)	HIZ(m/s)		
		0,32	0,64	1,28
		Sürtünme katsayısı (μ)		
PTFE	5	0,72	0,73	0,75
	10	0,38	0,379	0,39
	20	0,19	0,19	0,195
	30	0,134	0,135	0,13
	YÜK(N)	Kütle kaybı (gr)		
	5	0,0087	0,0119	0,0365
	10	0,019	0,03	0,068
	20	0,0272	0,0492	0,0123
	30	0,0592	0,0795	0,215

Çizelge 7.3’ de ki Ünal ve arkadaşlarının ulaşılmış oldukları verilerle Çizelge7.4’ deki elde edilen veriler kıyaslandığında hemen hemen aynı sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmektedir. Buda aşınma deney düzeneğinde sürtünme kuvvetinin doğru olarak ölçüldüğünü bize göstermektedir.

7.2. NiTi Numunelere Uygulanan Deneysel İşlemler Sonucunda Elde Edilen Deneysel Bulgular

7.2.1. Numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi

Gözenekli malzemelerde sertlik değeri homojen olmadığı için, üç farklı malzemeden sıkıştırma yönüne paralel altı noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Her bir alaşım için ölçülen sertlik değerleri aşağıda verilmiştir. Burada saf Ti' nin sertlik değeri en düşük olduğu sertlik deneylerinde tespit edilmiştir. Ayrıca titanyum metaline nikel ilavesi ile sertliklerde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen sertlik değerleri ortalamaları Şekil 7.4' de verilmiştir.

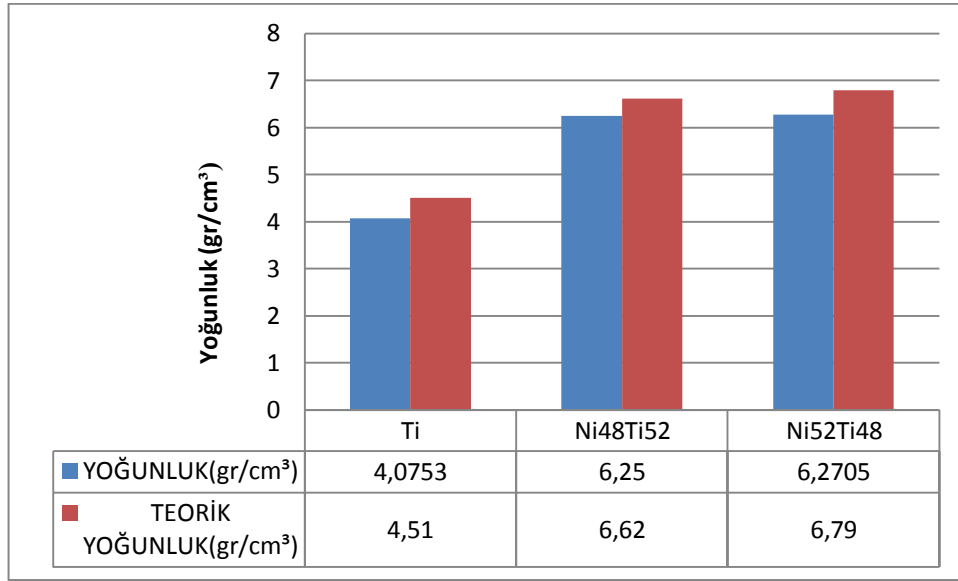


Şekil 7.4. Üretilen numunelerin sertlik değerleri

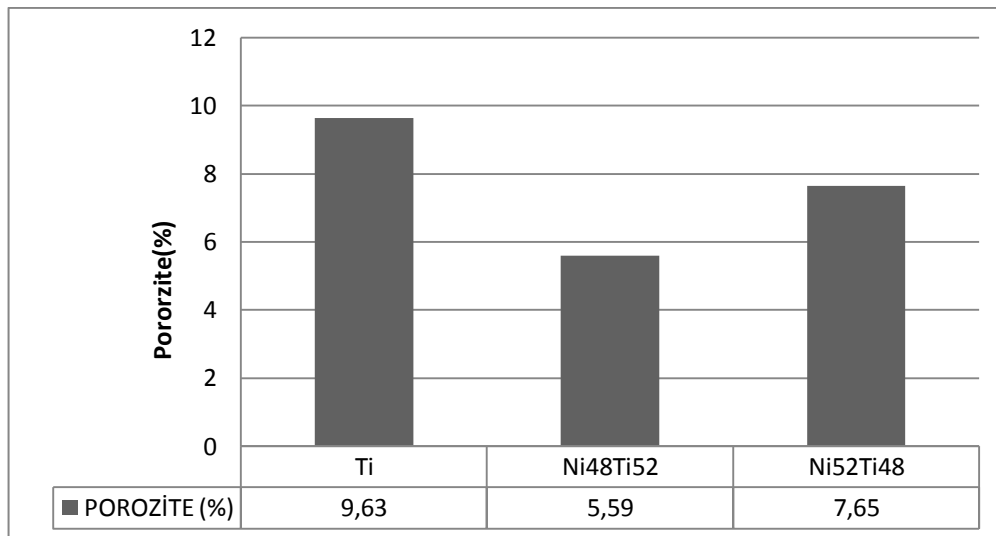
7.2.2. Numunelerin yoğunluklarının ve porozite oranlarının belirlenmesi

Üretilen numunelerin teorik yoğunluk, yoğunluk ve porozite oranlarını içeren grafikler aşağıda verilmiştir. Şekil 7.5' de verilen teorik yoğunluk grafiğinden de anlaşıldığı üzere Nikelin yoğunluğunun Titanyumun yoğunluğundan fazla olmasından ötürü hesaplanan teorik yoğunluk lineer olarak artış göstermiştir. Arşimet terazisinde ölçümler sonucunda elde edilen yoğunluk grafiğine (Şekil 7.5.) bakıldığında teorik yoğunlukta elde edilen lineerlik yoğunluk grafiğinde tam olarak

sağlanamamaktadır. Bunun nedeni ise yapı içerisinde bulunan boşluklardır. Şekil 7.6' da numuneler içerisinde ki porozite miktarlarının oranı grafik olarak verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere üretimi tamamlanan numuneler de en fazla boşluk saf Titanyumda meydana gelmiştir bunun nedeni ise sinterleme sıcaklığının saf Titanyum için düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7.5. Numunelerin teorik yoğunluk ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri

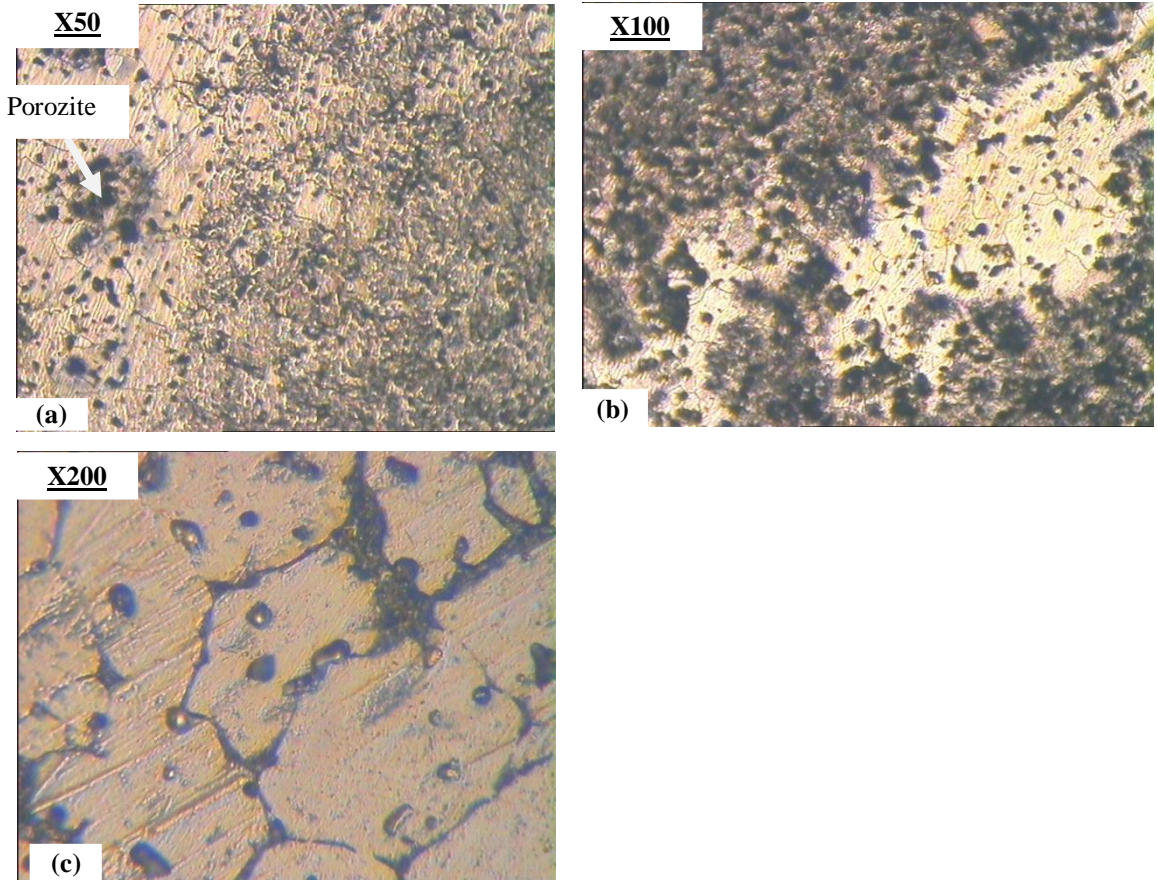


Şekil 7.6. Numunelerin porozite oranları

7.2.3. Metalografik muayene

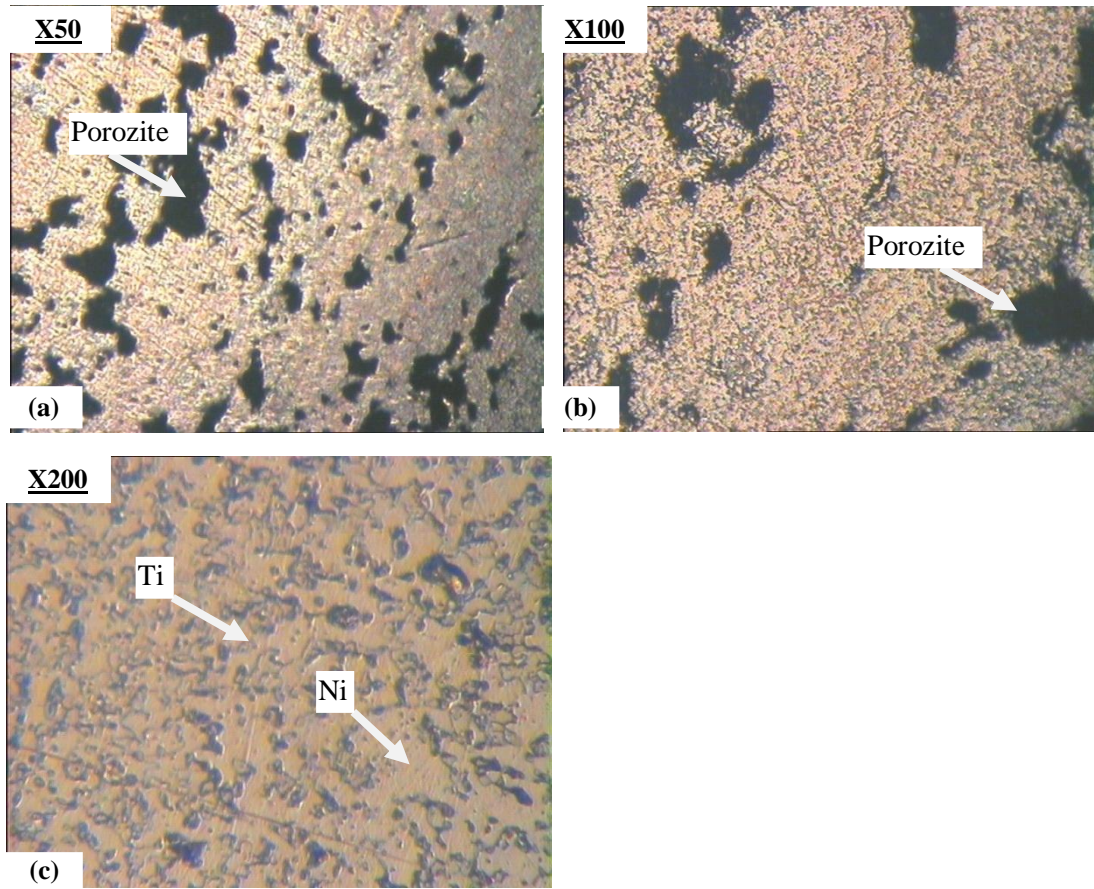
Toz Metalürjisi yöntemiyle soğuk presleme yapılarak üretilen Ti, Ni₄₈Ti₅₂ ve Ni₅₂Ti₄₈ numunelerinin üretim sonrası mikro yapılarının incelenmesi, gözeneklerin durumunun incelenmesi amacı ile metalografik incelemeler yapılmıştır.

Resim 7.1' de titanyum numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Numunelerin optik mikroskop incelemeleri sonucunda tane oluşumlarının başladığı hatta numune dış kısımlarında tanelerin olduğu gözlemlenmesine rağmen iç kısımlarda boşluklar meydana gelmiştir. Bunun temel sebebi presleme esnasında basıncın homojen olarak dağılamamasıdır. Titanyum sert bir metal olduğu için tozların presleme esnasında birbirine mekanik olarak bağlanması olayı çok az gerçekleşmiştir.



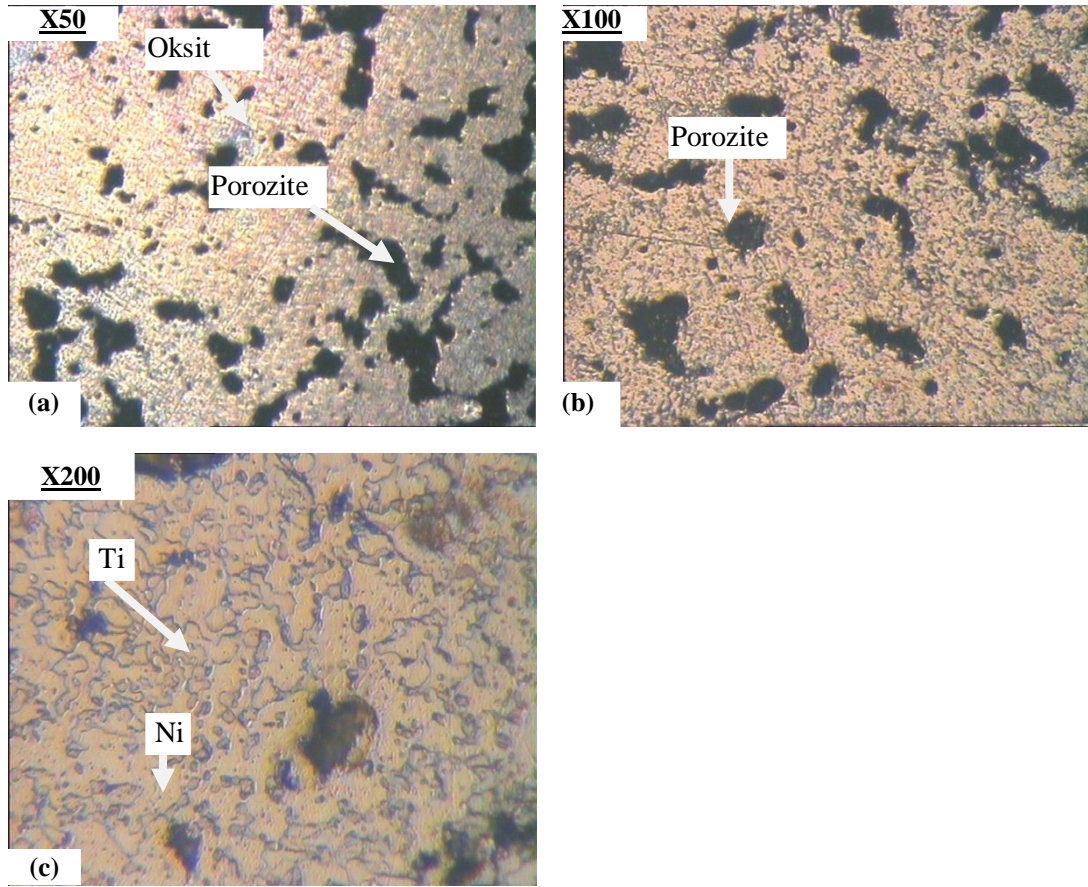
Resim 7.1. Titanyum numunelerin optik mikroskop görüntüsü (a-X50, b-X100, c-200)

Resim 7.2' e $Ni_{48}Ti_{52}$ numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde yoğunluk ölçümleri sonucunda titanyuma göre daha düşük porozite oranına sahip olduğu tespit edilen bu numunelerin porozite miktarlarının az olduğu resimlerde de gözlemlenmiştir. Ayrıca resim 7.2.c' de Nikel'in Titanyum taneciklerin etrafını sardığı ve titanyum ile nikel arasında bağ olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Resim 7.2. $Ni_{48}Ti_{52}$ 'nin optik mikroskop görüntüsü (a-X50, b-X100, c-X200)

Resim 7.3' de $Ni_{52}Ti_{48}$ numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Burada titanyuma göre daha düşük porozite oranına sahip ancak $Ni_{48}Ti_{52}$ malzemeye oranla daha fazla poroziteye sahip olan bu numuneler de yoğunluk ölçümleri sonucunda ulaşılan porozite oranını destekler nitelikte görüntüler elde edilmiştir. Resim 7.3.c' de de $Ni_{48}Ti_{52}$ 'de olduğu gibi Nikel'in Titanyum taneciklerin etrafını sardığı net bir şekilde görülmektedir.



Resim 7.3.Ni52Ti48'nin optik mikroskop görüntüsü (a-X50, b-X100,c-X200)

7.2.4. Aşınma davranışlarının incelenmesi

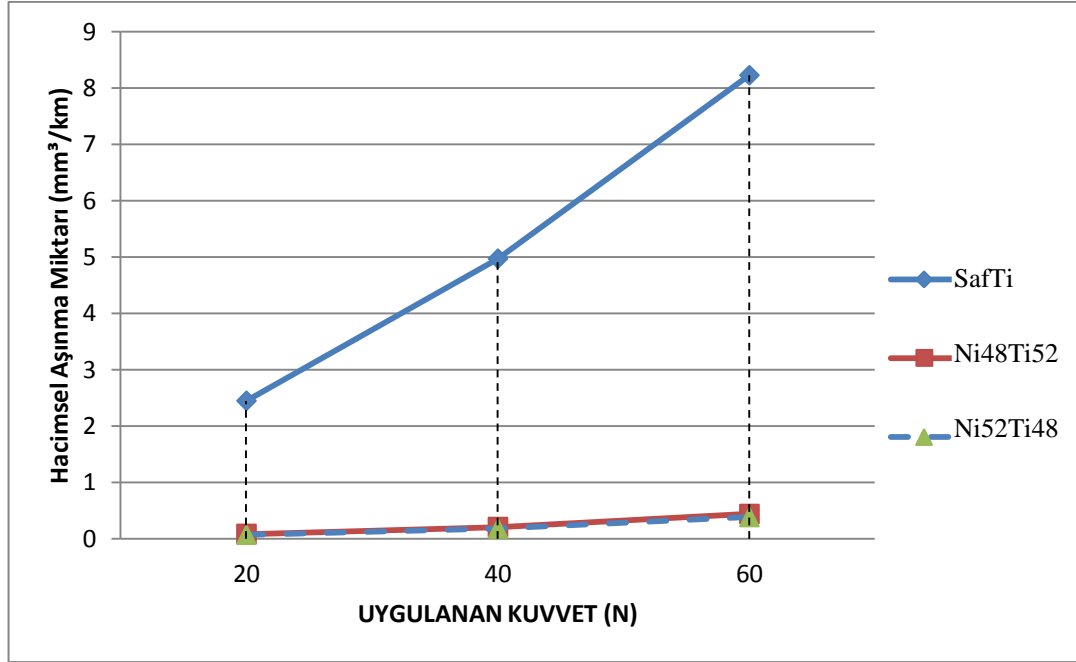
Adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi:

Üretilen numunelerin aşınma davranışları değişik yükler altında ve sabit hız değerleri altında incelenmiştir. Uygulanan yük değişimi baz alınarak yapılan çalışmalarda uygulanan yükün hacimsel aşınma oranına etkisi ve sürtünme katsayısı üzerinde ki etkileri hakkında deneysel bulgulara ulaşılmıştır.

- *Uygulanan yükün aşınma miktarına etkisi:*

Toz metalürjisi yöntemiyle üretimi gerçekleştirilen numunelerin aşınma deneyleri sonucunda elde edilen hacimsel aşınma miktarları Şekil 7.7' de verilmiştir. Uygulanan yüke oranla aşınma miktarlarında artışlar meydana gelmiştir. Şekilde de

görüldüğü üzere saf Ti'deki hacimsel aşınma miktarı alaşım malzemelere oranla daha fazladır. Bunun en temel sebebi Saf Ti' nin sertlik değerinin intermetalik NiTi alaşımlarının sertlik değerinden daha düşük olmasıdır [Akbulut, 2005].



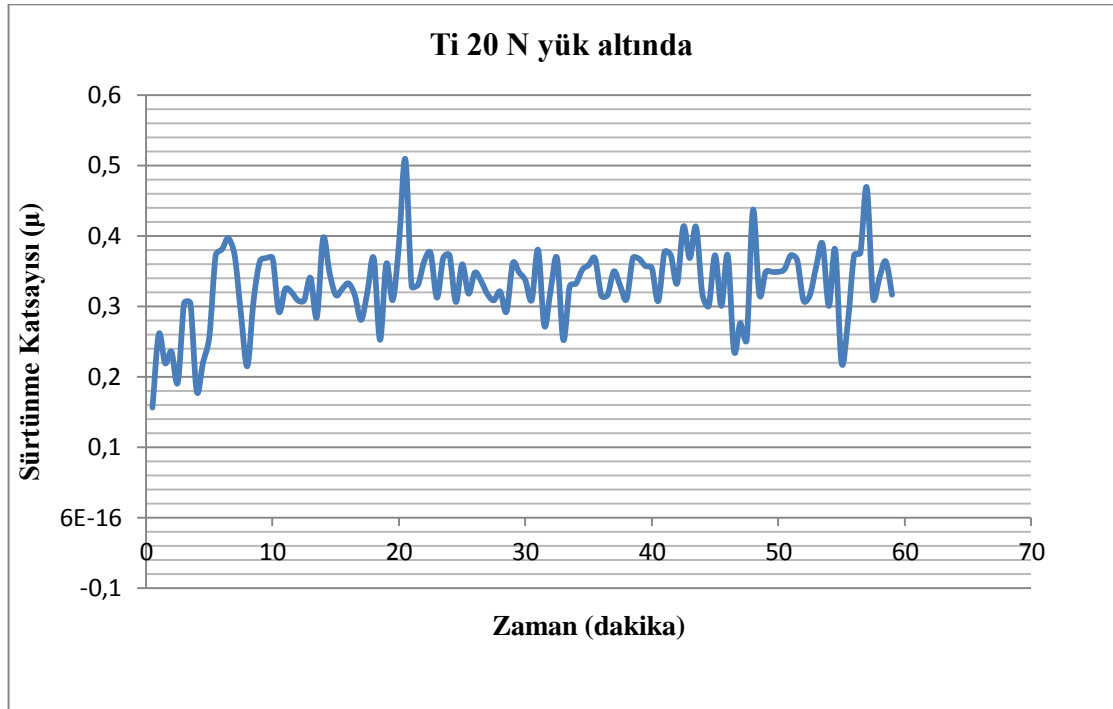
Şekil 7.7. Uygulanan kuvvetin hacimsel aşınma miktarına etkisi

- *Uygulanan yükün sürtünme katsayısına etkisi:*

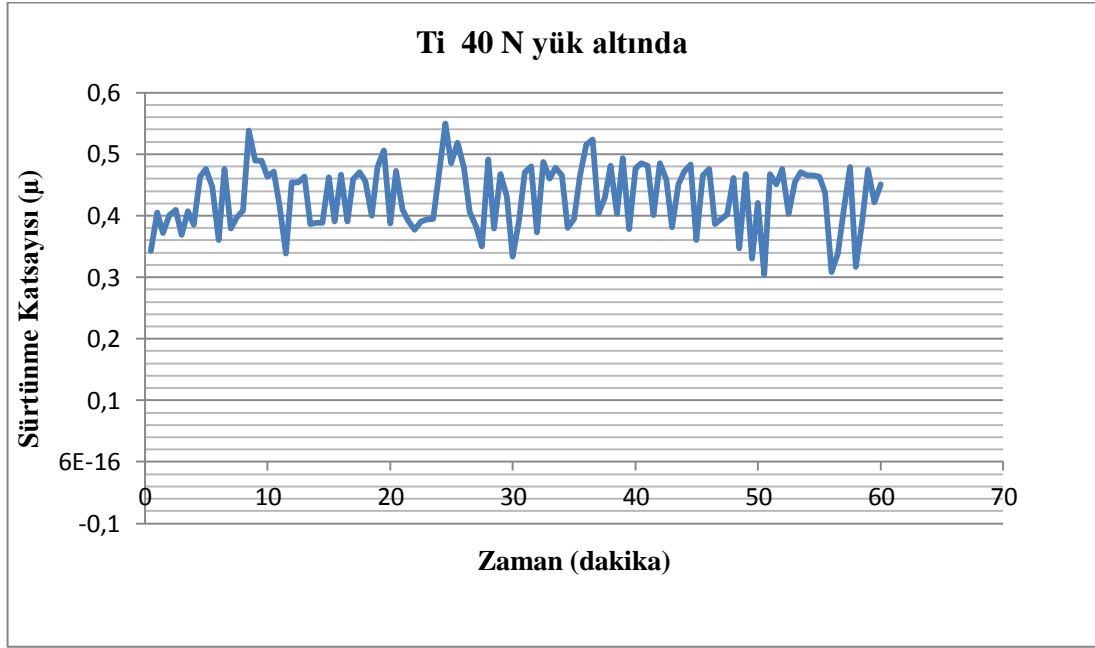
Bilgisayara kurulumu yapılan yük hücresi ölçüm programı aracılığı ile ölçümü yapılan kuvvet değerleri aşınma deneyinin yapıldığı iz çapı için hesaplanan katsayı ile çarpılmak suretiyle sürtünme kuvvetleri elde edilmiş ve elde edilen sürtünme kuvvetleri uygulanan kuvvete bölünmek suretiyle sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen değerler Excel programı aracılığı ile grafiğe aktarılmıştır.

Şekil 7.8., Şekil 7.9. ve Şekil 7.10.'da aşınma deneyleri sonucunda elde edilen titanyum numunelerin sürtünme katsayıların sabit hız ve değişken yükler altında zamana göre değişimleri verilmiştir. Bu grafikler kullanılarak elde edilen Şekil 7.11. deki ortalama sürtünme katsayısı grafiği incelendiğinde 20 N yük altında 0,32 olarak elde edilen sürtünme katsayısı değeri 40 N da 0,42, 60 N da ise 0, 37 olarak hesaplanmıştır. Grafiğe bakıldığında sürtünme katsayısının lineer bir değişim

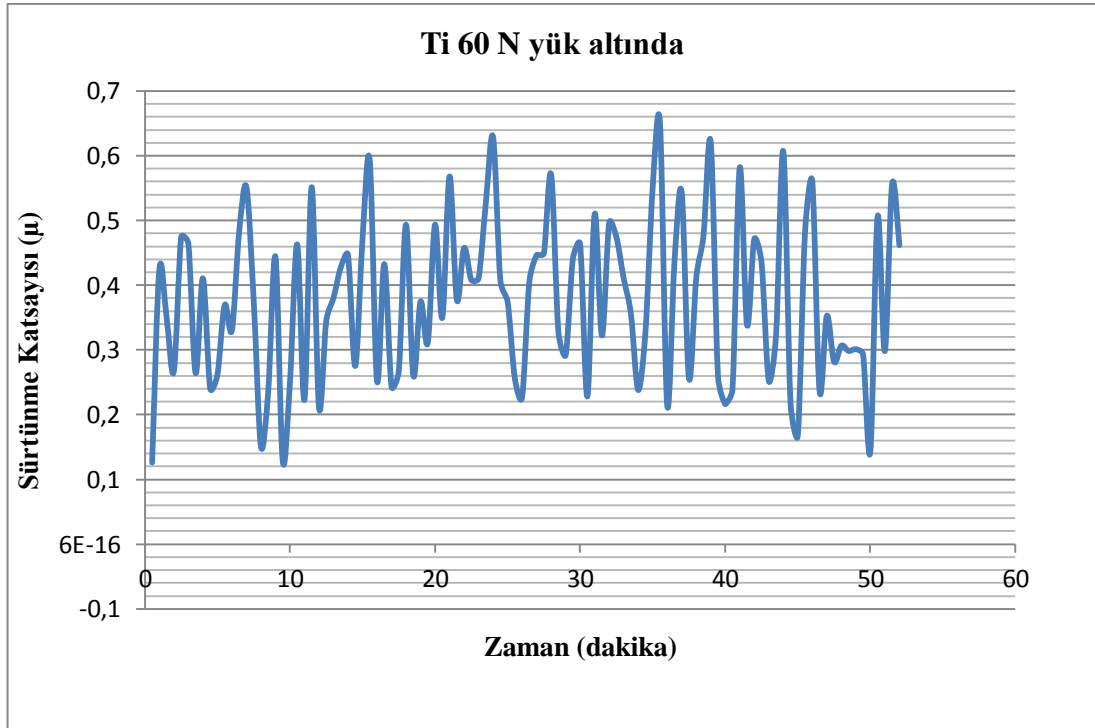
göstermediği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni toz metalürjisi yöntemiyle üretilen numunelerin hepsinde aynı porozite oranına sahip olmaması ve homojen bir yapı elde edilememesidir. Ayrıca Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14’ de $Ni_{48}Ti_{52}$ için uygulanan kuvvete oranla sürtünme katsayısının değişimi incelenmiştir. Bu grafikler kullanılarak da Şekil 7.15’de ki ortalama sürtünme katsayısı grafiği elde edilmiştir. $Ni_{52}Ti_{48}$ için ise Şekil 7.16, Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 deki sürtünme katsayısı grafikleri yapılan deneyler sonucunda elde edilmiş ve bu grafikler arcılığı ile de bu malzemenin ortalama sürtünme katsayısı grafiği Şekil 7.19’ deki gibi elde edilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde en düşük sürtünme katsayısının titanyum numunelerde elde edildiği görülmektedir. Ayrıca nikel oranının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde de artışlar meydana geldiği görülmektedir.



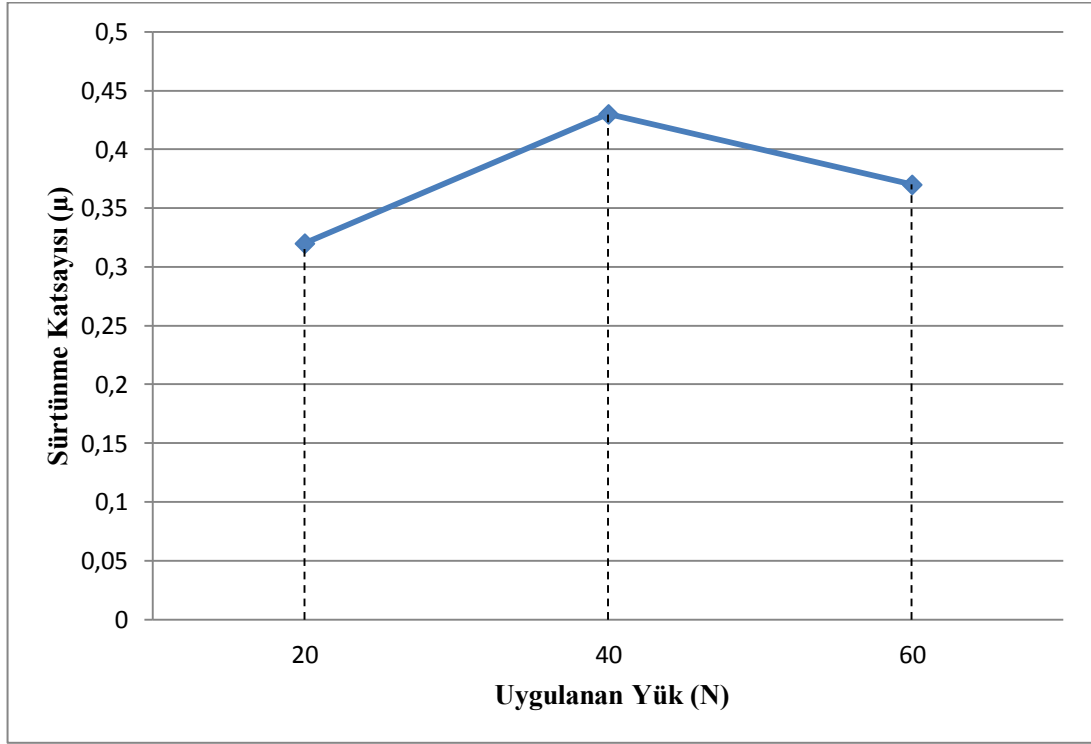
Şekil 7.8. Titanyum numunenin 20 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



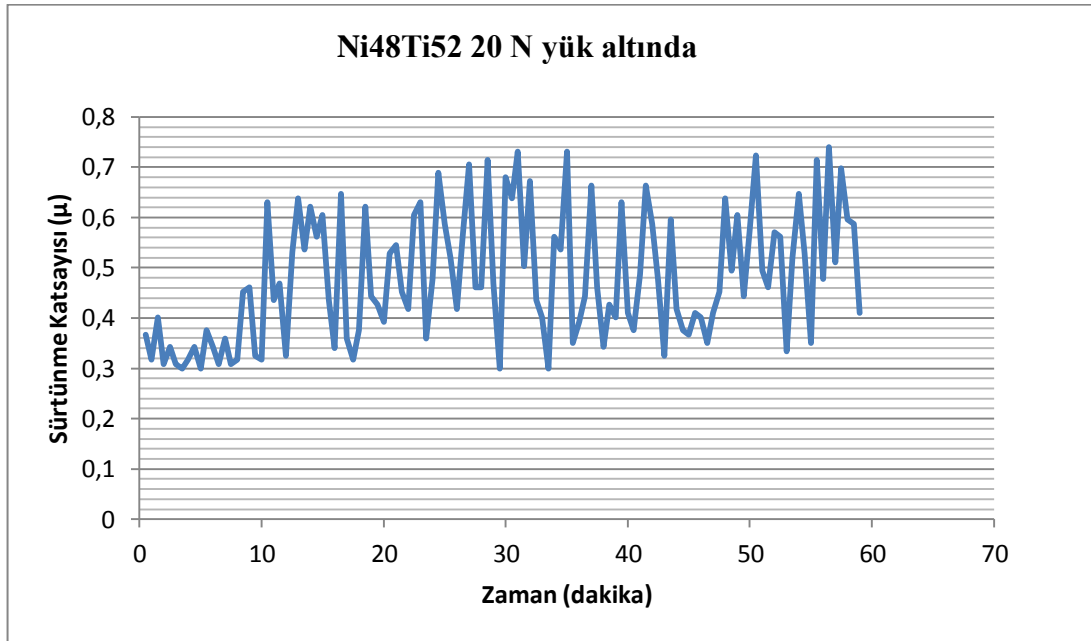
Şekil 7.9. Titanyum numunenin 40 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



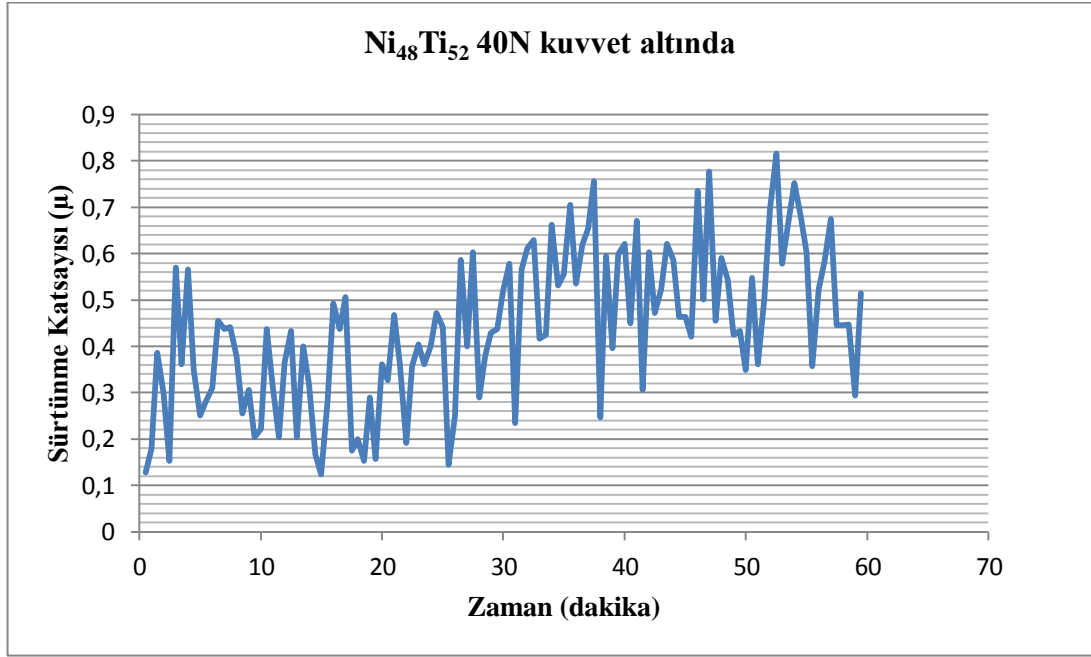
Şekil 7.10. Titanyum numunenin 60N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



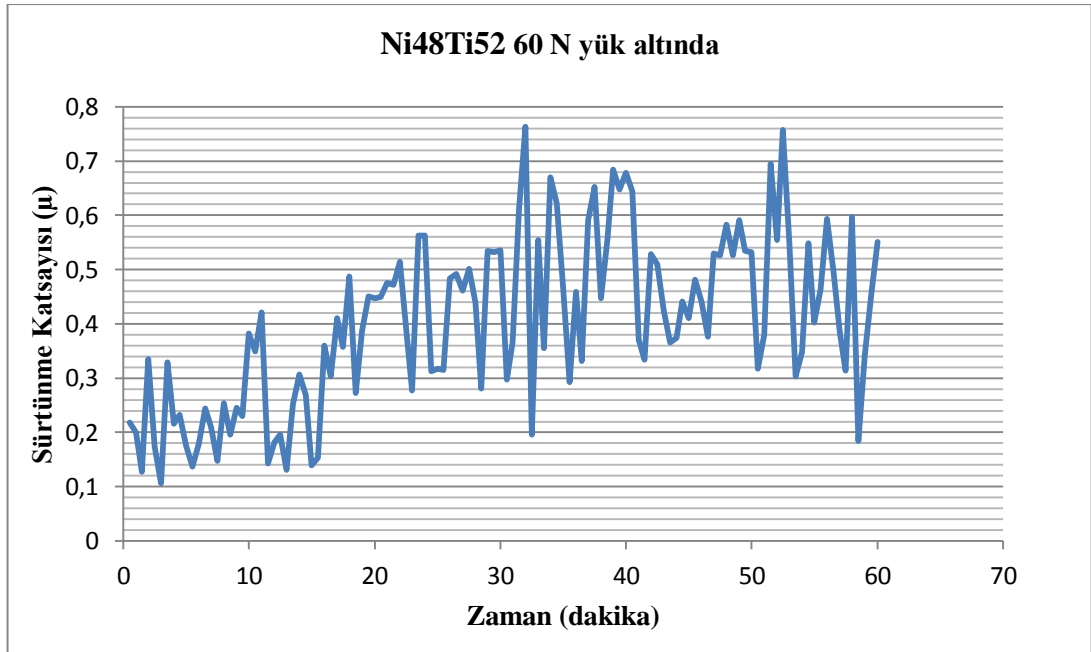
Şekil 7.11. Ti için ortalama sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimi



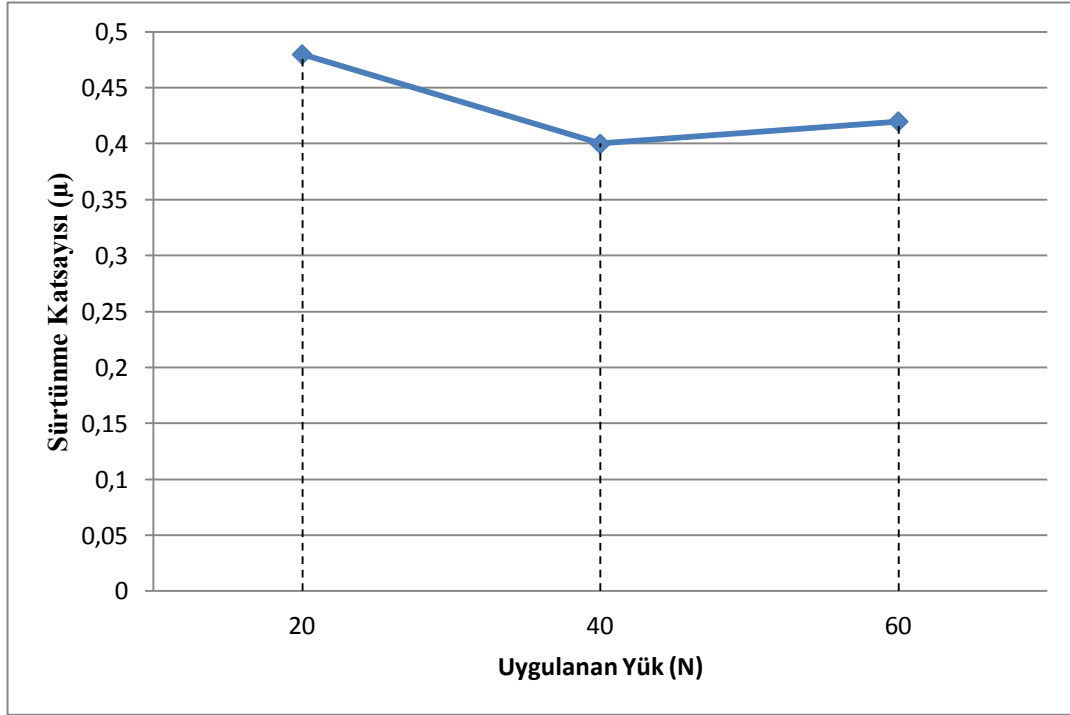
Şekil 7.12. Ni48Ti52 alaşımı için 20N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



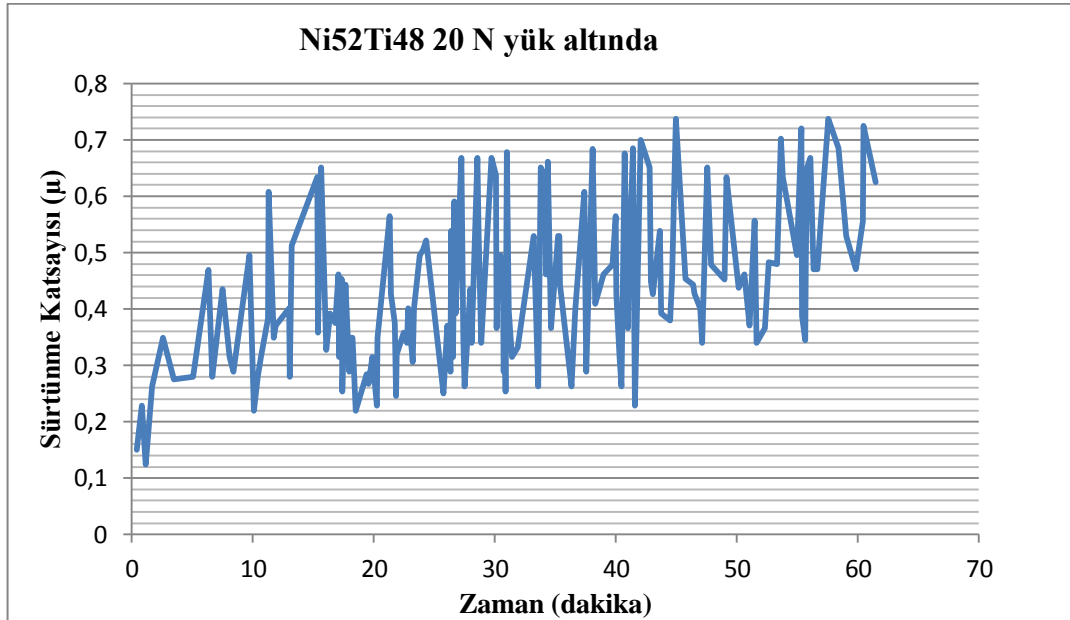
Şekil 7.13. Ni48Ti52 alaşımı için 40N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



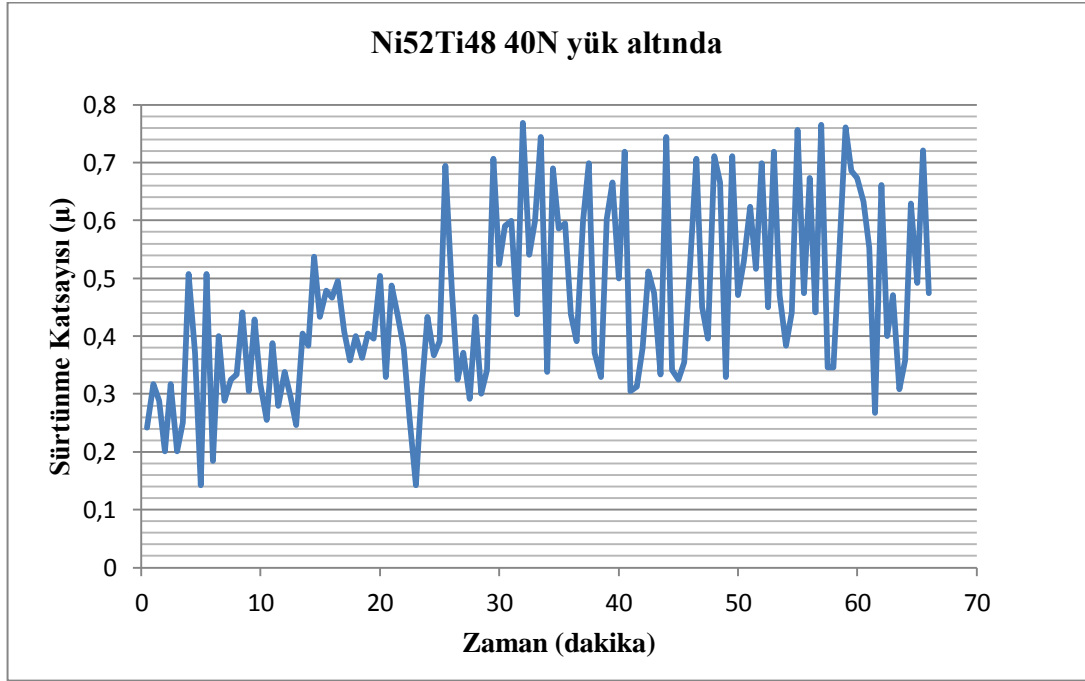
Şekil 7.14. Ni48Ti52 alaşımı için 60N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



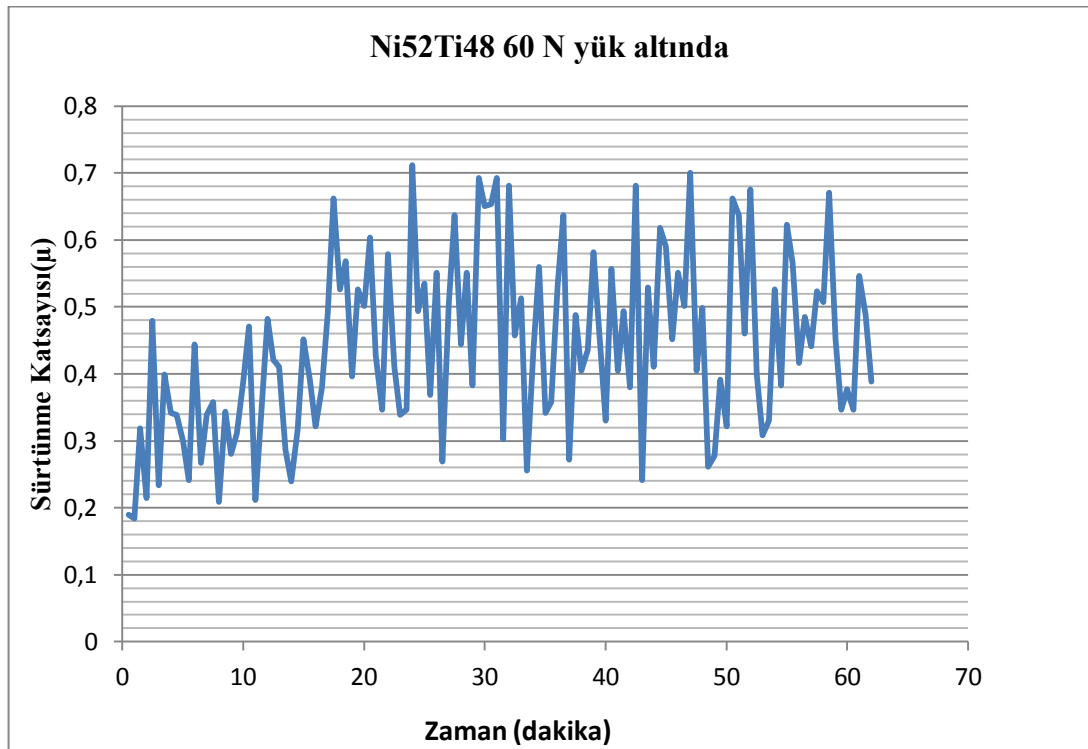
Şekil 7.15. Ni48Ti52 alaşımı için ortalama sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimi



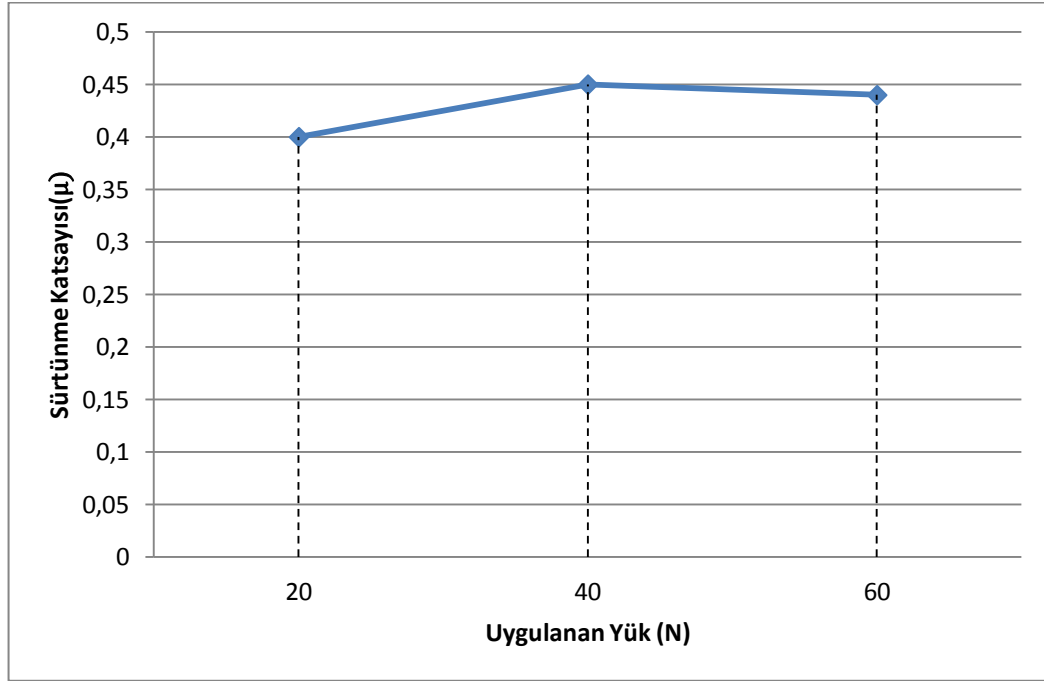
Şekil 7.16. Ni52Ti48 alaşımı için 20 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



Şekil 7.17. Ni52Ti48 alaşımı için 40 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



Şekil 7.18. Ni52Ti48 alaşımı için 60 N yük altında sürtünme katsayısının zamanla değişimi



Şekil 7.19. Ni52Ti48 için ortalama sürtünme katsayısının uygulanan yüke göre değişimi

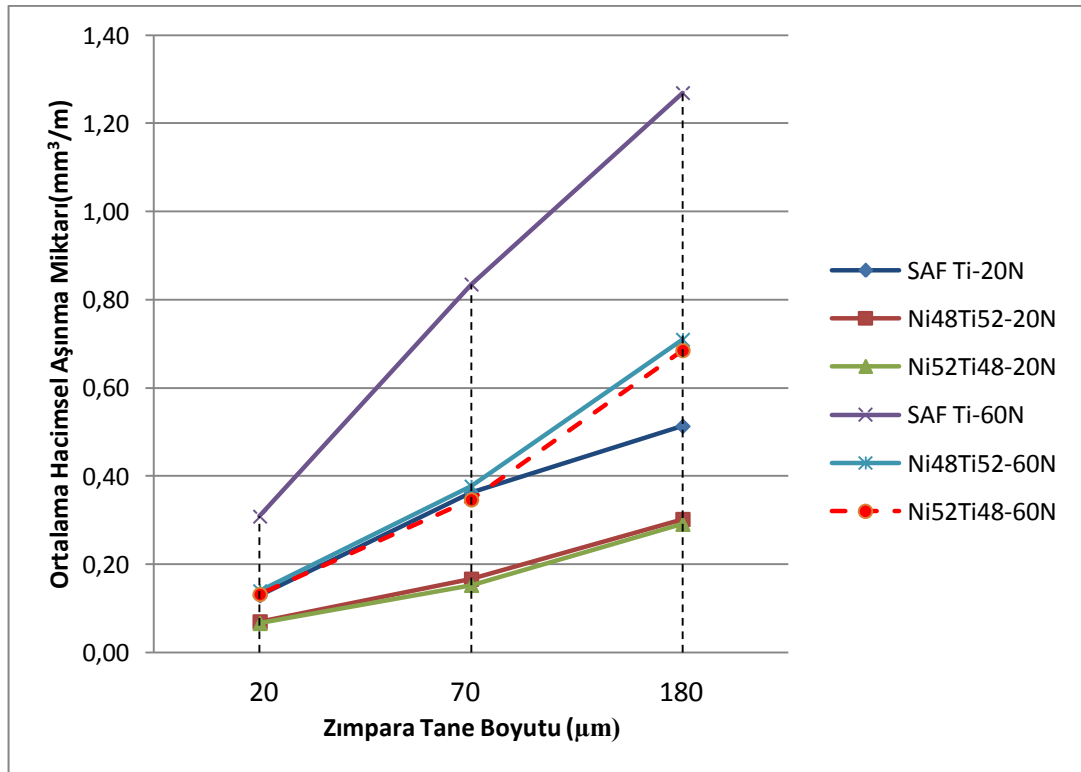
Abrasiv aşınma davranışlarının incelenmesi

Abrasiv aşınma deneyleri 1 m/sn hız altında, 20 N, 40 N ve 60 N yükler altında ve 45 sn, 90 sn, 120 sn boyunca oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonuçlarında zamana bağlı yüke bağlı ve elek boyutuna bağlı olarak grafikler elde edilmiştir.

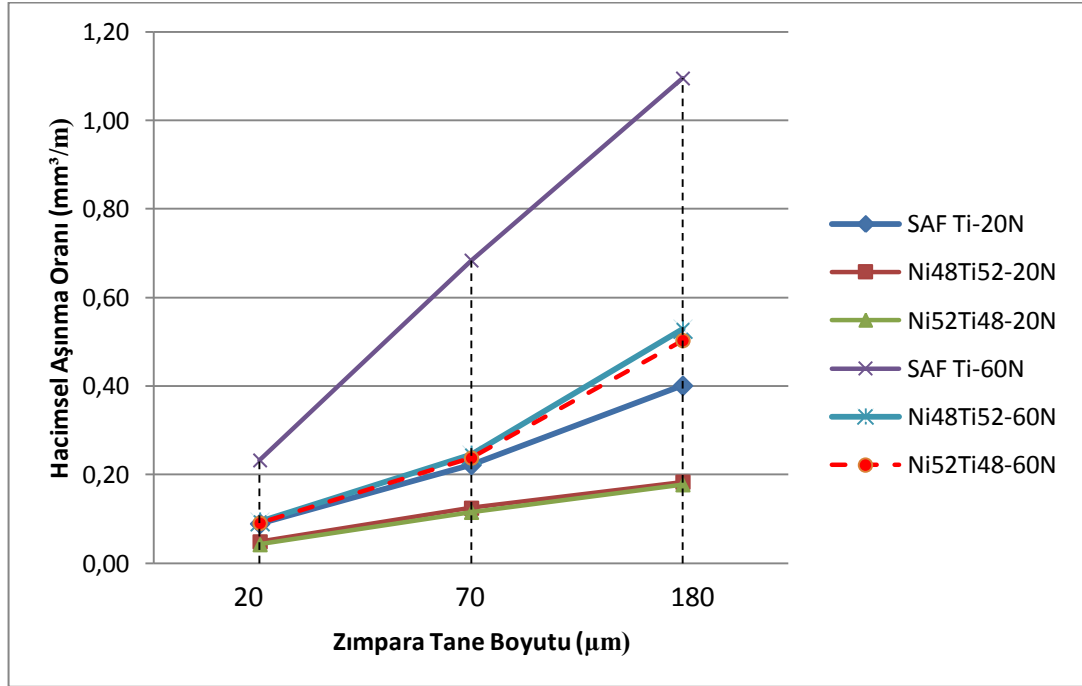
Yapılan deneylere ait sonuçlar zımpara tane boyutunun hacimsel aşınma oranı üzerindeki etkisi ve uygulanan kuvvetin hacimsel aşınma oranı üzerinde etkisi olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir. Deney parametrelerinin hacimsel aşınma oranı üzerindeki etkilerini daha iyi inceleyebilmek amacıyla grafikler üzerinde üç deney numunesine ait deney sonuçları birlikte verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde saf Ti' nin alaşım malzemelere göre daha fazla aşındığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise Titanyumun sertlik değerinin alaşım malzemelerinkinden daha düşük olmasıyla açıklanabilir.

- *Zımpara tane boyutunun hacimsel aşınma oranına etkisi:*

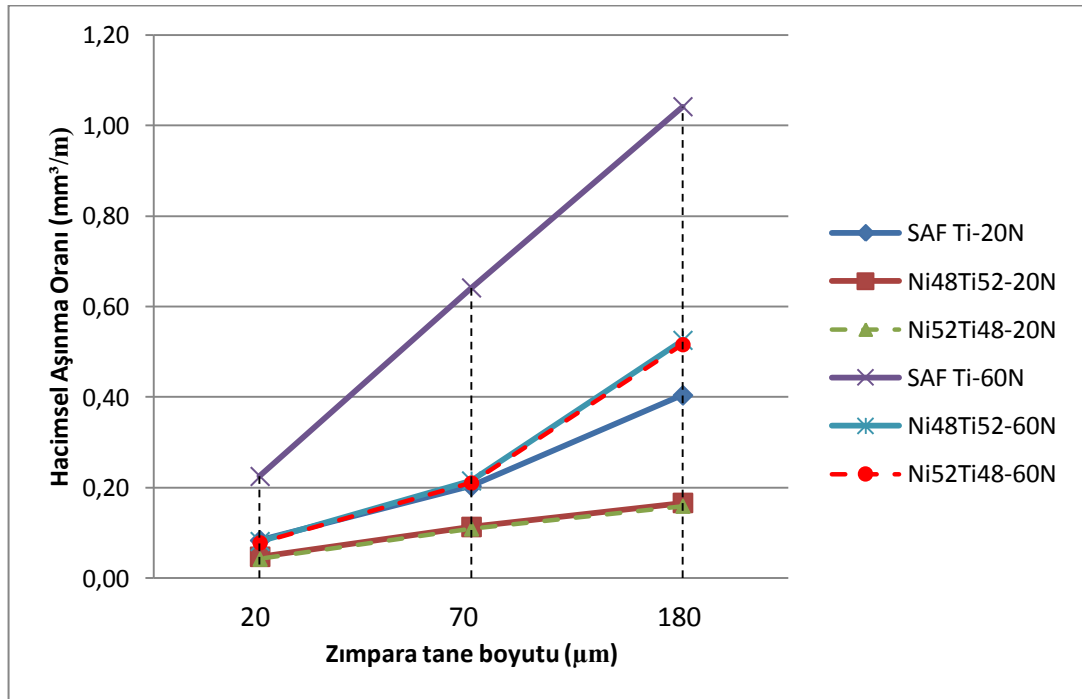
Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’ de sırasıyla 45 sn, 90 sn ve 120 sn boyunca 20 N ve 60 N yükler altında yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları grafiksel olarak gösterilmiştir. Farklı yükler altında yapılan deneylere ait grafikler incelendiği takdirde; Saf Ti’ de malzeme kaybının daha diğer malzemelere oranla daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Bunun muhtemel sebebi saf Ti’ nin sertliğinin alaşımların sertliğinden düşük olmasıdır. Ayrıca en az malzeme kaybının 20 μm tane boyutuna sahip zımpara yapılan deneylerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra tane boyutunun büyümesiyle birlikte malzeme kaybının da arttığı gözlemlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi abrasive tane boyutunun büyüklüğü ile ilgili olmasından ileri gelmektedir. Her bir tane boyutunun etkisi batma derinliği farklı olacağından parametreler arasında en büyük etkiyi de bu göstermiştir.



Şekil 7.20. TM metoduyla üretilen Saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 45 sn boyunca yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları



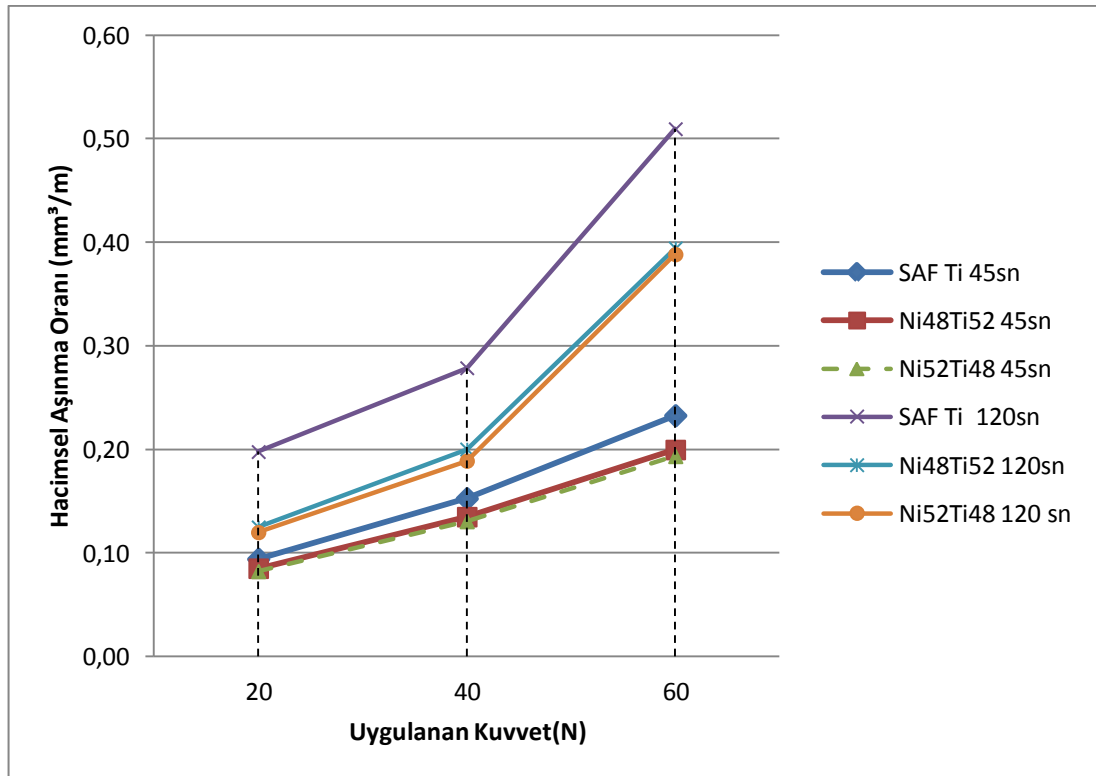
Şekil 7.21. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 90 sn boyunca yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları



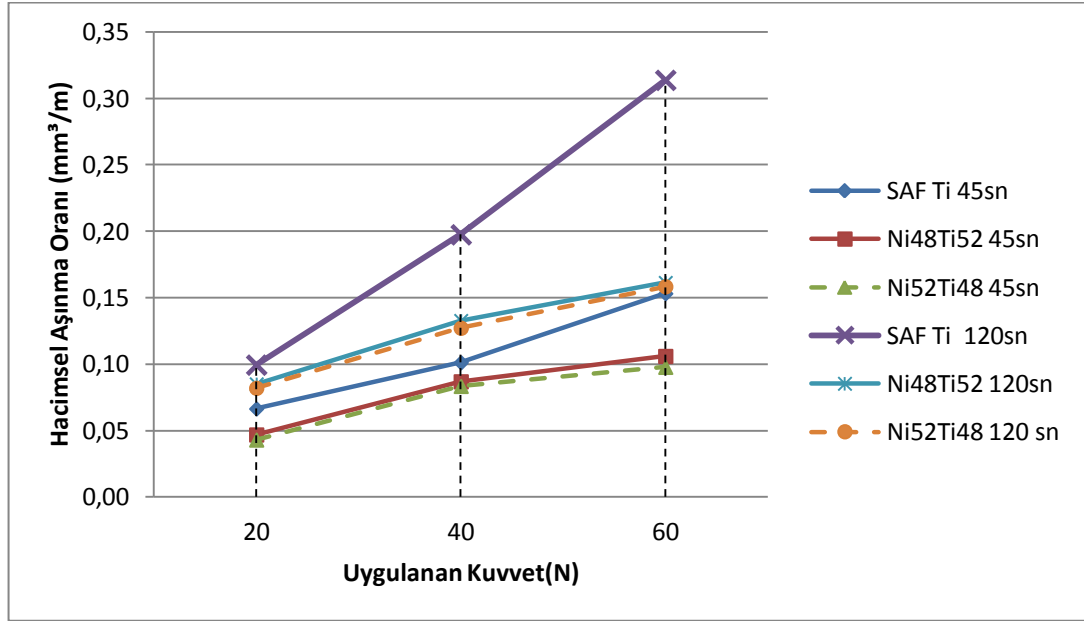
Şekil 7.22. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 120 sn boyunca yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları

- *Uygulanan kuvvetin aşınma miktarına etkisi:*

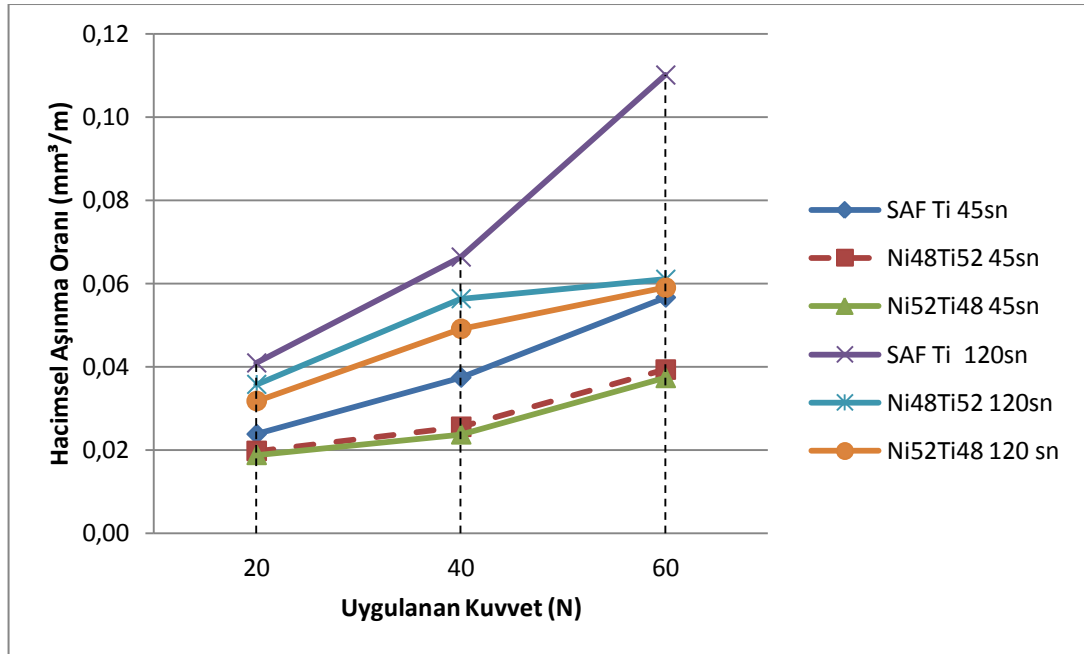
Şekil 7.23, Şekil 7.24 ve Şekil 7.25’ de sırasıyla 80, 180 ve 500 eleklik zımpara ile 45 sn ve 120 sn boyunca yapılan deneyler sonucunda elde edilen hacimsel aşınma oranı-uygulanan yük grafikleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm numunelerde uygulanan yükün şiddeti arttıkça malzeme kaybının da arttığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda en fazla hacimsel aşınma oranı miktarı her kuvvet değeri için, Saf Ti’ de meydana gelmiştir. Ayrıca alaşım oranları birbirine çok yakın olan diğer numunelerin hemen hemen aynı oranda aşındıkları gözlemlenmiştir. Modi ve arkadaşlarının (2007) yapmış olduğu çalışmada abrasif partiküllerin artan penetrasyon derinliği nedeniyle artan yük ve aşındırıcı boyutu ile aşınma oranının arttığı belirtmişlerdir. Ayrıca yükün artmasıyla birlikte yüzey temas alanının da artmasına bağlı olarak aşınma miktarında artışlar meydana geldiği söylenebilir.



Şekil 7.23. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 180 µm tane boyutuna sahip zımpara ile yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları



Şekil 7.24. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 70 µm tane boyutuna sahip zımpara ile yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları



Şekil 7.25. TM metoduyla üretilen saf Ti ve Ni-Ti alaşımlarının 20 µm tane boyutuna sahip zımpara ile yapılan deneylere ait hacimsel aşınma oranları

Xianhua ve arkadaşları (2007), yapmış oldukları çalışmalarda sertlik ölçümleri sonrasında tavllanmış Ni_{50,6}Ti_{49,4} alaşımlı numunelerin sertlik değerleri 178 HV (yaklaşık olarak 85 HRB) olarak ölçülürken diğer numunelerin sertlik değerleri 161 HV (yaklaşık olarak 81 HRB). Ayrıca yapılan aşınma deneyleri sonucunda 50N yük altında NiTi alaşımı 0,006 gr aşınırken yaşlandırma işlemine tabii tutulmuş alaşım 0,002 gr aşınmıştır. 250 N yük altında yapılan aşınma deneyleri sonucunda ise tavllanmış numunelerin yaklaşık olarak 0,017 gr aşındığı diğer numunelerin ise yaklaşık olarak 0,013 gr aşındığı tespit gözlemlenmiştir. Tavlama ısıl işlemine sonucunda TiNi alaşımının daha az aşındığı ve mekanik özelliklerinin iyileştirildiği tespit edilmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada NiTi alaşımlarının sertlik değeri üretilen NiTi alaşımlarının sertlik değeri Xianhua ve arkadaşlarının kullanmış oldukları NiTi alaşımınınkinden daha yüksektir. Buna paralel olarak üretmiş olduğumuz numunelerin aşınma miktarları bu çalışmadakinden daha azdır. Bunun muhtemel sebebi alaşım oranları ve üretim tekniğinin farklılık göstermesidir.

Zhang ve arkadaşları (2009) tarafından saf Ti, saf Ni ve NiTi-10 (Ni_{55,2}-Ti_{43,8}-Si_{0,3}-Na_{0,17}), NiTi-25 (Ni_{53,8}-Ti_{43,7}-Si_{1,8}-Na_{0,11}) alaşımlarını 10 N 20 N ve 40 N yükler altında ve 40, 50, 60 m/dak hız koşullarında yapılan aşınma deneyleri sonucunda en fazla volumetrik aşınma oranının sırasıyla Ti ve Ni daha sonra ise NiTi alaşımlarında meydana geldiğini tespit gözlemlenmişlerdir. Yapılan deneyler neticesinde en yüksek sürtünme katsayısının Ni'de meydana geldiğini ve yaklaşık olarak 0,69 civarında olduğunu gözlemlenmişlerdir. Ti'nin sürtünme katsayısı 0,38 civarında ölçülürken NiTi-10'un sürtünme katsayısını 0,58 NiTi-25'in ise 0,53 civarında olduğunu gözlemlenmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmalarda saf Ti'nin sürtünme katsayısı 0,375 civarında ölçülürken NiTi alaşımlarının sürtünme katsayıları 0,43 civarında ölçülmüştür. Saf Ti için Zhang'in çalışmasındakiyle hemen hemen aynı sonuç elde edilirken NiTi alaşımları farklılık göstermiştir. Bunun muhtemel sebebinin alaşım oranlarının farklı olması ve alaşım elementlerinin farklılık göstermesidir.

Lin ve arkadaşları (2000) yapmış oldukları çalışmalarda üretmiş oldukları Ni50Ti50 ve Ni49Ti51 alaşımlarının sertlik değerlerini 200 HV ve 320 HV olarak ölçmüşlerdir. Farklı yükler altında, farklı hızlarda ve farklı kayma mesafelerinde gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Ni51Ti49 ve Ni50Ti50 alaşımlarının aşınma kayıplarını sırasıyla 10N yük altında 1,9 mg ve 2,1 mg ve 60N 8 mg ve 12 mg aşındıklarını tespit etmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yükün artmasıyla birlikte aşınma miktarının arttığı ve titanyuma Ni ilavesi ile aşınma miktarının azaldığını tespit etmişlerdir ki yapılan deneysel çalışmalar neticesinde Ti metaline nikel ilave oranının artmasıyla birlikte aşınma miktarında azalmalar olduğu yapmış olduğumuz deneysel çalışmalarda da gözlemlenmiştir.

Liu ve arkadaşları (1999) yapmış oldukları çalışmalarda %20, %40 ve %60 oranında TiC içeren TiC/Ti51Ni48 kompozitlerinin 50 N yük altında sırasıyla hacimsel olarak 0,4 mm³, 0,2 mm³ ve 0,15 mm³, 133 N yük altında sırasıyla 1,2 mm³, 0,75 mm³ ve 0,25 mm³ ve 167 N yük altında sırasıyla 3 mm³, 2 mm³ ve 0,5 mm³ aşındığını gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmalarda artan yük ile aşınma miktarının arttığı TiC ilavesinin artmasıyla birlikte aşınma miktarında azalmalar meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; klasik bir aşınma deney düzeneğinde sürtünme kuvvetinin ölçülebilmesi amacıyla aşınma deney düzeneğine bilgisayar destekli yük hücresi tertibatı tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin doğru çalışıp çalışmadığını gözlemlemek amacıyla sürtünme katsayısı bilinen MS 70 pirinç malzeme ve ticari saflıktaki PTFE aşınma deneylerine tabii tutulmuştur.

İntermetalik kompozit malzemelerin ve kıyaslama yapılacak olan matris malzemesi Ti'nin üretimi amacıyla Ti100, Ni48Ti52 ve Ni52Ti48 kütleli karışımları oluşturularak, oluşturulan karışımlar 650 MPa basınç altında preslenmiştir. Preslenen numuneler 1100 C'de beş (5) saat süreyle sinterlenerek şekil hafızalı intermetalik kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerin; yoğunluk, porozite ve sertlik ölçümleri, mikroyapı incelemeleri yapılmış ve farklı şartlarda aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Aşınma deney düzeneğine sürtünme kuvvetinin ölçülebilmesi amacıyla yük hücresi tertibatı yerleştirilmiş ve aşınma deney düzeneği bilgisayar destekli hale getirilmiştir. Dolayısı ile modifiye edilen aşınma deney düzeneğinde sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı yapılan deneyler esnasında başarıyla ölçülmüştür.
2. Saf Ti ve TiNi intermetalik alaşımların TM yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmiştir.
3. Sertlik ölçümleri sonucunda matris malzemesi olan saf Ti'nin sertlik değeri, 59 HRB civarında ölçülürken Ni48Ti52 alaşımının sertlik değeri 82 HRB Ni52Ti48 alaşımının sertlik değeri ise yaklaşık olarak 83 HRB civarında ölçülmüştür. Nikel ilavesi ile matris malzemesi olan Saf Ti'nin sertlik değeri yaklaşık olarak % 38 oranında artmıştır.

4. Yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda da en fazla gözeneğin saf Ti meydana geldiği ve saf Ti' de gözenek boyutunun daha küçük ve gözeneklerin daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan yoğunluk ölçümleri sonucunda en fazla porozitenin saf Ti' de meydana geldiği ve bu porozite miktarının yaklaşık %9,63 olduğu tespit edilmiştir.
5. Farklı yükler altında yapılan kuru aşınma deneyleri sonucunda yükün artmasıyla birlikte aşınma miktarının da arttığı gözlemlenmiştir. En fazla aşınma miktarının saf Ti' de meydana geldiği ve saf Ti' nin 20 N kuvvet altında 0,0359 gr aşınırken 60 N yük altında 0,12 gr aşındığı tespit edilmiştir. Ni₄₈Ti₅₂ alaşımı 20 N yük altında 0,001 9gr aşınırken 60 N yük altında 0,0098 gr aşınmış, Ni₅₂Ti₄₈ alaşımı ise 20 N yük altında 0,0016 gr aşınırken 60 N yük altında 0,0087 gr aşınmıştır.
6. Kuru aşınma deneyleri esnasında alaşımların ve matris malzemesinin sürtünme katsayıları ölçülmüştür. Saf Ti' nin sürtünme katsayısı 0,37 olarak ölçülürken NiTi alaşımlarının sürtünme katsayıları 0,42 olarak ölçülmüştür.
7. Üretilen saf Ti ve NiTi alaşımları farklı şartlarda abrasiv aşınma deneylerine de tabii tutulmuştur. Abrasiv aşınma deneyleri sonucunda en fazla aşınma miktarı 60 N yük altında, 120 sn ve 180 µm tane boyutuna Sic sahip zımparalar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca yükün, zamanın artması ve zımpara tane boyutunun artması ile aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir.
8. Abrasiv aşınma deneyleri esnasına en fazla aşınma miktarın saf Ti numunelerde meydana geldiği Ni₄₈Ti₅₂ ve Ti₅₂Ni₄₈ alaşımlarının aşınma miktarlarının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmalara ek bundan sonraki çalışmalarda şunlar yapılabilir;

1. Numunelerin üretimi HIP yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir.
2. Optimum deney parametrelerinin belirlenmesi için matematiksel modelleme yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., “Aşınma ders notları “, *Trakya Üniversitesi* (2005).
- Akdoğan, A., Nurveren K., “Şekil Hafızalı Alaşımlar” , *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ankara (2003).
- Akgün, B., NiTi döner kök kanalı aletleri, *Dentalife*, 4: 14-22 (2003).
- Aydın, M., “Gaz atomizasyon yönteminde yeni bir nozul tasarımı ve toz üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi* ,Kütahya, 1-48 (2005).
- Bayırlı, G., Başer, E.D., “Nikel-Titanyum döner alet sistemleriyle şekillendirme öncesi mekanik yol oluşturulması”, *PathFile Sistem*, 68-71 (2011).
- Bertheville, B., Bidaux, J.-E., “Enhanced powder sintering of near-equiatomic NiTi shape memory alloys using Ca reductant vapor”, *J.Alloys&Comp.*, 387 211-216 (2005).
- Xie, C.L., Haila,t M., Wu, X., Newaz, G., “Development of short-fibre reinforced NiTi/Al6061 composite”, *J. Eng.Mater.Technol.*, 69-77 (2007).
- Zhang, C., Farhat, Z.N., ” Sliding wear of superelastic TiNi alloy”, *Wear*, 267:394–400 (2009).
- Çelikyürek, İ., Demir Aluminantların Borlanması ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,107-108 (2006).
- Davim, J.P.,” An experimental study of the tribological behaviour of the brass/steel pair”, *Journal of Materials Processing Technology*, 100:273-277 (1999).
- Demiral, M., C95200 ve C95300 Alüminyum Bronzların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,3-10 (2005).
- Dilibal, S.,“Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi ve Şekil Bellek Eğitimi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2005).
- Güner, E., Dilibal, S., “Üç Parmaklı Şekil Bellek Alaşım (SMA) Robot Elin Yapımı ve Uygulama Analizi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendis Dergisi*, 2(1): 159-173 (2000).
- İnternet: Dumlupınar Üniversitesi Rahmi Ünal
<http://mf.dpu.edu.tr/~runal/toz/powdermet.html> (2012).

İnternet: Türk Toz Metalurjisi Derneği
<http://www.turkishpm.org> (2012).

Lin, H.C., Liao, H.M., J.L. HE, Chen, K.C., and Lin, K.M., “Wear Characteristics of TiNi Shape Memory Alloys”, *Metallurgical and Materialstranscastions* (1996).

Hutching, I.M., “Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials” , *Materials Science and Metallurgy University of Cambridge*, 76-82 (1992).

Karabaşoğlu, M., “Aşınma Deney Cihazı Tasarım ve İmalatı” , Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2008).

Karaoğlu, K., “Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2004).

Kaştan, A., Grafit Katkılı Nylon6(Poliamid6)nın Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 21-22 (2005).

Kaya, M., Orhan N., Somurtkan İ., Kurt B., “Toz Metalurjisi ile İmplant Malzeme Olarak Üretilen Gözenekli NiTi Şekil Hatırlatmalı Alaşımın Aşınma Davranışı” *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük (2009).

Kaya, M., N. Orhan, B. Kurt, “Gözenekli NiTi SHA’in Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Ön Isıtma Sıcaklığının Gözenek Oluşumu Üzerindeki Etkisi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 6:154-158 (2008).

Kitaoka, A., Hirota K., Yoshinaka M., Miyamoto Y., Yamaguchi O., “Toughening and strengthening of NiAl with Al₂O₃ by the addition of ZrO₂(3Y)”, *J.Am.Ceram.Soc.*, 83 (5) :1311-1313 (2000).

Koçer, T., “Basınçlı İnfiltasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ ve SiC Partikül Takviyeli Al Mg Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2002).

Kurt, B., Orhan N., “Şekil Hafızalı Alaşımların Kaynak Edilebilirliği”, *Doğu Anadolu Projeleri Araştırmaları*, 4-6 (2003).

Li, D.Y., “Wear behaviour of TiNi shape memory alloys”, *Scripta Mater*, 34:195 (1996).

Li, D.Y., “Development of novel wear-resistant materials: TiNi-based pseudoelastic materials”, *Mater Design* , 21:551 (2001).

Liu, R., H.Z. Ye, Li, D.Y. and Eadie, R. “Development of a new wear-resistant material:TiC/TiNi composite”, *Scripta Materialia*, 41, 10: 1039–1045 (1999).

Arciniegas, M., Casals, J., Manero, J.M., Pena, J., Gil, F.J., “Study of hardness and wear behaviour of NiTi shape memory alloys”, *J.Alloys&Comp.*, 460:213-219 (2008).

Mihalcz, I., “Fundamental characteristics and design method for Nickel Titanium shape memory alloys”, *Periodica polytechnica Ser. Mech. Eng.*, 45(1):75-85 (2001).

Modia, O.P., Pallavi, Pandit, Mondala, D.P., Prasad, B.K, Yegneswaran, A.H., Chrysanthou, A., “High-stress abrasive wear response of 0.2% carbon dual phase steel: Effects of microstructural features and experimental conditions”, *Materials Science and Engineering*, 458, 303–311 (2007).

Mutlu, İ., “Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2002).

Otsuka, K. and Ren, X., “Recent developments in the research of shape memory alloys”, *Review Intermetallics*, 7:526 (1999).

Otsuka, K., Kakeshita, T., “Science and technology of shape-memory alloys: New developments”, *MRS Bulletin*, 91-100 (2002).

Özsaraç, U., Durman M., “Aşınma Deneysel Yöntemleri”, *Makina Magazin*, 1-6 (2000).

Özsaraç, U., Endüstriyel Yatak Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 16-17 (1999).

Paula, A.S., Mahesh K.K., Santos C.M.L., Fernandes F.M.Braz, Viana Costa C.S.da, “Thermomechanical behaviour of Ti-rich NiTi shape memory alloys”, *Mater.Sci.&Eng.A*, 481(482): 146-150 (2008).

Bor, Ş., Tahran, E., “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Köpüksü Saf Titanyum ve Ti6Al4V Alaşım Üretimi ve Karakterizasyonu” TÜBİTAK Proje No:104M121, Nisan 2007, *ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Ankara (2007).

Sabancı, K., “Yapay Kas Kullanılarak Örümcek Robot Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2005).

Soydan, Y., Ulakan, L., Triboloji, *Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi*, 1: 35-40 (2003).

Soydaş, S., Ünlü Aşınma Test Cihazı Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2006).

Thompson, S.A., “An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry” , *International Endodontic Journal*, 33:297–310 (1999).

Topbaş, E., Akkuş N., “Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Endüstriyel Uygulamaları”, *Makine Teknolojiler Elektronik Dergisi*, 4 :15-22 (2007).

Turner, L.T., “Thermomechanical Response of Shape Memory Alloy Hybrid Composites”, *NASA*, TM-2001-210656 (2001).

Uzuner, H., Polimerlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2001).

Uzun, H., Bayındır F. “Dental uygulamalarda titanyum ve özellikleri”, *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 20:2:213-220 (2010).

Ünal, H., Mimaroglu A.,Kadioğlu U., Ekiz H.,” Sliding friction and wear behaviour of polytetrafluoroethylene and its composites under dry conditions”, *Materials & Design* (2003).

Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Seçkin Kitabevi*, Ankara, 61-68 (2006).

Chen, Y.Y., Yu, H.B., “Effect of spark plasma sintering temperature on microstructure and mechanical properties of an ultrafine grained TiAl intermetallic alloy”, *Mater.Sci.&Eng.A* (2009).

Yılmaz, T., Gür, A.K., “Aşınma Sistemleri”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları* (2006).

Yılmaz, F., “Sürtünme ve Aşınma”, *9th International Metallurgy and Materials Congress*, 229-256, İstanbul (1997).

Xu, YZ.,” Materials of shape memory”, *Shanghai Jiaotong University Press* (2000).

Yuan, B., C.Y.Chung, M.Zhu, “Microstructure and martensitic transformation behaviour of porous NiTi shape memory alloy prepared by hot isostatic pressing processing”, *Mater.Sci.&Eng.A*, 382:181-187 (2004).

Xianhua, C. , Zhenhua, L., Guoquan, X., “Dry sliding wear behavior of TiNi alloy processed by equal channel angular extrusion”, *Materials.&Design*, 28:2218-2223 (2007).

EKLER

EK-1. Adhasiv aşınma deneylerine ait aşınma miktarları ve hacimsel aşınma oranları

YÜK	AŞINMA MİKTARI (gr)			HACİMSEL AŞINMA ORANI (mm ³ /km)		
	SAF Tİ	Nİ48Tİ52	Nİ52Tİ48	SAF Tİ	Nİ48Tİ52	Nİ52Tİ48
20 N	0,0359	0,0019	0,0016	2,446991	0,084444	0,070884
40N	0,0729	0,00465	0,00409	4,968959	0,206667	0,181198
60N	0,12065	0,00985	0,0087	8,223662	0,437778	0,385433

EK-2. Abrasif aşınma deneylerine ait aşınma miktarları ve hacimsel aşınma oranları

	ZAMAN (sn)	MALZEME KAYBI (gr)			HACİMSEL AŞINMA ORANI(mm ³ /m)		
		20N yük altında			20N yük altında		
		Saf Ti	Ni48Ti52	Ni52Ti48	Saf Ti	Ni48Ti52	Ni52Ti48
80 grid	45	0,09	0,09	0,08	0,51	0,30	0,29
	90	0,15	0,10	0,10	0,40	0,18	0,18
	120	0,20	0,13	0,12	0,40	0,17	0,16
180 grid	45	0,07	0,05	0,04	0,37	0,17	0,15
	90	0,08	0,07	0,07	0,22	0,12	0,12
	120	0,10	0,09	0,08	0,20	0,11	0,11
500 grid	45	0,02	0,02	0,02	0,13	0,07	0,07
	90	0,03	0,03	0,02	0,09	0,05	0,04
	120	0,04	0,04	0,03	0,08	0,05	0,04
		40N yük altında			40N yük altında		
		Saf Ti	Ni48Ti52	Ni52Ti48	Saf Ti	Ni48Ti52	Ni52Ti48
80 grid	45	0,15	0,14	0,13	0,83	0,48	0,46
	90	0,22	0,17	0,17	0,60	0,30	0,29
	120	0,28	0,20	0,19	0,57	0,27	0,25
180 grid	45	0,09	0,09	0,08	0,50	0,31	0,29
	90	0,12	0,11	0,10	0,32	0,19	0,18
	120	0,15	0,13	0,13	0,30	0,18	0,17
500 grid	45	0,04	0,03	0,02	0,20	0,09	0,09
	90	0,05	0,04	0,04	0,13	0,07	0,06
	120	0,07	0,06	0,05	0,13	0,07	0,07
		60N yük altında			60N yük altında		
		Saf Ti	Ni48Ti52	Ni52Ti48	Saf Ti	Ni48Ti52	Ni52Ti48
80 grid	45	0,23	0,20	0,19	1,27	0,71	0,68
	90	0,40	0,30	0,28	1,10	0,53	0,50
	120	0,51	0,39	0,39	1,04	0,53	0,52
180 grid	45	0,15	0,11	0,10	0,83	0,38	0,35
	90	0,25	0,14	0,13	0,68	0,25	0,24
	120	0,31	0,16	0,16	0,64	0,21	0,21
500 grid	45	0,06	0,04	0,04	0,31	0,14	0,13
	90	0,09	0,05	0,05	0,23	0,09	0,09
	120	0,11	0,06	0,06	0,22	0,08	0,08

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	ŞAHİN, Fatih Yasin
Uyruğu	T.C
Doğum tarihi ve yeri	01.05.1986
Medeni hali	Bekar
Telefon	0537 024 66 95
e-mail	fatihyasin.sahin@eüas.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Pamukkale Üniversitesi	2008
Lise	Gazi Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	Pb. İnşaat	Makine Mühendisi
2011-	Eüaş. AEL İşletme Müd.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, Taekwan-do, Plaj Voleybolu

