

**316L PASLANMAZ ÇELİK ÜZERİNE İNDÜKSİYON
KAYNAK YÖNTEMİYLE GÖZENEKLİ NİTİ'NİN
KAPLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Nur KAPLAN

Yüksek Lisans Tezi

**Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr.: İlyas SOMUNKIRAN**

HAZİRAN – 2014

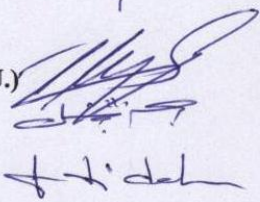
T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

316L PASLANMAZ ÇELİK ÜZERİNE İNDÜKSİYON KAYNAK YÖNTEMİYLE
GÖZENEKLİ NİTİ'NİN KAPLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Nur KAPLAN
(101122107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Haziran 2014
Tezin Savunulduğu Tarih: 25 Haziran 2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ (F.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN (F.Ü.)



HAZİRAN - 2014

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, farklı bakış açıları kazanmamı sağlayan, bana vaktini ayırıp yol gösteren, çalışmaların sonuçlanması için benimle yakından ilgilenen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından itibaren içten desteklerini esirgemeyen ve tez çalışmalarım sırasında görüş ve önerilerinden faydalandığım çok kıymetli hocalarım Prof. Dr. Halis ÇELİK, Prof. Dr. Nuri ORHAN ve Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak, her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, Değerli Kardeşim Ziraat Müh. Şahin KAPLAN'a minnettarım.

Bu tez çalışmasını, **TEF 12.05** numaralı proje kapsamında maddi olarak destekleyen FÜBAP ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Nur KAPLAN

Haziran - 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Paslanmaz Çelikler	3
2.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler	5
2.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	9
2.1.3. Duplex Paslanmaz Çelikler	12
2.1.4. Martensitik Paslanmaz Çelikler	14
2.1.5. Çökelmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler	17
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Metalürjik Özellikleri.....	19
2.3. 316L Paslanmaz Çelik	20
2.3.1. 316L Paslanmaz Çelik Kullanım Alanları	21
2.4. Toz Metalurjisi	21
2.4.1. T/M Parçaların Pazar Payları	22
2.4.2. Toz Metalurjisinin Geleneksel ve Yeni Uygulama Alanları.....	23
2.4.3. Toz Metalurjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Avantajları.....	24
2.4.4. Toz Metalurjisinin Genel Avantajları.....	24
2.4.5. Metal Tozlarının Üretim Yöntemleri.....	24
2.5. Nikel-Titanyum Alaşımları	25
2.5.1. Nikel-Titanyum Faz Diyagramı	26
2.5.2. Nikel-Titanyum Alaşımları	28
2.5.3. Titanyum ve Titanyum Alaşımlar	28
2.5.4. NiTi Alaşımının Kullanım Alanları.....	29
2.6. Difüzyon ve Difüzyon Kaynağı	30
2.6.1. Difüzyon	30

2.6.2. Difüzyon Mekanizmaları	33
2.6.3. Difüzyon Kaynağı ve Tanımı	35
2.6.4. Difüzyon Kaynağını Etkileyen Başlıca Parametreler	36
2.6.5. Difüzyon Kaynağı Uygulama Alanları	39
2.7. Kendi Kendine İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezlenmesi (KKİYSS METODU)...	40
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	42
3.1. Numunelerin Hazırlanmasında İzlenen Yöntem	42
3.1.1. Çalışmanın Amacı	42
3.1.2. Numunelerin Hazırlanması	43
3.1.3. Numuneler.....	45
3.1.4. Numunelerin Metalografik İncelemeye Hazırlanması	45
3.1.5. Optik mikroskop Görüntülerinin incelenmesi.....	46
3.1.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri ve Noktasal Analiz (EDX) İncelemesi	46
3.1.7. Mikrosertlik Sonuçları	46
3.1.8. Yoğunluk Ölçümü ve Gözeneklilik Oranı	48
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	50
4.1. Kaplama Tabakasının Yoğunluklarının Sonuçlarının İncelenmesi	50
4.2. Gözenekli NiTi Tabakasının Mikroyapı İncelenmesi	52
4.2.1. Kaplama Tabakasının Optik ve SEM Görüntülerinin İncelenmesi	52
4.2.2. Mikro Yapının İncelemesi	58
4.2.3. Noktasal Analiz (EDX) Sonuçları.....	60
4.3. Mikro Sertlik Analizi	65
5. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	67
5.1. Genel Sonuçlar	67
5.2. Öneriler	69
KAYNAKÇA	70
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÖZET

Son yıllarda, biyomalzeme bilimi, insan kemiği ile uyumlu olan malzemelerde büyük ilerlemeler kat etmiştir. Biyomedikal uygulamalarda; şekil hafıza özelliği ve biyouyumluluğa sahip NiTi alaşımı üzerine çok sayıda çalışma mevcuttur. Birçok araştırmacı, insan kemiği ile benzer yapıya sahip olduğundan dolayı ilgilerini gözenekli NiTi (Nikel/Titanyum) alaşımı üzerine yoğunlaştırmışlardır. Gözenekli ve gözeneksiz NiTi alaşımları kıyaslandığında, gözenekli NiTi alaşımı; alaşımın gözenekli yapısından dolayı kemik dokusunun bu yapı içerisinde ilerleyebilmesi ve bu sayede de kaymayan bir yapı oluşumuna izin vermesi gibi üstünlüklere sahiptir. Fakat yapısındaki gözenek miktarının net kriterlerle ayarlanabilme güçlüğü ve bu nedenle de mekanik özelliklerde sapmaların meydana gelmesi, aynı zamanda maliyetinin 316L alaşımları gibi diğer biyouyumlu malzemelere kıyasla yüksek olması gelecekte kullanım alanını oldukça sınırlandırmıştır.

Bu çalışmada, biyouyumlu 316L paslanmaz çelik üst tabakanın yüzeyi SHS (kendi ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi) yöntemi kullanılarak gözenekli NiTi alaşımıyla kaplanacak. Oluşturulmuş olan gözenekli kaplamada soğuk presleme basıncının gözenekliliğe etkisi ve gözenekli NiTi ile 316L arasında oluşacak ara tabakaya etkisi incelendi. İşlem olarak toz metalurjisi yöntemiyle 316L paslanmaz çelik üzerine 2-3 mm kalınlığında NiTi toz karışımı 50, 100, 150 ve 200 MPa basınçlarda soğuk olarak preslendi. Preslenen numuneler argon gazı atmosfer koruması altında indüksiyon kaynak yöntemiyle 1200 °C sıcaklığında 316L paslanmaz çelik alaşımının üzerine kaplandı ve gözenekli NiTi ile kaplanan numunelerin mikrosertlik, optik mikroskop, Scanning Electron Microscopy (SEM) ve Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) incelemelerine tabi tutuldu.

Anahtar Kelimeler: Nikel Titanyum, Kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (SHS), Toz Metalurjisi, 316L paslanmaz Çelik

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF COATING WITH POROUS NITI BY INDUCTION WELDING ON 316L STAINLESS STEEL

In recent years, in biomaterials science, There have been advances in materials that are compatible with human bone. The NiTi alloy has been extensively studied because of its shape memory effect and potential uses for biomedical applications. Recently, many researchers have focused their interests on porous NiTi alloy that has similar structure with human bone. As compared with and without porous NiTi alloy, the properties of porous NiTi alloy can be easily adjusted to match those of replaced bones by obtaining different porosity and pore-size through controlling the synthesis conditions. However its use is limited due to the relatively higher cost compared with the other bioadaptive materials such as 316L alloys, the difficulty in tailoring pore size and distribution thus mechanical properties.

In this study, the surface for biocompatible 316L stainless steel with the SHS method will be covered with the porous NiTi alloys. How porous coating will be formed with pre-annealing temperature and interface that occur between porous NiTi alloy and 316L alloy will be examined. In the process, NiTi powder mixture will be compacted to 2-3 mm thickness on the surface of 316L stainless steel by powder metallurgy method. The samples prepared will be subjected to the pre-annealing temperature for 600 ° C in an induction melting furnace under protected atmosphere, and ignited by a rapid increase of temperature in the same furnace. The interface between porous NiTi and 316L stainless steel alloy will be examined with Optical, Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

Key Words: Nickel-Titanium, SHS, Powder Metallurgy, 316L Stainless Steel

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması	4
Şekil 2.2 Paslanmaz çeliklere ait mikroyapı görüntüleri.	5
Şekil 2.3. Ostenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı	7
Şekil 2.4. T/M parçaların pazar payları	23
Şekil 2.5. TiNi Faz Diyagramı	27
Şekil 2.6. TiNi faz diyagramında Ti_3Ni_4 intermetalik yapı.....	28
Şekil 2.7. sabit sıcaklıkta farklı NiTi fazlarının zor (yük)-zorlanma (deformasyon) davranışı, A; akma dayanımının (deformasyonun) başlaması, B; maksimum dayanım ve kırılma	30
Şekil 2.8. Serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı	31
Şekil 2.9. Konsantrasyon gradyanının gösterilisi	33
Şekil 2.10. Boşluk veya yeralan atom difüzyonu	34
Şekil 2.11. Arayer atomunun kristal içerisindeki hareketinde konum enerjisi değişimi	34
Şekil 2.12. Difüzyon kaynağı mekanizması.....	36
Şekil 2.13 Yanma sentezi modları: (a) KKİYSS, (b) Eş zamanlı yanma.	41
Şekil 2.14. SHS işleminin fotoğrafı ve şematik resmi.	41
Şekil 3.1. Soğuk presleme kalıbı	43
Şekil 3.2. Difüzyon kaynak düzeneğinin şematik görüntüsü	44
Şekil 3.3. Ateşlemem Sonrası Oluşan Numunenin Resmini Autocad'te Çizimi	45
Şekil 3.4. Mikro Sertlik Cihazı.....	47
Şekil 3.5. Numune üzerinde alınan mikrosertlik ölçüm noktaları.....	48
Şekil 3.6. Yoğunluk Ölçüm Düzeneği	49
Şekil 4.1. Soğuk Presleme Basıncı ile Yoğunluk Değişimi	51
Şekil 4.2. Soğuk Presleme Basıncı ile Gözeneklilik Değişimi	52
Şekil 4.3. 50 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S1 Nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü	53
Şekil 4.4. 100 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S2 Nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü.....	54
Şekil 4.5. 150 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S3 Nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü.....	55

Şekil 4.6. 200 MPa Basınç ve 1200 0C sıcaklık ile kaplanan S4 Nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü.....	56
Şekil 4.7. Optik mikroskoptaki 316L paslanmaz çeliğin x200 büyütmedeki görüntüsü.....	57
Şekil 4.8. SHS ile Üretilen NiTi alaşımının x50 Büyütmedeki Optik Görüntüsü.....	57
Şekil 4.9. x15 büyütmedeki S1: 50 MPa, S2: 100 MPa, S3: 150 MPa ve S4: 200 MPa görüntüler verilmiştir.	59
Şekil 4.10. S1-S2-S3-S4 numunelerinin mikrosertlik grafikleri	65

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. AISI 200 ve 300 serisi ostenitik paslanmaz çelikler.....	8
Tablo 2.2. I. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler.....	10
Tablo 2.3. II. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler.	11
Tablo 2.4. III. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler.	12
Tablo 2.5. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik Özellikleri.....	14
Tablo 2.6. Standart tip martenzitik paslanmaz çelikler.	15
Tablo 2.7 Martenzitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri.	16
Tablo 2.8. Süpermartenzitik paslanmaz çelik tipleri.	17
Tablo 2.9. Bazı Çökelti Sertleştirilmiş yarı östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri.....	18
Tablo 2.10. Bazı çökelti sertleştirilmiş martensitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri.....	19
Tablo 2.11. 316L Paslanmaz Çelik Kimyasal Bileşimi.....	21
Tablo 2.12. NiTi ŞHA'ın yaygın uygulama alanları.	30
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri.....	44
Tablo 3.2. 316L Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Bileşimi.....	44
Tablo 3.3. Numunelere ait işlem parametreleri	45
Tablo 4.1. Yoğunluk Ölçümü Sonuçları.....	51
Tablo 4.2. S1 Nolu numuneye ait EDX değerleri	61
Tablo 4.3. S2 Nolu numuneye ait EDX değerleri	62
Tablo 4.4. S3 Nolu numuneye ait EDX değerleri	63
Tablo 4.5. S4 Nolu numuneye ait EDX değerleri	64

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte malzemelerin kullanım alanları artmıştır. Teknolojik araştırmaların büyük bir kısmının insan hayatının kalitesinin artırılması üzerine yoğunlaştığı günümüzde insan vücudundaki kemiklerde meydana gelen hasarların iyileşmesini kolaylaştırması ve bu sayede daha erken iyileşme süresi göstererek yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Özellikle, üretilecek implant malzemenin vücut içersinden çıkartılmasına gerek duyulmadan kullanılabilir olması, hem insan hayatının kalitesini artırması hem de sonradan uygulanan cerrahi müdahaleleri ortadan kaldırması nedeniyle araştırmanın çekiciliğini arttırmaktadır.

Üretilecek implant mekanik özellikler açısından mükemmel ve maliyet açısından da tamamen gözenekli NiTi alaşımından üretilen implantlara kıyasla daha düşük olacaktır. Bu yaklaşımla aynı zamanda kemik yerine yerleştirilen implantın gözenekleri içerisine kemik dokusunun hem tutunması hem de ilerlemesi sağlanacak, implantın kemikle tam bir bütünlük içerisinde hareket ederek sert doku olarak kullanılması mümkün olacaktır. Böylece kemik ve implant malzeme arasında daha kısa sürede bir uyumun meydana gelmesi iyileşme sürecini de hızlandırmış olacaktır.

Son on beş yılda, biyomedikal uygulamalarda mükemmel şekil hafıza özelliği ve biyouyumluluk özelliğinden dolayı NiTi alaşımı üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Son çalışmalarda birçok araştırmacı, NiTi (Nikel-Titanyum) alaşımının insan kemiği ile benzer yapıya sahip olduğunu fark etmiştir. Bundan hareketle ilgilerini gözenekli NiTi alaşımı üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Gözeneksiz NiTi ve gözenekli NiTi alaşımları kıyaslandığında, gözenekli NiTi alaşımı yerine geçeceği kemiğe bağlı olarak, mekanik özelliğinin gözenek miktarıyla ayarlanabilmesi, alaşımın gözenekli yapısından dolayı kemik dokusunun içerisinde ilerleyebilmesi ve bu sayede kaymayan bir yapı oluşumuna izin vermesi gibi üstünlüklere sahiptir.

Dışarıdan uygulanan etkilere karşı istenilen tepkilerin alınabildiği malzemelere akıllı malzeme denilmektedir. Bunlardan bazıları; şekil hatırlamalı alaşımlar (SHA), akıllı (smart) polimerler, kompozitler, piezoelektrik materyaller, termopiezoelektrik materyaller, elektrik şiddetli (electrostrictive) seramikler, pizoseramikler, magnetik şiddetli materyaller, çok kristalli ferroelektrik seramikler, elektrolojikal (electrorheological) akıcılar ve bazı tersine çevrilebilir jellerdir. Bunlardan en yaygın kullanılanları SHA'dır. SHA, medikal

endüstri, havacılık endüstrisi ve otomotiv endüstrisi gibi alanlarda birleştirme özelliği, yay ve akıllı malzeme olarak kullanılmaktadır.

Difüzyon kaynağı, aynı veya farklı iki malzemeyi ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta basınç altında bir araya getirerek yapılan bir katı hal birleştirme tekniğidir. Araştırmacılar tarafından yapılan öneriye göre difüzyon kaynağı üç safhadan gerçekleşir. Birinci safhada, lokal deformasyon ve sürünme ile temas alanının artması. İkinci safhada, ara yüzeydeki pürüzlerin yok edilmesi ve temas alanında hacim difüzyonu, Son olarak, ara yüzeyde tane sınırı göçü ve büyümesi. Farklı malzemeler arasında sağlam kaynaklar elde etmek için, iki malzeme arasına bir aratabaka malzemesi yerleştirilerek difüzyon kaynağı ile kompaktlandığında daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Paslanmaz Çelikler

İçerisinde % 12-18 krom ve % 0.1-0.8 oranında karbon bulunduran çeliklerdir. Yüksek sıcaklıklara, atmosfer etkilerine ve korozyona dayanıklıdırlar. Kimyasal etkilere karşı direnç gösterirler. Fiziksel ve mekanik özellikleriyle geniş kullanım alanları olan yüksek alaşımlı çeliklerdir. İçerisine krom katılan çelik pasifleşir. Krom oranı yükseldikçe pasiflik artarak % 12 krom oranında paslanmazlık özelliği kazanır. İçerisine kromla birlikte nikel de katılarak kimyasal dayanımı ve plastik deformasyon yeteneği arttırılır. Bunlar bazı özel ortamlar dışında pasif hallerini korurlar. % 18 Cr içeren çelikler normal atmosfer etkisiyle paslanmaz. Pasifliğin bozulması halinde, oksijenli ortamlarda yeniden pasif tabaka oluşturulabilir. % 18 krom bulunan çeliklere % 8 nikel katılırsa, 18-8 paslanmaz çelik olarak bilinen ve endüstride çok kullanılan çelik elde edilir. Krom ve nikelli çeliklere molibden ve diğer elementlerin katılmasıyla sıcaklığa ve korozyona karşı direnci daha da yükselir. Krom, çeliğin ısıya karşı direncinide yükseltir [1].

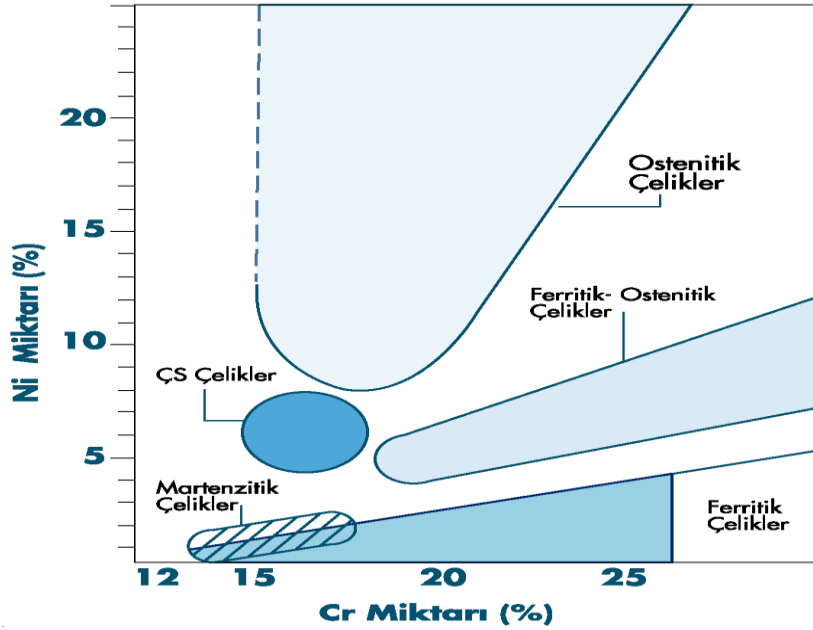
Karbon çeliklerinde kullanım alanına bağlı olarak farklı özellikler (mukavemet, sertlik, tokluk vs.) gösteren kalite çeşitleri olduğu gibi paslanmaz çeliklerde de kullanım şartlarına bağlı olarak farklı mekanik ve kimyasal özellikler gösteren kaliteler vardır. Paslanmaz çeliklerde korozyon direnci ve mukavemet değerleri farklı kaliteler arasında önemli değişim gösterebilmektedir.

Bu değişim içyapının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli elementler önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır [2].

Paslanmaz çelik ailesi çok sayıda farklı alaşımdan oluşmuştur. Onların her biri daha yüksek korozyon direnci, ileri mekanik özellikler, daha yüksek mukavemet, sertlik ve pürüzlülük, kaynak sıcaklığının etkisi altında metalurjik kararlılık ve işlenebilirlik gerektiren özel uygulamalar gibi özel ihtiyaçları karşılamak üzere geliştirilmiştir. Paslanmaz çeliklerin pek çok kullanıma sebebi ise, mükemmel atmosferik korozyon

direnci ve dayanıklılık, estetik görünüm, sağlık ve temizlik yönünden uygunluğu ve ısı direncidir [1].

Genel olarak paslanmaz çelikler Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. İçerdikleri alaşım elementleri artırılarak veya azaltılarak farklı tür paslanmaz çelikler elde edilebilir. Paslanmaz çelikler, içerdikleri krom ve nikel miktarına bağlı olarak Şekil 2.1’de görüldüğü gibi 5 ana grupta sınıflandırılırlar [3].



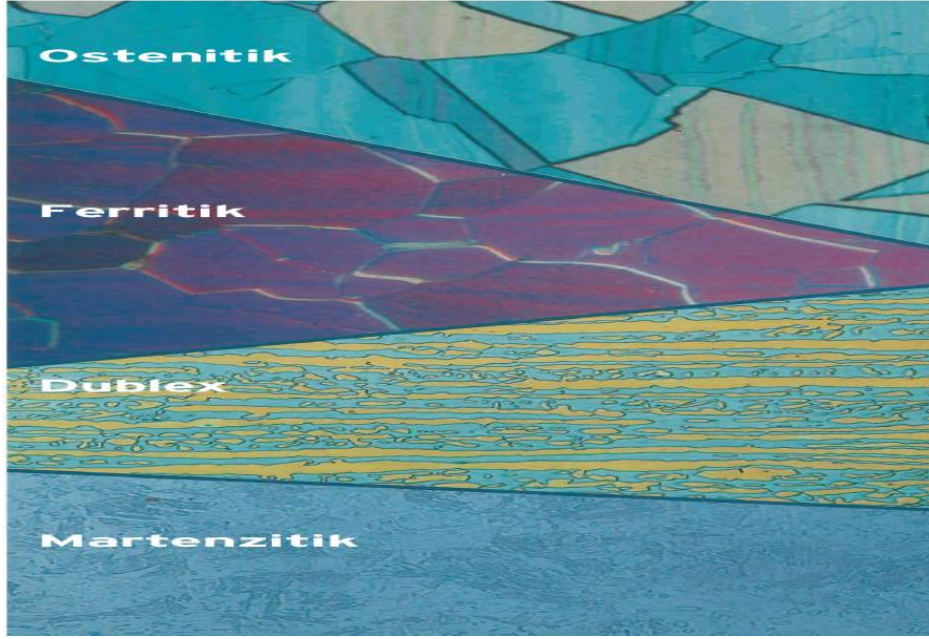
Şekil 2.1. Paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması [3].

Bunlar;

1. Östenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Duplex Paslanmaz Çelikler
4. Martensitik Paslanmaz Çelikler
5. Çökelmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle, krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Beş ana grup çatısı altında toplanan paslanmaz çeliklere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı östenit tanelerinden meydana

gelirken, ferritik paslanmaz çeliklerin yapısı ince ferrit tanelerinden oluşmaktadır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin yapıları ise ferrit tane yapısı içerisindeki karbür dağılımları şeklinde görülmektedir. Duplex paslanmaz çeliklerin yapısı ise östenit matrixs içerisinde uzanmış ferrit levhalarından meydana gelmektedir.



Şekil 2.2. Paslanmaz çeliklere ait mikroyapı görüntüleri [3].

2.1.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler temel olarak demir-krom-nikel üçlü alaşımlarıdır. Tüm dünyada üretilen toplam paslanmaz çeliğin %65-70 kadarını östenitik paslanmaz çelik oluşturmaktadır. Östenitik kaliteler AISI' da 200 ve 300 serisi olarak adlandırılmaktadır. Bileşim değerleri %16-26 krom, %10-24 nikel ve en fazla %0,40 karbon'dur. Düşük miktarlarda molibden, titanyum, niyobyum, tantal gibi alaşım elementleri içermektedirler. Nikel östenit alanını genişletici etkisiyle östeniti oda sıcaklığında kararlı kılmaktadır. Molibden ilavesi ile korozyon direnci artırılmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler yüksek tokluk ve mukavemet değerleri göstermektedirler, ayrıca korozyona karşı dayanımları ferritik ve martenzitik paslanmaz çeliklerden fazladır. Genel olarak özellikleri;

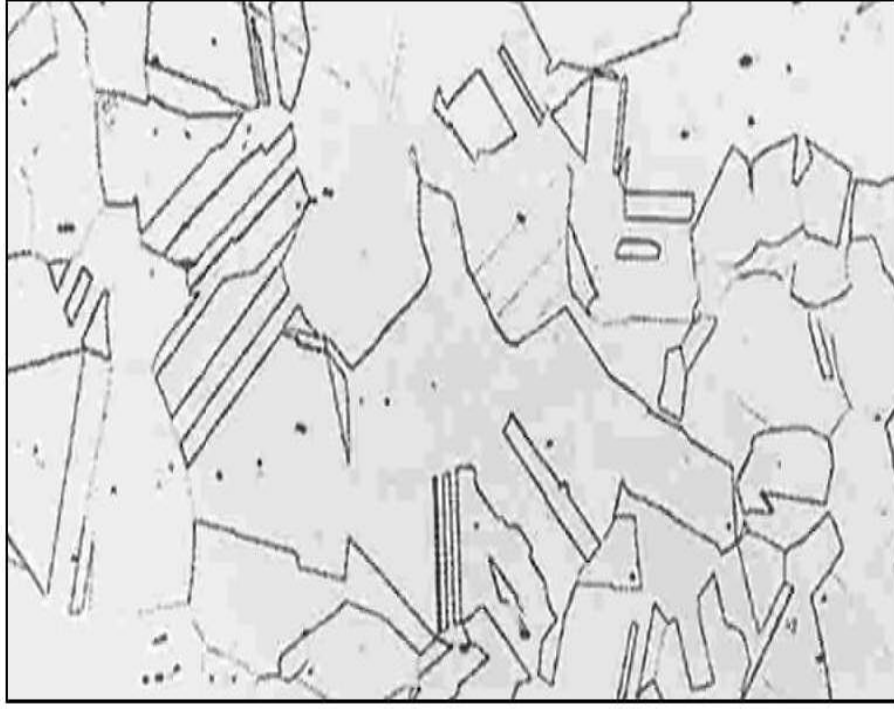
- Üstün sünekliğe ve şekil değiştirme kabiliyetine sahiptirler.

- Düşük sıcaklıklarda darbe dirençleri yüksektir.
- Östenitik yapıdan dolayı manyetik özellik göstermezler.
- Kaynaklanabilirlikleri iyidir.
- Korozyon dirençleri yüksektir.
- Östenitik yapısının kararlılığından dolayı su verme yerine plastik deformasyonla sertleştirilebilmektedirler.
- Düşük termal iletkenliğe ve yüksek termal genleşme katsayısına sahiplerdir.
- Kristal kafes yapısı yüzey merkez kübiktir [2].

YMK östenitik paslanmaz çeliklerin süneklik, şekillendirilebilirlik ve korozyon dirençleri mükemmeldir. Mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetleşmesi ile elde edilir ve östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyonu sonucu pekleşmesi ferritik paslanmaz çeliklerden daha fazla olabilir. Östenitik çelikler belirgin bir geçiş sıcaklıklarına sahip olmadıkları için, düşük sıcaklıktaki darbe özellikleri mükemmeldir. % 0.03 C'dan fazla karbon içeren Östenitik paslanmaz çelikler, taneler arası korozyona karşı hassas olabilirler. Çelik yaklaşık 870 ile 420 °C'lar arasında yavaş soğutulduğunda tane sınırlarında krom karbürler çöker. Daha sonra bu tane sınırları bölgesinde korozyon oluşur. Su verme tavlama ısı işlemi, korozyonu önlemek için kullanılabilir. Bir başka çözüm ise çeliğe titanyum veya niyobyum katmaktır [4].

Östenitik paslanmaz çelikler; yaygın olarak makina ve imalat sanayinde, asansörler, bina dış cephe kaplamaları, gıda işleme ekipmanları, mutfak gereçleri, kimya endüstrisinde, tren yolu arabaları, uçak parçaları, yaylar, antenler, ev aletleri, soğuk kaplar, yağmur olukları, sıvı gübreleme, lapa domates tankları, fırın parçaları, pompa parçaları, ısı değiştiriciler, türbin kanatları, basınçlı kaplar, kaynatma kazanları, uçak eksoz bacaları, jet motor parçaları, çatal, kaşık v.b. süt taşıma malzemelerinde kullanılırlar [3].

Şekil 2.3'de östenitik çeliğin mikroyapısı görülmektedir. Paralel çizgilerin bulunduğu yerler ikizlenmenin olduğu yerlerdir.



Şekil 2.3. Östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı [3].

Östenitik paslanmaz çelikler, geniş bir sıcaklık aralığında (oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar) tek fazlı KYM bir kristal kafes sistemine sahiptir. Bu yüzden, yalnızca katı eriyikli alaşımlama ve dövmeyle dayanımları artırılabilir [5].

Tablo 2.1. AISI 200 ve 300 serisi östenitik paslanmaz çelikler [5].

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
201	0.15	5.5-7.5	1.0	16-18	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	0.15	7.5-10.0	1.0	17-19	4-6	0.06	0.03	0.25 N
205	0.12-0.2	14.0-15.5	1.0	16.5-18	1-1.75	0.06	0.03	0.32-0.4 N
301	0.15	2.0	1.0	16-18	6-8	0.045	0.03	-
302	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.045	0.03	-
302 B	0.15	2.0	2.0-3.0	17-19	8-10	0.045	0.03	-
303	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.2	0.15	0.6 Mo
303 Se	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.2	0.06	0.15 Se
304	0.08	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304 H	0.04-0.1	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304 L	0.03	2.0	1.0	18-20	8-12	0.045	0.03	-
304 LN	0.03	2.0	1.0	18-20	8-12	0.045	0.03	0.1-0.16N
304 Cu	0.08	2.0	1.0	17-19	8-10	0.045	0.03	3-4 Cu
304 N	0.08	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	0.1-0.16N
305	0.12	2.0	1.0	17-19	10.5-13	0.045	0.03	-
308	0.080.20	2.0	1.0	19-21	10-12	0.045	0.03	-
309	0.08	2.0	1.0	22-24	12-15	0.045	0.03	-
309 S	0.25	2.0	1.0	22-24	12-15	0.045	0.03	-
310	0.08	2.0	1.0	21-26	19-22	0.045	0.03	-
310 S	0.25	2.0	1.5	24-26	19-22	0.045	0.03	-
314	0.08	2.0	1.5-3.0	23-26	19-22	0.045	0.03	-
316	0.08	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo
316F	0.04-0.1	2.0	1.0	16-18	10-14	0.2	0.03	1.75-2.25 Mo
316H	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.1	2-3 Mo
316L	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3- Mo
316 LN	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo.0.1 N
316N	0.08	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3Mo,0.1N
317	0.08	2.0	1.0	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
317L	0.03	2.0	1.0	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
321	0.08	2.0	1.0	17-19	9-12	0.045	0.03	0.4 Ti
321 H	0.04-1.0	2.0	1.0	17-19	9-12	0.045	0.03	0.4 Ti
330	0.08	2.0	0.75-1.5	17-19	34-37	0.045	0.03	-
347	0.08	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.8 Mo
347 H	0.04-0.1	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.47-1 Nb
348	0.08	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2 Co, 0.8 Nb, 0.1 Ta
348 H	0.04-0.1	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2 Co, 0.8-1 Nb.O.ITa
384	0.08	2.0	1.0	15-17	17-19	0.045	0.03	-

Östenitik paslanmaz çelikler, orta dereceli ve şiddetli korozif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda kriyojenik (dondurucu) sıcaklıklardan 600 °C'ye kadar yüksek tokluğa sahiptir. Bu çelikler, manyetik olmadıkları için manyetik malzemelerin kullanılmadığı uygulamalarda da kullanılırlar.

Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde kullanılan en yaygın tipler AISI 200 ve 300 seri alaşımlardır.

Ayrıca, alaşım katkıları ve özel alaşım bileşimi, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8–20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Si dezoksidasyon için, % 0.02–0.08 C östenitin kararlılığı için ve % 1,5 Mn ise hem Östenitin kararlılığı hem de sülfür ve Si ile bileşik oluşturması açısından katılmaktadır. Tablo 2.1’de AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çelikler görülmektedir [5].

2.1.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler % 12-30 krom ve % 0,12’ den daha az karbon içeren ferritik mikroyapılı çeliklerdir. Ferritik kaliteler AISI’ de 400 serisi olarak adlandırılır. En belirgin özellikleri yüksek korozyon dirençleridir. Su verme ile martenzitik dönüşüm göstermemektedirler. Yüksek miktarda krom dışında az miktarda östenit yapıcı olarak azot veya nikelde bulunabilir.

Ferritik paslanmaz çelikler kullanım yerlerine göre değişen krom miktarlarına bağlı olarak 3 gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Krom miktarı %11-13 arasında olanlar (AISI 405 ve 409 kaliteleri)
- Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar (AISI 430 ve 434 kaliteleri)
- Krom miktarı %19-30 olan ve yüksek kromlu olarak isimlendirilenler (AISI 442 ve 446 kaliteleri)

Ferritik paslanmaz çeliklerin genel olarak özellikleri;

- Üstün korozyon direncine sahiptirler.
- Orta derecede şekillenebilme kabiliyetleri vardır.
- Deformasyon sertleşmesiyle mukavemetleri artırılır.
- Nikel içermediklerinden nispeten ucuzdurlar.
- Manyetik özellik gösterirler.
- Düşük tokluğa sahiplerdir.
- Gevrekleşme hassasiyetleri yüksektir.
- Kafes yapısı hacim merkez kübiktir.

1000 °C’ nin üstüne, özellikle 1200-1300 °C’ ye ısıtıldıklarında aşırı tane büyümesi sebebiyle çok kırılgan olmaktadır. Bu olay tane sınırlarında anormal derecede artar ve

bu olumsuz durum ısıtıl işlemle düzeltilemez, ancak haddeleme, dövme gibi sıcak mekanik deformasyonla düzeltilebilmektedir. Isıl işlem bu çeliklere sıcak şekil vermeden sonra uygulanmaktadır. Haddeleme, dövme gibi sıcak işlemler en az 800 °C' de bitirilmeli ve bu sıcaklıktan itibaren hızla soğutma yapılmalıdır [2].

Tablo 2.2. I. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler [6].

Tipi	% Bileşim			
	C	Cr	Mo	Diğer
429	0.12	14.0–16,0	-	-
430	0.12	16.0–18,0	-	-
430 F	0.12	16.0–18,0	0.6	0.06 P
430 FSe	0.12	16.0–18,0	-	-
434	0.12	16.0–18,0	0.75–1.25	0.6 Nb + Ta
436	0.12	16.0–18,0	0.75–1.25	-
442	0.20	18.0–23,0	-	-
446	0.20	23.0–27,0	-	-

- I. Grup ferritik paslanmaz çelikler kaynak edilebilirliği düzeltmek ve diğer özelliklerin geliştirilebilmesi için standart tip ferritik paslanmaz çeliklerin biraz değiştirilmiş halidir. Bu gruptaki ferritik paslanmaz çelikler daha düşük oranda C ve Cr içerir.
- II. Grup bu alaşımlar, yüksek sıcaklık uygulamaları ve aynı zamanda tarımsal ilaçlama tankları ve otomotiv sanayinde kullanılmaktadırlar. Tablo 2.3'de II. grup standart tip ferritik paslanmaz çelikler görülmektedir.

Tablo 2.3. II. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler [6].

Tipi	% Bileşim				
	C	Cr	Mo	Ni	Diğer
405	0.08	11.5–34,5	-	-	0.1–0,3 Al
409	0.08	10.5–11,5	-	0.5	0.48–0.75 Ti
409 C	0.02	12.5	-	0.2	0.4 Nb
441	0.02	18.5	-	0.3	0.7 Nb, 0,3 Ti
AL 433	0.02	19.0	-	0.3	0.4 Nb, 0,5 Ti
AL 446	0.01	11.5	-	0.2	0.2 Nb, 0,1 Ti
AL 468	0.01	18.2	-	0.2	0.2 Nb, 0,1 Ti
YUS436S	0.01	17.4	1.2	-	0.2 Ti
439	0.07	17.0–19,0	-	0.5	0.5–1.0Ti
18 SR	0,04	18.0	-	-	2 Al, 0,4 Ti
406	0.06	12.0–14,0	-	0.5	2.75–4.25 Al, 0.6 Ti

III. Grup ferritik paslanmaz çelikler yüksek Cr ve Mo içerikli ferritik paslanmaz çeliklerdir ve genel korozyon, oyuklaşma (pitting) korozyonu ve gerilmeli korozyon kırılmasına karşı dayanıma sahiptirler. Bu alaşımlar, kaynak işlemi sonrası korozyona dayanıklı, tok ve sünekliğe sahip olabilmesi için, hem vakum ortamında elektron ışınlı veya vakum ortamında indüksiyonla ergitme, hem de vakum ortamında oksijen ile dekarbürize edilerek üretilmelidir [6].

İçerisinde 150 ppm'den daha az arayer elementi (C+N) bulunan III. grup paslanmaz çelikler ultra yüksek saflığa sahip ferritik paslanmaz çelikler olarak adlandırılır. Bu alaşımlarda saflık, yüksek Cr içeriğinden dolayı tokluk ve kaynak edilebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Alaşıma az miktarda Nb katılarak kaynaklı malzemelerde korozyon direnci düzeltilebilir. Tablo 2.4'te standart tip III. grup ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri görülmektedir [6].

Tablo 2. 4. III. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler [6].

TİPİ	% BİLEŞİM						
	C	N	Cr	Mo	Ni	Nb	Diger
E-Brite 26-1	0,01	0,15	25-27	0,75	0,30	0,05-0,20	0,04Mn
AL 29-4-2	0,01	0,20	28-30	3,52-4	2-2,5	-	-
AL 29-4	0,01	0,20	28-30	3,52-4	0,15	-	0,3Mn
SHOMAC 30-2	0,003	0,007	30	2	0,4	-	0,3Mn
YUS190L	0,004	0,0085	18	2	0,4	-	-

2.1.3. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dubleks olarak adlandırılan çeliklerde östenitik ve ferritik fazlar bir arada bulunur ve bu sayede tek fazlı çeliklerden daha iyi özelliklere sahip paslanmaz çelik kaliteleri elde edilir. Yetmiş yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadırlar. İlk dupleks paslanmaz çelikler 1930 yılında İsveç'te kağıt endüstrisinde kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda östenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon sonucu meydana gelen sorunları bertaraf etmek için kullanılmaya başlamış ve yaygınlaşmıştır. 1936 yılında Fransa'da içerdiği ferrit ve östenit miktarına göre farklı isimler altında patentleri alınmıştır. 1960 ve 1970 yıllarına gelindiğinde iki ana faktör dupleks paslanmaz çeliklerin gelişimlerine etki etmeye başlamıştır. Bunlardan birincisi en büyük rakipleri östenitik paslanmaz çeliklerin asıl alaşım elementi olarak katılan nikelin metal piyasalarında aşırı derecede değerlenmesi ve gelişen teknolojiyle birlikte çelik üretiminin yeni metotlarla üretime başlamasıdır. Bu yeni yöntemler sayesinde vakum altında çok daha temiz, düşük karbon içerikli ve stabilize olmuş metal üretimini gerçekleştirmek mümkün olmuştur. 1970' den sonra bu yöntemler kullanılarak artık daha düşük karbonlu olarak üretilen dupleks paslanmaz çeliklere düşük miktarlarda azot eklenerek korozyon dayanımları östenitiklerden daha iyi bir duruma gelmiştir [2].

Dupleks paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı İki fazlı alaşımlardır. Bu alaşımlar, mikroyapıda eşit oranda KHM ferrit ve KYM östenit bulundurulur. Dupleks

paslanmaz çelikler düşük karbon içeriği ($\% < 0.03$) ve Mo, N, W ve Cu katkılarıyla bilinirler. Genellikle $\% 20\text{--}30$ Cr ve $\% 5\text{--}10$ Ni içerirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin geleneksel 300 serisi paslanmaz çeliklerden üstün özellikleri; gerilmeli korozyon kırılma dayanımı, mukavemet ve oyuklaşma (pitting) korozyonu dayanımıdır. Bu malzemeler asitler ve sudan kaynaklanan klora karşı direncin gerektiği orta dereceli sıcaklık (-60 ile $+300$ °C) alanlarında kullanılırlar. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz elik tipleri Tablo 2.5'te görülmektedir [6].

Dupleks paslanmaz çeliklerin alaşım katkıları hem östenit hemde ferrit oluşturuculardır. Dupleks paslanmaz çeliklerde kullanılan ana alaşım elementleri içerisinde Cr ve Mo ferrit oluşturucu, Ni, C, N ve Cu stenit oluşturucudur. Östenit ve ferrit oluşturucu alaşım elementlerinin dengesi malzeme mikroyapısını oluşturmaktadır. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik zellikleri Tablo 2.5'te görülmektedir.

Dupleks paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek alaşım içeriği ve ferritik bir matris gevrekleşmesine karşı hassasiyeti ve mekanik özellik kaybını ve özelliklede tokluğu düzeltir. Bu elikler daha çok yağ, gaz, petrokimya ve kâğıt endüstrisi gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır [6].

Tablo 2.5. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik Özellikleri [6].

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
S31200	0.03	2.0	1.0	24-26	5.5-6.5	1.2-2.0	0.14-0.20	690	450
S31500	0.03	1.2-2	1.4-2	18-19	4.25-5.25	2.5-3.0	0.05-0.1	630	440
S31803	0.03	2.0	1.0	21-29	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	620	450
S32304	0.03	2.5	1.0	21-24	3.0-5.5	0.05-0.6	0.05-0.2	600	400
S32550	0.03	1.5	1.0	24-27	4.5-6.5	2.9-3.9	0.1-0.2	760	550
S32750	0.03	1.2	1.0	24-26	6.0-8.0	3.0-5.0	0.24-0.32	800	500
S32760	0.03	1.0	1.0	24-26	6.0-8.0	3.0-4.0	0.3	750	550
S32900	0.03	1.0	0.75	23-28	2.5-5.0	1.0-2.0	-	620	485
S32950	0.03	2.0	0.60	26-29	3.5-5.2	1.0-2.5	0.15-0.35	690	480

2.1.4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, kübik hacim merkezli (KHM) veya sertleştirilmiş halde tetragonal kristal kafes sistemine sahip Cr-C alaşımlarıdır. Ferromanyetikler ve ısıtılıp işlemle sertleştirilebilirler. Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidirler.

Cr İçerikleri genellikle % 1–1,8 C içeriği ise % 1,2'ye kadar çıkabilir. Cr ve C oranları sertleştirme sonrası martenzitik bir yapı elde etmek için dengelenmiştir. Tablo2.6'da standart tip martenzitik paslanmaz çelikler verilmiştir [7].

Tablo 2.6. Standart tip martenzitik paslanmaz çelikler [7].

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
403	0.15	1.0	0.5	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
410	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
414	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	1.25-2.25	0.04	0.03	-
416	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
416 Se	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.03	0.15 Se
420	Min0.15	1.0	1.0	12.0-14.0	-	0.04	0.03	-
420 F	Min0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
422	0.20-0.25	1.0	0.75	11.5-13.0	0.5-1.0	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
431	0.20	1.0	1.0	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	0.15-0.3V
440 A	0.60-0.75	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 B	0.75-0.95	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 C	0.95-1.20	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo

En yaygın olarak kullanılan 410 tipi martenzitik paslanmaz çelik, % 12 Cr içeriği ile yüksek mukavemet özelliğine sahiptir. Molibden, 422 tipi paslanmaz çeliklere mekanik özellikleri ve tane sınırı korozyonuna karşı korozyon direncini artırmak için katılmıştır. Nikel, 414 ve 431 tipi paslanmaz çeliklere yine aynı nedenlerle katılmaktadır. Martenzitik paslanmaz çeliklerde korozyon dayanımını artırmak için daha yüksek Cr miktarları da kullanılmıştır [7].

Martenzitik paslanmaz çelikler, normal şartlarda 275 MPa'lık bir akma dayanımına sahiptirler. Bununla birlikte, C içeriğine bağlı olarak sertleştirme ve temperleme sonrası 1900 MPa'lık bir akma dayanımı seviyesi elde edilebilir. Bu alaşımlar aynı zamanda, İyi süneklik ve tokluk Özelliğine de sahiptirler. Uygulanan ısı İşleme bağlı olarak sertlik değerleri 150 HB'den 600 HB'ye kadar değişebilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin temel oda sıcaklığı özellikleri Tablo 2.7'de görülmektedir.

Tablo 2.7. Martenzitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri [7].

Tipi	Uygulanan işlem	Çekme Dayanımı(MPa)	Akma Dayanımı(MPa)	Uzama(%)	Sertlik
403	Sertleştirilmiş	485	275	20	88HRB
410	Sertleştirilmiş	485	205	20	95 HRB
410 S	Sertleştirilmiş	415	205	22	88 HRB
414	Temperlenmiş	795	620	15	-
416	Temperlenmiş	485	275	20	-
418	Temperlenmiş	965	760	15	-
420	Temperlenmiş	720	1480	20	52HRC
422	Temperlenmiş	825	585	17	-
431	Sertleştirilmiş	795	620	15	-
440	Sertleştirilmiş	725	415	20	95HRB
440	Temperlenmiş	1790	1650	5	51 HRC

410 tipi martenzitik paslanmaz çelikler, buhar tribünleri, jet motorları ve gaz tribünlerinde kullanılmaktadır. Daha yüksek C içeriğine sahip 440 tipi paslanmaz çelik, çatal-bıçak takımı, cerrahi dişçilik aletleri, makaslar, yaylar, valfler, dişliler, şaftlar, kamlar ve bilyeli yataklarda kullanılmaktadır [7].

% 13 Cr ve düşük karbon içerikli çelikler süpermartenzitik paslanmaz çelikler olarak adlandırılır. Bu çelikler özellikle yağ ve gaz endüstrisinde kullanılmaktadır.

Süpermartenzitik paslanmaz çelikler, kaynak edilebilir martenzitik paslanmaz çelikler veya süper 13 Cr çelikleri olarak adlandırılırlar. Tablo 2.8’de süper martenzitik paslanmaz çelik tipleri görülmektedir [8].

Tablo 2.8. Süpermartenzitik paslanmaz çelik tipleri [7].

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Diğer
X80İlCr-2Ni	<0.015	<2	0.15	11	2	<K51	0.4	<0.012	-
HP \3 Cr	<0.03	0.4	<0.3	13	4	1	-	0.05	-
D 13.5.2N	0.02	0.7	0.3	13.3	4.8	1.6	0.1	0.08	-
X80 12Cr-4.5Ni	<0.015	<2	0.15	12	4.5	1.5	0.4	0.012	-
CRS	0.02	0.5	0.3	12.5	4.5	1.5	1.5	0.05	-
Süper 13 Cr	0.02	0.5	0.2	12.2	5.5	2	0.2	0.02	0.2V
Süper 13 C	0.02	0.4	0.2	12.5	5	2	-	<0.08	-
Süper 13 Cr-6-2.5-Ti	<0.01	0.4	0.3	12	6.2	2.5		<0.01	0.07 Ti
X80 12 Cr-6.5Ni-2.5Mo		<2	0.15	12	6.5	2.5	0.4	<0.012	-

Bu yeni kaynak edilebilir martenzitik çelik tipleri, yüksek dayanım, tatlı ve ekşi ortamlarda iyi korozyon direnci ve -40 °C'nin altında uygun kırılma tokluğu gibi özelliklerin tamamına sahiptir.

Mikroyapısı, yüksek dayanım ve tokluğa sahip düşük karbonlu temperlenmiş martenzitten meydana gelir. Çekme dayanımları, 780–1000 MPa arasındadır[8].

2.1.5. Çökelmeyle Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çeliklerin en önemli özellikleri; kolay üretim, yüksek dayanım, nispeten yüksek süneklik ve mükemmel korozyon direncidir. Bu çelikler iki grupta incelenir. Bu gruplar yarı östenitik ve martensitik tiplerdir [1].

2.1.5.1. Yarı Östenitik Tip

Bu alaşımlar tavllanmış şartlarda esas olarak östenitik ancak nispeten basit ısı ve termo-mekaniksel ısı işlemlerle martensite dönüşebildiği için yarı östenitik olarak adlandırılır. Bu tip alaşımı yapmak için östenit ve ferrit arasındaki dengenin çok sıkı korunması gerekir. Östenit ve ferrit çok yüksekse östenit martensite dönüşmeyecek kadar kararlı olacaktır. Östenit oranı çok düşükse kısmi veya tamamen martensite dönüşüme direnç gösteren tavllanmış şartlardaki kararlı östenit üretilemez. Bu alaşımların bir avantajı

olan yumuşak şartlarda üretimden sonra östenit, martensite dönüşümü sağlamak için şartlandırılır. Şartlandırma işlemi karbonu katı eriyikten uzaklaştırmak için yeterince yüksek sıcaklığa ısıtma ve karbonu krom karbür (Cr_{23}C_6) şeklinde çökeltmeden meydana gelir. Çökeltme ilk olarak ferrit-östenit arayüzeyinde olur. Östenitik matristen karbon ve bir miktar kromun uzaklaştırılması östeniti kararsız hale getirir ve Ms sıcaklığına soğutma sonucu östenit martensite dönüşür.

Tablo 2.9. Bazı Çökelti Sertleştirilmiş yarı östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri [1].

Sınıf	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	% Al	% N
17-7PH ⁺	0.07	0.50	0.30	17.0	7.1		1.2	0.04
PH 15-7 Mo ⁺	0.07	0.50	0.30	15.2	7.1	2.2	1.2	0.04
PH-14-8 Mo ⁺	0.04	0.02	0.02	15.1	8.2	2.2	1.2	0.005
AM-350 ⁸	0.10	0.75	0.35	16.5	4.25	2.75		0.10
Am-355 ⁸	0.13	0.85	0.35	15.5	4.25	2.75		0.12

2.1.5.2. Martenzitik Tip

Kullanım ağırlığı bakımından martenzitik-çökeltme sertleştirilmiş paslanmaz çelikler diğer çeliklerden daha fazla kullanılır. Çözündürme uygulanmış şartlardaki nispeten yüksek sertliklerinden dolayı, bu çelikler prensip olarak çubuk, tel ve ağır dövülmüş şekilde kullanılır. Levha şeklinde kullanımı ise azdır. Çözündürme ısı işlemi ve oda sıcaklığında soğutmadan sonraki bu çeliklerdeki östenit ve ferrit dengesi martenzitik şartlardadır.

Tablo 2.10. Bazı çökelti sertleştirilmiş martensitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri[1].

Sınıf	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	% Al	% Cu	% Ti	% Nb
Orta Dayanım										
17-4PH ⁺	0.04	0.30	0.60	16.0	4.2			3.4		0.25
15-5PH ⁺	0.04	0.30	0.40	15.0	4.5			3.4		0.25
Custom 450 [*]	0.03	0.25	0.25	15.0	6.0	0.8		1.5		0.3
Paslanmaz W ^s	0.06	0.50	0.50	16.75	6.25		0.2		0.8	
Yüksek Dayanım										
PH 13-8 Mo ⁺	0.04	0.03	0.03	12.7	8.2	2.2	1.1			
Custom 455 [*]	0.03	0.25	0.25	11.75	8.4			2.5	1.2	0.3

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Metalürjik Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin içerisinde, paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı ihtiyaçları karşılamak üzere isteyerek ilave edilen alaşım elementleri veya istenilmediği halde bulunan karbon ve katışıklar bulunmaktadır [9].

Alüminyum: Güçlü bir ferrit yapıcıdır. % 12 C içeren kaynak metaline eklenerek yapıyı ferritik, yani sertleşemez hale getirir. Yüksek sıcaklıklarda tufalleşme direncini artırır. Kuvvetli bir nitrür yapıcıdır. Titanyum ile birlikte yüksek dayanımlı alaşımlara eklenerek yaşlanma sertleşmesi tesirini azaltır [10].

Karbon: Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertleştirme ve dayanım arttırıcı etki için katılır [11].

Niobyum: Güçlü bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökmesine karşı dengelemede kullanılır. Orta düzeyde ferrit yapıcıdır. Yüksek dayanımlı bazı alaşımlara sertliği ve dayanımı artırmak için katılmaktadır. Bazı martenzitik paslanmaz çelik türlerine karbonu başlatarak çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacı ile katılır [12].

Kobalt: Birçok paslanmaz alaşımın yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve dayanım özelliklerini iyileştirmek amacı ile katılır [11].

Krom: Karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir. Bu elementin paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıkta dayanım ve sürünme

dayanımına belirgin bir etkisi yoktur [11].

Mangan: Östenit yapıcıdır. Tam östenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama direncini artırır. Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin kararlı olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit ve manganer sülfat oluşturur [10].

Azot: Güçlü bir östenit yapıcıdır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini engellemek için eklenir. Dayanımı artırır [10].

Nikel: Güçlü bir östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır. Kaynak metali tokluğunu arttırıcı bir etkisi vardır. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri iyileştirir [12].

Silisyum: Ferrit yapıcıdır. Östenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için katılır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta kullanılacak çeliklerin karbürizasyon direncini yükseltmek için kullanılır [11].

Titanyum: Kuvvetli bir karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini engellemek için dengeleme elementi olarak kullanılır. Kuvvetli ferrit oluşturur. Bazı yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlara sertlik dayanım arttırıcı etkilerinden dolayı katılır, bazı yüksek dayanımlı ve ısıya dayanıklı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum ile birlikte eklenir [10].

Tungsten (Wolfram): Güçlü bir ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının dayanım ve sürünme direncini arttırmak için eklenir [12].

2.3. 316L Paslanmaz Çelik

316 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çeliğin içerisine molibden ve daha fazla nikel eklenerek elde edilen bir malzeme kalitesidir. 316 paslanmaz çelik malzemelerin korozyona dayanımı kimyasal içeriği sayesinde sert koşullu ortamlarda (deniz suyu, asidik sıvılar vs.) dahi çok iyidir. Ayrıca 316 kalite malzemelerin kopma dayanımı (ultimate strength), 304 kalite malzemelere oranla çok daha yüksektir.

Parçalar kaynakla birleştirilecekse, o kısımlar ısınmadan ötürü korozyon riskiyle karşı karşıya kalırlar. Böyle durumlardan kaçınmak için, daha az karbon içerikli olan 316L (1.4404) kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılmalıdır.

316L kalite paslanmaz çelik ise 316 kalite paslanmaz çelik ile kimyasal içeriği açısından benzeşse de daha düşük oranda karbon içermektedir. Dolayısıyla 316L paslanmaz çelik kalın kesitlerde de kaynak sonrası tavlama gerektirmez. Tablo 2.11’de 316L Paslanmaz Çelik Kimyasal Bileşimi verilmiştir[13].

Tablo 2.11. 316L Paslanmaz Çelik Kimyasal Bileşimi [13].

Kalite	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Ti
316 (1.4401)	0.08max	2.0	0.045	0.030	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-
316L (1.4401)	0.03max								-
316Ti(1.4401)	0.08max								0.70max

2.3.1. 316L Paslanmaz Çelik Kullanım Alanları

316L kalite paslanmaz çeliğin kullanım alanı malzemenin kalitesi ve kimyasal içeriği sayesinde çok geniştir. Örneğin aşındırıcı sıvıların tanklarında ve saklama kazanlarında, kimya ve petrokimya endüstrisinde, buhar kazanlarında, boya endüstrisinde, gıda tesislerinde, madencilikte sıkça 316L kalite ve türevindeki kalitelerde paslanmaz çelik malzemeler kullanılır. 316L kalite paslanmaz çeliğin kimyasal içeriği ve 316 paslanmazlara oranla daha düşük karbon içermesi yüzünden, eğer parçalar kaynakla birleştirilecekse bu kısımlarda 316L kalite paslanmaz çeliklerin tercih edilmesi tavsiye edilir [13].

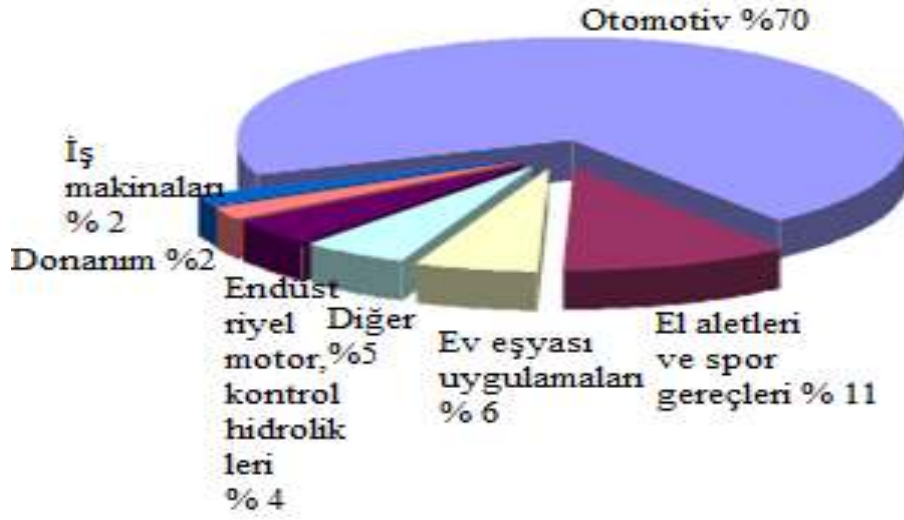
2.4. Toz Metalurjisi

Toz metalurjisi (T/M), mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımlarını toz haline getirmek ve tozları ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir [14]. Bu yöntemde toz halindeki saf metaller, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırıldıktan sonra basınç altında preslenir. Daha sonra toz tanelerinin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturmak ve istenilen özellikleri sağlamak amacıyla, sinterleme olarakta bilinen, kullanılan metal tozlarının ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılan bir işleme tabi tutulur [15]. Eğer toz karışım

halindeyse, karışımdaki en yüksek ergime noktasına sahip tozun ergime sıcaklığının altında yapılır [16]. Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilmesi, toz metalurjisinin kullanımını etkili kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının önce preslenmesi ve daha sonra taneciklerin sinterleme yoluyla birleştirilerek sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülmesidir. T/M düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullandığı için, sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Toz metalurjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların imalatına oldukça uygundur. Malzeme kaybı yok denecek kadar azdır. Bu yöntemde malzeme kayıpları yoktur ve elde edilen toleranslar isteğe uygun olmakla birlikte düzgün yüzeyler elde edilmektedir [15].

2.4.1. T/M Parçaların Pazar Payları

Toz metalurjisi yöntemi, kompleks şekilli parçaların yüksek kalite ve düşük boyutsal toleransta üretimine olanak sağladığı için diğer metal üretim tekniklerine göre avantajlı bir işlemdir. Bu nedenle toz metalurjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin pazar payları hızlı bir şekilde artmakta ve bu malzemeler birçok sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 2.4'te toz metalurjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin kullanım alanları verilmektedir [17].



Şekil 2.4. T/M parçaların pazar payları [17]

2.4.2. Toz Metalurjisinin Geleneksel ve Yeni Uygulama Alanları

İmalat endüstrisinde kullanılan toz metalurjisi parçaları büyük ölçüde demir, çelik ve alaşımları, bakır ve bakır esaslı alaşımlar (pirinç, tunç ve nikel, gümüş), alüminyum, paslanmaz çelik, nikel, kalay esaslı tozlardan elde edilen alaşımlardır. Dünya çapında üretilen tüm metalik tozlardan imal edilen sinter parçaların pazar paylarında en büyük kısmı % 86 ile demir-çelik esaslı sinter parçalar almaktadır. Demir esaslı ürünlerden sonra ikinci sırada %11 pazar payı toplamı ile bakır ve bakır esaslı sinter parçalar, üçüncü sırada %1,4 ile paslanmaz çelik parçalar yer almakta ve bunları sırasıyla % 0,6 ile kalay ve % 0,5 ile alüminyum takip etmektedir. Metal esaslı tozların ve sinter parçaların veya başka bir deyişle toz metalurjisinin önemli uygulama alanları; uzay-havacılık, otomotiv, tarım ve gıda sektörü, ordu donatım, elektrik / elektronik ve manyetik, kimya mühendisliği, aşınma / sert metal / kaplama, tıp ve diş hekimliği, makine, beyaz eşya, işyeri, metalurji mühendisliği gibi alanlar olarak sıralanabilir.

Son yıllardaki bilimsel çalışmaların ışığında, sağladığı malzeme ve uygulama çeşitliliği açısından bu yöntemlerin içerisinde en önemlileri olarak:

1. Mekanik alaşımlama ile,
2. Gaz fazından nano ölçekli toz üretme yöntemini belirtmek mümkündür [17].

2.4.3. Toz Metalurjisinin Diğer Üretim Yöntemlerine Göre Avantajları

Kıymetli metaller ve demir esaslı alaşımların üretiminde ergitme esnasında pisliklerin gaz absorpsiyonu veya pota malzemesinin reaksiyonu önlenerek üretimde limit saflık elde edilir. Mekanik ve fiziksel özellikler iyileşir. İstenilen alaşım terkipleri kolaylıkla yapılabilir.

Fe-Ni-Al ve kalıcı mıknatıslar, demir esaslı malzemelerle Ni-Mo ve de Co-W guruplarının oluşturduğu alaşımlar ile sıcaklığa dayanıklı Fe-Cr-Al alaşımları üretiminde ince yapı ve çekme mukavemeti iyidir. Bazı ölçüler dahilinde dövülebilme ve haddeleme kabiliyeti yüksektir. Optimum malzeme sarfıyatı nedeniyle randıman yüksektir [17].

2.4.4. Toz Metalurjisinin Genel Avantajları

- Büyük miktarda seri ve birbirine yakın parça üretimi.
- Çeşitli işleme operasyonlarının kaldırılması.
- Hassas toleranslarda çalışabilme imkanı.
- Yüzey kalite hassasiyeti.
- Hurda malzemenin asgariye inmesi.
- Kendinden yağlama.
- Kontrollü sürtünme özellikleri.
- Diğer metotlarla elde edilemeyen özellikler (Gözeneklilik, metal-seramik bileşimi gibi) [18].

2.4.5. Metal Tozlarının Üretim Yöntemleri

Belirli özellikteki tozların üretiminde farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. T/M imal teknikleri ve metal tozları imalat teknolojisi arasında kuvvetli bir bağ vardır. Kullanılan yöntemler üretilen tozun fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Bu bakımdan planlanan parça üretimine göre uygun toz seçimi yapılmalıdır [19]. Toz üretim yöntemleri başlıca 4 gruba ayrılır:

- a- Kimyasal Yöntemler
- b- Elektrolitik Yöntemler
- c- Mekanik Yöntemler

d- Atomizasyon.

Günümüzde ise endüstride kullanılan tozların % 60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir [20].

2.5. Nikel-Titanyum Alaşımları

Nikel-titanyum alaşımları; iki elementin eşit veya neredeyse eşit atomik oranda bulundukları intermetalik bileşiklerdir. Bu intermetalik bileşik şekil hafıza özelliği ve süperelastiklik özelliği nedeniyle olağanüstüdür.

İntermetalikler, iki veya daha fazla metalin birbiriyle karıştırılıp farklı kombinasyonlarda şekillendiği, belli oranda katı fazda oluşumu gerçekleşen ve başlangıç elementlerinden farklı özellik gösteren bileşimlerdir [21].

Saf elementler ve katı eriyiklerde, atomlar birbirine metalik bağ ile bağlanır. İntermetalik bileşenlerde kimyasal bağlanma, atomların birbirine doğada kovalent olacak şekilde gerçekleşir. Bu da kristal yapıda, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerde yenilikler sunar [21].

Bu alaşımlar, deforme edildikten sonra, ısıtıldıkları zaman ilk şekillerine dönebilme özelliğine sahiptirler. Bu özellik, (Shape Memory Effect-SME) "şekil hafıza etkisi" olarak adlandırılır. Bu alaşımın SME etkisi, ilk olarak Buehler ve arkadaşları tarafından gözlemlenmiştir. Şekil hafıza etkisinin gerekli olduğu bazı biyomalzeme uygulamaları, diş köprüleri, kafatası içerisindeki damar bağlantıları, yapay kalp için kaslar ve ortopedik protezlerin üretiminde kullanılmaktadır [22].

Şekil hafıza özelliklerine ek olarak NiTi alaşımları dikkat çekici biçimde, biyomalzeme olarak kullanılan diğer alaşım ve seramik malzemelere göre daha iyi ve dokuyla daha uyumlu mekanik özellikler sergilemektedir. NiTi alaşımlar mükemmel korozyon dayanımı, aşınma dayanımı, darbe sönümleme kapasitesi, MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme) görünürlük özelliği ve yeterli X ışınlarına karşı şeffaf olmama özelliği göstermektedir [21,23].

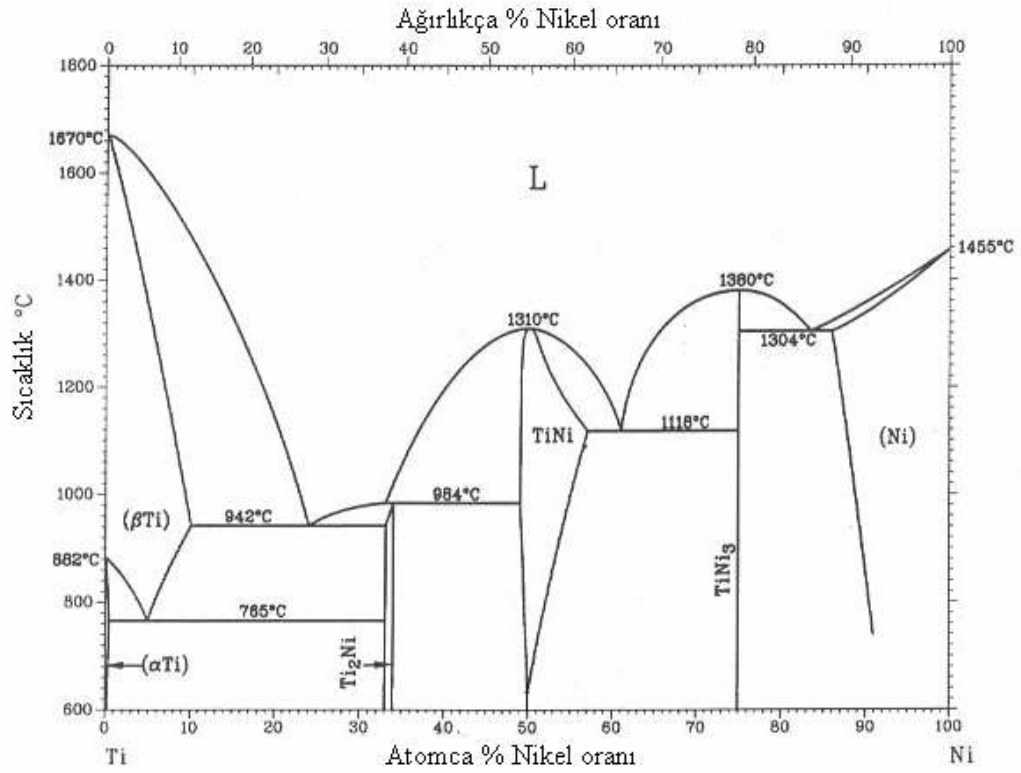
NiTi biyomalzemelerden Ni iyonu salınımı önemli bir konudur. Çünkü Ni iyonu vücutta alerjik reaksiyonlara sebep olduğu için tehlikelidir. Uygun yüzey işlemleri ve yüzeyde pasif bir tabakanın oluşturulması klinik uygulamalar için gereklidir [21,23].

Andreasen'e göre NiTi alaşımının ortodontideki ilk klinik uygulaması 1972'de görülmüştür. Son 30 yılda NiTi alaşımının birçok başarılı tıbbi uygulaması olmuştur. 70'li

yılların ikinci yarısında NiTi implantı insanda denenmiştir. Her yıl 200.000'den fazla NiTi implantı kullanılmaktadır. Ayrıca 800'den fazla özel uygulamanın Rusya tarafından patenti alınmıştır. NiTi implantının insan vücudunda en uzun kalıcı olarak yerleştirilme süresi 20 yıldır. Almanya'da tam 19 yıldır vücudunda kalıcı olarak NiTi implantını barındıran hastalar bulunmaktadır. Çin'de de çok çeşitli NiTi cihazları geliştirilmiştir. Japonya Sağlık ve Sosyal Yardım Bakanlığı tarafından 1983 yılında NiTi'nin diş implantı olarak kullanımı kabul edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve Alkol Kurulu tarafından kan filtreleri ve stentleri kullanımı kabul edilmiştir. Fransız ve Çek Cumhuriyeti bilim adamları da insan vücudunda NiTi implantı kullanımını rapor etmişlerdir. Bu alaşımların geleneksel malzemelere göre daha zor olan üretim ve talaşlı imalat gibi işlemleri nedeniyle daha birçok uygulamada kullanılması gecikmiştir [21,23].

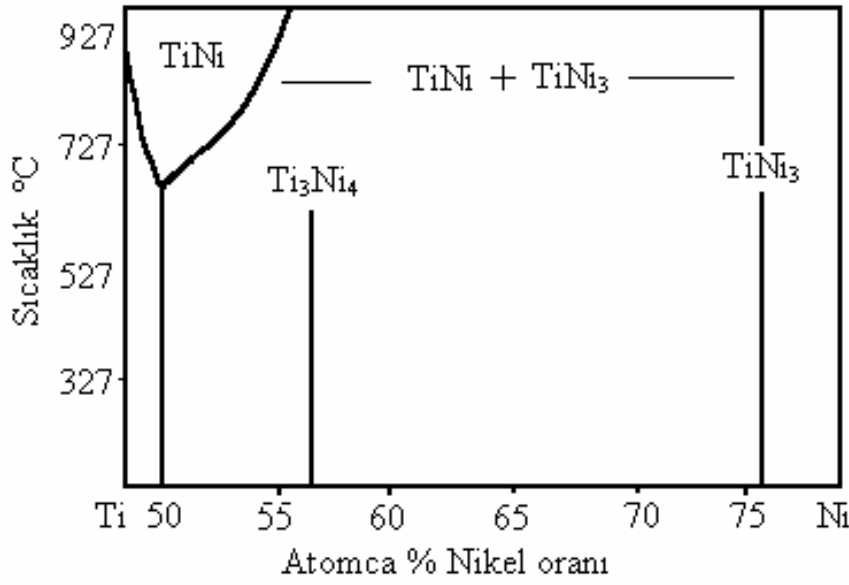
2.5.1. Nikel-Titanyum Faz Diyagramı

Şekil 2.5'teki titanyum-nikel faz diyagramı incelendiğinde, eşit oranda titanyum ve nikel atomlarından meydana gelen atomca % 50 nikel bölgesinde intermetalik NiTi oluşumu görülür. Saf titanyum ergime derecesi 1670°C, saf nikel ergime derecesi 1455°C'dir. Eş atomik NiTi alaşımının ergime derecesi ise 1310°C'dir. NiTi intermetalik yapı 630 °C'den itibaren NiTi ara fazı oluşturur. Faz diyagramında nikelce zengin bölge olarak görülen, atomca %50.5-%55 nikel oranına sahip, azalan çözünürlüğün bulunduğu bölgede uygulanan yaşlandırma ısı işlemi, matris içerisinde dağılmış $TiNi_3$ ve Ti_3Ni_4 çökeltilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Alaşım, 800°C ile 900°C arasında çözeltiye alındıktan sonra, 550°C altında yapılan yaşlandırma işlemi sonrasında elde edilen matris içerisinde yoğun olarak dağılmış ince noktalar halinde görülen Ti_3Ni_4 çökeltileri görülür. Bu çökeltiler alaşımın çift yönlü şekil bellek özelliği göstermesinde büyük rol oynar. Faz diyagramında, nikel-titanyum ara fazının titanyumca zengin bölgesi olarak görülen atomca %49.5-%50 nikel oranına sahip bölgede çözünürlük yaklaşık aynı oranda dikey olarak takip ettiğinden dolayı matris içerisinde Ti_2Ni çökeltilerinin oluşumu oldukça düşüktür [24].



Şekil 2.5. TiNi Faz Diyagramı [24].

NiTi faz diyagramında atomca % 50 - % 75 nikel oranının bulunduğu bölge üzerinde yapılan en son deneysel çalışmalar ısıtma işlemleri sürecinde yapıda matris ile uyumlu ince Ti_3Ni_4 çöktirlerinin oluştuğunu göstermiştir. Bu nedenle deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda faz diyagramının bu bölgesi Ti_3Ni_4 intermetalik yapıyı da gösterecek şekilde yeniden düzenlenmiştir [24].



Şekil 2.6. TiNi faz diyagramında Ti_3Ni_4 intermetalik yapı [24].

2.5.2. Nikel-Titanyum Alaşımları

Bu alaşımlar, deforme edildikten sonra, ısıtıldıkları zaman ilk şekillerine dönebilme özelliğine sahiptirler. Bu özellik, (Shape Memory Effect-SME) "şekil hafıza etkisi" olarak adlandırılır. Bu alaşımların SME etkisi, ilk olarak Buehler ve arkadaşları tarafından gözlemlenmiştir. Şekil hafıza etkisinin gerekli olduğu bazı biyomalzeme uygulamaları, diş köprüleri, kafatası içerisindeki damar bağlantıları, yapay kalp için kaslar ve ortopedik protezlerin üretiminde kullanılmaktadır [22].

2.5.3. Titanyum ve Titanyum Alaşımlar

Titanyumun, biyomalzeme üretiminde kullanımı 1930'lu yılların sonlarıdır. Fiziksel ve kimyasal açıdan üstün özellikler gösteren titanyum, 316 paslanmaz çelik ve kobalt alaşımlarına göre daha hafif bir malzemedir. Özgül ağırlığı 4.5 gr/cm^3 , Ergime sıcaklığı 1680°C olan ve oda sıcaklığında sıkı dizilmiş hekzagonal kafes yapısına sahip bir metaldir. Adını Yunan mitolojisinin güçlü tanrıları titanlardan alır. Saf metalde oksitlenmenin ilerlemesini ve korozyon kimyasal maddelerle tepkimeyi engelleyici katı bir oksit tabakası oluşturması sonucu, titanyum korozyona karşı direnç kazanmıştır. Titanyum implant yüzeyinde oluşan oksit tabakasının, titanyum oksit (TiO_2)'ye benzediği ve

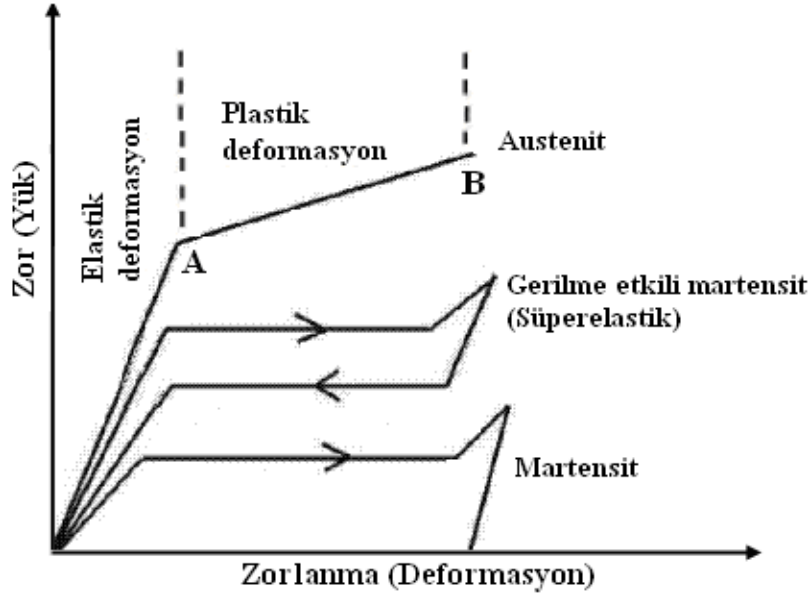
metal-oksid ara yüzeyindeki oksitlerin karışımını değiştirdiği rapor edilmiştir. Titanyumun elde edilmesi ve islenmesi çok zor olduğundan metal olarak kullanılması çok özel alanlarla sınırlandırılmıştır. Buna karşılık gerek titanyum mineralleri gerekse titanyum oksidin (TiO_2) geniş kullanım alanları vardır. En önemli titanyum mineralleri; rutil, anatase ve ilmenit'tir. TiO_2 (rutil ve anatase), tetragonal sisteme sahiptir. Fe_2TiO_3 (ilmenit) ise trigonal sistemde kristallenir [22].

Titanyumun avantajları:

- Uzun süreli implantasyonda (deri içine yerleştirme) en iyi biyouyumluluk gösterir,
- Enjekte edilen maddelerle birlikte, kimyasal reaksiyona girme olasılığı en azdır,
- Manyetik olmadığından, MR (manyetik rezonans) için uyumludur,
- Yoğunluğu düşük olduğundan dolayı hafiftir,
- Hipoalerjiktir (alerjik özelliği az) [22].

2.5.4. NiTi Alaşımının Kullanım Alanları

Uygulama açısından NiTi üç farklı biçime sahiptir: martensitik, zor-etkili martensitik (superelastik) ve austenitik. Malzeme martensit fazda iken yumuşak, şekil verilebilir ve kolayca deforme edilebilir (kurşun ve kalay alaşımı gibi). Superelastik NiTi yüksek derecede elastiktir (kauçuk gibi). Fakat austenitik NiTi yüksek dayanımlı ve serttir (titanyum gibi). Martensit yapıda oluşturulan yaklaşık % 8'lik bir zor, uygulanan yükün kaldırılması ve ısıtmayla giderilebilir. Limit değer üzerindeki zorlama kalıcı bir plastik deformasyon meydana getirir. ŞHA cihazları için çalışma sıcaklığı dönüşüm sıcaklığından çok uzak olmamalıdır. Aksi durumda ŞH karakteristikleri değişebilir (may be altered). Bir ŞH NiTi implantı A_s sıcaklığının aşağısında (genellikle $< + 5^\circ\text{C}$) deforme edilmelidir. Üstelik farklı implant tasarımı (keskin açı, vb.) ile belirlenen deformasyon limiti ve NiTi malzemesinin asıl zorlanma toleransı dikkate alınmamalı. Şekil 2.7'de martensit ve austenit yapının zor-zorlanma eğrileri, Tablo 2.12'de ise NiTi ŞHA'nın yaygın kullanım alanları verilmiştir. Malzeme akma dayanımına ulaşmak için yeterli zor uygulanıncaya kadar elastik davranış sergiler. Bu noktada kalıcı deformasyon oluşur. Elastik bölgede, zor/zorlanma oranı elastik modülünü belirler. Zor maksimum dayanımını aştığı zaman malzeme kırılır [25].



Şekil 2.7. sabit sıcaklıkta farklı NiTi fazlarının zor (yük)-zorlanma (deformasyon) davranışı, A; akma dayanımının (deformasyonun) başlaması, B; maksimum dayanım ve kırılma [25].

Tablo 2.12. NiTi ŞHA'ın yaygın uygulama alanları [25].

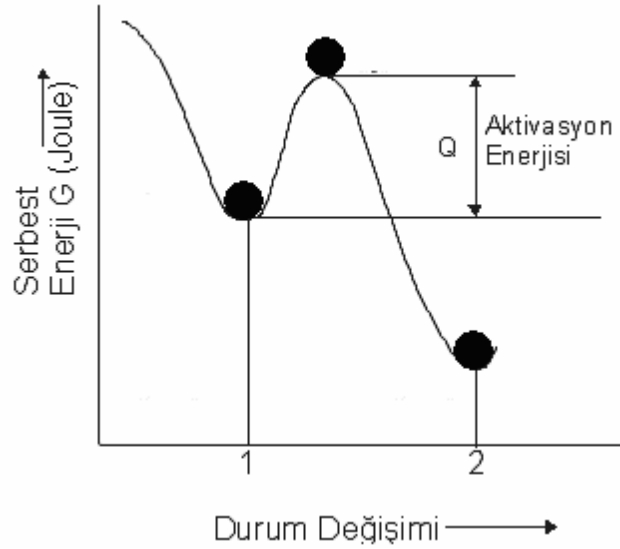
Nominal İçerik	Tipik Uygulamalar
56,0 wt% Ni-Ti	Süperelastik, düşük hava sıcaklığında yükleme ve boşaltma, örneğin; mobil telefonu anteni
55,8 wt% Ni-Ti	Süperelastik; atmosfer ve vücut sıcaklığında uygulamaların çoğunu kapsar. Örneğin; rehber teller, iğne, stentler, vb.,
55,8 wt% Ni-Ti	Anten tellerinin bükme tarzını maksimize etmek için tasarlanan küçük bir alaşım değişimi
55,75 wt% Ni-Ti	Süperelastik; sıkı kontrol edilen Af sıcaklığı
55,7 wt% Ni-Ti	Vücut sıcaklığı tepki davranışı; vücut sıcaklığında süperelastik ve atmosfer sıcaklığına yakın martensit
55,0 wt% Ni-Ti	45 °C üzerinde geri dönüşümlü termal şekil hatırlama
54,5 wt% Ni-Ti	70°C üzerinde geri dönüşümlü termal şekil hatırlama

2.6. Difüzyon ve Difüzyon Kaynağı

2.6.1. Difüzyon

Difüzyon, moleküllerin rastgele hareketinin meydana getirdiği, kendiliğinden oluşan yayılma-dağılma ya da madde hareketidir. Difüzyon, bir konsantrasyon gradientinden doğar; yani, atomlar yüksek konsantrasyonda bulundukları bir bölgeden konsantrasyonlarının daha düşük olduğu bir bölgeye göç ederler.

En hızlı difüzyon gazlarda meydana gelir. Difüzyon, sıvı ve katılarda daha yavaş olur. Difüzyon, katılarda, atomların titreşmeleri ve etraflarındaki boş noktalara sıçraması ile meydana gelir. Difüzyon hızı, konsantrasyon gradientinin fonksiyonudur. İki bölge arasındaki konsantrasyon farkı ne kadar büyük olursa, atomlar yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye o kadar hızlı yayılır. Elektrik ve manyetik alanlar gibi değişik tipte kuvvetlerin varlığı molekül hareketlerini etkileyebilir. Difüzyon, sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Sıcaklık arttıkça moleküllerin hareket alanı artar ve difüzyon için gerekli olan moleküllerin yer değişim hızı artar. Katılarda, martenzitik faz dönüşümleri dışında diğer bütün durum değişimlerinde dönüşümlerde difüzyon esastır. Bu dönüşümler kademeli olarak ve sistemin, serbest enerjisinin azaltılması ile devam eder.



Şekil 2.8. Serbest enerjinin durum değişimine bağlılığı [1]

Kararlı denge durumuna varıldığında serbest enerji en alt seviyeye ulaşır (2. Durum). Şekil 2.8’de 1 numara ile gösterilen durum, yarı kararlı durum olarak adlandırılır. 1. Durumdan 2. duruma geçiş için sisteme Q aktivasyon enerjisinin verilmesi zorunludur. Ancak o zaman serbest enerjide azalma göstererek 2. duruma ulaşabilir. Burada Q enerjisine aktivasyon enerjisi adı verilir.

Bu enerji:

- Sıcaklığın artması
- Pekleşme oluşturacak şekil değişimi
- Elektrik ve manyetik alanlar yardımıyla sağlanabilir.

Bir malzeme içerisinde atomların difüzyon hızı, birim zamanda birim düzlem alanı boyunca geçen atom sayısı olarak tanımlanan akı “J” ile ölçülebilir.

$$J = -D \cdot dc/dx \text{ (Birinci Fick kanunu)}$$

$$J = \text{Atom akısı [atomlar (m}^2\text{s}^{-1}\text{)]}$$

$$D = \text{Difüzyon katsayısı [m}^2\text{s}^{-1}\text{]}$$

$$dc/dx = \text{Konsantrasyon gradyanı [atomlar (m}^3\text{m)}\text{s}^{-1}\text{]} [1].$$

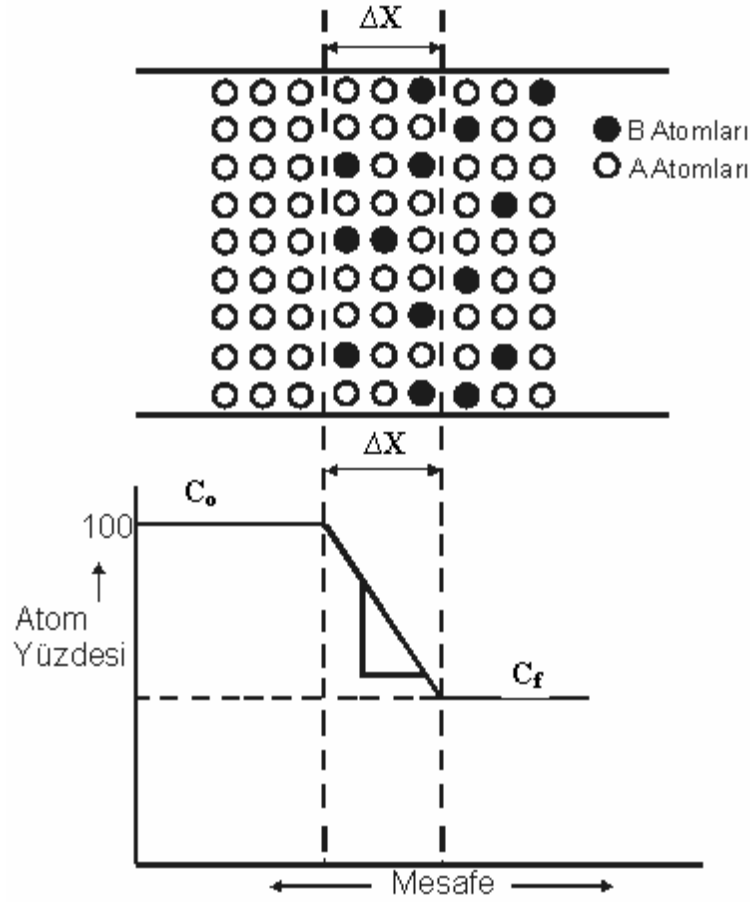
2.6.1.1 Difüzyon Katsayısı

Bir malzemenin sıcaklığı arttığı zaman, difüzyon katsayısı ve atomların akısı da artar. Yüksek sıcaklıklarda atomların difüzyonu için sağlanan enerji, atomların aktivasyon enerji engelini aşmasını ve daha kolaylıkla yeni kafes yerlerine hareket etmesini sağlar. Düşük sıcaklıklarda, genellikle malzemenin mutlak ergime sıcaklığının yaklaşık 0.4 kat altında difüzyon çok yavaştır ve etkili olmayabilir. Bu nedenle seramiklerin işleme ve metallerin ısıtılma işlemi yüksek sıcaklıklarda yapılır. Difüzyon katsayısı aşağıdaki bağıntıyla verilir.

$$D = D_0 \cdot e^{-Q/RT}$$

Burada Q aktivasyon enerjisidir (J mol⁻¹), R gaz sabitidir (8.314 J.mol⁻¹ K⁻¹), T mutlak sıcaklık (K) ve D₀ belirli difüzyon sistemi için bir sabittir.

Konsantrasyon gradyanı, malzeme kompozisyonunun uzaklık ile nasıl değiştiğini gösterir; dc, dx uzaklığında konsantrasyon farkıdır. Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Konsantrasyon gradyanının gösterilmesi [1].

2.6.2. Difüzyon Mekanizmaları

2.6.2.1. İkame Difüzyonu

İkame difüzyonunda atom, ancak komşu kafes noktalarından birinin boş olması halinde sıçrayabilir. İkame difüzyonunun en basit hali, saf metaldeki atomların tabi difüzyonudur.

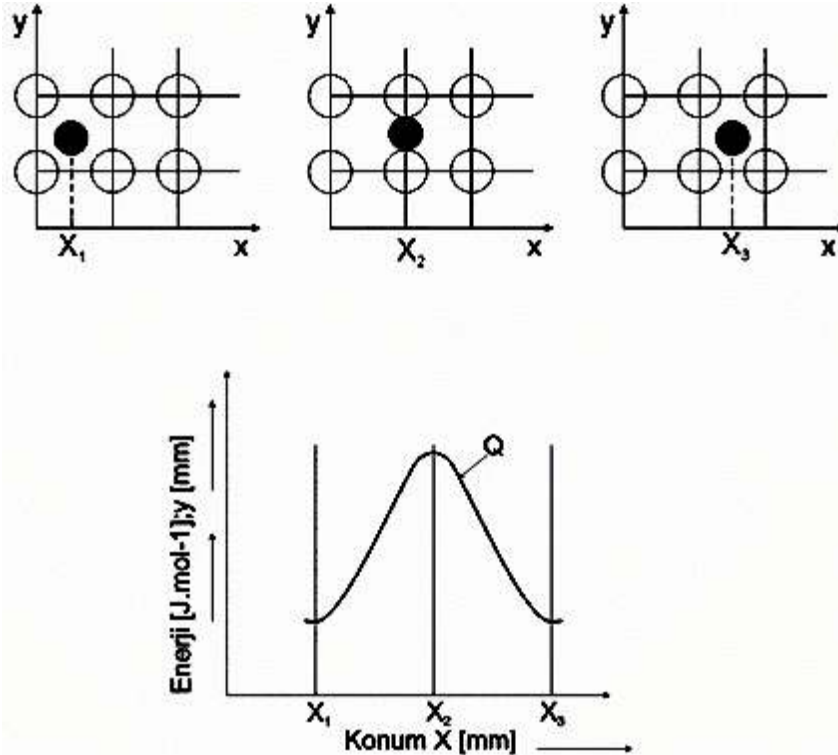
İkame (yer alan) atomları, çoğu kez bir boşluk mekanizması ile difüze olurken, daha küçük çaptaki arayer atomları, daha büyük atomlar arasında zorlanarak ilerler. Normal olarak, bir yer alan atomunun hareketi, komşuları tarafından sınırlandırılmıştır ve atom bir başka kafes noktasına hareket edemez. Bununla beraber, bir komşu nokta boş ise, Şekil 2.10’da gösterildiği gibi, atom bu boşluğa atlayabilir [1].



Şekil 2.10. Boşluk veya yeralan atom difüzyonu [1].

2.6.2.2. Arayer Difüzyonu

Çözünen bir atomun çapı, içinde çözündüğü atomunkinden küçük ise, kafesteki arayerleri işgal eder. Fe, Cr, Ni, Mn, W, Ti gibi geçiş elementleri B, C, H, N ve F gibi atomyarıçapı küçük (ana matristeki atom çapının yaklaşık 0.15'i kadar) elementlerle arayer şeklindeki boşluk oluşturur. Her bir arayer atomu daima boşluk noktaları ile kısıtlanmış olup ısı enerjisinin, deformasyon enerjisi engelini aşmaya izin verdiği oranda başka bir arayer noktasına göçü şeklinde gerçekleşen difüzyona arayer difüzyonu denir. Bir arayer atomunun difüzyonuna ait şematik resim ve serbest enerji değişimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Arayer atomunun serbest enerjisi uygulanan gerilme ile ya da verilen enerji ile artar, atom komşu arayera ulaştığında, serbest enerjisini en aza indirerek denge konumuna varır [1].



Şekil 2.11. Arayer atomunun kristal içerisindeki hareketinde konum enerjisi değişimi [1].

2.6.3. Difüzyon Kaynağı ve Tanımı

Difüzyon kaynağı, katı hal kaynak usulleri içerisinde yer alır. Katı hal kaynağı, aynı ya da farklı iki malzemenin ergitilmeksizin katı yüzeyler arasında meydana gelen bir birleşme şekli olarak ifade edilir.

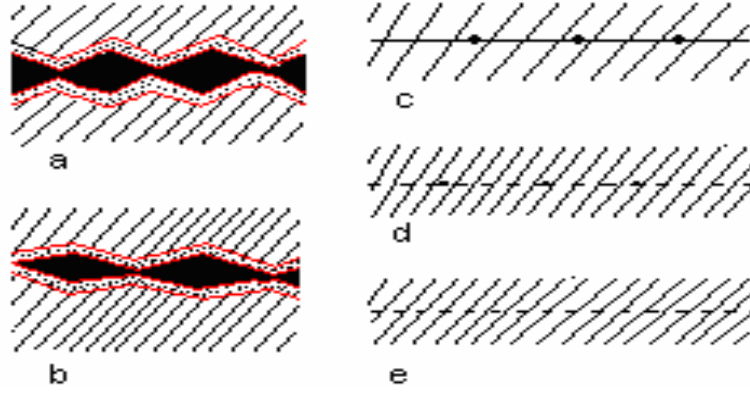
Difüzyon kaynağı, birbirleriyle temasta olan yüzeylerin arasında minimum makroskopik deformasyon ile belirli bir süre ısı ve basınç uygulanarak kontrollü difüzyonla gerçekleştirilen katı hal kaynağıdır. Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi, difüzyon kaynağının birinci aşaması, birleştirilecek parçaların genelde bir vakum ortamında ısıtılması ve basma kuvvetinin uygulanmasıdır. İkinci aşama ise metal atomlarının bir parçadan diğerine yayınması ve kuvvetli bir bağın oluşmasıdır. Soğuk basınç kaynağında olduğu gibi, difüzyon kaynağında da bağ oluşumu için birleştirilecek yüzeylerin birbirine teması şarttır; yani birleştirilecek parçaların yüzeylerindeki mikroskopik pürüzlerin birbirleriyle karşılıklı olarak temas etmeleri gerekir.

Difüzyon kaynağı aşağıdaki esaslara bağlı olarak gerçekleşir:

- 1- Yüzeylerin yalnız pürüzlü noktalarının temas etmesi,
- 2- Deformasyon ve sınır tabakanın oluşumu,
- 3- Tane sınırlarının hareketi ve boşlukların yok olması,
- 4- Hacimsel difüzyon ve boşluklarının yok oluşu.

Birleştirilecek metallerdeki allotropik dönüşümlerin, beraberinde bir hacim değişikliği getirdiğinden bu hususun ölçü hassasiyetinin korunması ve sağlam bir bağ elde etmek için dikkate alınması gerekir.

Difüzyon kaynağı uygulamasında, özellikle farklı metal veya alaşımların birleştirilmelerinde, ekseriya bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleşmenin oluşumunu kolaylaştırır. Ara tabakalar ince folyo şeklinde olduğu gibi, püskürtme veya elektrolitik kaplama şeklinde olabilir [1].



Şekil 2.12. Difüzyon kaynağı mekanizması [1]

a-ilk nokta teması ve oksit tabakası;

b-Plastik deformasyon ve sürünme sonrası, daha ince bir oksit tabakası ve geniş boşluklar;

c-Nihai sürünme ve akma sonrası;

d-Yüzey ve hacim difüzyonu ile boşlukların doldurulması;

e-Tamamlanmış kaynak [1].

2.6.4. Difüzyon Kaynağını Etkileyen Başlıca Parametreler

Difüzyon kaynağı başlıca, sıcaklık, zaman, basınç, metalurjik faktörler ve kullanılacak ara tabaka gibi değişken parametrelerin etkisi altındadır [27].

2.6.4.1. Sıcaklık

Sıcaklık, birçok sebepten dolayı difüzyon kaynağı için önemli bir parametredir. Bunlar;

- Öncelikle, sıcaklık kontrol edilebilir ve ölçülebilir bir parametredir,
- Sıcaklık artışı, diğer işlem değişkenleriyle kıyaslandığında işlem kinetikleri üzerinde çok büyük değişime yol açar,
- Gerçekte difüzyon kaynağındaki tüm mekanizmalar sıcaklığa duyarlıdır.
- Yüksek sıcaklıklardaki fiziksel ve mekaniksel özellikler, kritik sıcaklıklar ve faz dönüşümleri difüzyon kaynağının etkili kullanımında önemli referans noktalarıdır.
- Sıcaklık, allotropik dönüşüm, rekristalizasyon ve çökeltilerin çözünmesi gibi belli başlı metalurjik faktörlerden kaçınmak veya gerçekleşmesini sağlamak için kontrol edilmelidir.

Aşağıda verilmiş olan kinetik teori difüzyon kaynağında sıcaklığın etki boyutunun anlaşılmasını sağlar. Bu teori, difüzyon katsayısını sıcaklığa bağlı bir fonksiyon olarak ifade eder.

$$D = D_0 \exp (-Q / RT)$$

Formülde; D, difüzyon katsayısı; D_0 , belirli difüzyon sistemi için bir sabit; Q, difüzyon için aktivasyon enerjisi; T, mutlak sıcaklık ve R, gaz sabitidir.

Bir malzemenin sıcaklığı arttığı zaman difüzyon katsayısı ve atomların akışı da artar. Yüksek sıcaklıklarda atomların difüzyonu için sağlanan enerji atomların aktivasyon enerji engelini aşmasını ve daha kolaylıkla yeni kafes yerine hareket etmesini sağlar [27].

2.6.4.2. Zaman

Zaman, süreye bağlı olarak değişim gösteren difüzyon kontrollü reaksiyonlarda sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Difüzyon mesafesi x, bir difüzyon işlemi zarfında atomlar tarafından kat edilen ortalama aralıktır ve şu şekilde ifade edilir;

$$x = C (D.t)^{1/2}$$

Burada, x, difüzyon mesafesi; D, difüzyon katsayısı; t, zaman; ve C, bir sabittir.

Bu yüzden difüzyon reaksiyonları zamanın kareköküyle doğru orantılı ilerler. Tecrübeler hem sıcaklık ve süre, hem de basınçtaki artışla bir noktaya kadar bağlantı dayanımının arttığını göstermektedir. Difüzyon kaynağında süre, bir saniyeden birkaç saate kadar değişebilir. Ekonomik sebeplerden dolayı süre minimum seviyede olmalıdır [27].

2.6.4.3. Basınç

Basınç, difüzyon kaynağında önemli bir değişkendir ve işlemin birkaç safhasını etkiler. İyi bir bağlantı oluşumu, basınç sayesinde oluşan daha büyük bir ara yüzey deformasyonu ve pürüzlerin yok olmasıyla mümkündür. Daha büyük bir deformasyon, aynı zamanda rekristalizasyon sıcaklığını düşürerek işlem sıcaklığında rekristalizasyon işlemini hızlandırır. İyi bir difüzyon kaynağı için gerekli görülen basınç, sıcaklık ve süreyle yakından ilgilidir. Benzer olmayan metal kombinasyonlarının birleştirilmesinde ekstra bir öneme sahiptir. Ekonomiklik ve üretim açısından düşük kaynak basınçları tercih edilir. Daha yüksek basınç daha pahalı aparat ve daha iyi kontrol gerektirir. Difüzyon

kaynağında uygulanan basınç ve sıcaklık, büyük ölçüde birbirlerinden bağımsızdır. Ancak uygulanan basınç, işlem sıcaklığında malzemenin akma dayanımının üzerine çıkmamalıdır [27].

2.6.4.4. Metalurjik Faktörler

Difüzyon kaynağına etki eden metalurjik faktörlerden en önemlileri, difüzyon hızını değiştirecek olan allotropik dönüşüm ve mikroyapısal faktörlerdir

Dönüşümün önemi, o esnada metalin daha fazla plastiklik göstermesidir. Bu da, daha düşük basınçlarda daha hızlı ara yüzey deformasyonuna neden olur. Difüzyon hızı, plastik olarak deforme olmuş metallerde genellikle daha yüksektir.

Mikroyapısal faktörler; kristal kafes sistemi hatları, kafesteki arayer atomu, tane sınırları ve dislokasyonlardır. Kafes hataları, örneğin boşluklar ve yer değiştirme için gerekli enerji seviyesini çok azalttığından, yer değiştirme olasılığı artar ve atom sıçramaları önemli ölçüde kolaylaşır. Kafes boşluğu difüzyonu olarak da adlandırılan bu durumda atom, bir kafes parametresi kadar yer değiştirerek boşluğu doldurur. Boşlukların parça yüzeyinde, tane sınırında veya dislokasyonlarda yok olmalarından dolayı, belirli bir ömürleri vardır. Bir kafeste bulunan arayer atomu, sıcaklığın ve titreşimin artmasıyla içerisinde arayer atomu bulunmayan diğer kafese göçebilir. Arayer atomları daha küçük çaplı olduklarından, difüzyon için daha az enerji gerektirirler. Tane sınırları, düzensiz kristal kafes sistemine sahip bölgeler olduklarından, tane sınırları belirli bir boş hacim içerirler ve difüzyon için ayrıca boşluğa gereksinme yoktur [27].

2.6.4.5. Difüzyon Ara Tabakası

Difüzyon kaynağında ara bölge temas yüzeyleri arasında yumuşak bir difüzyon ara tabakasının kullanılması bazı avantajlara sahiptir. Bir difüzyon ara tabakasının ilk amacı yüzeyler arasında yumuşak bir tabaka oluşturmaktır. Bu tabaka difüzyon kaynağının ilk aşaması için gerekenden daha düşük basınçlarda meydana gelecek plastik deformasyona izin verir. Bağlantı oluştuktan sonra, yumuşak tabaka içine ana malzemeden alaşım elementlerinin difüzyonu bağlantı ara kesitindeki konsantrasyon gradyanını azaltır.

Difüzyon ara tabakası kaynak edilecek yüzeye elektrolitik olarak kaplanabilir veya püskürtülür. Aynı zamanda, folyo veya toz şeklinde de olabilir. Kullanılan tabakanın kalınlığı 0,25 mm'yi geçmemelidir. Kullanılan ara tabaka, kaynak sıcaklığında

ergimemelidir ve ana malzemeyle düşük ergime sıcaklığında ötektik oluşturmamalıdır [27].

2.6.4.6. Kaynak Ortamı

Difüzyon kaynağında, parça yüzeyleri ve arakesitte oksitlenmeden sakınmak için koruyucu bir atmosfer kullanılır. Bu amaçla ya vakum altında, ya da bir soygaz atmosferinde çalışılır. Kararsız ya da oksijen çözünürlüğü yüksek oksitlere sahip metallerle, normal atmosferde de tatminkar bir bağlantı elde edilebilmektedir. Soygaz olarak argon, helyum ve azot kullanılabilir. Oksijen miktarını en aza indirmeye yardım eden hidrojen de redükleyici bir atmosfer olarak düşünülmektedir. Ancak hidrojenin; titanyum, zirkonyum, hafniyum ve kolombiyum ile tantal alaşımlarında hidrat oluşturması, dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur.

Vakum sırasında parçanın birleştirilecek ara yüzeyi oksitlenmeden korunduğu gibi, yüzeydeki yabancı maddelerin süblimasyonu da sağlanmaktadır. Vakum ortamında yapılan kaynaklı birleştirmeler, vakum çok yüksek olmasa bile, yeterince saf olmayan asal gazların koruyuculuğu altında yapılan birleştirmelerden daha iyi dayanım sağlamaktadır [1].

2.6.5. Difüzyon Kaynağı Uygulama Alanları

Daha önce ifade edildiği gibi, difüzyon kaynağı birçok avantajlara sahip bir imal usulüdür. Uygulama alanları:

1. Genel mühendislik,
2. Havacılık ve uzay sanayisi,
3. Savunma sanayisi,
4. Nükleer sanayisi,
5. Elektronik sanayisi, şeklinde ana gruplara ayrılabilir.

Genel mühendislik alanında difüzyon kaynağı, kaynak çatlaması, gerek metallerarası yapıların oluşması tehlikesinin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır [1].

Difüzyon kaynağının özel avantajlar sağladığı bağlantı türleri şunlardır:

1. Yüzey kaplama,
2. Karmaşık şekilli ve içi boş yapı elemanları,

3. Döküm ve dövme parçalarda difüzyon kaynağı. Dökümde karmaşık parçalardan, dövmede girinti açılarında doğan problemlerin üstesinden gelmede kullanılabilir.

Difüzyon kaynağının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

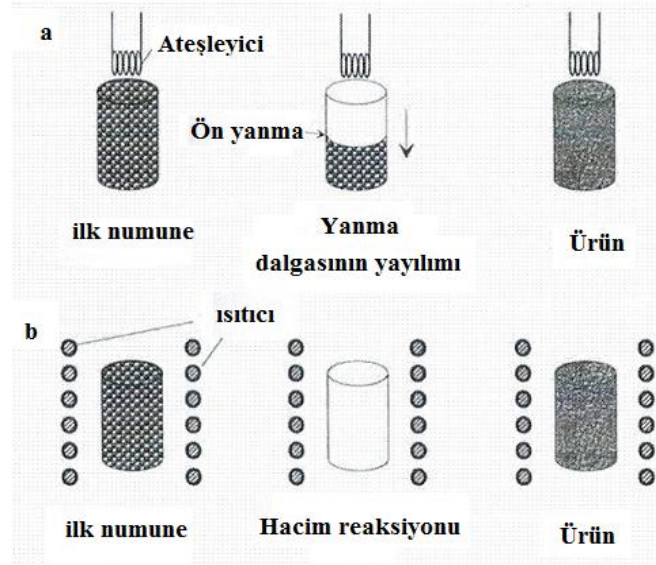
1. Uygulanması özel ortam ve aparat gerektirmesi,
2. Bu sebeple pahalı bir teknik olmasıdır [1].

2.7. Kendi Kendine İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezlenmesi (KKİYSS METODU)

Yanma sentezi (YS), fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) üretmek için hızlı, ucuz ve güvenilir bir yöntem sunmaktadır. Gereken enerji ekonomik bir işlem yapmadan herhangi bir pahalı cihaz gerektirmeden bileşenleri arasında ekzotermik reaksiyon tarafından sağlanmaktadır. 1960'lı yıllarda, karbürler, borürler ve silisidler dahil olmak üzere pek çok seramik sistemlerin kendi kendine yayılan yanma sentezi, katı hal yanma çalışmalarının bir sonucu olarak eski Sovyetler Birliği'nde yoğun olarak araştırılmıştır. Son yıllarda, bu yöntem malzemelerin sentezlenmesi, özellikle Amerika Birleşik Devletleri, gelişmiş refrakter malzemelerin sentezi için aktif olarak birçok ülkede araştırılmıştır. Böylece, yanma sentezlenmesi yöntemleri yüksek erime noktalarına sahip intermetalik bileşiklerin oluşumu için alternatif teknik bir süreç olarak araştırılmıştır. Reaksiyonla sentezleme (yanma sentezlemesi), ham ürünlerin, ateşlenir ateşlenmez ekzotermik bir reaksiyonla, bir anda istenen ürünlere dönüştüğü işlemin adıdır. Yanma sentezi (YS) iki mod ile oluşabilir: Bu modların şematik bir diyagramı Şekil 2.13'te gösterilmiştir. İlkine, kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (KKİYSS) denir [28].

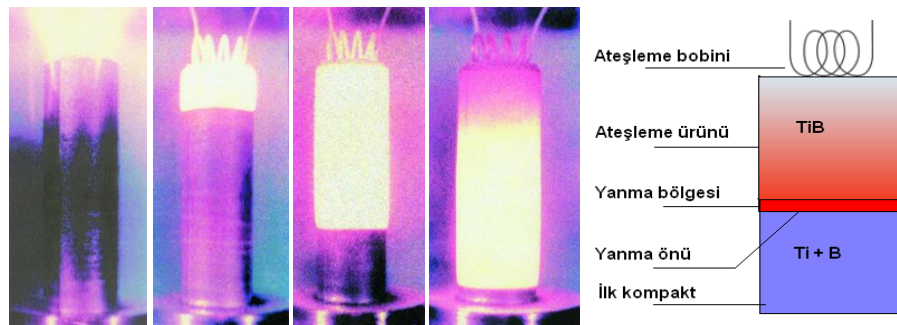
Bu sentezlemede, karıştırılan tozlardan üretilen bir briket (kompakt), bir ucundan bir tungsten bobin yardımı ile ateşlenir ve bu uçta başlayan reaksiyon bir dalga şeklinde ilerleyerek, tozların bir kısmını yakar ve nihai ürünü meydana getirir. Ateşleme sonucu oluşan reaksiyon bir kere başlayınca, kendi ürettiği ısıyı (reaksiyon egzotermiktir) kullanarak önündeki kısmın sıcaklığını ateşleme sıcaklığına yükseltir ve bu şekilde reaksiyon dalgası başka bir dış ısı kaynağı olmadan kendi kendine devam eder. İkinci ateşleme yöntemi ısı patlama veya eş zamanlı yanmadır [28].

Bu yöntemde, briketlenmiş (soğuk preslenmiş) tozun bütünü ateşleme sıcaklığına kadar ısıtılır (mesela bir fırın içerisinde). Bu sıcaklıkta toz briket aniden ürüne dönüşür. Her iki ateşleme yöntemi de geçmişte, nikel alüminatların üretiminde kullanılmış olan yöntemlerdir [28].



Şekil 2.13 Yanma sentezi modları: (a) KKİYSS, (b) Eş zamanlı yanma[28].

Yanma sentezlenmesinin prensibi, Şekil 2.14'te gösterilmiştir, aşağıdaki gibi tarif edilebilir: sıkıştırılmış tozlardan yapılmış bir silindirik numune üstüne yerleştirilmiş olan bir tungsten tel, numunenin üst tabakasının ısıtmasını sağlayan, bir DC akıma tabi tutulur. En kısa sürede bu katmanın sıcaklığı belirli bir sıcaklığa ulaştığında, tutuşma sıcaklığı (T_{ig}) olarak adlandırılan, reaksiyon meydana gelir [28].



Şekil 2.14. SHS işleminin fotoğrafı ve şematik resmi[28].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Numunelerin Hazırlanmasında İzlenen Yöntem

Gözenekli NiTi ŞHA'nın üretiminde SHS yöntemi geleneksel toz metalürji yöntemleri ile karşılaştırıldığından daha fazla avantajlar sunar. Sistemi kurmak daha basittir ve fazla masraf gerektirmez. Hızlı ekzotermik reaksiyondan dolayı üretim yapılırken daha az zamana ihtiyaç vardır. SHS işleminde numune tutuşturularak yanma dalgası oluşturulur. Bu dalga numune boyunca ilerlerken uçucu kirlilikleri dışarı atar. İşlem pratik olarak tozların karıştırılması ve bir kalıba preslenmesi, presten çıkartıldıktan sonra da bir tutuşturucu ile ateşlenmesinden ibarettir. Tutuşturma, ürünün ve reaksiyonun yüksek termal iletkenliğinden dolayı reaksiyon ve ürün formofolojisinde önemli bir rol oynar. Literatürde, şimdiye kadar, tutuşturucu eleman olarak genelde tungsten bobin kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanında kimyasal tutuşturucu ve lazer diyot ta kullanılmıştır. Farklı araştırmacılar geleneksel tutuşturma metodu (tungsten bobin) kullanıldığı zaman enerji transferi kontrol edilemediği için farklı reaksiyon sıcaklıkları gözlemişlerdir. Chu ve arkadaşları tarafından geliştirilen teknikle kimyasal bir tutuşturucu madde (titanyum ve karbondan oluşan) kullanılmış ancak sınırlı bir yarar elde edilmiştir. Zanotti ve arkadaşları tarafından lazer diyot sistemi kullanılarak daha önceki tekniklere göre daha kontrollü ve daha kısa sürede bir tutuşturma işlemi gerçekleştirilmiş fakat bu defa da sistemi kurmak güç ve masraflı olmuştur [25].

Yapılan literatür incelemeleri sonucunda, bu çalışmada tutuşturucu eleman olarak indüksiyon bobini kullanıldı. Bu ateşleme yöntemi yukarıda verilen tekniklere göre daha kolay, daha pratik ve masrafsız olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla, çalışmamızda indüksiyon bobini yardımı ile tutuşturulan SHS yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

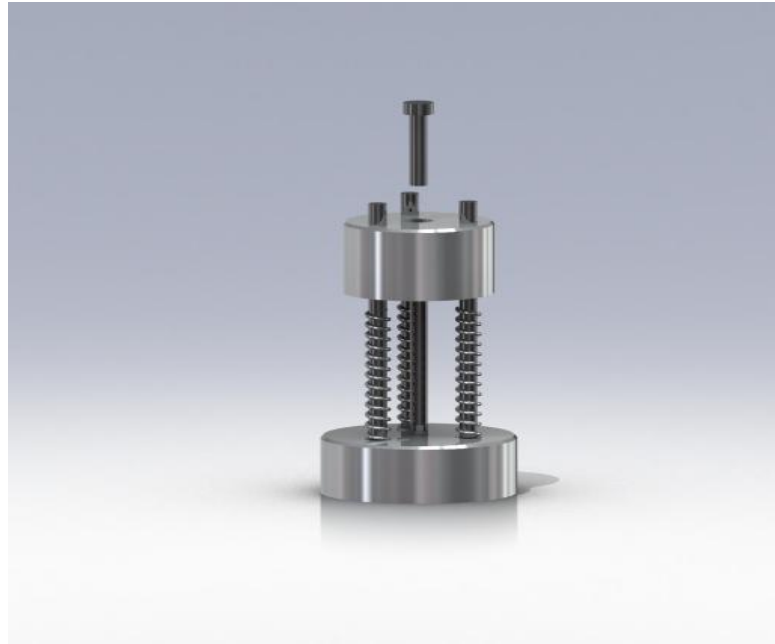
3.1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada 316L paslanmaz çeliğin üzerine SHS yöntemi kullanılarak gözenekli NiTi'nin kaplanabilirliği araştırılmıştır. Kemik dokusu üzerinde kayganlık özelliği bulunan 316L paslanmaz çelik üzerini, gözenekli NiTi intermetalik bileşiğiyle kaplanarak kemik

dokunun üzerinden kaymasını engelleyen ve kemik dokunun gözenekler arasında ilerlemesini sağlayan düşük maliyetli yeni bir implant malzeme hedeflenmiştir.

3.1.2. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada Ni (99.8 %) ve Ti (99.5%) saflıkta ve -325 mesh büyüklüğünde olan tozlar ise Alfa Aesar şirketinden temin edildi. Atomik % olarak (% 50,5 Ni % 49,5 Ti) belirlenen tozlar ağırlıkça %'ye (55,564 gr Ni, 44,436 gr Ti) 1/10000 hassasiyetli bir terazi de hazırlandı. Hazırlanan tozlar, homojen bir karışım sağlamak için özel olarak tasarlanan dönen bir kap içerisinde 16 devir/dak. ile 24 saat süreyle karıştırıldı. Karıştırılan tozlar özel tasarlanmış Şekil 3.1'de gösterilen 12 mm çapında silindir şeklinde çelik bir kalıp içerisinde 50, 100, 150 ve 200 MPa basınçlar altında 316L paslanmaz çelik üzerinde ayrı ayrı soğuk preslendi.



Şekil 3.1. Soğuk presleme kalıbı

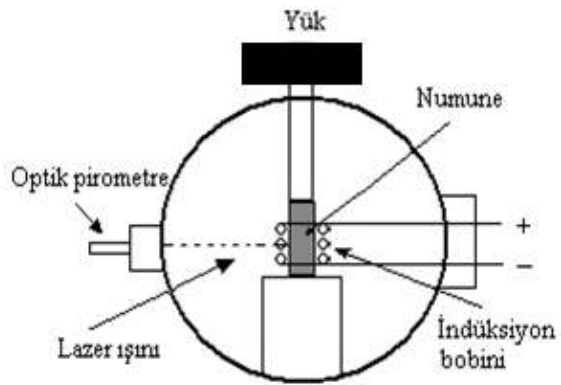
Bu çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri Tablo 3.1'de ve Tablo 3.2'de gösterilmektedir. Preslenen numuneler hazırlanan bir fırın içerisinde ve argon gazı ortamında ön ısıtma yapılmadan Şekil 3.2'de resmi verilen difüzyon kaynak makinesinde ateşlendi.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri.

Malzeme özellikleri	Nikel(Ni) tozu	Titanyum(Ti) tozu
Ağırlıkça saflık derecesi (%)	99,8	99,5
Toz Boyutu (mesh)	-325	-325
Erime sıcaklığı (°C)	1453	1680
Özgül Ağırlığı (gr/cm ³)	8,908	4,507
Atom kütlesi (gr/mol)	58,71	47,9
Kaynama sıcaklığı (°C)	2832	3260

Tablo 3.2. 316L Paslanmaz Çeliğin Kimyasal Bileşimi

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Ti
316L	0.03max	2.0	0.045	0.030	1.0	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0	-



Şekil 3.2. Difüzyon kaynak düzeneğinin şematik görüntüsü [54]

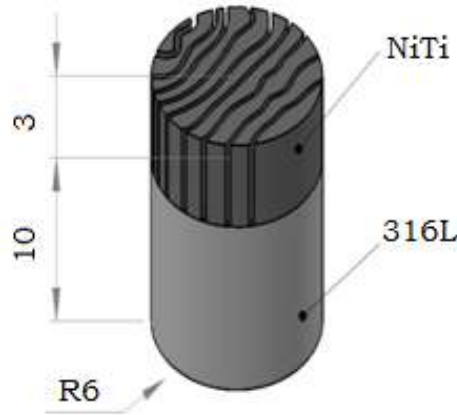
3.1.3. Numuneler

Yapılan işlemler sonucunda 4 farklı toz basıncına sahip numuneler elde edilmiştir. Tablo 3.3'te gösterilen numuneler sabit difüzyon basıncı, difüzyon sıcaklığı, süresi ile farklı soğuk preslenme basınçlarına göre ayrı ayrı numaralandırılmıştır.

Tablo 3.3. Numunelere ait işlem parametreleri

Numune No	Toz Basıncı (MPa)	Difüzyon Basıncı (Kg)	Difüzyon Sıcaklığı (°C)	Süre Dk
S1	50	50	1200	30
S2	100	50	1200	30
S3	150	50	1200	30
S4	200	50	1200	30

Yukarıdaki parametrelere göre ateşlenen bir numunenin autocad'teki çizimi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Ateşlemem Sonrası Oluşan Numunenin Resmini Autocad'te Çizimi

3.1.4. Numunelerin Metalografik İncelemeye Hazırlanması

Farklı işlemlerle oluşturulan 4 numune 3 mm'lik kesme diski ile su-bor soğutmalı hassas kesme makinesinde birleşme ara yüzeyine dik doğrultuda ikiye bölünmüştür.

Kesilen numuneler parlatma cihazında sırasıyla 60, 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik SiC zımpara ile zımparalanmış ve numuneler 3 µm'luk elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler 3 birim HNO₃ nitrik asit + 1 birim HCl hidroklorik asite 2 dakika daldırılarak kimyasal olarak dağlanmıştır. Dağlama işlemi ile numuneler taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve Optik mikroskop için görüntü almaya hazır hale gelmiştir. Gerekli görüntüler alındıktan sonra numunelerin Mikrosertlik ölçümleri alınmıştır.

3.1.5. Optik mikroskop Görüntülerinin incelenmesi

316L Paslanmaz Çelik yüzeyine gözenekli NiTi SHS yöntemi ile kaplanmıştır. Metalografik çalışmaları yapılan numuneler Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Laboratuvarının bulunan Optik mikroskobla x50, x100, x200 büyütmelerde kaplama ara tabakası, 316L ve NiTi içyapısı incelenmiştir.

3.1.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri ve (EDX) İncelemesi

Bu çalışmada, SHS yöntemi ile kaplanan numunelerin mikro yapısını incelemek ve yapıda oluşan fazların elementer içeriklerini tespit edebilmek için Elazığ FÜEMLAB'ta mevcut SEM elektron mikroskobu ile EDX (enerji dispersive X-ışın spektroskopisi) kullanıldı.

3.1.7. Mikrosertlik Sonuçları

Kaplama sonrası, numunelerin meydana gelen sertlik değişimini belirlemek için mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvar'ında Şekil 3.4'te görülen EMCOTEST cihazıyla mikro sertlik ölçümleri alındı. Numuneler mikrosertlik cihazında 100 gr yük altında Şekil 3.5'teki düzende 0.5 mm aralıklarla Vickers (HV) skalasında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu değerler, bilgisayar ortamına aktararak mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.4. Mikro Sertlik Cihazı



Şekil 3.5. Numune üzerinde alınan mikrosertlik ölçüm noktaları

3.1.8. Yoğunluk Ölçümü ve Gözeneklilik Oranı

SHS yöntemiyle üretilen numunelerin Arşiment ilkesine göre yoğunluğu Şekil 3.6’da verilen 1/10000 hassasiyetli terazide, kurulan düzenek ile önce havadaki sonra da saf suyun içindeki ağırlığı hesaplanarak aşağıda verilen formülle soğuk pres basıncına bağlı olarak yoğunluğu hesaplanmış, su ile havadaki ağırlık farkı ile gözeneklilik oranı hesaplanmıştır.

$$P = \left(\frac{A}{A-B} \right) \times (P_0 - d) + d$$

Üretilen numunelerin genel gözeneklikleri;

$f = 1 - m(dv)$ formülü ile belirlendi.

f : gözenek oranı

m: gözenekli numunenin kütlesi

v : gözenekli numunenin hacmi

d : teorik yoğunluk (6,21 gr/cm)

P = Numune Yoğunluğu

A = Havadaki Numune Ağırlığı

B = Saf Sudaki Numune Ağırlığı

P₀ = Saf Suyun Yoğunluğu

d = Havanın Yoğunluğu (Yaklaşık 0,001 gr/cm³)



Şekil 3.6. Yoğunluk Ölçüm Düzeneği

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kaplama Tabakasının Yoğunluklarının Sonuçlarının İncelenmesi

Soğuk presleme tekniğiyle Atomik % 50,5 Ni % 49,5 Ti oranına sahip tozlar ağırlıkça %'ye (55,564 gr Ni, 44,436 gr Ti) dönüştürülerek hazırlanan tozlar preslendi. SHS yöntemiyle ateşlenen numunelerin yoğunlukları ve gözeneklilik oranı Archimed prensibine göre belirlendi ve sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.1'de yoğunluk ve Şekil 4.2'de gözeneklilik oranlarının soğuk pres basıncı ile değişimi daha anlaşılır kılınmasını sağlamıştır.

$$P = \left(\frac{W}{V} \right) \times (P_0 - d) + (d)$$

50 MPa Soğuk Preslenmiş Numune İçin;

$$P = \frac{W}{V} \times 0.999 + 0.001$$

$$P = 3.5514$$

100 MPa Soğuk Preslenmiş Numune İçin;

$$P = \frac{W}{V} \times 0.999 + 0.001$$

$$P = 3.9571$$

150 MPa Soğuk Preslenmiş Numune İçin;

$$P = \frac{W}{V} \times 0.999 + 0.001$$

$$P = 4.0141$$

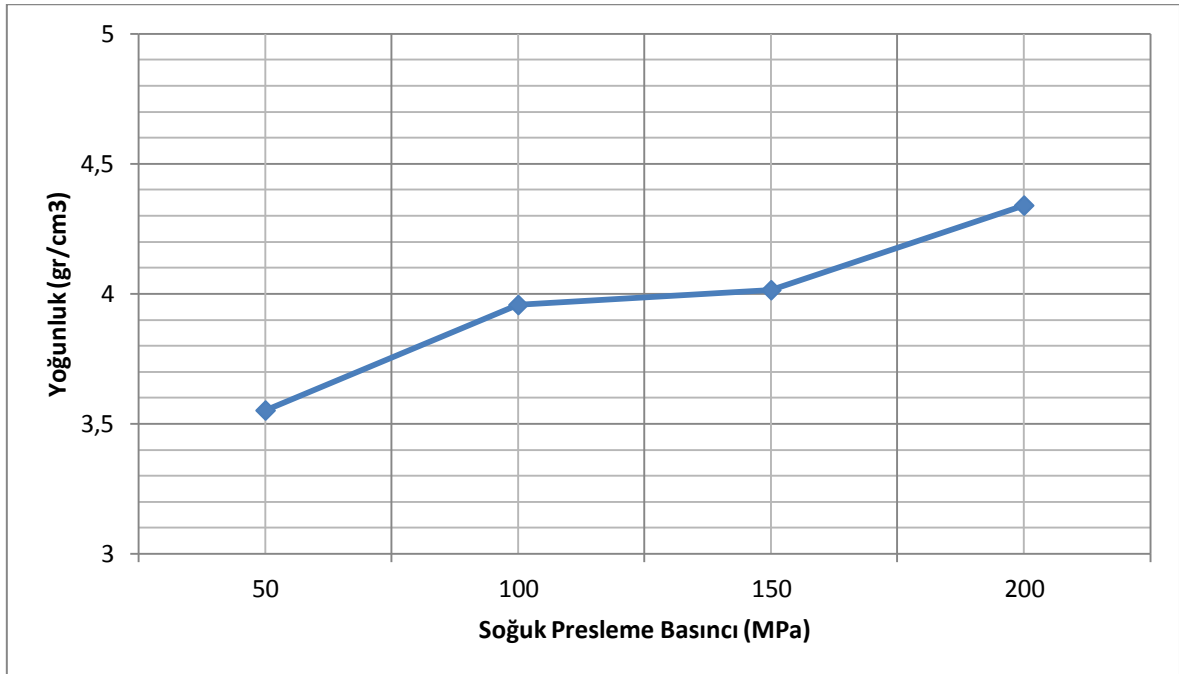
200 MPa Soğuk Preslenmiş Numune İçin;

$$P = \text{---} \times 0.999 + 0.001$$

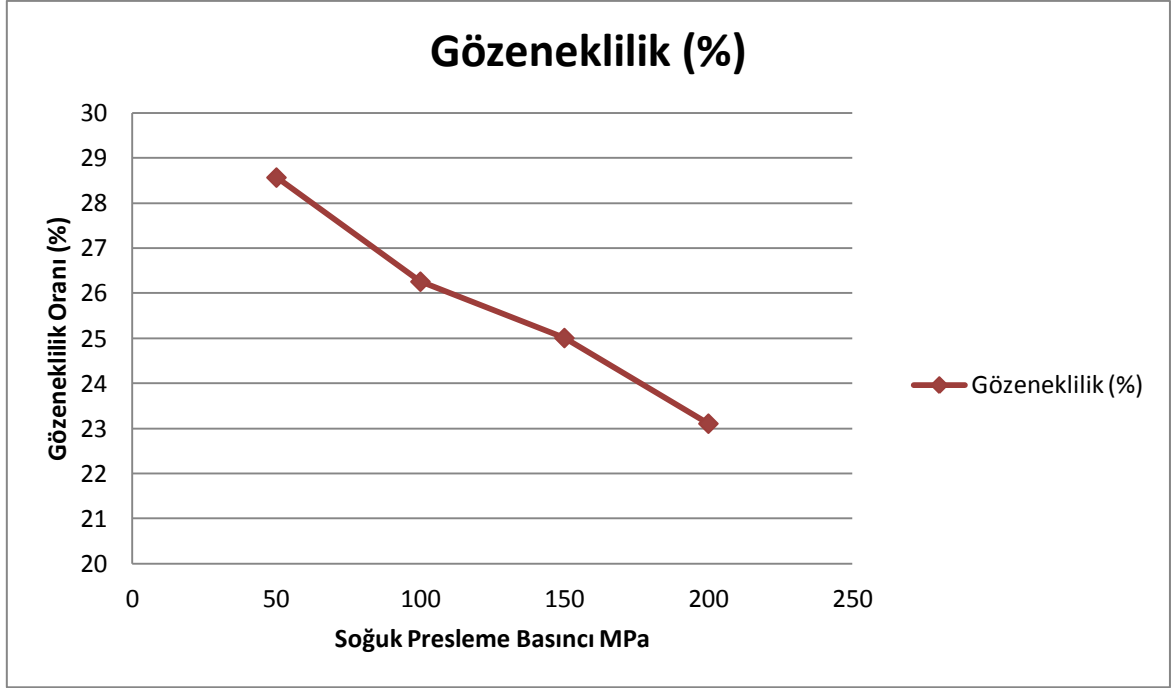
$$P = 4.3395$$

Tablo 4.1. Yoğunluk Ölçümü Sonuçları

Numune	Difüzyon Sıcaklığı(°C)	Soğuk Presleme Basıncı (MPa)	Havadaki Numune Ağırlığı (gr)	Sıvıdaki Numune Ağırlığı (gr)	Sıvının Yoğunluğu (gr/cm ³)	Havanın Yoğunluğu (gr/cm ³)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Gözeneklilik Oranı (%)
1	1200	50	1,4712	1,0584	1	0,001	3,5514	28,57
2	1200	100	1,4716	1,1540	1	0,001	3,9571	26,26
3	1200	150	1,5639	1,1746	1	0,001	4,0141	25,01
4	1200	200	1,8666	1,4368	1	0,001	4,3395	23,11



Şekil 4.1. Soğuk Presleme Basıncı ile Yoğunluk Değişimi

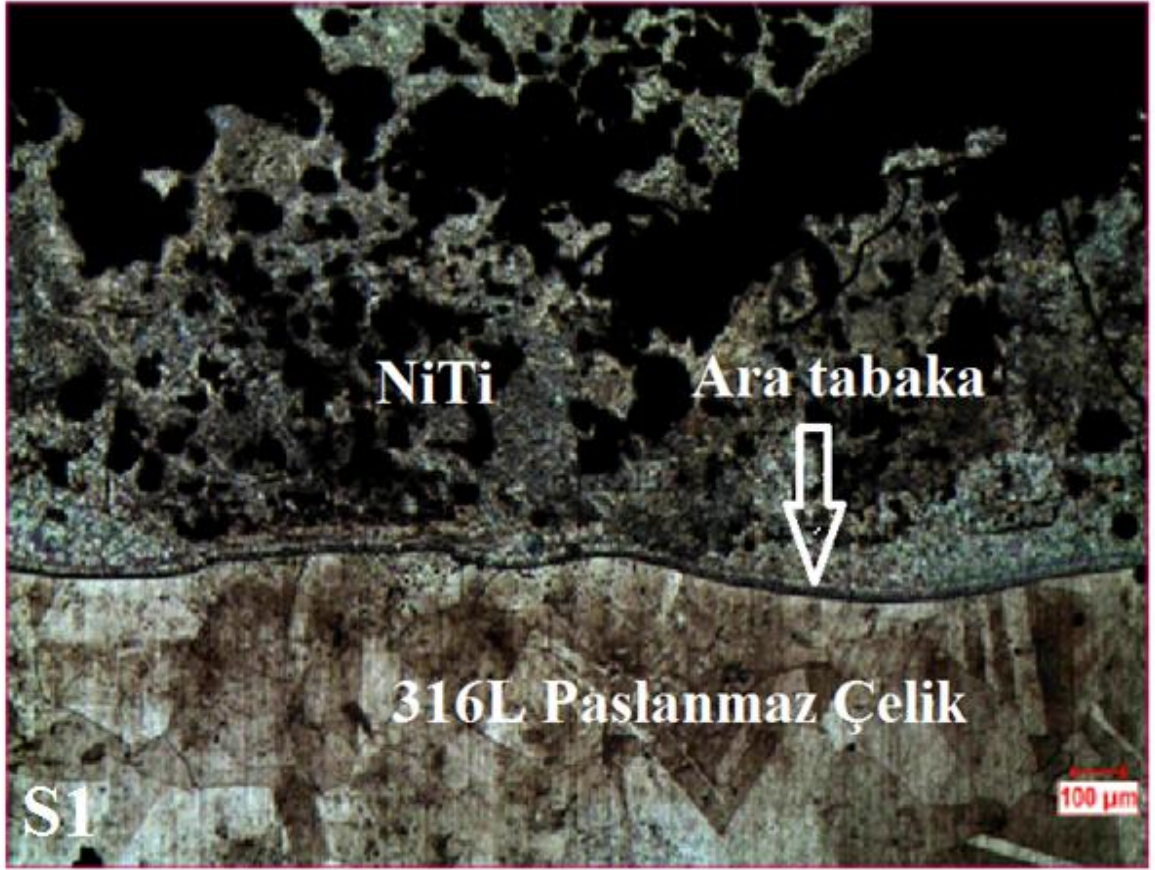


Şekil 4.2. Soğuk Presleme Basıncı ile Gözeneklilik Değişimi

4.2. Mikroyapı İncelenmesi

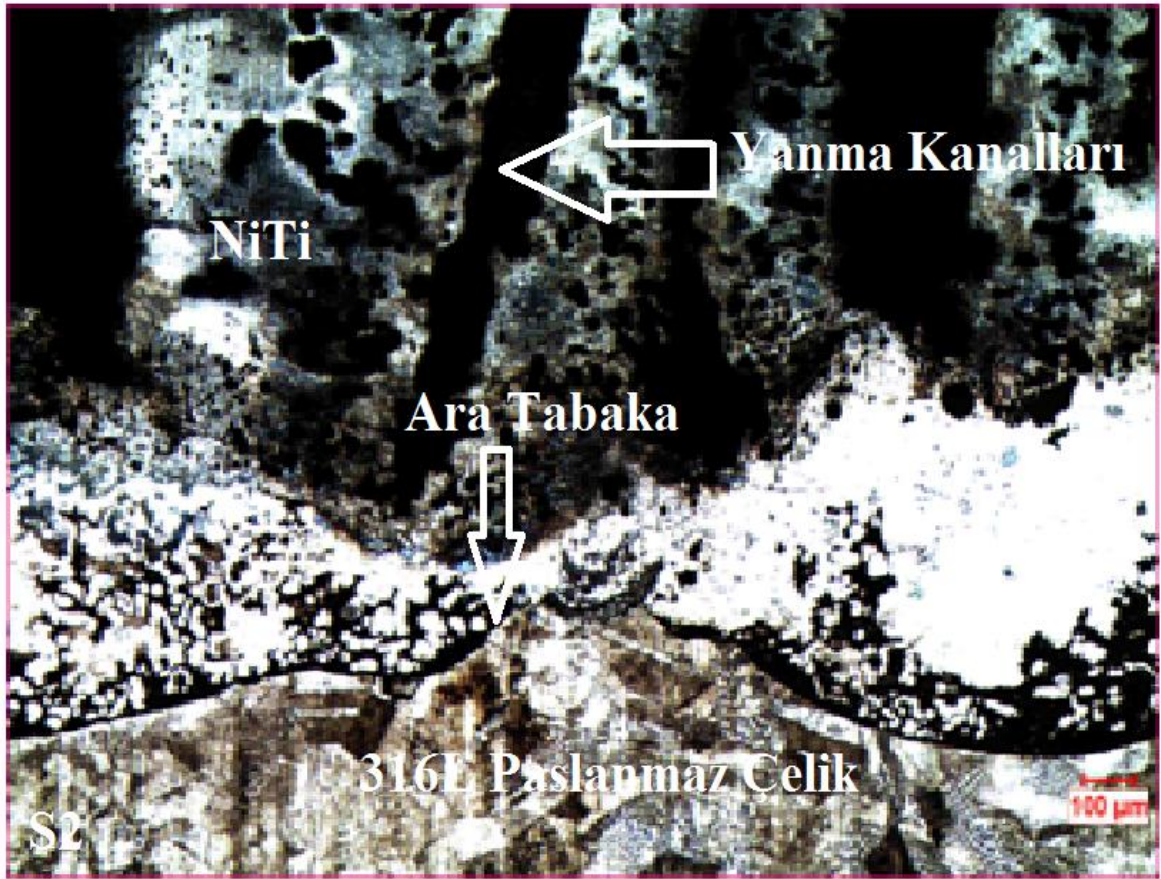
4.2.1. Optik Görüntülerinin İncelenmesi

Farklı presleme parametreleri kullanılarak kaplanan numunelere ait Optik görüntüleri sırasıyla Şekil 4.3 - 4.6'da verilmiştir. Bu çalışmada kaplama malzemesi ile altlık farklı bileşimlere sahip olduğundan ara yüzeyin hem kaplama malzemesi tarafında hem de altlık tarafında farklı yapıların ortaya çıktığı açıktır. Bu nedenle, mikroyapı değerlendirilmesi yapılırken işlem parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkan bu yapıların boyutları ve şekil olarak değişimleri dikkate alınmıştır.



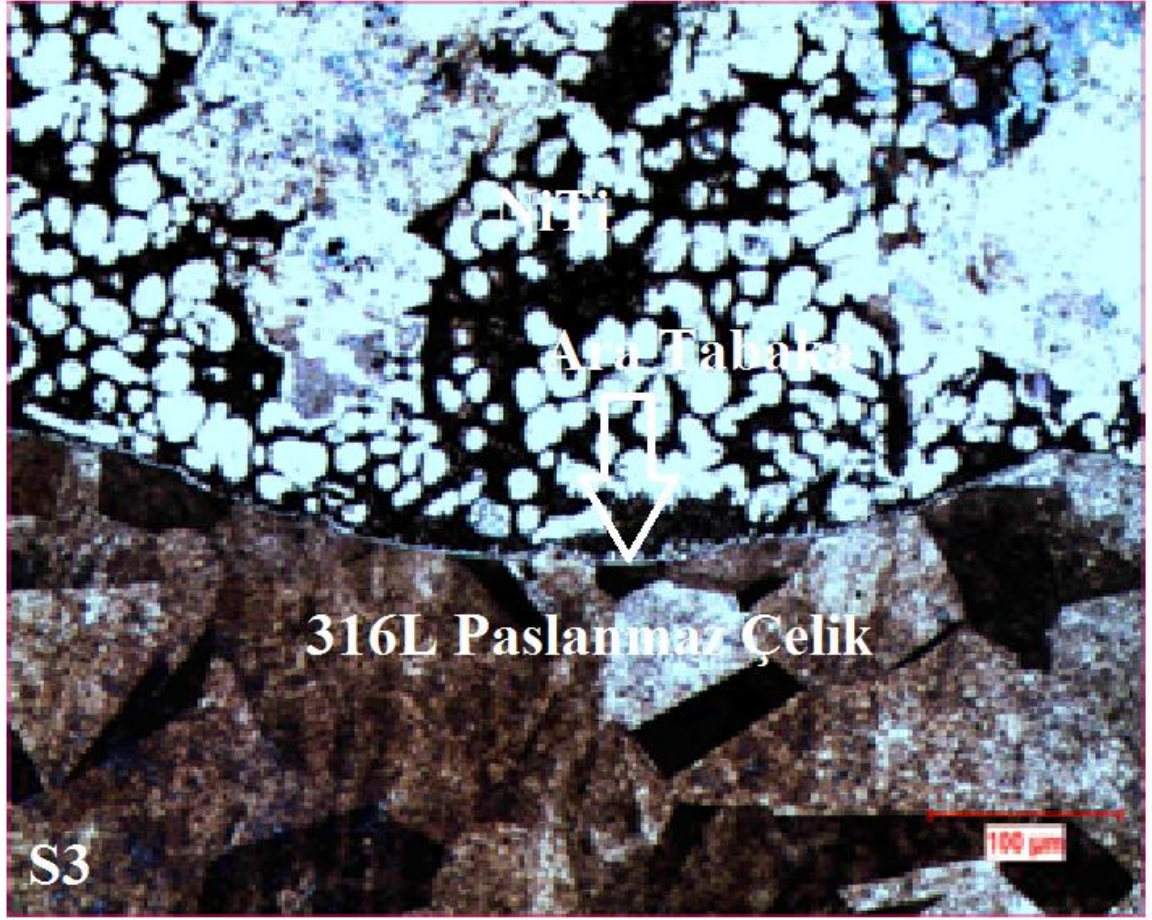
Şekil 4.3. 50 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S1 Nolu numuneye ait x50 büyütmedeki Optik Mikroskop Görüntüsü

50 MPa basınç ve 1200 °C sıcaklıkta kaplanan S1 nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü Şekil 4.3'de verilmiştir. Buna göre Ni-Ti'nin 316L paslanmaz çelik içerisine difüze olmaktadır. Bu sonuç SEM ve EDX analizlerinde daha net görülmekte ve birleşme sağlanmıştır.



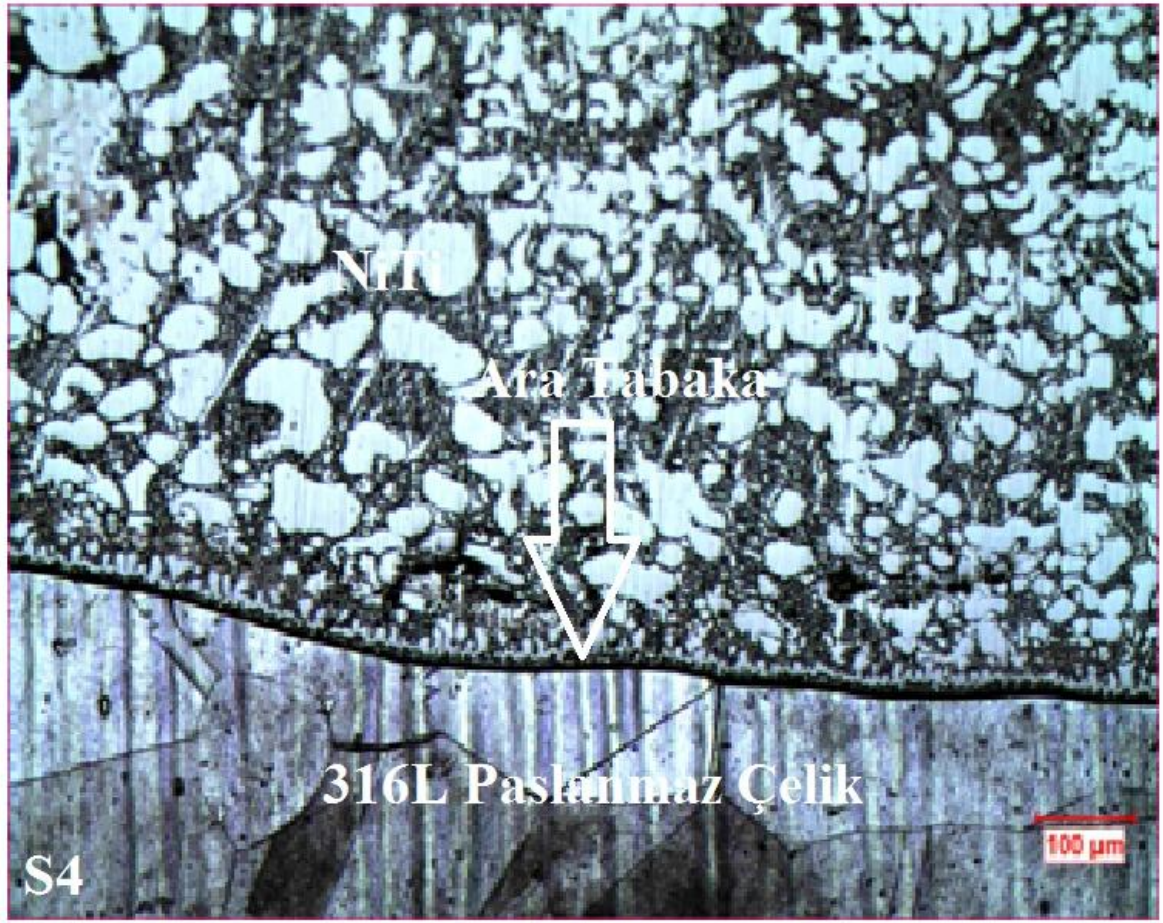
Şekil 4.4. 100 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S2 Nolu numuneye ait x50 büyütmedeki Optik Mikroskop Görüntüsü

100 MPa basınç ve 1200 °C sıcaklıkta kaplanan S2 nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü Şekil 4.4 de verilmiştir. Buna göre Ni-Ti'nin 316L paslanmaz çelik içerisine S1 nolu numuneye göre daha fazla difüze olduğu görülmekte bu sonuç SEM ve EDX analizlerinde daha net bir şekilde görülmekte ve birleşme sağlanmaktadır.



Şekil 4.5 150 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S3 Nolu numuneye ait x50 büyütmedeki Optik Mikroskop Görüntüsü

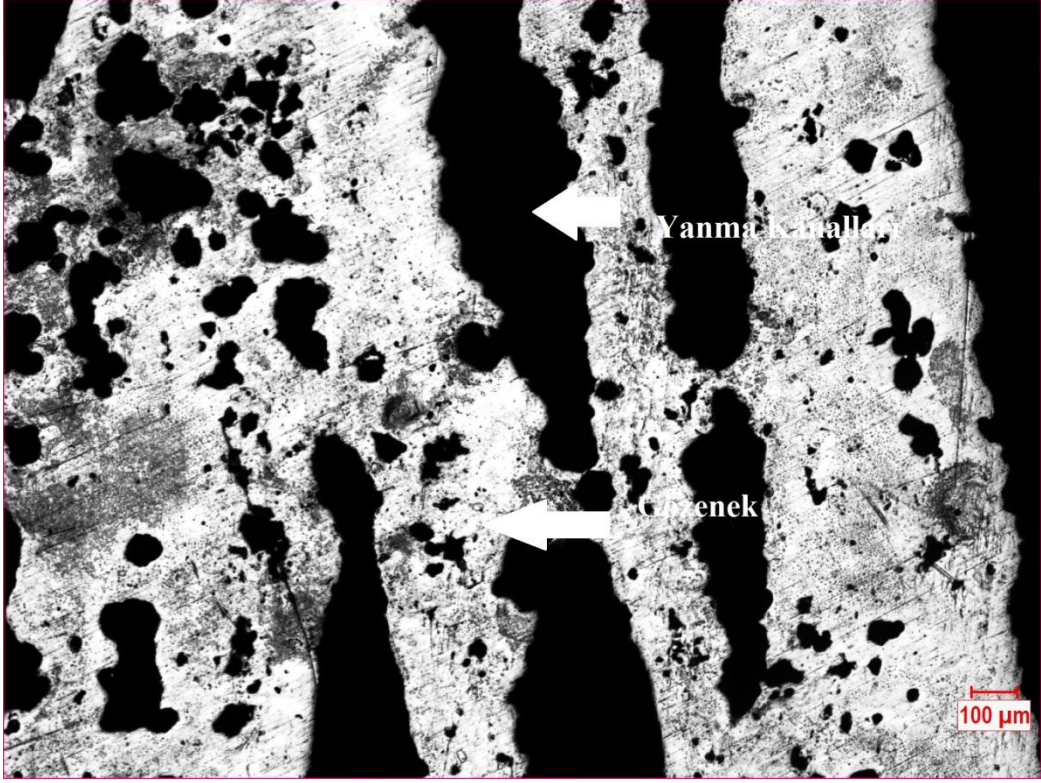
150 MPa basınç ve 1200 °C sıcaklıkta kaplanan S3 nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü Şekil 4.5’te verilmiştir. Buna göre Ni-Ti’nin 316L paslanmaz çelik içerisine S2 nolu numuneye göre daha iyi difüze olmuştur. Bu sonuç SEM ve EDX analizlerinde daha net görülmekte ve birleşme sağlanmıştır.



Şekil 4.6. 200 MPa Basınç ve 1200 °C sıcaklık ile kaplanan S4 Nolu numuneye ait x50 büyütmedeki Optik Mikroskop Görüntüsü

200 MPa basınç ve 1200 °C sıcaklıkta kaplanan S4 nolu numuneye ait Optik Mikroskop Görüntüsü Şekil 4.6’da verilmiştir. Buna göre Ni-Ti’nin 316L paslanmaz çelik içerisine basıncın etkisiyle en iyi şekilde difüze olmuştur. Bu sonuç SEM ve EDX analizlerinde daha net bir şekilde görülmektedir. Basıncın artmasıyla mikro sertlik sonuçları doğrultusunda daha mukavemetli ve daha iyi bir birleşmenin olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıdaki görüntülere ek olarak Şekil 4.7’de ve Şekil 4.8’de kaplama tabakası NiTi ve 316L paslanmaz çeliğe ait optik görüntüleri ayrı ayrı verilmiştir.



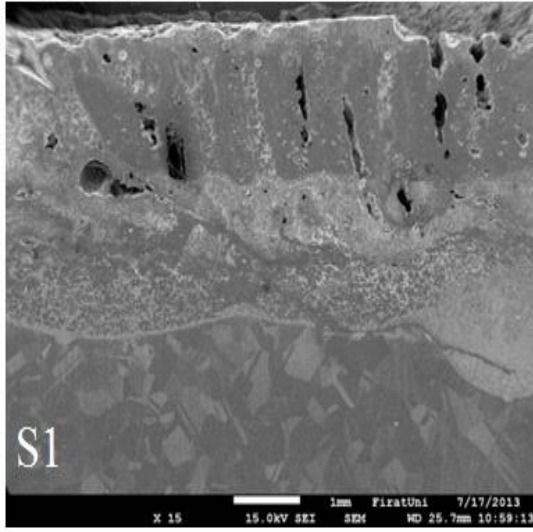
Şekil 4.7. SHS ile Üretilen NiTi alaşımının x50 Büyütmedeki Optik Görüntüsü



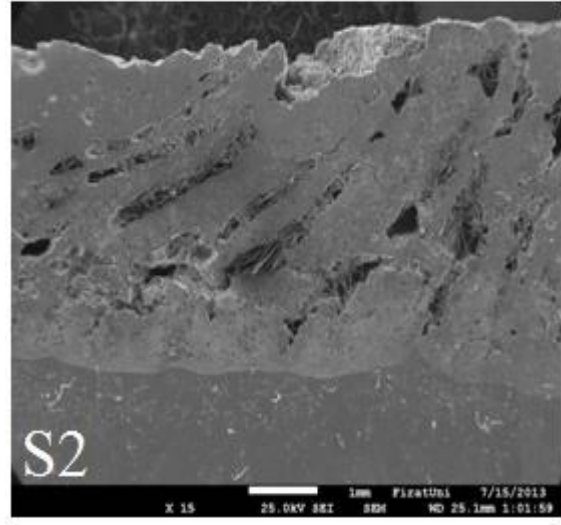
Şekil 4.8. Optik mikroskoptaki 316L paslanmaz çeliğin x200 büyütmedeki görüntüsü

4.2.2. SEM Görüntülerinin İncelemesi

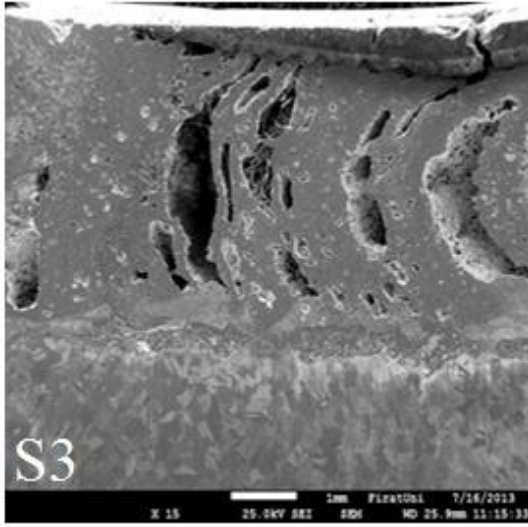
Farklı işlem parametreleri kullanılarak kaplanan numunelere ait SEM görüntüleri aşağıda verilmiştir. Bu çalışmada kaplama malzemesi ile altlık farklı bileşimlere sahip olduğundan ara yüzeyin hem kaplama malzemesi tarafında hem de altlık tarafında difüzyon geçişleri açıkça görülmektedir. Farklı presleme basınçlarına sahip (50 MPa, 100 MPa, 150 MPa ve 200 MPa) numunelerde oluşan yanma kanalları Şekil 4.9'da gösterildiği gibi soğuk presleme basıncı doğrultusunda daha düzenli ve çok sayıda olduğu görülmüştür.



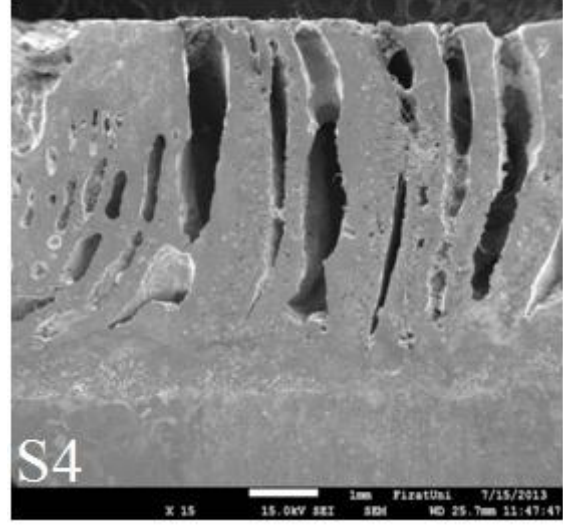
S1Nolu numune



S2 Nolu numune



S3 Nolu numune



S4 Nolu numune

Şekil 4.9. x15 büyütmedeki S1: 50 MPa, S2: 100 MPa, S3: 150 MPa ve S4: 200 MPa görüntüler verilmiştir.

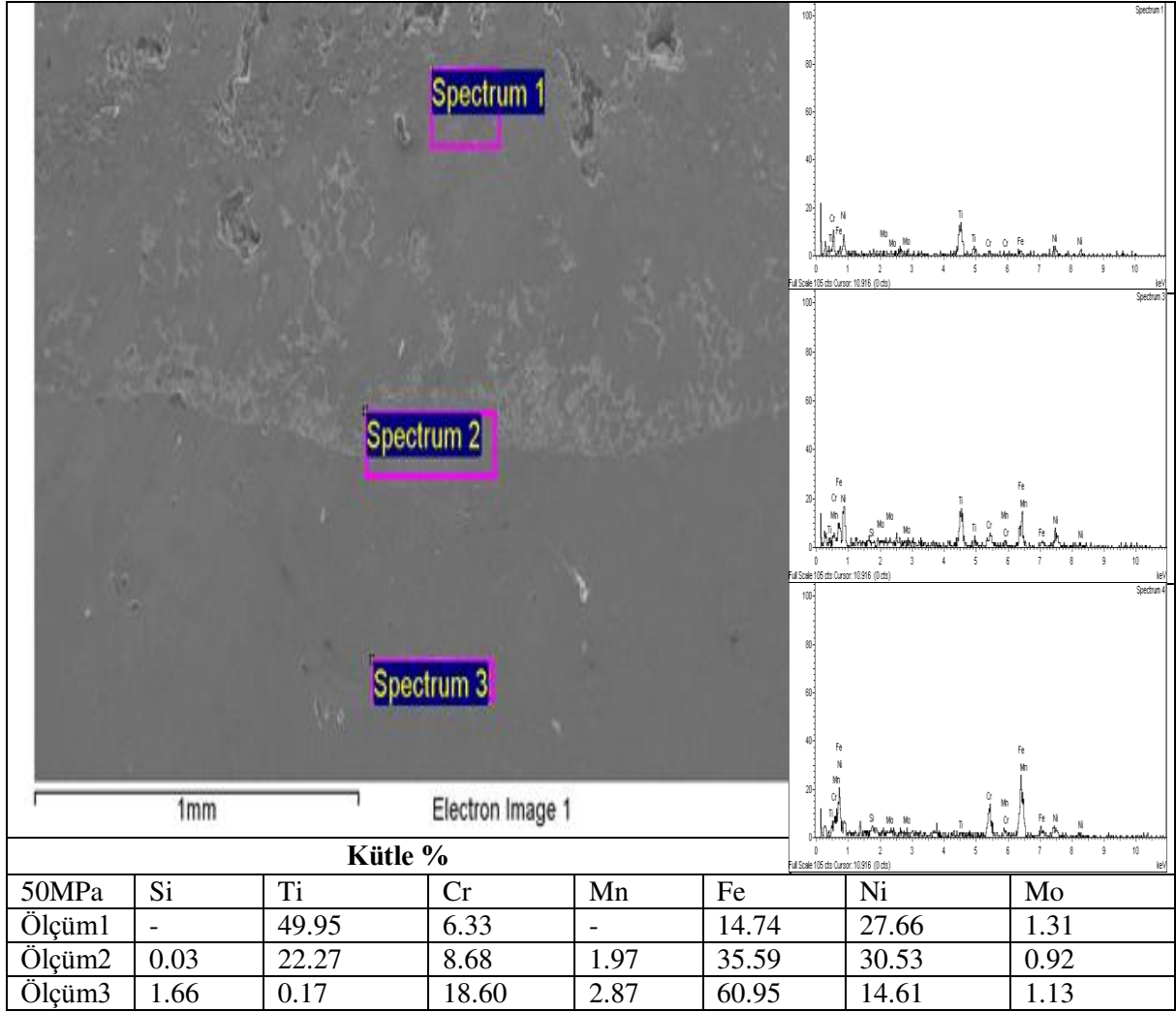
Numuneler tutuşturulduktan sonra bir ekzotermik reaksiyon gerçekleşerek NiTi alaşımı oluşur. Reaksiyon esnasında ısı açığa çıkar ve numune boyunca iletilir. Böylece oluşan ateş dalgası ısınan bölge boyunca ateşleme yönüne dik doğrultuda kendi kendine havuzdaki su dalgalıkları gibi ilerler. Reaksiyon sıcaklığı 1279 °C'ye kadar çıkabilir ve geçici bir sıvı faz oluşur. Reaksiyon sırasında göz kamaştırıcı bir ışıkla yapı içerisinde hapsedilen gazların dışarı çıkması ve sıvı fazın oluşması ile de farklı gözenekler oluşur. Reaksiyon dalga şeklinde ilerlediği için yanma olukları kanallar şeklinde oluşur.

Ateşlemeden sonra oluşan reaksiyon yukarıda belirtildiği gibi durgun bir suya düşen taşın oluşturduğu dalgalara benzer şekilde ilerlemekte ve reaksiyona uğrayan kısımlarda büyük kanallar oluşmaktadır. Tutuşturulan bölgede bir takım kirliliklerle birlikte bir miktar Ni-Ti tozları da yanmakta ve ergime sonucu Ni-Ti tozları birleşerek başlıca NiTi alaşımını oluşturmaktadır. Böylece yanma ile büyük kanallar oluşurken yapı içerisinde sıkışmış gazların ve kirliliklerin yanarak dışarı çıkması ile de açık gözenekler oluşur. Ayrıca Ni-Ti tozlarının birleşmesi ile alaşım oluşurken tozların yerinde alaşımla birlikte açık ve kapalı gözeneklerde oluşur. Oluşan alaşımda bir daha reaksiyon gerçekleşmez ve boşluk oluşmaz. Ancak alaşım oluşurken kendinden sonraki bölgenin sıcaklığını artırarak benzer reaksiyonun gerçekleşmesine neden olur. Böylece bir kanal bölgesi ve ardından bir alaşım bölgesi ve tekrar bir kanal bölgesi olarak halkalar şeklinde reaksiyon devam eder [25].

4.2.3. (EDX) Sonuçları İncelenmesi

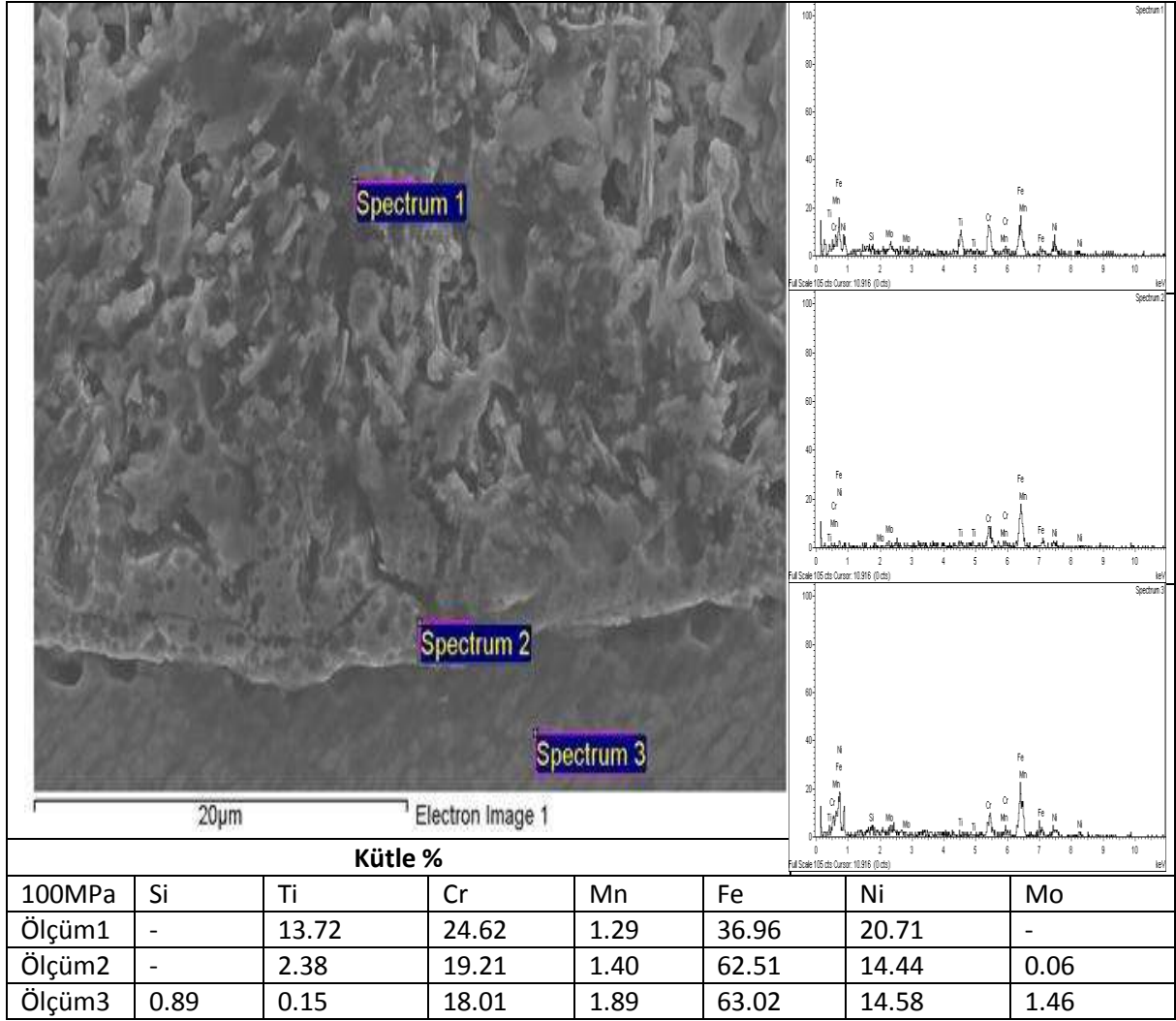
SHS tekniğiyle üretilen NiTi-316L paslanmaz çelik numunelerin mikroyapı incelemeleri için parlatılmış ve dağlanmış numunelerden çeşitli büyüklüklerde SEM resimleri ve belirlenmiş noktalardan EDX analizleri alınmış aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Oluşturan numunelerin NiTi ile 316L paslanmaz çelik bileşim noktası ve farklı bölgelerinde hangi elementin olduğunu gözlemleyebilmek için farklı büyütmede yüzey taramaları ve EDX verileri alındı.

Tablo 4.2. S1 Nolu numuneye ait EDX değerleri



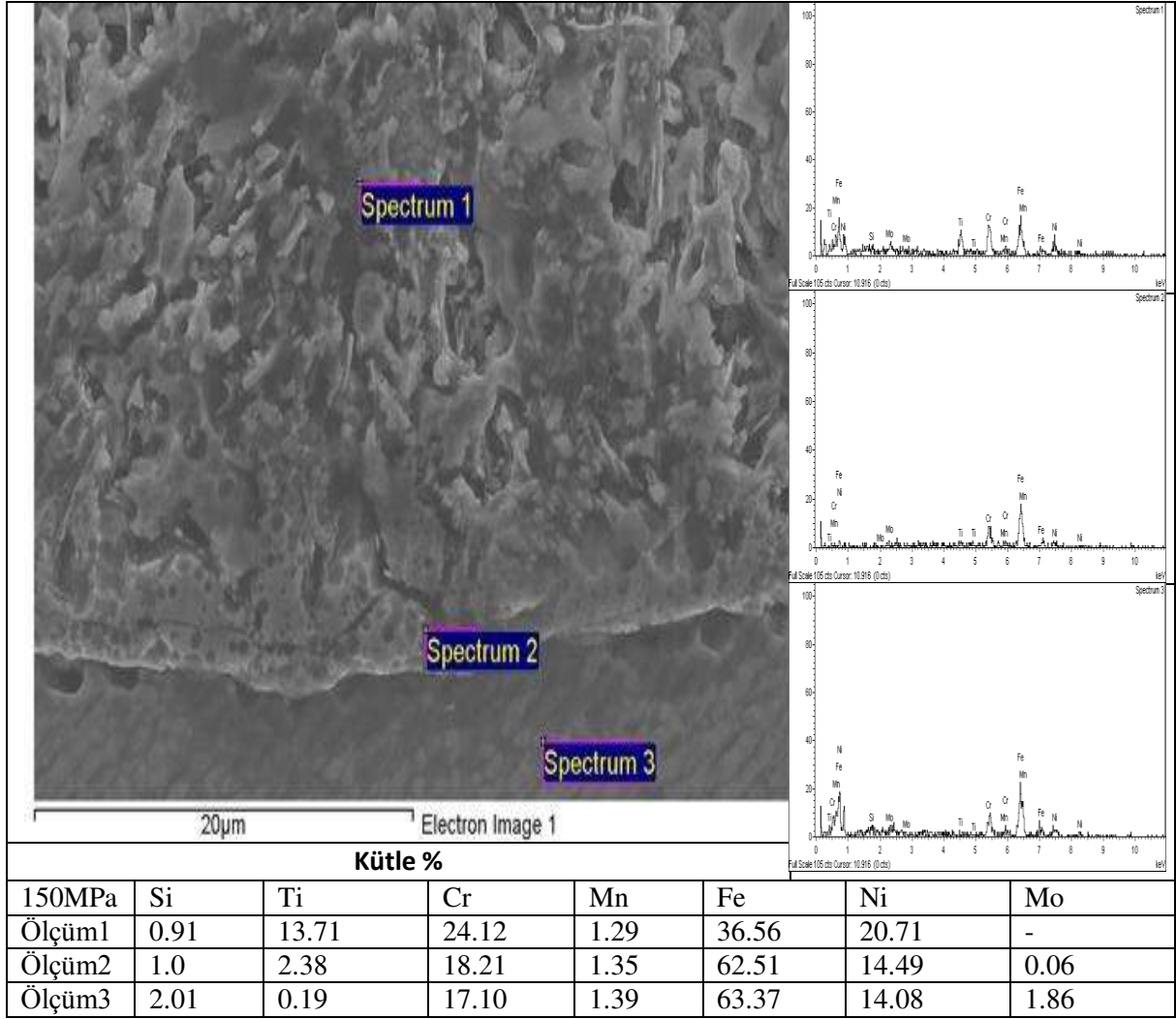
S1 numunesinden alınan EDX değerleri incelendiğinde Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Mo elementlerinin hepsinin yapıda mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar malzemede difüzyon işleminin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Kaplama malzemesinde Si ve Mn atomlarına rastlanmamıştır. Fakat kaplama ara yüzeyi incelendiğinde kaplama malzemesine 316L paslanmaz çelikten bu alana elementlerin difüze olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. S2 Nolu numuneye ait EDX değerleri



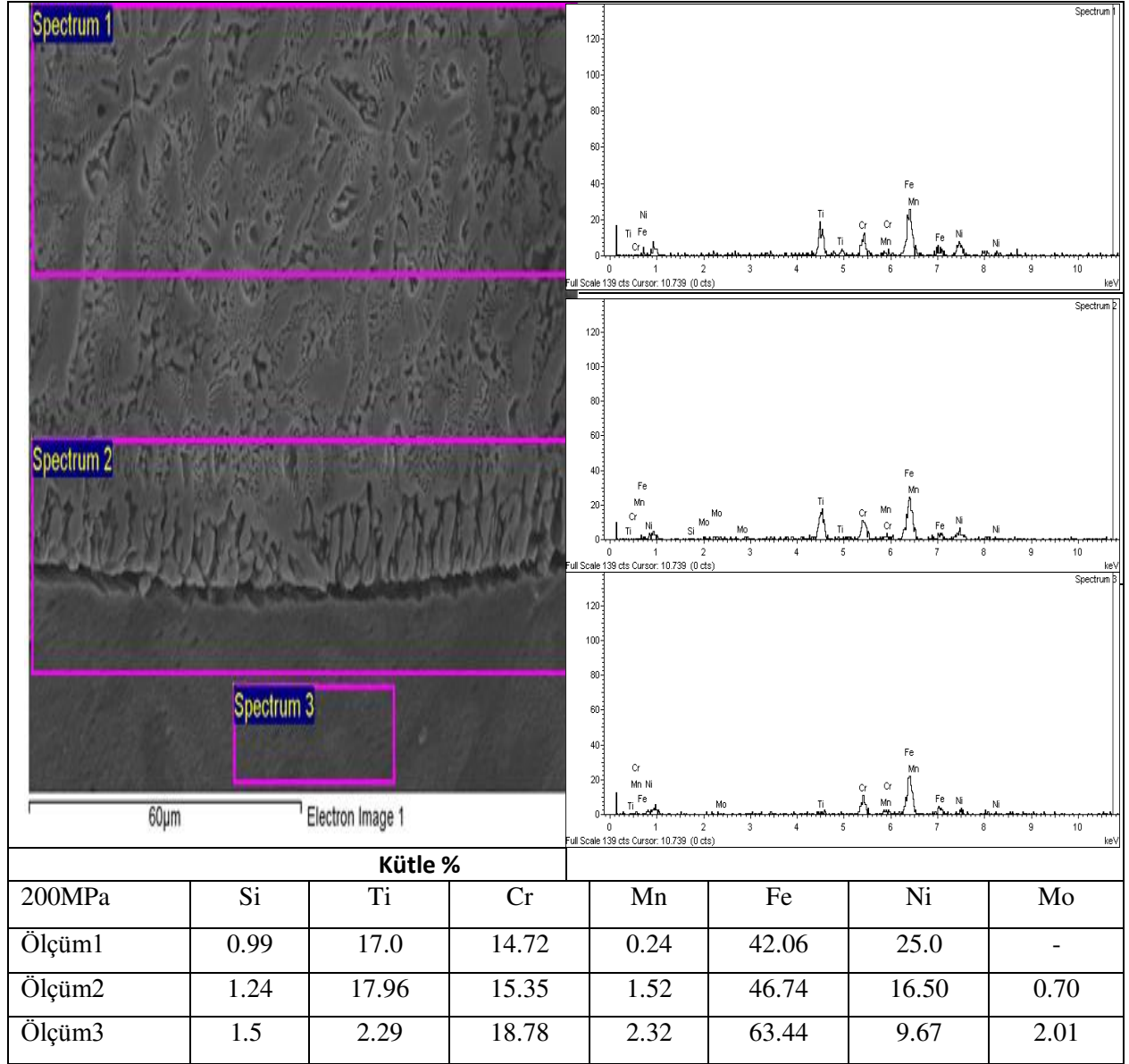
S2 Numunesinden alınan EDX değerleri incelendiğinde Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Mo elementlerinin hepsinin yapıda mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar malzemede difüzyon işleminin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. S2 nolu numunede kaplama malzemesi kısmında Si ve Mn elementler tespit edilememiştir. Alınan 2. Ölçümde çıkan sonuçlarda Ti ve Ni elementlerinin bu bölgeye difüze olduğunu görebiliriz.

Tablo 4.4. S3 Nolu numuneye ait EDX değerleri



S3 numunesine ait EDX değerleri incelendiğinde Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Mo elementlerinin hepsinin yapıda mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar malzemede difüzyon işleminin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. S3 nolu numunede kaplama bölgesine Mo elementinin olmadığı ve az miktarda 316L paslanmaz çelikten kaplama tabakasına Si Elementlerinin geçişi gözlenmiştir. Burada görüldüğü gibi Ni ve Ti elementlerinin difüzyonu kaplama tabakasından alt kabakaya ilerlerken azaldığı gözlenmiştir.

Tablo 4.5. S4 Nolu numuneye ait EDX değerleri

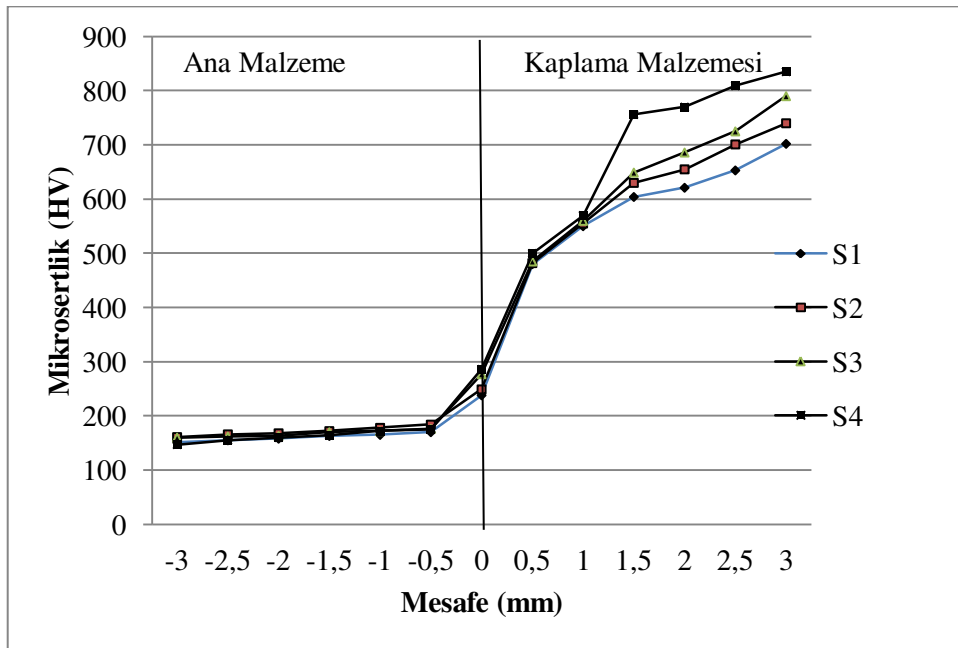


S4 numunesine ait EDX değerleri incelendiğinde Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Mo elementlerinin hepsinin yapıda mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar malzemede difüzyon işleminin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Ölçüm1 görüntülerinde kaplama bölgesine Mo elementinin olmadığı ve az miktarda 316L paslanmaz çelikten kaplama tabakasına Si elementinin geçişi gözlenmiştir. 316L paslanmaz çelik malzemedan kaplama malzemesine Fe, Cr, Si, Mn elementleri difüzyonu meydana gelirken ve çok az miktarda ara tabakaya Mo elementini geçişi gözlenmiştir. S4 Nolu numunede difüzyonun fazla olmasındaki temel etken soğuk pres basıncının fazla olmasıdır. Bu geçiş S1 Nolu numunesinden S4 Nolu numunesine paralelinde soğuk presleme etkisiyle artış olduğu görülmektedir.

4.3. Mikro Sertlik Analizi

Presleme basıncı farklı ve sabit bir sıcaklık kullanılarak SHS yöntemi ile kaplanan numunelerin, 316L paslanmaz çelikten kaplama malzemesine doğru çizgisel bir hat boyunca 0.5 mm aralıklarla yapılan mikrosertlik ölçüm sonuçları, Şekil 4.10'de verilmiştir. Bütün numunelerden alınan sertlik değerleri incelendiğinde sertlik dağılımlarının üç farklı bölgede değiştiği görülmektedir. Kaplama malzemesi ve geçiş bölgesinde mikro sertliklerde değişim gözlenirken sıcaklık değişmediğinden dolayı alt tabakada mikro sertlik değerinde bir değişim gözlenmemiştir.

50 MPa, 100 MPa, 150 MPa ve 200 MPa toz basıncı ve sabit sıcaklıkta kaplanan numunelere ait sertlik eğrileri aşağıda verilmiştir. Bu numunelere ait sertlik profilleri incelendiğinde; her dört numunede de altlık malzemedede benzer bir sertlik dağılımının ortaya çıktığı görülmektedir. Bu dağılımın ara bölgeye doğru sertlik değerinin arttığı ve kaplama malzemesinde bu değerlerin soğuk presleme basıncına paralel olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 4.10. S1-S2-S3-S4 numunelerinin mikrosertlik grafikleri

S1-S2-S3-S4 numunelerinde altlık olarak 316L paslanmaz çelik olduğundan sertlik değerleri birbirine yakın değerler ortaya çıkmıştır. Geçiş bölgesine doğru mikrosertliklerin

artığı ve NiTi kaplama noktalarında bu değerler en yüksek sertliklerde olduğu görülmüştür. Numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek sertlik değerler soğuk pres basıncıyla doğru orantılı artığı ve bunun paralelinde en yüksek değerler S4 Nolu numunede olduğu görülmüştür.

5. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Genel Sonuçlar

1. Bu çalışmada 316L paslanmaz çelik alaşımı yüzeyine SHS yöntemiyle gözenekli NiTi kaplanmıştır. 50-100-150-200 MPa basınçta soğuk preslenen numuneler indüksiyon ergitme yöntemiyle argon gazı ortamında 1200 °C’de sabit sıcaklıkta ve 50 kg sabit yük altında 30 dk sürede difüzyon edilerek birleşmesi sağlandı. Difüzyon sonrası üretilen numuneler metalografik işlemlerden geçirilip, mikroyapı incelemeleri; Optik mikroskop, SEM, EDX ile yapıldı ve SHS yöntemi ile üretilen gözenekli NiTi’nin yoğunluğu arşiment prensibine göre hesaplanmıştır difüze olan numunelerin mikrosertlikleri alınmış böylelikle deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Yapılan araştırma ve incelemelerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.
2. Optik mikroskoptaki farklı büyütmede parlatılmış, dağlanmış NiTi numunelerinden alınan görüntülerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde; Numuneler tutuşturulduktan sonra bir ekzotermik reaksiyon gerçekleşerek NiTi alaşımı oluşmuştur. Reaksiyon esnasında ısı açığa çıkıp ve numune boyunca iletildiğinden, oluşan ateş dalgası ısınan bölge boyunca ateşleme yönüne dik doğrultuda kendi kendine havuzdaki su dalgacıkları gibi ilerlemiştir. Reaksiyon sırasında göz kamaştırıcı bir ışıkla yapı içerisinde hapsedilen gazların dışarı çıkması ve sıvı fazın oluşması esnasındayana ile büyük kanallar oluşurken yapı içerisindeki sıkışmış gazların ve kirliliklerin yanarak dışarı çıkması ile de açık gözenekler oluşmuştur. Oluşan alaşımda bir daha reaksiyon gerçekleşmez ve boşluk oluşmaz. Ancak alaşım oluşurken kendinden sonraki bölgenin sıcaklığını artırarak benzer reaksiyonun gerçekleşmesine neden olur. Böylece bir kanal bölgesi ve ardından bir alaşım bölgesi ve tekrar bir kanal bölgesi olarak halkalar şeklinde reaksiyon devam eder .
3. SHS yöntemiyle üretilen ve difüzyon olan numunelerin Optik, SEM ve EDX görüntüleri incelendiğinde; genel itibariyle difüzyon işleminin başarıyla gerçekleştirildiği, yapıda farklı spektrumlardan alınan analiz sonuçları neticesinde C, Cr, Mo, Mn, P, Si, Ni, Ti elementlerinin hepsinin yapıda mevcut olduğu görülmektedir. Artan toz kompaktlama basıncı ve yüksek sıcaklıklarda difüzyonun gerçekleştiği NiTi kısmının en üst bölgesinden alınan EDX sonuçlarına bakıldığında nikelin yapıdaki

varlığının az olması yani iç bölgelerde bileşik oluşturarak var olması biyomalzeme olarak düşünüldüğünde istenilen bir sonuç olduğu tespit edilmiştir. Çünkü biyomalzemelerde vücut ile temas halinde bulunan yüzeylerde nikel zehirli toksinler salgıladığından titanyumun daha zengin olması istenilen bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Farklı kompaktlanma basınçlarıyla üretilen numunelerin çeşitli büyütmelelerdeki SEM görüntülerine bakıldığında, yanma kanalları, mikro oranda gözenekleri, mikro çatlakları, difüzyon uzunluğunu, tane irilişmesini ve dalgalanmalar hakkında bilgi vermektedir. Artan basınçla birlikte mikrogözeneklilik oranının azaldığı ve taneler arası boyun oluşumlarının arttığı gözlenmektedir.

4. Mikrosertlik ölçüm deneylerinde; NiTi kompaktlanma basıncı arttıkça doğrusal olarak mikrosertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. S1’de 702, S2’de 740, S3’te 790, S4’te 835 Vickers (HV) sertlik değerleri elde edilmiştir. NiTi toz basıncının artışıyla birlikte malzemenin mukavemetinde ve sertliğinde de artış olduğu gözlenmiştir.
5. Yoğunluk incelemelerinde; Yoğunluk değerleri artan soğuk pres basıncı ile ters orantılı olarak azalış göstermiştir. 1200 °C’de ve 200 MPa soğuk pres basıncında 4,3395 gr/cm³ yoğunluk oranına ulaşılmıştır. 1200 °C’de soğuk pres basıncı arttıkça 50 MPa’da gözenekliliğin % 28,57’deyken, 200 MPa’da % 23,11’e düştüğü gözlenmektedir.
6. Bu çalışmada; Bu çalışmada; 316L paslanmaz çelik alaşımı yüzeyine SHS yöntemiyle gözenekli NiTi kaplaması, toz basıncının 200 MPa ve sıcaklığın 1200 °C’ deki difüzyon sıcaklığında en iyi mikroyapı ve bazı mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

- Atomik olarak %50,5 Ni ve %49,5 Ti oranında soğuk preslenmiş ve 1200 °C’de SHS tekniği uygulanarak bağlanmayan numuneler için farklı difüzyon süreleri ve difüzyon basınçları uygulanarak bağlanabilirlikleri araştırılabilir.
- Aynı difüzyon sıcaklıklarında üretilen 316L paslanmaz çelik / Ni-Ti alaşımının korozyon dirençleri araştırılabilir.
- SHS tekniğiyle 1200°C’den daha düşük sıcaklıklarda difüzyon olan numunelerin biyouyumluluğu ve oluşan gözenek oranı araştırılabilir.
- Toz kompaktlama basıncı daha yüksek seçilerek daha az oranda boşluklu kaplama tabakası elde edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] **Bilgin, B.**, 2007, Ti-6Al-4V/304L Malzeme Çiftinin Bakır Ara Tabaka Kullanılarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] **Özdemir, C.**, 2010, Paslanmaz Çelikler ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [3] **Aran, A.**, 2003. Paslanmaz çelik üretimi kullanımı standartları, 3. Baskı, Sarıtaş Teknik Yayınları, No: 1, İstanbul.
- [4] **Erdoğan, M.**, 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara.
- [5] **Brooks, J.A., Lippold, J.C.**, 1993, Selection of Wrought Austenitic Stainless Steels ASM Metals Handbook, V.6, 456-469.
- [6] **Kılıç, M.**, 2008, AISI 304 Paslanmaz Çeliği ve 1040 Çelik Çifti'nin Plazma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [7] **Davis, J.R.**, 1993, Selection of Wrought Martensitic Stainless Steels, ASM Metals Handbook, V.6, 432-441.
- [8] (www.stainless-steel-world.net, 2003).
- [9] **J.L.Gonzalez-Carrasco,F.Garcia-Cano,G.Caruana,M.Lieblich**, Mater. Sci Eng. A183 A(1984) L5
- [10] **Aran, A. ve Temel, M. A.**, 2004, Paslanmaz Çeliklerin Üretimi, Kullanımı, Standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, 2. Baskı, İstanbul, 54-65.

[11] **Kurt, U.**, 1988, Paslanmaz çelik kaynak özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimi Enstitüsü, Ankara.

[12] **G.R.Stoeckiner and J.P.Neumann, J.Appl.Cryst,3,(1970), p.32**

[13] http://www.bircelik.com/316l-paslanmaz-celik-687_tr_lc.html

[14] **Hiçyılmaz, N.**, 1999, Toz Metalurjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

[15] **Yavuz, N., Güner, R.**, 2002, Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağından Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, S. 221-228.

[16] **Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M.**, 1999, İmal Usulleri, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.

[17] **Balın, A.**, 2011. Sıcak Presleme Tekniğiyle Üretilen CoCrMo Toz Alaşımının interleme Sıcaklığının Mikroyapı Üzerine Etkisinin Araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[18] **Kayış, V.**, 2005, Kısmi ve Ön Alaşımlı Demir Tozları İçerisine Katılan B ve FeB ilavelerin sinterleme davranışları ve mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi.

[19] **Onur, A.**, 1996, Yağ Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

[20] www.turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm. 11 Aralık 2010.

[21] **Dikici, B.**, 2010, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Nikel Titanyum Alaşımlarının Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[22] **Somunkıran İ.**, 2006, Kobalt Esaslı Alaşımların Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi, Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

[23] **Brunette, D.M., Tengvall, P., Textor, M. Thomsen, P.** 2001, Titanium in Medicine, Springer.

[24] **Dilibal, S.**, 2005, Nikel-Titanyum Şekil Bellekli Alaşım Üretimi ve Şekil Bellek Eğitimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

[25] **Kaya, M.**, 2008, Toz Metalurjisi İle Üretimi NiTi Şekil Hatırlamalı Alaşımların Metalurjik ve Mekanik Karakteristiklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

[26] **Dikbaş, H.**, 2005, Toz Metalurjisi (TM) İle Üretilmiş Ni-Ti Alaşımlarının Difüzyon Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[27] **Kurt, B.**, 2005, Ti-6Al-4V Alaşımı İle Farklı Tip Paslanmaz Çeliklerin Difüzyon Kaynağı, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

[28] **Kılıç M.**, 2014, NiTi ve Ni₃Al Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemesinin Reaksiyon Sentezlemesi Yöntemiyle Üretilmesinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı: Mehmet Nur KAPLAN

Doğum Yeri ve Yılı: Çınar,1985

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl) Lise: Çınar Lisesi, 1999-2002, Çınar/Diyarbakır

Lisans: Elazığ Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi, 2005 – 2009

Yüksek Lisans: Elazığ Fırat Üniversitesi, Metalurji Eğitimi, 2010-...