

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ni – Cr ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
MOLİBDEN KATKI ORANININ ETKİSİ**

Remzi AYYILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ni – Cr ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
MOLİBDEN KATKI ORANININ ETKİSİ

Remzi AYYILDIZ

Tez Yöneticisi
Yrd.Dç. Cumali İLKILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu Tez/..... Tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Jüri Başkanı :
Danışman :
Üye :
Üye :
Üye :

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında çok büyük katkıda bulunan Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Halis ÇELİK'e Bölüm Başkan Yardımcısı sayın Yrd. Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN'a ve danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca proje olarak bu tezi destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi'ne (FÜBAB) teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. NİKEL ESASLI ALAŞIMLAR.....	2
2.1. Bor İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar.....	2
2.2. Karbür İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar.....	5
2.2.1. Laves Fazı içerikli Nikel Esaslı Alaşımlar.....	5
2.3. Nikelin Şekil Hafızalı Alaşımlarda Kullanımı.....	5
2.3.1. Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	7
2.4. Nikel Esaslı Rene 80 Süper Alaşımının Özelliklerinin Geçici Sıvı Faz Difüzyon Kaynağının Mikroyapıya Etkisi.....	7
2.7. Kompleks Nikel Esaslı Süper Alaşımlar.....	8
2.8. Nikel-Krom Alaşımlarının Oksidasyon Direnci.....	9
2.7.1. Korozyonun Genel Tanımı.....	12
2.7.2. Korozyon Etkenleri.....	13
2.7.3. Elektrokimyasal Etkenler.....	13
2.7.4. Fiziksel Etkenler.....	13
2.7.5. Çevresel Etkenler.....	14
2.8. Nikel–Krom–Alüminyum Alaşımları.....	14
2.9. Süper Alaşımların Diş Protezindeki Yeri.....	17
2.9.1. Diş Porselen ve Altlıklarının Genel Özellikleri.....	17
2.9.2. Metalik Altlıklar.....	17
2.9.3. Kıymetli metal alaşımları.....	18
2.9.4. Yarı Kıymetli Metal Alaşımları.....	19
2.9.5. Kıymetsiz Metal Alaşımları.....	19
3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALAŞIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	20
3.1. Çelik	20
3.2. Özel ve Süper Alaşımlar.....	20
3.3. Krom	20
3.3.1. Krom İhtiva Eden Çeliklerin Kullanıldığı Alaşımlar.....	21
3.3.2. Kromun Kullanım Alanları.....	22
3.4. Nikel.....	23
3.4.1. Nikelin alaşımları.....	23
3.4.2. Nikelin kullanım alanları.....	23

3.4.3. Nikelin Özellikleri, Alaşımları ve Kullanıldığı Yerler.....	25
3.4.3.1. Nikelaj.....	25
3.4.3.2. Paslanmaz Çelik.....	26
3.4.3.3. Enkonel.....	26
3.4.3.4. Kupro Nikeller.....	26
3.4.3.5. Gıda Sanayindeki Yeri.....	26
3.5. Molibden.....	27
3.5.1. Refrakter Metallerde Molibden.....	28
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	29
4.1. Deneyin Amacı.....	29
4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	29
4.3. Deney Malzemelerinin Üretilmesi.....	29
4.3.1. Malzemelerin İndüksiyon Fırınında Ergitilerek Kokil Kalıba Dökümü.....	30
4.3.2. Kalıp Sökümü Sonrası İşlemler.....	30
4.4. Çekme Deneyi	31
4.5. Sertlik Ölçme.....	32
4.6. Mikro Yapı İncelemeleri ve Elektron Mikroskop Çalışmaları.....	32
4.7. X Işınları Çalışmaları.....	32
5. DENEY SONUÇLARI.....	33
5.1 Çekme Deneyi Sonuçları.....	33
5.1.1. % 8 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı.....	33
5.1.2. % 10 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı.....	33
5.1.3. % 12 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı.....	34
5.1.4. % 14 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı	35
5.2. Sertlik Ölçümü Sonuçları.....	36
5.3. Alaşımların Mikro Yapıları ve SEM Çalışmaları.....	37
5.3.1. Ni-27Cr-8Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları.....	37
5.3.2. Ni-27Cr-10Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları.....	39
5.3.3. Ni-27Cr-12Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları.....	42
5.3.4. Ni-27Cr-14Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları.....	44
5.4. Mikroyapı EDS Analiz Sonuçları	46
5.4.1. Ni-27Cr-8Mo Alaşımının EDS Sonuçları.....	46
5.4.2. Ni-27Cr-10Mo Alaşımının EDS Sonuçları.....	49

5.5. X-Işınları Sonuçları.....	52
5.5.1. Ni-27Cr-8Mo Süper Alaşımının X-Işınları Sonuçları.....	52
5.5.2. Ni-27Cr-10Mo Süper Alaşımının X ışınları Sonuçları	53
5.5.3. Ni-27Cr-12Mo Süper Alaşımının X Işınları Sonuçları.....	54
5.5.4. Ni-27Cr-14Mo Süper Alaşımının X Işınları Sonuçları.....	54
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	56
REFERANSLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. ERNiCr-C plazma ark kaynağı ile çift tabaka kaplanmış bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımının mikro yapısı.....	4
Şekil 2.2. Nikel esaslı bir alaşımda ısıtıl işlem öncesi (a) ve sonrası (b) yapı görünümü.....	6
Şekil 2.3. Nimomik 115'in tianaliz mikroskobik yapısı; 1,5 saatte 1190°C ye kadar ısıtılmış, 1100°C ye hava da soğutulmuş, ve sıcaklığı 6 saatte 25°C'ye inmiş bu alaşımın içeriği (15Cr-5Al-4Ti-15Co-4Mo-0,18B-0,16C)'dir.....	9
Şekil. 2.4. Bir metalin oksitlenmesinin şematik açıklanması.....	10
Şekil 2.5. Ni-Cr alaşımlarının oksidasyonu için parabolik oran sabiti. Numuneler 1100°C de 1 atm oksijen atmosferinde 70 saat üzerinde okside edilmiştir. Δm^2 nin t ye karşı grafiği bize K_p sabitini verir.....	11
Şekil 2.6. Ni-Cr faz diyagramı.....	12
Şekil 2.7. Bir metalin korozyon direncini etkileyen faktörler.....	13
Şekil 2.8. Ni-Cr-Al faz diyagramından 750 ve 1150 ⁰ C'de izotermal bölgeler.....	15
Şekil 2.9. % 75 oranında Ni içerikli Ni-Cr-Al alaşımlarında γ' miktarının basma testinde mukavemet ölçümü.....	15
Şekil 2.10. Ni-Cr-Al Alaşımları için γ' - γ arasındaki uygunsuz kafes birleşmesinin 200 psi ve 700°C de ki etkisi.....	16
Şekil 2.11. Sabit % 6 Al içerikli Ni-Cr-Al alaşımlarında Cr içeriğinin oksidasyona Etkisi.....	17
Şekil 2.12. Sırlama yöntemiyle NiCrMo altlık üzerine üretilen seramik dış porselen kaplamanın SEM mikroyapısı. (Çelik, 2001).....	18
Şekil 4.1. Döküm işleminde kullanılan kokil kalıbın üstten görünüşü.....	30
Şekil 4.2. Kokil kalıptan çıkan çekme çubuğu.....	31
Şekil 4.3. Çekme deney çubuğunun şekli ve ölçüleri.....	31
Şekil 4.4. INSTRON çekme deneyi cihazı.....	31
Şekil 5.1. Ni-27Cr-8Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.....	33

Şekil 5.2. Ni-27Cr-10Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.....	34
Şekil 5.3. Ni-27Cr-12Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.....	35
Şekil 5.4. Ni-27Cr-14Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.....	36
Şekil 5.5. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının mikroyapı görüntüsü.....	37
Şekil 5.6. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının başka bir görüntüsü.	37
Şekil 5.7. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	38
Şekil 5.8. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının görüntüsü.	38
Şekil 5.9. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	39
Şekil 5.10. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının görüntüsü.	39
Şekil 5.11. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının görüntüsü.....	40
Şekil 5.12. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının görüntüsü.....	40
Şekil 5.13. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının bir kesitin SEM görüntüsü.....	41
Şekil 5.14. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	41
Şekil 5.15. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	42
Şekil 5.16. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	42
Şekil 5.17. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	43
Şekil 5.18. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	43
Şekil 5.19. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	44
Şekil 5.20. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	44
Şekil 5.21. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.....	45
Şekil 5.22. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	45
Şekil 5.23. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.	46
Şekil 5.24. Ni-27Cr-8Mo alaşımının EDS analiz bölgesi.....	46
Şekil 5.25. Ni-27Cr-8Mo alaşımının EDS analiz sonuçları ve grafiği.....	47
Şekil 5.26. Ni-27Cr-8Mo alaşımının EDS analizi alınan iki farklı bölgesi (elips 0 ve elips 1)	47
Şekil 5.27. Ni-27Cr-8Mo alaşımında elips 0 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği.	48
Şekil 5.28. Ni-27Cr-8Mo alaşımında elips 1 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği.	48
Şekil 5.29. Ni-27Cr-10Mo alaşımında 2 farklı bölgenin (elips0 ve elips1) Mikroyapısı.....	49

Şekil 5.30. Ni-27Cr-10Mo alaşımasının fotoğrafından alınmış elips 0 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği.....	50
Şekil 5.31. Ni-27Cr-10Mo alaşımasının fotoğrafından alınmış elips 1 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği.....	50
Şekil 5.32. Ni-27Cr-10Mo alaşımasının mikroyapısı ve EDS analiz bölgesi.....	51
Şekil 5.33 Ni-27Cr-10Mo alaşımasının EDS analiz sonuç ve grafiği.....	51
Şekil 5.34. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımasının X ışınları grafiği.	52
Şekil 5.35. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımasının X ışınları grafiği.	52
Şekil 5.36. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımasının X ışınları grafiği.....	53
Şekil 5.37. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımasının X ışınları grafiği.....	53

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Yüksek nikel içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi.....	2
Tablo 2.2. Çeşitli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının Özellikleri.....	3
Tablo 2.3. Bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarında oluşan fazlar.....	4
Tablo 2.4. Rene 80 nikel esaslı süper alaşımının kimyasal bileşenleri.....	8
Tablo 4.1. Deneyler için hazırlanan alaşımlar.....	29
Tablo 5.1. Ni-Cr-Mo alaşımlarında molibden katkı oranının sertliğe etkisi.....	36

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ni – Cr ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE MOLİBDEN KATKI ORANININ ETKİSİ

Remzi AYYILDIZ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

2008, Sayfa : 59

Çok çeşitli süper alaşımlar vardır. Bunlardan bazıları da nikel esaslı süper alaşımlardır. Bu alaşımların genel özellikleri oksidasyona, korozyona aşınmaya karşı mukavemetli olmalarıdır. Çeşitli metallerin ilave edilmesiyle bu süper alaşımların özellikleri geliştirilebilir ve kullanım alanları arttırılabilir.

Bu çalışmada nikel esaslı Ni-Cr süper alaşımlarına molibden katkısının etkisini incelemek, molibdenin Ni-Cr alaşımlarında yaptığı fiziksel, mekaniksel (çekme, sertlik ve talaş kaldırma gibi) özelliklerin, mikroskobik yapıların (SEM, EDAX ve XRAY) incelenmesi, yorumlanması ve bu sonuçlara göre nikel esaslı Ni-Cr süper alaşımlarının geliştirilmesi, böylece biyolojik protez malzemelerde, diş protezlerinde (diş altlığı), uçak sanayinde ve sanayinin diğer kollarında korozyona ve oksidasyona karşı dirençli, mukavemetli süper alaşımlar geliştirmek hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Süper alaşımlar, nikel esaslı alaşımlar, Ni-Cr-Mo

ABSTRACT

Master thesis

INVESTIGATION THE EFFECT OF MOLYBDENUM ADDITION TO NICKEL-CHROMIUM ALLOYS

Remzi AYYILDIZ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical Education

2008, Page : 59

There are several superalloys. Some of them are nickel-based superalloys. These alloys have resistance to oxidation, corrosion and wear. Mechanical properties of these superalloys can be improved and used widely by adding some metals.

In this study, it was aimed to investigate the effect of molybdenum addition to nickel-based (Ni-Cr) superalloys and to see molybdenum's effect on physical and mechanical properties (tension and hardness etc.) of nickel-based (Ni-Cr) superalloys, to observe and participate microscopic structure (SEM, EDAX and XRAY). It was also aimed to develop nickel-based (Ni-Cr) superalloys according to these results. So that these superalloys that have good strength and resistance to corrosion and oxidation can be used in biologic medical prosthes materials, tooth prosthes, plane industry and other branches of industry .

Key words: Super alloys, nickel based super alloys, Ni-Cr-Mo

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun binlerce yıldan beri hayatında önemli bir yer tutan metaller, hayatı kolaylaştırmak için sürekli kullanılmaktadır. Tarih boyunca ülkeler, en önemli kuvvetlerini metalleri ve özellikle çeliği işlemekle elde etmişlerdir. Günümüzde de gelişmiş ülkeler ekonomik güçlerini metalleri işlemekle teknolojik birçok kolaylıklar elde etmektedirler.

Metaller içerisinde nikel elementi önemli bir yer tutar. Nikel ve molibden yalnız başına günlük hayatta pek kullanılmaz, ancak bazı özel durumlarda ve laboratuvar çalışmalarında kullanılır. Farklı metal veya ametallerin birbiri içerisine belirli oranlarda karıştırılmasıyla alaşımlar elde edilir. Günlük hayatta en çok tanınan ve bilinen alaşım çeliktir ve demir esaslı bir alaşımdır. Ancak zamanla teknolojinin ilerlemesiyle demir esaslı alaşımlar ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmiş ve daha farklı özelliklerdeki alaşımlara ihtiyaç duyulmuştur. Demir dışındaki diğer metallerin karışımıyla elde edilen bu alaşımlar demir dışı alaşımlar veya süper alaşımlar diye adlandırılmaktadır.

Günlük hayatta birçok kullanım alanı bulabilen süper alaşımlar, farklı sertlik, mukavemet, süneklik, basma-çekme, darbe vb. dayanım özelliklerine göre çeşitlilik kazanmış ve diğer elementlerin katılmasıyla geliştirilmiştir. En yaygın olarak bilinen süper alaşımlardan biri de nikel esaslı süper alaşımlardır. Özellikle nikel-krom (NiCr) süper alaşımlarına farklı metallerin ilave edilmesiyle özellikleri geliştirilmiş ve piyasada kullanım alanları da artırılmıştır.

2. NİKEL ESASLI ALAŞIMLAR

Mevcut ticari nikel esaslı yüzey kaplama alaşımları üç guruba ayrılır; bor içerikli alaşımlar, karbür içerikli alaşımlar ve Laves fazı içerikli alaşımlar (Ocken ve diğ., 1935). Bazı tipik nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının bileşimi Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Bu alaşımların diğer özellikleri de Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Yüksek nikel içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi

Bileşim, % ağırlık.									
Alaşım	Fe	Cr	Mo	W	Si	C	B	Co	Ni
Bor içerikli alaşımlar									
Alaşım 40	1.5	7.5	.....	.....	3.5	0.3	1.5	.....	kalan
ERNiCr-B	3	11	.....	.....	4	0.5	2.5	.....	kalan
ERNiCr-C	4	16	.....	.....	4	0.7	3.5	.....	kalan
Karbür içerikli alaşımlar									
Alaşım N-6	3	29	5.5	2	1.5	1.1	0.6	3	kalan
Alaşım 716	kalan	26	3	3.5	1.5	1.1	0.5	11	23
Levis fazlı alaşımlar									
T-700	.....	16	33	.....	3.5	.....	.....	.....	kalan

2.1. Bor İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar

Bor İçerikli nikel esaslı alaşımlar, önceleri püskürtme ve sinterleme tozları gibi ticari amaçla üretilmiştir. Halen bu alaşımlar birçok yüzey kaplama üreticisi tarafından piyasada farklı ticari isimler altında örtüsüz çubuklar, toz çekirdekli teller, plazma kaynağı ve elle yapılan torc kaynağı tozları gibi değişik formlarda bulundurulurlar. Bu alaşım grubu öncelikle nikel, krom, bor, silisyum ve karbon içerir. Genellikle bor içeriği, % 16 gibi yüksek oranda krom içeriğine bağlı olarak, % 1.5-3.5 oranındadır. Yüksek kromlu alaşımlar büyük oranda bor içerirler ve bunlar yaklaşık olarak 1800 HV sertliğe sahip krom-bor alaşımlarını oluştururlar.

Tablo 2.2. Çeşitli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının Özellikleri

Özellik	RNiCrC	RNiCrB	Hastelloy C (Ni-17Cr-17Mo-0,12C)	Tribaloy T-700
Yoğunluk. g/cm ³	7.8	8	8,6	8.6
Termal yayılma kats., °C ⁻¹	14.3	14.3	13.7	11,9
Sıcak sertlik, DPH				
425 °C	555	.....	190	500
540 °C	440	.....	185	485
650 °C	250	.....	170	400
760 °C	115	.....	145	280
Aşınma				
Yağsız kayma aşınması, mm ³				
670 N	0.15	0.3	0.4	0.1
1330 N	0,3	U	.....	0,3
Abrasiv aşınma. mm ³				
Oksi-gaz	12	18	.....	.....
TIG	11	12	105	.....
Çentiksiz Charpy muk.. J	3	3	39	1,4
65 T'de korozyon direnci -				
%65 nitrik asit	U	U	E	E
%5 sülfürik asit	U	U	E	E
%50 fosforik asit	U	U	E	E
(U, 50 mil/yıl'dan daha fazla			E,2 mil/yıl'dan daha az)	

Bütün yüzey kaplama alaşımları gibi, bor içerikli nikel esaslı alaşımların mikro yapısı da çok karmaşıktır. Bu tip alaşımların yapısının karmaşıklığı ERNiCr-C çift plazma ark kaynak tabakası mikro yapı fotoğrafı Şekil 2.1'de net bir şekilde görülmektedir.

Alaşımlar, demir, krom, bor ve karbon içeriklerine göre değişik özellikler göstermektedir. Demir içeriği büyük oranda üretim sırasında ferro bileşiklerin kullanımına bağlıdır. Nikel ile beraber diğer üç element yapı içerisinde katılaşma esnasında sert fazın durumunu ve cinsini belirler; bor birincil sert fazı (nikel ve krom da burada aktif rol oynar) ve karbon ikincil sert fazı oluşturur. Bor içerikli nikel esaslı alaşımlarda krom içeriğine bağlı olarak oluşan gerçek fazlar Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Malzemede bulunan silisyumun asıl amacı bor ile beraber süneklik özelliği kazandırmaktır. Aynı zamanda bu matris fazının önemli bir elementidir, metaller arası çökeltilerin potansiyel oluşturunusudur ve alaşımların aşınma özelliklerinde güçlü bir etkisi vardır. Bor içeriği silisyumlu bileşiklerin (Ni_3Si) oluşumu için gerekli olan silisyum düzeyini etkiler. Silisyumlu bileşikler en yüksek bor oram ve en düşük silisyum oranında oluşurlar.



Şekil 2.1. ERNiCr-C plazma ark kaynağı ile çift tabaka kaplanmış bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaışımının mikro yapısı

Tablo 2.3. Bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarında oluşan fazlar

		İkincil Fazlar		
Krom içeriği	Bileşik formu	Şartlar		Belirgin sert faz
Düşük (ağ.~% 5)	Ni ₃ S	ağ. Si>	% 3	Ni ₃ B
Orta (ağ.~% 15)	Ni ₃ S	ağ. Si>	%2,5	Ni ₃ B ve krom borür(genellikle
				CrB formunda olup Cr ₂ B ve
				Cr ₂ B ₂ formunda da bulunabilir)
Yüksek (ağ.~% 25)	Ni ₃ S	ağ. Si>	%3	CrB ve Cr ₅ B ₃
Bütün şartlarda	....	....		M ₂₃ C ₆ ve M ₇ C ₁ tipi karbürlerin karışımı

Bor ve karbürün mikro yapı içinde dağılımlarından dolayı bor içerikli nikel esaslı alaşımlar üstün abrasif aşınma direnci göstermektedirler. Düşük gerilmeli aşınma direnci genellikle bor ve karbon içeriği ile artar, bu yüzden sert fazın hacimce miktarı önemlidir. Sürtünme koşullarında performansı kobalt esaslı malzemeler kadar iyi olmasa da, bor içerikli nikel esaslı alaşımlar orta düzeyde aşınma direncine sahiptirler.

Demir dışı malzemelerden olan bor içerikli nikel esaslı alaşımlar en düşük korozyon direncine sahiptirler.

2.2. Karbür İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar

Karbür içerikli nikel esaslı alaşımların kullanımı bir süre sınırlı kalmıştır. Bununla beraber bu alaşımlar kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarına alternatif olmuşlardır. Özellikle nükleer güç endüstrisinde buna ihtiyaç duyulur, çünkü burada kobalt esaslı alaşımlar radyoaktif dönüşüme uğrarlar. En popüler olan ve yaygın bir şekilde kullanılan kobalt içermeyen alaşımlar Ni-Cr-Mo-C ve Ni-Cr-Fe-C alaşımlarıdır.

Genellikle karbür içerikli nikel esaslı alaşımların oksii-asetilen ile kaynak edilebilirliği zayıftır ve ayrıca oksii-asetilen yöntemi yüzey kaplama işlemleri için uygun değildir. Ni-Cr-Mo-Co-Fe-W-C sistemi içerisinde karbür içeren nikel esaslı alaşımlar oksii-asetilen yöntemi ile daha kolay kaynak edilebilir ve kobalt esaslı alaşımlara alternatif olarak düşük maliyeti bir avantajdır. Bu alaşımlar içeriklerine bağlı olarak kobalt esaslı alaşımlara benzer bir şekilde M_7C_3 veya M_6C karbürlerini içerirler.

2.3. Laves Fazı İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar

Ticari olarak sadece bir tane Laves fazı içerikli nikel esaslı alaşım vardır. Bunun da kimyasal bileşimi Ni-33Mo-16Cr-3.5Si şeklindedir. Bu alaşım diğer birçok nikel esaslı alaşım gibi oksii-asetilen kaynak yöntemi ile zor kaynak edilir. Fakat TIG veya PA (Plazma Ark) yöntemleri ile kolaylıkla kaynak edilebilir. Aynı zamanda söz konusu alaşıma plazma püskürtme veya yüksek hızda oksii-gaz termal püskürtme teknikleri de uygulanabilir. Üstün metal-metal aşınma direncine ve orta düzeyde abrasif aşınma direncine sahip olmasına rağmen, darbe direnci zayıftır (Çömez, 2003).

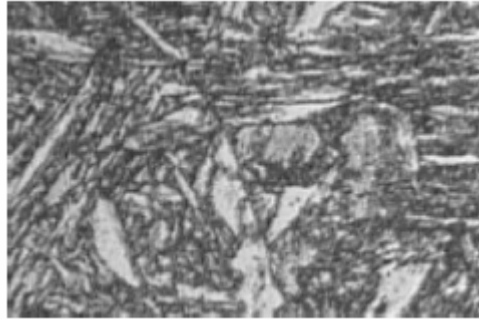
2.4. Nikelin Şekil Hafızalı Alaşımlarda Kullanımı

Şekil hafızalı alaşımların bazılarında iki yönlü şekil hafızayı görmek mümkündür. Bu tip alaşımlarda hem ısıtma hem soğutma durumunda şekil değişimi söz konusudur. Burada şekil değişiminin büyüklüğü daima tek yönlü hafızalı alaşımlardan elde edilene nispeten oldukça azdır.

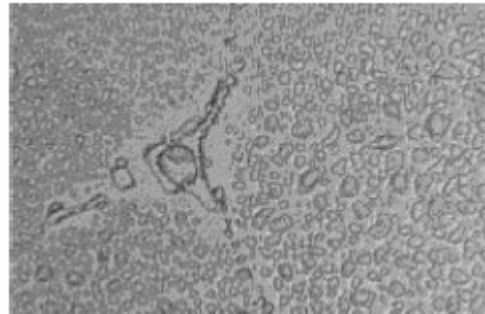
Alaşım çok küçük gerilme kullanarak düşük sıcaklıktaki şekline dönmeye çalışır. Isıtma durumunda şekil değişimi için tek yönlü alaşımlara göre çok yüksek gerilmeler harcanabilir. Öte yandan yapılan ısıl işlemlerin ve uygulanan mekaniksel metotların çoğu iki yönlü şekil hafıza etkisine sahip alaşımlar üretmeye yöneliktir. Amaç tam ve net bir şekil değişimi elde etmeyi sağlayacak olan mikro yapısal gerilmeler üretmektir.

Bunun içinde soğuk halde malzeme şekillendirilerek yapıda düzgün sıralı, yoğun martenzit tabakaları oluşturulmalıdır. şekil 5'de nikel esaslı şekil hafızalı bir alaşımda ısıl işlem uygulanmadan önce ve sonra elektron tarama mikroskopunda 1000X büyütme ile çekilmiş yapılar görülmektedir. Alaşımın kimyasal bileşimi, Ni 65.5%, Cr 9.2%, Co 9.1%, al 5.1%, Ti 4.5%, Mo 2.5%, Fe 0.06%, ve C<0.02% şeklindedir. Bu bileşim, gaz trbınlerinin rotor kanatlarında en çok kullanılan alaşımı oluşturur.

şekil 2.2'de görüldüğü gibi, ısıl işlemden önce iğnemsiz bir yapıya sahip olan alaşım sisteminde, ısıl işlemden sonra küresel tanecikler teşekkül etmiştir. Bu yeni yapı muhtemelen işlem koşulları ile birlikte düşük soğutma hızının bir sonucudur. (Akdoğan vd., 2003).



a)



b)

şekil 2.2. Nikel esaslı bir alaşımda ısıl işlem öncesi (a) ve sonrası (b) yapı görünümü

Günümüzde şekil hafızalı alaşım kullanılarak üretilmiş birçok ürün olmasına rağmen bu alaşımların gelecekte hayatımızda ne derece yer alacağını önceden söylemek bazı nedenlerden dolayı biraz zordur. Çünkü bu tip alaşımların fiyatı şu anda oldukça yüksek değerlerdedir. Ama kullanım alanlarının artmasıyla maliyetleri de gittikçe azalmaktadır (Akdoğan vd., 2003).

2.5. Alaşım Elementlerinin Etkisi

Demir olmayan metaller ve alaşımları, özel yerlerde kullanılabilir: Örneğin, nikel esaslı sıcak kesme bıçağı ve enjeksiyon döküm kalıbı vb. Nikel, sertleşme derinliğini iyileştirir ve taneyi inceltir. Nikel ilavesi, darbe ve çarpma zorlamalarıyla çalışan takımlarda sünekliği arttırması bakımından, özel önem taşır. Molibden, meneviş kırılmalığına engel olur ve kuvvetli karbür yapıcı olarak sertliği, aşınma direncini ve meneviş dayanımını arttırır. Krom, kritik soğuma hızını düşürür ve böylece sertleşebilirliği arttırır. Özel karbürler teşekkül ettirdiğinden, aşınma direncini, soğuğa dayanıklılığı arttırır. Takım çeliklerinde, en önemli alaşım elementlerinden biridir.

2.6. Nikel Esaslı Rene 80 Süper Alaşımının Özelliklerinin Geçici Sıvı Faz Difüzyon

Kaynağının Mikro yapıya Etkisi

Sıcak gazların geçtiği parçalarda, gaz türbinlerinde genellikle nikel esaslı süper alaşımlar kullanılmaktadır. Bu alaşımlar ağır çalışma şartlarında yüksek mukavemete maruz kaldıkları için yüksek sıcaklıkta sürünmesi, gerilimi, sünekliği ve oksidasyon direnci yüksek olmalıdır. Yapılan bazı çalışmalarda sadece nikel esaslı süper alaşımlar ergitme kaynağında yüksek sıcaklık çatlamlarına duyarlı oldukları tespit edilmiştir (Thambury, and Thompson, 1983). Bunun yanı sıra kaynak yapılırken ana alaşımın mikro yapısında yırtılmanın görülmesi bu alaşımın özelliklerine zarar vermektedir (Shoemaker, 1999).

Geçici Sıvı Faza (GSF) sahip olan alaşımların kaynağı için difüzyon kaynağı önerilmektedir. Difüzyon lehimleme denilen bu metotta ara tabaka, ana alaşım arasında sabit sıcaklıkta reaksiyon kontrollü bir şekilde meydana gelir (Gale, 1996, Ekrami, 2003). Bu metot bazı metaller ile seramik sistemler için başarılı bir şekilde uygulanır (Paulasto, 1997). Metalik bağın uygun olması için izotermal katılaşmanın olması gereklidir, uygun birleşmede birleşmiş bölge ve ana alaşım arasında düzenli değişim olmaktadır. Rene 80 Nikel esaslı süper alaşımının ve Nikel esaslı ara tabaka elemanın kimyasal bileşimleri Tablo 2.4'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Rene 80 nikel esaslı süper alaşımlarının kimyasal bileşenleri.

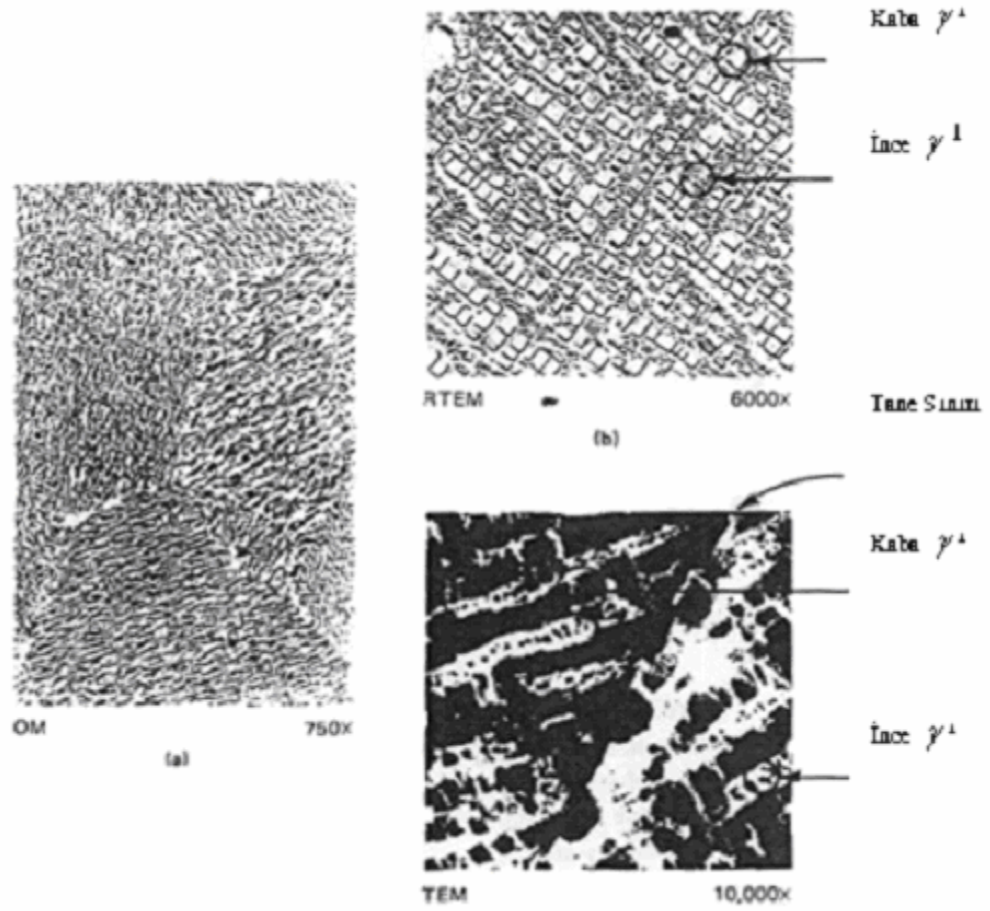
Ni	Cr	Co	Ti	W	Mo	Al	C	Fe	B	Si
Rene 80 Balance	14	1,9	5	4	4	3	0,15	–	–	–
Interlayer Balance 7	7	–	–	–	–	–	0,06	3	3,5	4,5

2.7. Kompleks Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

Jet uçakları motoru ve gaz tribünleri gibi yüksek sıcaklık sistemlerinde malzemelerin korozyon ve oksidasyona karşı direnci ve sertliği kritik uygulamalar için önemlidir. Bu uygulamalar için kullanılan alaşımlar demir, nikel ve kobalt esaslı olup süper alaşım olarak adlandırılırlar. Nikel esaslı alaşım en geniş kapsamlı kullanıma sahip olan bir alaşımdır. Bu alaşımların uygulamalarında krom elementinin varlığı önemlidir ve özellikle oksidasyona karşı direnci ve sürünme (creep) direnci de yüksek sıcaklığa dayanımında etkilidir.

Bu alaşımların çoğu $Ni_3(Al,Ti)$ formülüne bağlı olarak düzenlenmiş bileşiğin çökmesi oksidasyon ve sıcak korozyon dirençleri için kroma, mukavemetleri için alüminyuma ve titanyuma bağlıdır. γ ile belirtilen yüzey merkezli kübik matristen ayırt edilsin diye bu faza γ' denir. Süper alaşımların mekanik özelliklerinin γ miktarının morfolojisi ve elastik gerilimi çökmeye başladığında üzerindeki faktörlere bağlıdır, çünkü γ matrisi arasında ve kafesi birbirine uygun değildir ve diğer faktörler bu bölümde incelenecektir. γ' çökmesi genellikle tamamen incedir, tamamen açığa çıkması için elektron mikroskobu gereklidir.

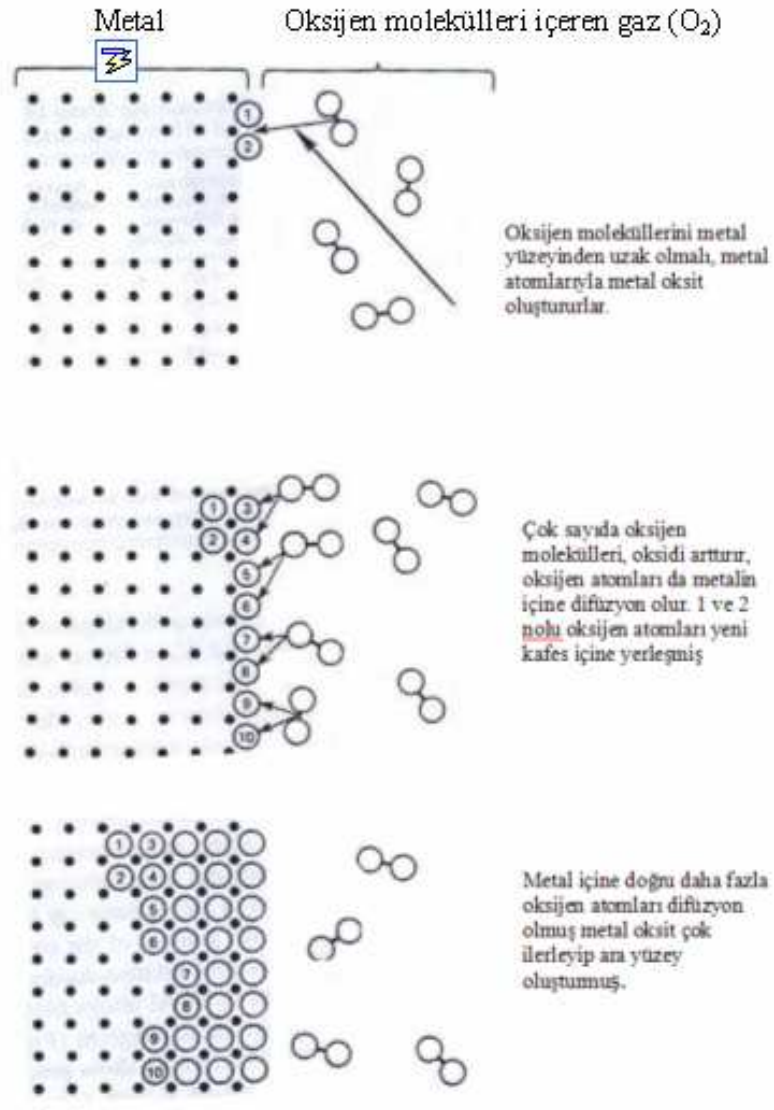
Özel bir süper alaşım için bu Şekil 3'te açıklanmış ve optik mikroskopta bir numune olarak gösterilmiştir (a). Daha yüksek çözünürlük ve büyütmeyle elde edilen numunenin 2 hacimli γ' küplerden oluştuğu ve bunlar diğerine göre daha küçük olduğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 2.3 (c)'de hazırlanan çok ince bir numunenin elektron mikroskobundan direk geçişi görünmektedir. Burada γ' çökelmeleri direk olarak Şekil 2.3 (a), (b)'de parlak ve dağınık yüzeyin yüzeyel topolojisi gözlenmektedir (Sims, 1966)



Şekil 2.3. Nimomik 115'in tianaliz mikroskobik yapısı; 1,5 saatte 1190°C ye kadar ısıtılmış, 1100°C ye hava da soğutulmuş, ve sıcaklığı 6 saatte 25°C'ye inmiş bu alaşımın içeriği (15Cr-5Al-4Ti-15Co-4Mo-0,18B-0,16C)'dir.

2.8. Nikel-Krom Alaşımlarının Oksidasyon Direnci

Metal yüzeyinde oksijen molekülleri ile metal atomlarının teması sonucu gazlı oksit oluşur. Bununla beraber oksidasyon CO₂ ve su buharı gibi diğer gazlardan da meydana gelmektedir. Bu reaksiyon yüzeyde oksit tabakası şeklinde olup ve daha fazla oksidasyon için daha fazla oksijen molekülleri gereklidir. Yüzeyde oksijen moleküllerinin çözünmesinden dolayı oksit tabaka içerisindeki difüzyon ile oksit-metal ara yüzey tabakası veya metal atomlarının oksit tabaka içerisindeki difüzyonu ile oksit-gaz ara yüzey tabakası oluşmaktadır (Şekil 2.4). Her iki durumda da oksijen oranının zamanla azalacağı kabul edilmektedir.



Şekil. 2.4. Bir metalin oksitlenmesinin şematik açıklanması

Bu ilişki formülde gösterilmiştir.

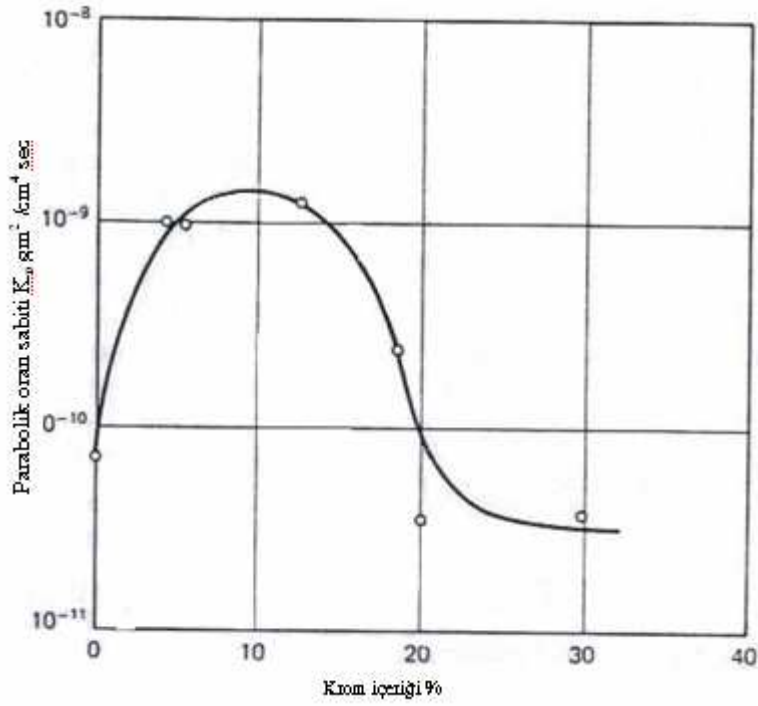
$$dm / dt = k^{+n}$$

Burada m oksit kütlesi, t zaman, k sıcaklığa bağlı olan bir sabit ve n, 1'den küçük pozitif sayıdır ve burada n değeri en fazla ½ oranında bulunur.

Toplam ağırlık Δm üstteki denklem ile elde edilir;

$$(\Delta m)^2 = k_p t$$

Bu denklem parabolik oran kanunudur, burada k_p ise parabolik oran sabitidir. Oksidasyon oranı k_p değeri ile tanımlanabilir.



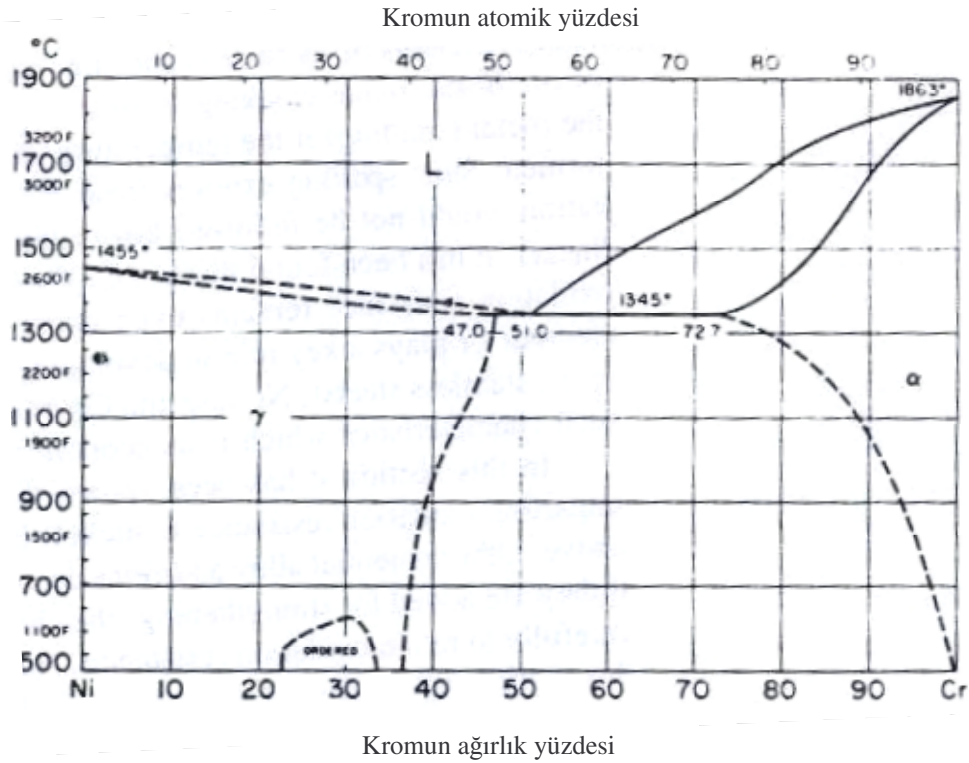
Şekil 2.5. Ni-Cr alaşımlarının oksidasyonu için parabolik oran sabiti. Numuneler 1100°C de 1 atm oksijen atmosferinde 70 saat üzerinde okside edilmiştir. Δm^2 nin t ye karşı grafiği bize K_p sabitini verir.

Normal şartlar altında oksidasyon için nikel elementine krom eklenmesinin etkisini göstermektedir Şekil 2.5. Oksidasyon oranı, krom oranının azalmasıyla düşmektedir. Krom miktarı % 20 ve üstüne çıktığı zaman oksidasyon oranı artar ve Cr_2O_3 oksit yoğunluğu da artmaktadır. Burada oksijenin düşük difüzyon oranı ve bu oksitlerin yapışkanlığı önemlidir. % 20-30'luk kromda saf metal için oksidasyon oranı yaklaşık 0,5'dir (Decker, 1969). Ancak oksit çok yoğun, yapışık ve difüzyon oranı oksijenin içerisinde oldukça düşüktür ve ilk olarak ince bir tabaka şeklinde metal üzerinde bulunmaktadır. Krom ve nikel gibi elementler kolayca oksitlenmezler ve Ni-Cr alaşımları aynı davranışa sahiptirler.

Oksit film koruyucu tabakası sıcak dönüşüme bağlı olmaktadır. Metal ve oksit termal genleşmede farklı katsayılara sahip oldukları için termal gerilmeden kırılğan oksit çatlama oluşmaktadır. Eğer sıcaklık değişirse oksit metal pul şeklinde dökülür. Böylece bu tabaka dökülmeye maruz kaldığından yeni oksitler meydana gelir ve parabolik oksidasyon takip edilmeyecektir. Bunun yerine daha yüksek bir oranda doğrusal bir oksidasyon meydana gelecektir. Cr_2O_3 'ün çok yüksek derece de yapışık olduğu için oksidasyon direnci kalıntıları düzgün dairesel haldedir. Bu yüzden krom elementinin oksitlenmeye karşı gösterdiği rol demir esaslı olan paslanmaz çelikler, nikel ve kobalt esaslı alaşımların başka elementler ile yapmış olduğu alaşımlar bu özelliğinden dolayı eritilmeden kullanılırlar.

%20 krom elementi içeren alaşımların oksidasyon direncinin nikel ile birlikte etkisinin açıklanması gerekir. Alaşımların mukavemetini arttırmak için eklenen krom element miktarının dikkatle ayarlanmış olması gerekir (Sabot vd., 1969).

Ni-Cr alaşımlarının tek fazlı yapısı dikkate alınırsa (% 35'e kadar Cr) ki, ticari süper alaşımlar çok fazlı yapıdadırlar ve böylece daha fazla kompleks yapı bu alaşımların oksidasyonu incelenmiş olur. Şekil 2.6.



Şekil 2.6. Ni-Cr faz diyagramı

2.7.1. Korozyonun Genel Tanımı

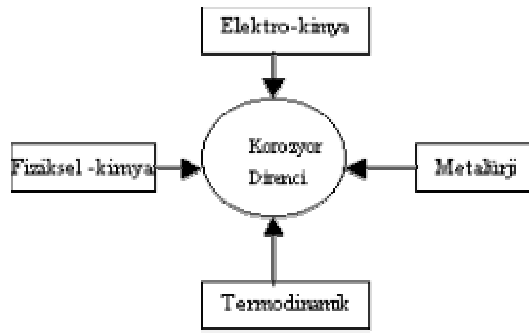
Bir maddenin çevresindeki etkenler ile tepkimeye girerek tahrip olması ya da yapısının kötüleşmesi genel bir korozyon tanımıdır. Teknik açıdan korozyon, metalleri tuz ve oksitlere ayıştıran karmaşık elektrokimyasal olay olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımlamaya göre korozyon, metal veya alaşımların içinde bulundukları ortam ile elektro-kimyasal reaksiyona girmeleri ve bundan dolayı ya tamamen yok olmaları ya da fiziksel özelliklerinde kötü yönde değişiklikler olması şeklinde tanımlanmaktadır (Boyer vd., 1991, Doruk, 1982).

Bu tanımlamalara göre korozyon, katı bir maddenin yüzeyinde bulunan atomların bir cisimle teması sonucu meydana gelen kimyasal ya da elektro-kimyasal olaylar zinciridir

denilebilir. Korozyon ortam genellikle sıvıdır, bunun yanında ortam gaz ya da katı da olabilmektedir (Fontana, 1986).

2.7.2. Korozyon Etkenleri

Korozyon olayı dinamik bir döngü süreci olup her an her ortamda metal olan ya da olmayan malzemeler korozyon bir etkiye maruz kalabilirler. Korozyon etkenleri, elektrokimyasal, fiziksel ve çevresel olarak üç ana grup altında toplanabilir (AY, 1988). Bir metalin korozyon direncini etkileyen unsurlar da Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmektedir (Fontana, 1986).



Şekil 2.7. Bir metalin korozyon direncini etkileyen faktörler.

2.7.3. Elektrokimyasal Etkenler

Korozyonun büyük kısmını elektrokimyasal tepkimelerin sonucunda oluşan ürünlerin oluşturduğu bilinmektedir. Korozyon etkeni madde ile korozyona uğraması olası malzeme kimyasal tepkimeye girip sonuçta korozyonu meydana getirir ya da korozyon ortamını hazırlar. Bir metalin üzerinde korozyonun oluşması için ortamda elektrik potansiyel farkı ve elektrolit bulunmalıdır (AY, 1988).

2.7.4. Fiziksel Etkenler

Yüksek basınç ve sıcaklık maddelerin korozyona uğraması için daha elverişli bir ortam sağlar. Yüksek basınç ve sıcaklık gaz türbinli motorlarda türbin bölümünde en yüksek değere çıkar. Bu bölümde türbin kanatları yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı ve korozyon etkenlerinden en az etkilenecek şekilde titanyum malzemesi de kullanılabilir. Bir metal parça üzerine dayanımından daha fazla miktarda yük etki ediyorsa veya çok yönlü kuvvetlerin etkisi altında kalıyorsa korozyona uğraması daha kolaydır. Sürtünme ile malzemelerin koruyucu yüzeyleri

tahrip olduğunda korozyona maruz kalabilirler ve ayrıca gün içinde aşırı derecede sıcaklık farklarının olduğu bir ortam korozyon için uygun bir ortamdır.

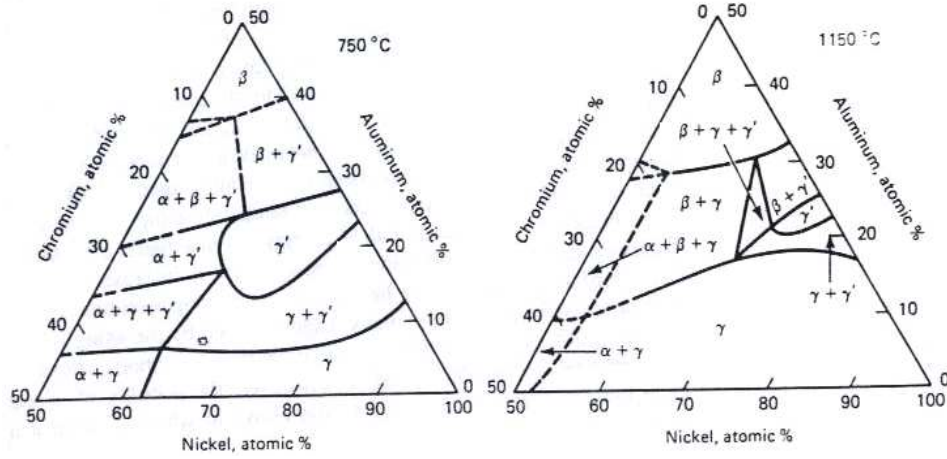
2.7.5. Çevresel Etkenler

Korozyona sebep olma açısından coğrafik konuma göre iklim şartları da önemli bir rol oynamaktadır. Sıcaklık-nem etkisi özellikle troanalizal deniz ikliminin görüldüğü bölgelerde korozyon etkisi önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca endüstriyel bölgelerin atmosferinde yoğun olarak bulunan kükürt dioksit (SO_2) ve hidroklorik asit (HCl) gibi korozyon özellikteki bileşikler malzemeye nüfuz ederek korozyona uğratarak büyük hasarlara açmaktadırlar (Pollock, 1985).

2.8. Nikel–Krom–Alüminyum Alaşımları

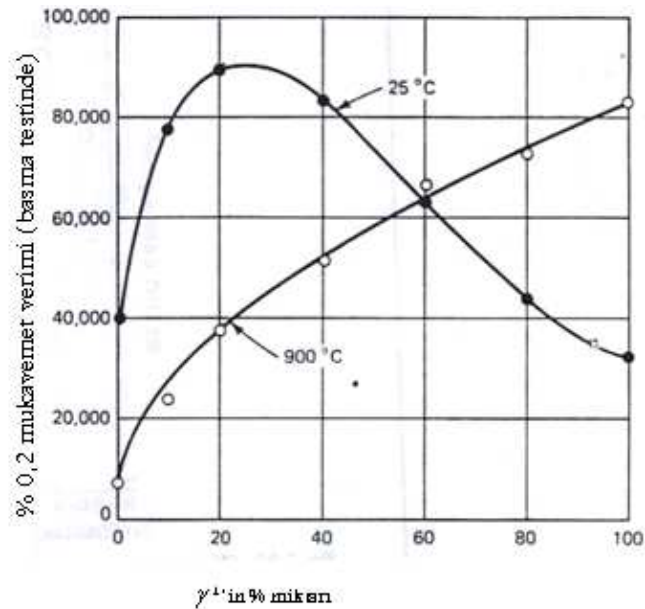
Cr ve Al her ikisi de nikel içerisinde önemli derecede çözünürler. Ancak bu sistemde çeşitli ara metal bileşikler biçimindeki Al–Cr faz diyagramı gösterilmiş, Cr ve Al her iki elementin nikel üzerinde γ' 'nin oluşumuna etkisi çok zor olabilir. Üç yüzlü faz diyagramı Şekil 9'da gösterildiği gibi Cr ve Al her ikisi de nikel karışımı içerisinde oldukça iyi çözünürler ve γ' fazı (Ni_3Al) %20'ye kadar Cr ve $750^\circ C$ 'de çözünür. Şekil 8'de %75 nikel izopleti ve $750^\circ C$ ve $1150^\circ C$ 'lik kısımları da açıklanmıştır. $900^\circ C$ sıcaklık için çeşitli alaşımlar 16 saat dengeye ulaşıncaya kadar ve $25^\circ C$ 'ye soğutuluncaya kadar durumları noktalar ile gösterilmiştir. γ' 'nin çökmesi soğumayla önlenemez ve bu $900^\circ C$ 'de γ fazında mevcuttur ve ince bir boyuna çökme ($75 \text{ \AA}$) ile az da olsa $900^\circ C$ 'de γ' şekillenmektedir.

Bu ince γ' miktarı yaklaşık olarak %3 oranındadır. γ' miktarının 25 ve $900^\circ C$ deki gerilime etkisi Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu alaşımda ki bütün γ' lar $900^\circ C$ 'de ve bu yüzden γ ile %3 γ' miktarı $25^\circ C$ de %7 Al -%18 Cr bileşime sahiptir ve gerilim miktarı da 40.000 psi'dir. Şekil 2.8'de gösterildiği gibi %13 Al miktarına sahip ikili alaşım $700^\circ C$ 'de 2 hafta yaşlandırılmış bir partikül boyutu yaklaşık 400 $\text{\AA}$ sahiptir ve gerilimi 40,000 psi'dir. Faz diyagramından γ' 'in denge miktarı hesaplanmış ve yaklaşık %13 olarak bulunmuştur. Fakat üçlü alaşımda γ' incelediğinde ikili alaşım ve üçlü alaşım aynı oranda gerilime sahiptirler. Bu nedenle Ni-Al içerisinde Cr'nin bulunması yüksek mukavemet kabiliyetini ve oksidasyon direncini arttırmaktadır.



Şekil 2.8. Ni-Cr-Al faz diyagramından 750 ve 1150⁰ C'de izotermal bölgeler

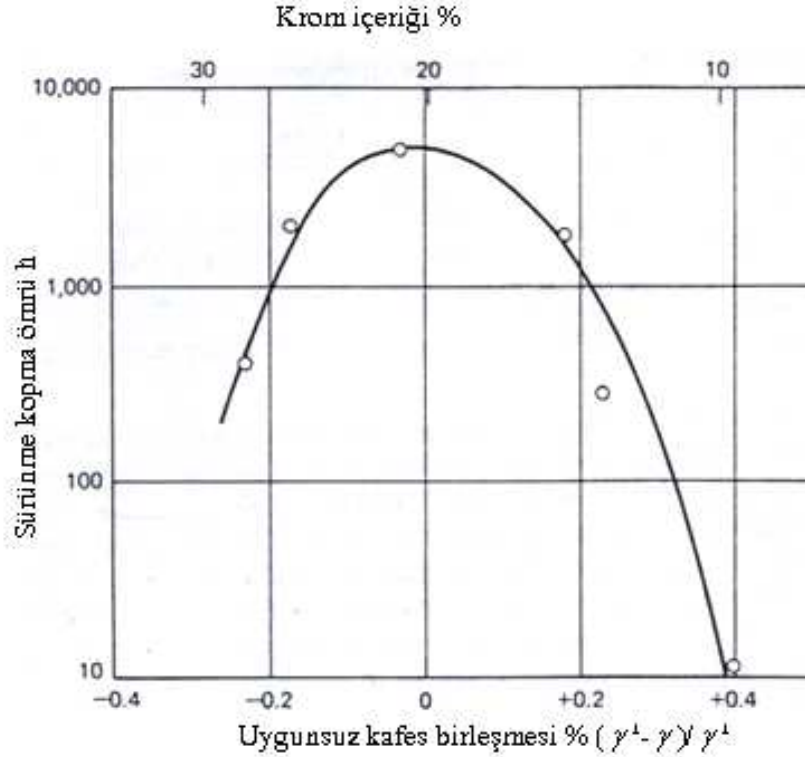
Üçlü alaşım mükemmel yüksek sıcaklık mukavemeti ile γ' 'nin bulunması birleşimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bundan başka 900°C'de Ni-Al ikili alaşımlarda γ' ile Cr takviyeli γ' karşılaştırıldığında Cr takviyeli oldukça iyidir. Üçlü alaşım da γ' 'nin 900°C'de 80,000 psi bütün yapılarının gerilimi oldukça verimli olmasına rağmen ikili alaşımda Ni_3Al (γ') 900°C'deki gerilim miktarı 50,000 psi'dir. Ancak γ' fazı genelde kırılgandır, bu yüzden gerilim için bu faz kullanılmalı bu yüzden alaşımlardaki iki fazı genellikle $\gamma - \gamma'$ sıralamak daha faydalı olmaktadır. Böylece Ni-Cr-Al alaşımlarının yüksek ve düşük sıcaklık gerilimini kısa zamanda mükemmel bir şekilde görülebilir.



Şekil 2.9. % 75 oranında Ni içerikli Ni-Cr-Al alaşımlarında γ' miktarının basma testinde mukavemet ölçümü

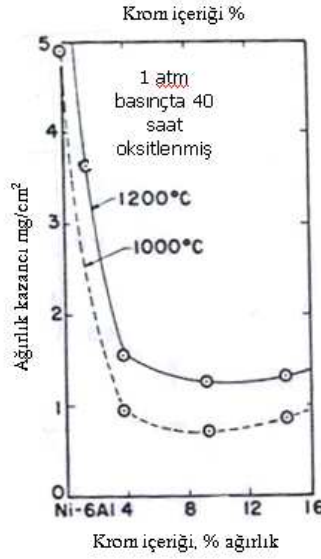
Üçlü alaşımların bu gerilimlerinin artması, γ' 'nin ve γ matrisinin Ni-Al alaşımlarının içerisinde katı çözünmesiyle mukavemetlerinin aşırı derecede artmasıdır. Ancak üzerinde durulması daha önemli bir tasarım, süper alaşımların kriterlerini geliştirmede γ' miktarının kontrolüdür ve mukavemeti arttırmada daha önemli bir değişkendir (Şekil 2.9). Yüksek sıcaklık özelliklerin devam ettirilmesiyle sıcaklık zamanında mikroskobik yapının kararlılığı daha iyi olmaktadır. Özellikle γ' 'nin gelişmesini yavaşlatmak kabiliyeti sürünme durumundan önemlidir.

Alaşım elementlerinin uygun olanı seçildiği zaman içerisindeki difüzyon oranı da azaltılmış olur. Aynı zamanda γ' - γ ara yüzeyi daha kararlı ve uygun olmayan bir zorlanma meydana gelmektedir. Ayrıca Ni-Cr-Al alaşımlarına, eklenen alaşım elemanları için uygun oluncaya kadar kontrol edilebilir ve bu durum da Şekil 2.10'da görülmektedir. Buradaki zorlanma durumuna dikkat etmek gerekir ve uygun olmayan daha büyük zorlanmalar için sertleşme etkisi meydana gelir. Bu yüzden daha düşük sıcaklık gerilimi ve daha kısa zaman yüksek sıcaklık gerilimi oluşmaktadır. Fakat uygun olmayan zorlanmalar için daha iyi sürünme özellikleri edinilmelidir (VerSnyder vd, 1970).



Şekil 2.10. Ni-Cr-Al Alaşımları için γ' - γ arasındaki uygunsuz kafes birleşmesinin 200 psi ve 700°C'deki etkisi

Statik oksidasyon direncini arttırmak için Ni-Al alaşımlarına Cr eklemek son derece önemlidir. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11. Sabit % 6 Al içerikli Ni-Cr-Al alaşımlarında Cr içeriğinin oksidasyona etkisi

2.9. Süper Alaşımların Diş Protezindeki Yeri

2.9.1. Diş Porselen ve Altlıklarının Genel Özellikleri

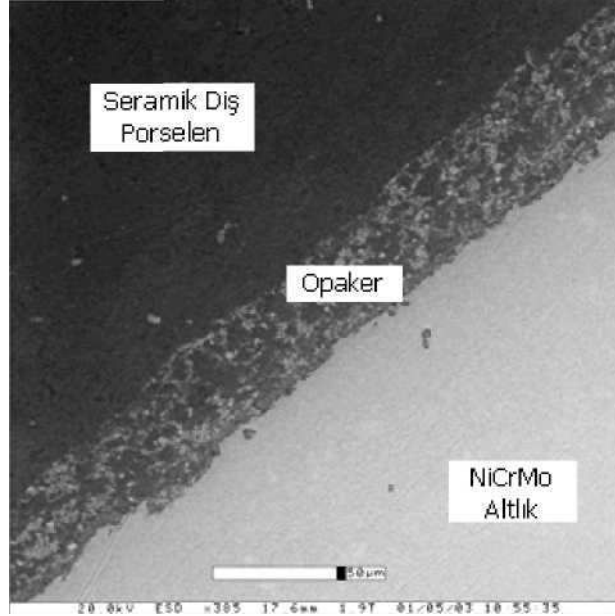
Porselen dişler, biyolojik olarak uyumlu ve estetik özellikleri doğal dişlere yakın olduğundan tercih edilmektedir. Aşınmaya karşı dirençlidirler. Ağız ortamından etkilenmezler, alerjen değildirler ve yumuşak dokulara uyumludurlar (William, 2002) Şekil 2.12'de sırlama yöntemiyle NiCrMo altlık üzerine üretilen seramik diş porselen kaplamanın SEM mikro yapısı görülmektedir. Seramik diş porselen ile NiCrMo altlık arasında bağlayıcı olarak opaker kullanılmıştır (Erdoğan, 1982)

2.9.2. Metalik Altlıklar

Diş hekimliğinde metaller önemli bir yer tutmaktadır. Metal üzerinde pişirilen porselenin yüksek sıcaklıkta erimesi, kullanılacak alaşımların yüksek ısıya dayanıklı soy metal alaşımları olmasını gerektirmektedir.

Porselene destek olarak kullanılan metallerin başında altın alaşımları gelmektedir. Ancak bu tür alaşımların pahalı olması, daha ucuz ve aynı fiziksel özelliklere sahip alaşımların araştırılmasına yol açmıştır. Diş hekimliğinde metal porselen çalışmaları için kullanılan alaşımlar üç grupta toplanabilir:

- Kıymetli (soy) metal alaşımları.
- Yarı kıymetli (yan soy) metal alaşımları
- Kıymetsiz metal alaşımları



Şekil 2.12. Sırlama yöntemiyle NiCrMo altık üzerine üretilen seramik diş porselen kaplamanın SEM mikroyapısı. (Çelik, 2001)

2.9.3. Kıymetli Metal Alaşımları

Pahalı olmalarına rağmen en iyi destek fonksiyonunu bu alaşımlar sağlar. Bu alaşımların esas metali altındır. Porselen elastisitesi az olduğundan, alaşımlarda dayanıklılık aranmakta ve bu özelliği kazandırmak için, platin ve paladyum ilave edilmektedir. Platin, paladyum ve iridyum metalleri tane büyümesini azaltırlar, çiğneme basınçlarına karşı direnci artırır ve ergime ısısını yükseltirler. Bakır, porselenin optik özelliğini bozduğu ve rengini değiştirdiği için kullanılmaz. Demir, kalay, indiyum gibi düşük oranlarda katılan metaller alaşımların mekanik direncini artırırken, oksitleri metal-porselen bağımlı güçlendirirler. (Caniklioğlu, 1980)

2.9.4. Yarı Kıymetli Metal Alaşımları

Bu alaşımların esasını gümüş ve paladyum oluşturur. Bileşimlerinde çok az altın olduğundan renkleri beyazdır. Alaşımların döküm sıcaklığının yüksek oluşu, akıcılığının az ve aşınmaya karşı dirençsiz olmaları bakımından kullanımları sınırlıdır.

2.9.5. Kıymetsiz Metal Alaşımları

Bunlar genellikle Krom-Nikel esaslı paslanmaz metal alaşımlardır. Bu alaşımlar soy metal alaşımlarından daha mukavemetli ve şekil değişimlerine karşı dirençlidir. Ancak, altın-platin alaşımları porselene bağlanma ve saydamlık yönünden çok daha üstündürler. Krom-kobalt-nikel içeren "Wiron" tipi özel alaşımlarının döküm sırasında iyi bir akışkanlığa sahiptir. Krom-nikelli kıymetsiz alaşımlar Berilyum gibi sağlığa zararlı bileşen içerdiği için ve bazı kimselerde Nikel alerjisi meydana getirmektedir. Toplumun %2'sinde rastlanan Nikel alerjisi bu tür alaşımların kullanımında bir sorun haline gelmektedir.

Krom-nikelli kıymetsiz alaşımların porselen ile bağlanmaları altın alaşımlarına oranla daha zayıftır. Çünkü Altın alaşımlarında bağlanmayı sağlayan Kalay ve indiyum gibi metaller bu alaşımlarda bulunmamaktadır. Fiziksel özellikleri altın alaşımlarından daha iyidir. Özgül ağırlıkları daha az, ısıl iletkenlikleri sekiz katı kadar daha zayıftır. Bükülmeye karşı dirençleri ise, altın alaşımlarından en az dokuz kat fazladır (DEÜ, 2004).

3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALAŞIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

3.1. Çelik

Çelikler sahip oldukları özellikleri sayesinde kullanım alanları çok geniştir. Başka bir ifade ile genel olarak, herhangi bir kullanım alanı için çelik cinsi ve kalitesi belirlidir. Beton çeliği, sementasyon çeliği, otomat çeliği gibi. Yine aynı anlamda özellikli bir çelik grubu olarak anılan özel ve süper alaşımlı çelikler ise yüksek alaşım elementlerini bulunduran çelikleri ifade ederler.

Çeliklerin öne çıkan özellikleri, içerdikleri alaşım elementleri ve geçirdikleri işlemlerle ilgilidir. Özel ve süper alaşımlı çelikler, özel kullanım alanlarında istenilen üstün özelliklerin sağlanması amacıyla özel olarak alaşımlandırılmış çeliklerdir. Örneğin, maraging çelikleri, paslanmaz çelikler, hadfield çelikleri gibi. Özel olarak alaşımlandırılmış bu çelikler; istenen potansiyel özellikleri sağlayacak metalürjik yapıları kazandıracak ısıt işlemler yapılarak kullanılırlar. Özel ve süper alaşımlı çeliklerde istenen özel metalürjik yapıların elde edilmesine yönelik olarak bileşim dizaynı yapılır. Bulundurdıkları alaşım elementlerine bağlı olarak da ısıt işlemleri, geleneksel ısıt işlemlerden farklıdır.

3.2. Özel ve Süper Alaşımlar

Bu malzemeler içerdikleri ana bileşene göre sınıflandırılmaktadır. Bu ana bileşenler kobalt, nikel veya demirdir. Diğer alaşım elementleri refrakter metaller (Nb, Mo, W, Ta), krom ve titanyumdur. Süper alaşımların çoğu uçak türbin bileşenlerinde, nükleer reaktörlerde ve petrokimya tesislerinde kullanılmaktadır. Çelikler, kimyasal bileşimlerine göre, alaşımsız (sade karbonlu) çelikler ve alaşımlı çelikler diye iki grup altında değerlendirilir(Şeşen M.).

3.3. Krom

Krom, beyaz, sert ve iyi parlatılabilme niteliklerinde olan parlak bir metaldir. Kimyasal simgesi Cr olan krom ismini, Yunanca renk anlamına gelen khroma sözcüğünden alır. Atom ağırlığı 51,9961 gr, atom numarası 24 olup 1857°C de ergir. Krom, aralarında mangan, demir, kobalt ve nikelin de bulunduğu, birinci geçiş elementlerinden biridir. Bu grup içerisinde yukarıda sayılan metaller ile birlikte dokuz adet element bulunur ve bu metallerin ortak özelliklerinden biri, yüksek ergime dereceleridir. Krom atomları metal içinde, hacim merkezli kübik kristal sistemde düzenlenmiştir. Diğer bir deyişle, küpün merkezinde bulunan bir atom, her biri küpün bir köşesinde bulunan sekiz atom tarafından sarılmıştır. Öteki geçiş elementleri gibi, bu kristal yapısındaki krom da serttir. Zümrüdün yeşil rengi, yakutun kırmızısı, içlerinde

bulunan az miktardaki krom sayesinde oluşur. Bu nedenle krom bileşikleri, bazı kıymetli taşların renklerinin oluşmasında etkin rol oynamaktadır.

Krom, endüstrinin birçok alanında kullanılmasının yanında, çelik katkı elemanı olarak da önemli bir yer tutmakta ve çeliğe bazı özellikler kazandırmaktadır. Çeliğin içyapısındaki karbon ile birleşerek, çok sert olan krom karbürü meydana getirir ve dönüşmeyi yavaşlatır. Bu yönüyle, çeliğin çekirdeğe kadar sertleşmesine imkân tanır. Krom çeliklere ince bir doku kazandırarak sertlik ve dayanımı artırır. Üstün aşınma ve kesme özelliği kazandırır. Çeliklerin manyetik özelliklerini yükseltir Dövme ve ısıt işlemlere karşı çeliklerin hassas olmasını sağlar.

Krom, metalürji sanayinde çelik malzemelerin sertlik, kırılma ve darbe dayanımlarını, korozyon, oksidasyon ve aşınmaya karşı olan direncini artırmak için kullanılır. Kromun ana kullanım alanı çeşitli alaşımlı çelik üretimidir.

Bunun yanında, krom, dökme demir ve demir dışı alaşımlarda da kullanılmaktadır. Bu ürünlerde kromun görevi, mekanik özellikleri artırmak ya da elektriksel ve aşınmaya karşı direnç gibi, kendine has özellikler kazandırmaktadır. Krom metalürji sanayinde, ferrokrom, ferrosiliko krom, briketlenmiş krom, ekzotermik krom ve diğer kromlu alaşımlar şeklinde kullanılır. Küçük miktarlardaki krom, sert karpitlerin oluşumunu dengeler ve çeliklerin ısıt işlem hassasiyetini geliştirir. Alaşımlara krom katkısı ile tane oluşumu artmaktadır. Büyük miktarlarda krom ilavesi ısı ve korozyon direncini geliştirir.

3.3.1. Krom İhtiva Eden Çeliklerin Kullanıldığı Alaşımlar.

Krom ihtiva eden çeliklerin kullanıldığı alaşımlar aşağıda verildiği gibidir.

- Paslanmaz çelikler,
- Yüksek alaşımlı çelikler,
- Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler,
- Takım çelikleri,
- Dökme demirler,
- Süper alaşımlar,
- Kaynakla birleştirme işlerinde kullanılan çubuklar,
- Sert yüzeyli alaşımlı çubuklar ve malzemeler ile diğer alaşımlarda alaşım elemanı.

Krom alaşımlarının tamamının ana katkısı çeliktir. Yani krom genel anlamda çelik ile alaşım yapar. Çelik dışında alaşım elementi olarak diğer metallere başvurulduğunda, alaşımın kullanım sahaları genişler. Alaşımın işlenebilirliğini artırmak için kromlu çeliklere nikel ilave edilir. Bu tür alaşımlara krom olarak adlandırılan çelik lavabolar örnek olarak verilebilir. Özellikle mutfaklarda kullanılan lavaboların yapıldığı levhaların içyapısında, %18 krom, %8 nikel vardır. Bu yüzdelerin dışında kalan miktar çeliğe aittir ve 18-8 paslanmaz çelik olarak piyasada tanınır. Kroma nikel katılması, alaşımın yüksek sıcaklıklardaki korozyona karşı dayanımını önemli ölçüde artırır. Yaklaşık 750°C'de çalışan elektrikli ısıtıcı telleri, %20 krom ile %80 nikel katılarak oluşturulmuş alaşımlardır. Nimonik olarak adlandırılan ve gaz türbini gibi çok yüksek sıcaklıklarda çalışan parçaların yapımı için geliştirilen alaşımlar da vardır. Bunlar, yukarıda direnç telleri için verilen alaşım içerisine alüminyum, titan ve molibden katılarak oluşturulur. Diğer bir alaşım, çeliğe ısıl işlemde kolaylık sağlanması amacıyla katılan düşük miktardaki krom ile sağlanır. Yaklaşık % 5'ten az orandaki kromun katılmasıyla elde edilen çelik, daha kalın kesitlerde gerçekleşen su ile sertleştirme ve tavlama işlemlerine yatkın hale gelir.

Bu tür çeliklere vanadyum, nikel ya da mangan katıldığı takdirde ise yay ve bilyeli yatakların yapımında kullanılan alaşımlar elde edilir. Yükseltgenmeye dayanıklı çelikler içerisinde %5 oranında krom bulundurulur ve kazan ile boruların yapımında kullanılır. Özellikle atmosferik ortamlarda meydana gelen korozyon ve yükseltgenme etkilerine karşı çok dayanıklı olan paslanmaz çelikler %10 ile %20 arasında krom içerirler.

Kromlu paslanmaz çeliklerin ısıl işlemlere uygunluğu içyapılarındaki karbon oranı ile bağlantılıdır. Karbon oranı %0,2'den az olan çeliklere, krom oranı yüksek olsa bile, ısıl işlem yapılmaz. Ancak bu tüm çelikler, nitrik asit ile temas olan yerlerde kullanılabilir. Sofra eşyaları olarak tanımlanan çatal kaşık gibi malzemelerin yapımında kullanılan paslanmaz çeliklerin içerisinde %13 krom ve % 0,3 karbon bulunur. Krom ve çelik alaşımlarından iç yapısında %1-2 arasında karbon bulunan türler, sertlik ve dayanım istenilen yerlerde kullanım alanı bulurlar. Krom oranı daha da artırılarak % 30 dolaylarına kadar çıkarılırsa, alaşım, ısı değiştiricilerde ve yakıt püskürtücülerde kullanılabilecek yükseltgenmeye dayanıklı hale gelir.

3.3.2. Kromun Kullanım Alanları

Metal ve alaşımlarının birçok üstünlüğünün yanında olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Krom yaygın olarak kaplama alanında kullanıldığı zaman en önemli ve olumlu özelliklerinden

biri, korozyona karşı çok dayanıklı olmasına rağmen, çatlamayan bir tabaka halinde kaplanmasının zorluğudur. Bu nedenle, korozyona karşı dayanıklılık, genellikle kromdan yüz kat daha kalın bir nikel tabakasıyla sağlanır. Oluşturulan bu nikel tabakası üzeri, çizilmeye ve donuklaşmaya dayanıklı bir yüzey elde etmek için krom ile kaplanır. Diğer yandan kaplanmış krom tabakasının küçük çatlaklar oluşturma özelliğinde, silindir gömlekleri ve piston segmanlarında yararlanır. Bir başka uygulamada olumsuzluk olarak görünen bu çatlaklar, silindir ve piston segmanlarında, ana yağlayıcı dolaşım kesildiğinde, kısa süreler için bu bölümlerin yağlanması için yağ taşırlar ve olumsuzluk, olumlu bir hale dönüşerek faydalı hale gelir.

Krom birçok alanda kullanılmasına rağmen tüketimi fazla değildir. Çünkü özellikle çeliklerin üzerini krom ile kaplanarak elde edilen yüzeylerdeki kaplama kalınlığı, yaklaşık binde bir milimetre dolaylarındadır. Bu yüzden, ne kadar geniş kullanım alanı olursa olsun, sonuçta düşük oranlarda krom tüketimi söz konusudur. Kromun parlak görünüşlü olması nedeniyle, otomobil endüstrisinde ve deniz taşımacılığında kullanılan taşıtların cazip parçaları, elektroliz yöntemiyle krom kaplanır.

3.4. Nikel

Kimyasal simgesi Ni, atom numarası 28, atom ağırlığı 58,69 olan parlak beyaz renkli, aşınmaya karşı dayanıklı bir metaldir. Ergime derecesi 1455°C olup 1000°C'ye kadar mekanik özelliklerini korumaktadır. Demir ve kobalt gibi ferro manyetik özellikler gösterdiği için demir grubunda yer almaktadır. Ayrıca dövülmeye ve şekillendirilmeye uygun metalik özellikleri bulunmaktadır. Tane ıslahı yapılarak mukavemeti artırılır ve korozyon direnci de geliştirilir. Olumsuz tarafı, yapı içindeki karpitlerin dengesini olumsuz bir şekilde etkiler.

3.4.1. Nikelin Alaşımları

Üretilen nikelin yarısından çoğu, çelik ile yapmış olduğu alaşımlarda kullanılır. Bu alaşım, yüksek sıcaklıklara ve kimyasal etkilere karşı çok dayanıklıdır. Bu nedenle üstün nitelikli olması gereken makine parçalarının yapımına uygundur.

3.4.2. Nikelin Kullanım Alanları

Dünya nikel üretiminin önemli bir kısmı alaşım yapımında kullanılır. Bunun yanında nikel kullanımının en geniş olduğu alanlardan biride nikelaj olarak adlandırılan kaplama işlemleridir. Elektroliz yöntemiyle kaplanan metaller, aşınmaya karşı dayanıklılık kazanır. Nikel

bazı uygulamalarda, kararmayı önlemek ve parlaklık vermek için, ince bir krom tabakası ile kaplanır. Uzun süre aşınmaya dayanıklı olması istenen kaplar ise yalnızca nikelden ya da çelik ile kaplanmış nikelden yapılır. Özellikle metalin zehirli etkisinin önemli olduğu gıda sektöründe, nikel önemli kullanım alanlarını bulur. Saf nikel, ayrıca toz halinde, doymamış hidrokarbonları margarin gibi katı yağlara dönüştürmede kullanılan hidrojeni etkinleştirmek için, katalizör olarak da kullanılmaktadır. Nikel kullanım alanları incelendiğinde, en geniş alanı alaşımların kapladığını görülür. Özellikle nikel, çelik ve dökme demiri nitelikli hale getirmek için üretim alanlarında kullanılmaktadır. Nikel çelikleri, %5-10 arasındaki oranlar ile iç yapılarında nikel bulundurulur. Bu tür alaşımlar yüksek dayanımları ve tel haline getirilebilmeleriyle tanınırlar. Çelik içerisine katılan nikel, alaşımın sertliğini artırdığı için, daha kalıcı parçaların ısı altında işlenmesine yardımcı olur. Dökme demir içerisinde ise grafitin çökmesini sağlar. Ayrıca dökümün gerçekleştirildiği kalıbın sertliğine de olumlu katkılarda bulunur. %10-% 12 oranındaki nikel katkısı, paslanmaz çelik yapımında kullanılır. %8 nikel yanında %18 krom katkısıyla yüksek dayanımlı paslanmaz çelikler oluşturulur. Çelikte %8'i aşan miktarda bulunan nikel, çeliğin iç merkezli kübik yapısını yüzey merkezli kübik yapıya dönüştürerek, kolay işlenebilir ve çekilebilir hale gelmesini olanaklı kılar. İçyapısında %38 oranında nikel bulunan çelik, eşsiz bir alaşımı meydana getirir. Bu tüm alaşımların ısıl genleşme katsayılarının sıfır olması onlara sayısız üstünlük sağlar. Bir metalin sıfır ısıl genleşme katsayısı olması demek; ısı altında şekil değiştirmemesi anlamını taşır ki, bu tüm alaşımlara değişmez çelik anlamına gelen invar çeliği ticari adı verilir. İnvar çeliği, kumpas, şerit metre, sarkaçlarda ve duyarlı makine parçalarında kullanılır. %12 krom içeren nikel-çelik alaşımı ise esnekliği değişmeyen çelik anlamına gelen elinvar adı ile anılır ve esnekliği sıcaklığa bağlı olarak değişmez. Bu özellikleriyle saat zembereklerinin, kantarların ve öteki olgu aletlerinin vazgeçilmez ana ham maddeleridir.

Çeliklerin sertleştirilmesinde soğutma hızlı yapılırsa, çekirdeğe kadar sertleşmeme sorunu ortaya çıkar. Bu sorun nikel aracılığıyla çözülür. Nikel çeliğin kritik soğutma hızını düşürür. Bu nedenle nikelli çelikler daha derinlere kadar sertleşebilir. Ayrıca çeliğe süneklik sağlar, ancak dayanımını artırmaz. Bakır ile birlikte kullanıldığında çeliğin korozyona, karşı dayanımını yükseltir. Nikelin maliyeti fazla olduğu için maliyetinin düşürülmesi istendiği zaman, çeliğe nikel ile aynı özellikler kazandıran mangan ilavesi yapılabilir. Nikel miktarının değişmesi, çelik üzerinde farklı değişikliklere yol açmaktadır.(M.E.B. 1999)

3.4.3. Nikelin Özellikleri, Alaşımları ve Kullanıldığı Yerler

Kimyasal maddelerden etkilenmeyen bir metal mevcut değildir. Nikel elementi de kimyasal maddelerden etkilenmesine rağmen aşınmaya karşı kullanılan diğer metallerden daha çok dayanıklıdır. Çeliğin, özellikle karbon, kükürt gazları ve diğer kimyasal maddelerle doymuş olan atmosferin etkisinden çok çabuk etkilendiği bilinmektedir. Buna karşılık nikelin böyle bir atmosfer içersindeki mukavemeti oldukça yüksektir. Bu nedenle nikel kullanmak sureti ile çeliğin bu dezavantajları giderilmektedir.

3.4.3.1. Nikelaj

Nikelaj işlemi ile çeliğin yüzeyi ince bir nikel tabakası ile kaplanarak dış etkilere korunması sağlanır. Nikel, erimiş halde iken diğer bir metalin üzerine cila şeklinde uygulanabileceği gibi, sıcak metal üzerine ince bir nikel tabakası şeklinde de kaplanabilir. En çok kullanılan nikelaj metodu elektroliz metodudur. Nikelaj bazen istenilen neticeyi vermeyebilir. Bunun sebebi, tabakanın çok ince olması, kalınlığının düzgün olmaması ve kaplamadan öncel alınması gereken tedbirlerin alınmaması gibi bir takım teknik hatalar olabilir. Teknik şartlar yerine getirildiği takdirde nikelaj gayet etkili bir koruma sağlamaktadır. Korumanın daha etkili olması için çelik önce bir bakır tabakası ile kaplanır ve sonra nikelaj uygulanır.

Nikel hava ile temas edince parlaklığını kaybetmektedir. Kromda ise böyle bir problem olmadığı için önceleri, nikelajın yerine krom kaplama için çalışmalar yapılmış fakat memnun edici sonuçlar alınamamıştır. Bunun üzerine kalınca bir nikel tabakasının üzerine ince bir krom tabakası koymak yoluna gidilmiştir. Fakat sonra nikelaj ve kromajın beraber kullanılmasının da bir takım sakıncaları görülmüştür. Kromun ince çatlak ve porozite boşluklarında aşınmalar olmuş ve bunun kromun katot, nikelinde anot rolünü oynadığı elektriksel bir olay sonucu meydana geldiği anlaşılmıştır.

Aynı zamanda, aşınmanın kükürt izleri ihtiva eden parlak nikel üzerinde de meydana geldiği görülmüş ve bu nedenle çelik ile parlak nikelin arasında yan parlak bir nikel tabakasının yer alması ile meydana gelen ve dubleks denilen metot gerçekleştirilmiştir. Nikelaj, özellikle çelik üzerine uygulanmakla beraber pirinç, alüminyum ve alüminyumlu alaşımlar üzerine de uygulanmaktadır.

3.4.3.2. Paslanmaz Çelik

Bu alaşım demir, krom ve nikel olmak üzere başlıca üç metalden meydana gelmektedir. Krom miktarı % 14-20 arasında, nikel miktarı % 8-12 arasında değişir. Bunun yanında silisyum, manganez, titan, molibden gibi elemanlar da mevcuttur. Pek çok çeşidi olmakla beraber en çok kullanılanı % 18 krom ve % 8 nikel ihtiva alaşımıdır. Bu alaşım metalürjistler tarafından çelik 18/8 olarak isimlendirilmektedir. Atmosferik aşınmaya karşı son derece dayanıklı olduğundan ve parlaklığını kaybetmediğinden dolayı çok çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Nikel üretiminin aşağı, yukarı yarısı bu sahada kullanılmaktadır.

3.4.3.3. Enkonel

Bu alaşım paslanmaz çelik ile aynı kalitededir. Bileşimi % 80 nikel, % 14 krom ve % 6 demirdir. Atmosferden hiçbir şekilde etkilenmez, iç ve dış dekorasyonda kullanılır. Fiyatının yüksek olması fazla kullanılmasını sınırlandıran bir sebeptir.

3.4.3.4. Kupro nikeller

Bu sınıftaki alaşımlar atmosferden bir miktar etkilenecek parlaklıklarını kaybeder ve yağmur suyunda üzerinde lekeler oluşmaktadırlar. Görünüşleri paslanmaz çelikten daha güzel olduğu için özellikle iç dekorasyonda kullanılırlar. En çok kullanılanı monel olup % 67 nikel ve %33 bakır ihtiva etmektedir. Bütün nikel alaşımları ve saf nikel, saf suya karşı oldukça dayanıklıdırlar. Nikel, hidrojen sülfür veya serbest asit karbonik ihtiva eden sulara karşı da dayanıklıdır. Karbonat veya klorür içeren sulardan ise etkilenir. Bu tip sulara karşı monel daha dayanıklı olduğundan su sayaçlarında, pompalarda ve sıcak su depolarında daha fazla kullanılır. Tatlı suların çoğuna karşı paslanmaz çelik de dayanıklıdır. Saf olmayan sulara karşı ve özellikle deniz suyuna en dayanıklı olan alaşım enkoneldir. Ancak su çok durgun olduğu takdirde aşındırıcı tesirini gösterebilir. Deniz suyuna karşı saf nikel de oldukça dayanıklıdır. Fakat paslanmaz çelik hareketli deniz suyundan bile etkilenmektedir. Buhar söz konusu olunca kısmen dayanıklı olan monel hariç, başka alaşımlar kullanmak gerekmektedir.

3.4.3.5. Gıda Sanayindeki Yeri

Bu sahada kullanılan malzemeler organik asitlere karşı son derece dayanıklı olmalıdırlar. Nikel ve alaşımları birçok hallerde bu ihtiyacı karşılayabilmektedir. Saf nikel çok yüksek sıcaklıklarda asetik, formik ve tartarik asitlerden etkilenmekle beraber birçok gıda maddelerine karşı dayanıklıdır. Monel asetik asit ve organik asitlerin çoğuna karşı saf nikelden

daha dayanıklıdır. Bu nedenle konserve sanayinde geniş çapta kullanılır. Enkonel, bilhassa süt ve meyve suları gibi gıda maddelerinin etkisine karşı mukavemetli olduğu bulunmuştur. (Caneb G.).

3.5. Molibden

Volframın çelik üzerindeki etkilerinden daha fazlasını veren bir katkı elemanıdır. Volframda olduğu gibi, ısı özelliklerinde iyileştirme yaptığından çeliğin tavlamaaya karşı gösterdiği bozuklukları ortadan kaldırır. Diğer yandan asite karşı dayanıklılığı hava çeliklerinde kullanılmasına olanak tanır. Bunlar dışında molibden kullanılan çelikler, aşağıda sıralanan özelliklere sahip olurlar.

Molibdenin alaşımlara etkisi;

- Dayanımı yükseltir
- Akma sınırını yükseltir.
- % uzama ve kesit daralmasını düşürür.
- Bir sınıra kadar esnekliği korur.
- Tav dayanımını yükseltir.
- Gevrekliği ortadan kaldırır.
- Çeliği özlü yapar.

Molibden, alaşımlarda tek başına katkı elemanı olarak kullanılmaz. Çoğunlukla nikel ve krom ile birlikte çeliğe ilave edilir. Molibden çelik alaşımlarında, yüksek sıcaklıklarda sünme dayanımını yükseltir, karbidi dengeler, kesici takımların kızıl derece sertliğini geliştirir. Nikel-Krom çeliklerinde temper kırılganlığını azaltır.

Genel olarak kullanım alanları;

- Çeliğin yüksek sıcaklıklarda dayanımını arttırmada
- Hava taşıtları ve uzay araçlarının yapımında
- Nükleer enerji uygulamalarında
- Elektrik uygulamalarındaki tellerin yapımında
- Yüksek sıcaklıklarda yağların yapısı bozulduğu için molibden sülfat kaydırıcı yağ olarak
- Katalizör olarak
- Boya endüstrisinde renk verici (pigment) olarak

3.5.1. Refrakter Metallerde Molibden

Çok yüksek erime sıcaklıklarına sahip metaller refrakter metaller olarak adlandırılırlar. Bu grup metaller, niyobyum (Nb), molibden (Mo), tungsten (W) ve tantalyum (Ta) gibi metalleri içerir. Bu metallerde atomlar arası bağlar çok kuvvetli olduğu için erime sıcaklıkları çok yüksektir. Yüksek erime sıcaklıklarının yanı sıra bu metaller çok yüksek elastiklik modüllerine, yüksek mukavemet ve sertliklere sahiptirler.

Bu metaller değişik kullanım alanlarına sahiptirler. Örneğin paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımını artırmak için tantalyum ve molibden alaşım elementleri olarak kullanılır. Molibden alaşımları ekstrüzyon kalıplarında, uzay araçlarının yapı parçalarında, X-ışını tüplerinde ve kaynak elektrotlarında kullanılmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyin Amacı

Bu çalışmanın amacı, Ni-Cr alaşımlarına molibden katkı oranının etkisini incelemektir. Bunun için molibden Ni-Cr alaşımlarına değişik oranlarda katılmış ve daha sonra molibdenin Ni-Cr alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada dört çeşit süper alaşım kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan süper alaşıma 4 farklı oranda molibden ilave edilerek bileşimleri farklı yeni alaşımlar elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin adları ve element yüzdeleri, kütleleri ve karışım oranları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneyler için hazırlanan alaşımlar

Numune No	Alaşımların Adı	Alaşım elementleri		
		Nikel (% ağı.)	Krom (% ağı.)	Molibden (% ağı.)
1	Ni-27Cr-8Mo	Kalan	27	8
2	Ni-27Cr-10Mo	Kalan	27	10
3	Ni-27Cr-12Mo	Kalan	27	12
4	Ni-27Cr-14Mo	Kalan	27	14

4.3. Deney Malzemelerinin Üretilmesi

Deney için gerekli olan malzemeler % 99,99 saflıkta nikel (Ni), % 99,99 saflıkta krom (Cr) ve % 99,99 saflıkta molibden (Mo) değişik firmalardan temin edilmiştir. Tablo 4’ de belirtilen alaşımları elde edebilmek için gerekli elementler yüzde (%) oranlarına göre hassas terazilerde tartılarak ayarlandı. Kütleli oranlarına göre dört grup olarak geliştirilen alaşımlar aşağıdaki şekildedir.

1. Grup alaşım: Ni-27Cr-8Mo
2. Grup alaşım: Ni-27Cr-10Mo
3. Grup alaşım: Ni-27Cr-12Mo
4. Grup alaşım: Ni-27Cr-14Mo

Yukarıdaki sıralamadan ve bileşimlerden de anlaşılacağı gibi molibdenin kütle oranında % 8’den başlayarak % 2’lik artışlar halinde % 14’e kadar artış sağlanmıştır.

4.3.1. Malzemelerin İndüksiyon Fırınında Ergitilerek Kokil Kalıba Dökümü

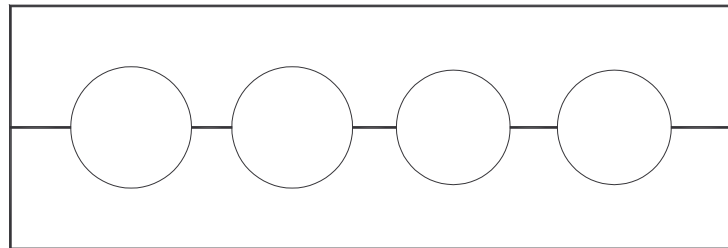
Tablo 4.1’de belirtilen oranlarda ayarlanan alaşım metalleri indüksiyon ergitme fırınında ve SiC potada 1455 °C’a kadar ısıtılarak ergitilmesi hedeflendi. Ergime sıcaklığı 1455 °C ve diğer iki metalin ergime sıcaklığından daha düşük olduğu için öncelikle ana metal olan nikel potaya bırakıldı, potanın içindeki nikel ergiyinceye kadar beklendi.

Kromun ergime derecesi 1857 °C olduğundan ergiyik içerisinde çözünmesi ve karışımın her tarafına homojen yayılması için ergime derecesi yüksek bir karıştırma çubuğu ile iyice karıştırılarak sıvı haldeki nikel içerisinde tam çözüldükten sonra toz halindeki molibden pota içine döküldü ve yine karıştırılmak suretiyle iyice çözünmesi ve alaşıma karışması sağlandı.

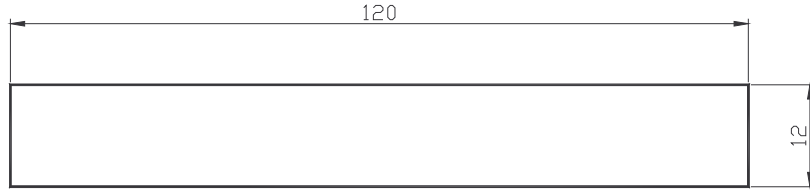
Döküm yapılacak kokil kalıp normal şartlarda oda sıcaklığında olduğu için kalıba dökülecek alaşımın yavaş soğuması için döküm işlemine geçmeden önce ön ısıtma işlemi gerektiğinden kokil kalıp bütan gazı ile 450 °C’a kadar ısıtıldı. Daha sonra pota içerisinde bulunan sıvı haldeki alaşım kokil kalıbın içine döküldü.

4.3.2. Kalıp Sökümü Sonrası İşlemler

Şekil 4.1’de üstten görünüşü verilen kokil kalıbın her iki parçası bir araya getirildikten sonra parçalar arasındaki ince aralıklardan metal kaybını önlemek, çapak oluşumunu en aza indirmek, düzgün yüzeyli çubuklar elde etmek ve kalıbı sabitlemek için mengene ile sıkıştırılmıştır. Daha sonra kalıp boşluğuna ergiyik metal dökülüp katılaştıktan sonra kalıp bozularak metal çubuklar çıkarıldı. Kokil kalıbın tekrar sökölüp kullanılabilir özellikte olmasından dolayı kum kalıptan farklı olarak aynı kalıp bütün döküm işlemleri için kullanıldı ve deney çubukları elde edildi (Şekil 4.2).



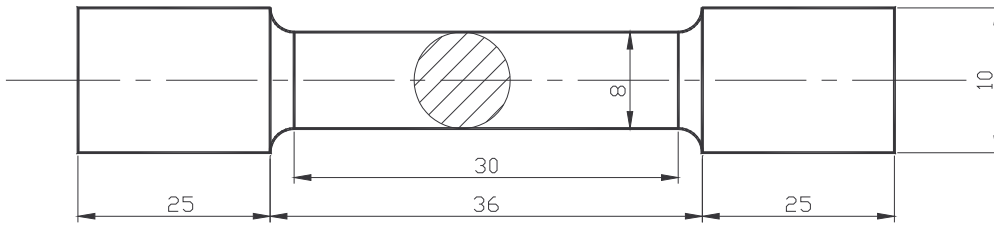
Şekil 4.1. Döküm işleminde kullanılan kokil kalıbın üstten görünüşü



Şekil 4.2. Kokil kalıptan çıkan çekme çubuğu

4.4. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, üretilen malzemelerin çekme dayanımlarını ölçmek için yapılmıştır. Çekme deney numunesini hazırlamak amacıyla kokil kalıptan çıkarılan çubuklar, Şekil 4.3’de görülen standart ölçüler dikkate alınarak torna tezgâhında şekillendirilmiştir. Daha sonra Şekil 4.4’de görülen INSTRON çekme deney cihazında çekilerek çekme dayanımları tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Çekme deney çubuğunun şekli ve ölçüleri



Şekil 4.4. INSTRON çekme deneyi cihazı

4.5. Sertlik Ölçümü

Yeni üretilen malzemelerin sertliklerinin anlaşılması amacıyla ölçümler yapılmıştır. Numunelerin 1500 N yük altında Rockwel C (HRC) sertlik ölçme cihazında sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri parçanın eksenine dik ve belli aralıklarla yapılmıştır.

4.6. Mikro Yapı İncelemeleri ve Elektron Mikroskop Çalışmaları

Belli bileşimlere sahip olan alaşımlarda elde edilen numunelerin içyapılarını ve faz bileşimlerini incelemek amacıyla elektron mikroskobu çalışmaları yapılmıştır. Numunelerin taşlama, parlatma ve dağlama işlemlerinden geçirilerek SEM ve EDS sonuçları alınmıştır.

4.7. X-Işınları Çalışmaları

Deney numunelerinin faz analizi ve bileşikleri belirlemek amacıyla numunelerin X ışınları çalışmaları yapılmıştır. Yapılan incelemelerde numunelerde yer alan fazlar açığa çıkarılmıştır.

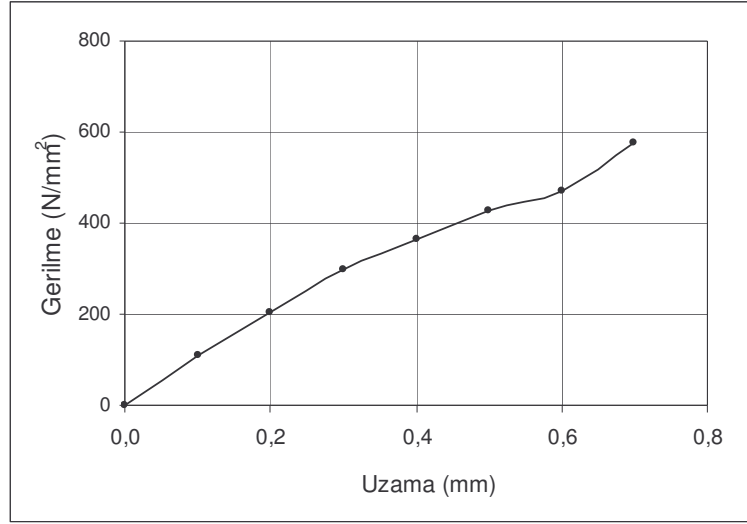
5. DENEY SONUÇLARI

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Döküm yöntemi ile üretilen malzemelerin mukavemetlerinin tespit edilmesi amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir.

5.1.1. % 8 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı

İlk olarak en düşük Mo içerikli alaşımların çekme deneyi yapılmıştır. Bu alaşımların çekme testinden elde edilen değerler Şekil 5.1’de gösterildiği gibidir. Grafikten anlaşılacağı gibi % 8 Molibden İçerikli numunenin çekme dayanımı 575 N/mm^2 olarak çıkmıştır. Uzama miktarı da 0.7 mm olmuştur. Numune mukavemetine göre uzama değeri oranı biraz düşük seviyede kalmıştır. Grafikte görüldüğü üzere malzemenin belirgin bir akma noktasına sahip olmadığı anlaşılmaktadır.



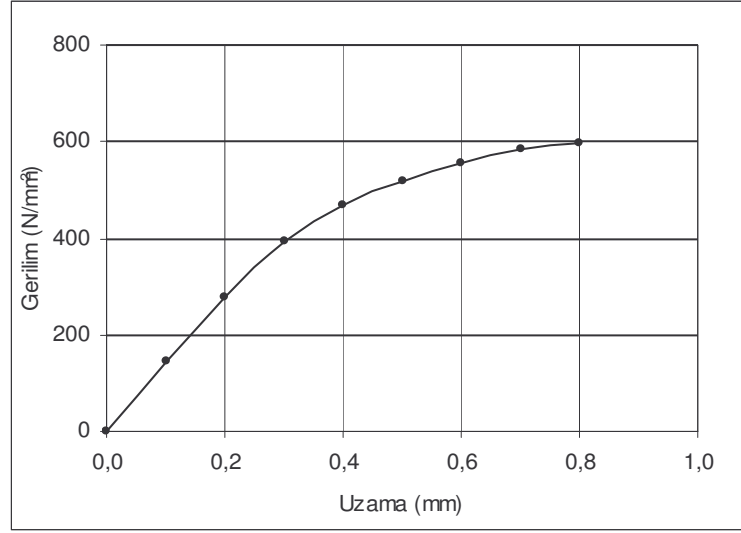
Şekil 5.1. Ni-27Cr-8Mo süper alaşımlarının çekme deneyi grafiği.

5.1.2. % 10 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı

İkinci numunenin yani % 10 Mo içerikli alaşımların çekme deneyi yapılarak çekme testinden elde edilen sonuç Şekil 5.2’de gösterildiği gibidir. Grafikten anlaşılacağı gibi % 10 Molibden İçerikli numunenin çekme dayanımı 597 N/mm^2 olarak çıkmıştır. Uzama miktarı da 0.8 mm olmuştur. Numune mukavemetine göre uzama değeri oranı bu numunede de biraz düşük

seviyede kalmıştır. Grafikte görüldüğü üzere bu malzemenin de belirgin bir akma noktasına sahip olmadığı anlaşılmaktadır.

Birinci ve ikinci numunenin çekme deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılacak olursa % 2'lik bir Mo artışının malzemenin çekme dayanımında bir miktar yükselişe sebep olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu yükseliş çok fazla olmayıp düşük bir seviyede kalmıştır. Aynı % Mo artışı alaşımın uzama değerinde de % 0,1 gibi çok küçük bir artışa sebep olmuştur.

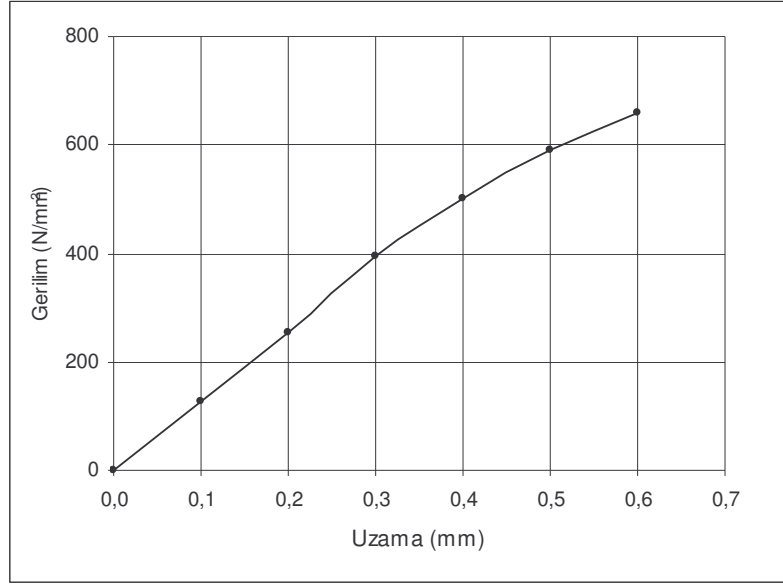


Şekil 5.2. Ni-27Cr-10Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.

5.1.3. % 12 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı

Üçüncü numunenin yani % 12 Mo içerikli alaşımın çekme deneyi yapılarak çekme testinden elde edilen sonuç Şekil 5.3'de gösterildiği gibidir. Grafikten anlaşılabileceği gibi % 12 Molibden İçerikli numunenin çekme dayanımı 659 N/mm^2 olarak çıkmıştır. Uzama miktarı da 0,6 mm olmuştur. Numune mukavemetine göre uzama değeri oranı bu numunede de biraz düşük seviyede kalmıştır. Grafikte görüldüğü üzere bu malzemenin de belirgin bir akma noktasına sahip olmadığı anlaşılmaktadır.

Birinci ve ikinci numunenin çekme deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılacak olursa ikinci numuneye göre % 2'lik bir Mo artışının malzemenin çekme dayanımında bir miktar yükselişe sebep olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu yükseliş ilk iki numuneye göre düşük seviyede olmayıp daha yüksek bir seviyede kalmıştır. Aynı % Mo artışı alaşımın uzama değerinde de % 0,1 gibi çok küçük bir azalmaya sebep olmuştur.



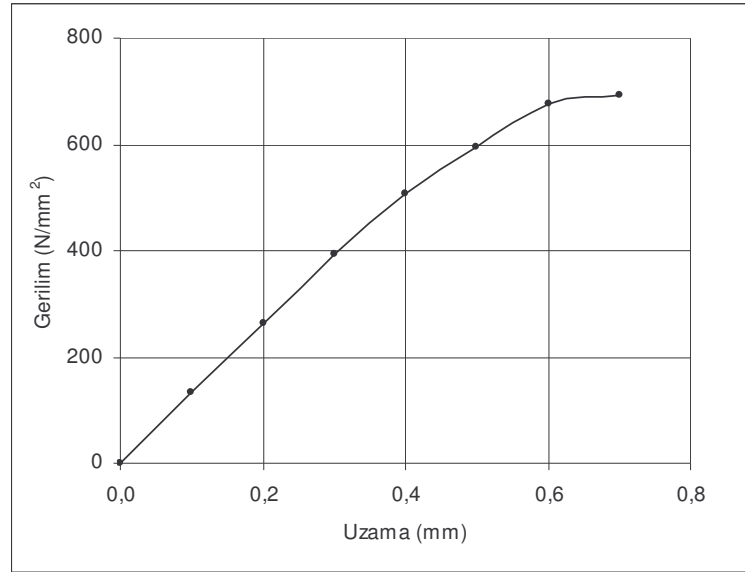
Şekil 5.3. Ni-27Cr-12Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.

5.1.4. % 14 Molibden İçerikli Ni-Cr-Mo Alaşımı

Dördüncü numunenin yani % 14 Mo içerikli alaşımın çekme deneyi yapılarak çekme testinden elde edilen sonuç Şekil 5.4’de gösterildiği gibidir. Grafikten anlaşılabacağı gibi % 14 Molibden içerikli numunenin çekme dayanımı 693 N/mm^2 olarak çıkmıştır. Uzama miktarı da 0.7 mm olmuştur. Numune mukavemetine göre uzama değeri oranı bu numunede de biraz düşük seviyede kalmıştır. Grafikte görüldüğü üzere bu malzemenin de belirgin bir akma noktasına sahip olmadığı anlaşılmaktadır.

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü numunelerin çekme deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılacak olursa birinci numune ile dördüncü numune arasında % 6’lık bir Mo artışının malzemenin çekme dayanımında önemli bir yükselişe sebep olduğu anlaşılmaktadır. Aynı zamanda malzemenin çekme dayanımında yaklaşık % 20’lik bir artış göstermiştir. İkinci numune ile dördüncü numune arasında % 4’lük bir Mo artışına karşılık alaşımın mukavemetinde belirgin bir yükseliş olmasına rağmen uzama miktarında çok az bir değişiklik olmuştur. Üçüncü ve dördüncü numuneler arasında da bir miktar mukavemet artışı vardır.

Sonuç olarak dört çeşit Ni-Cr-Mo alaşımlarının çekme mukavemeti grafikleri birbirleriyle karşılaştırıldığında Mo katkı oranının artışı alaşımın çekme dayanımında yükselmelere sebep olduğu anlaşılmıştır. Alaşımların uzama değerlerinde ise çok az bir miktar değişim olmasına rağmen kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.4. Ni-27Cr-14Mo süper alaşımının çekme deneyi grafiği.

5.2. Sertlik Ölçümü Sonuçları

Numunelerin 1500 N yük altında Rockwel C (HRC) sertlik ölçme cihazında sertlikleri ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar Tablo 5.1’de gösterildiği gibidir. Sertlik ölçümleri her numune için üç noktadan alınmış ve daha sonra bunların ortalama değerleri hesaplanmıştır. Tablo 5.1’deki ortalama sertlik değeri sonuçlarından da anlaşılacağı gibi bu değerlerde önemli bir farklılık ortaya çıkmamıştır.

Tablo 5.1. Ni-Cr-Mo alaşımlarında molibden katkı oranının sertliğe etkisi

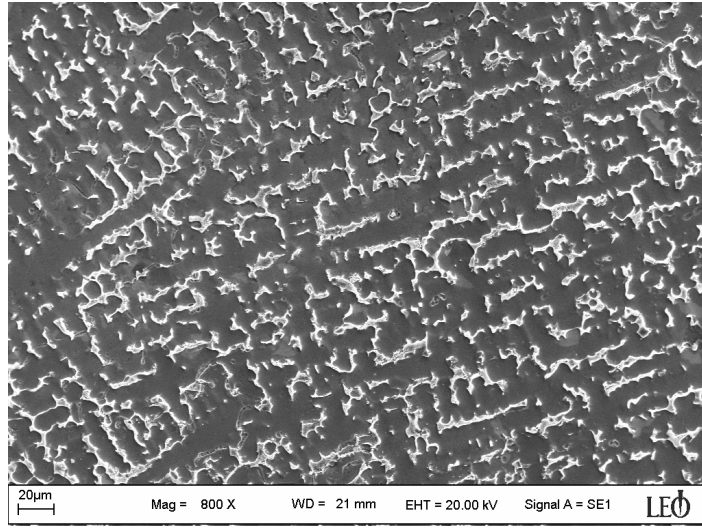
Alaşımların adı	1. nokta sertliği(HRc)	2. nokta sertliği(HRc)	3. nokta sertliği(HRc)	Ortalama sertlik değeri
1. numune (Ni-27Cr-8Mo)	29	20	25	25
2. numune (Ni-27Cr-10Mo)	21	21	22,5	21,5
3. numune (Ni-27Cr-12Mo)	27	17	22	22
4. numune (Ni-27Cr-14Mo)	25	20	25,5	23

5.3. Alaşımların Mikro Yapıları ve SEM alışmaları

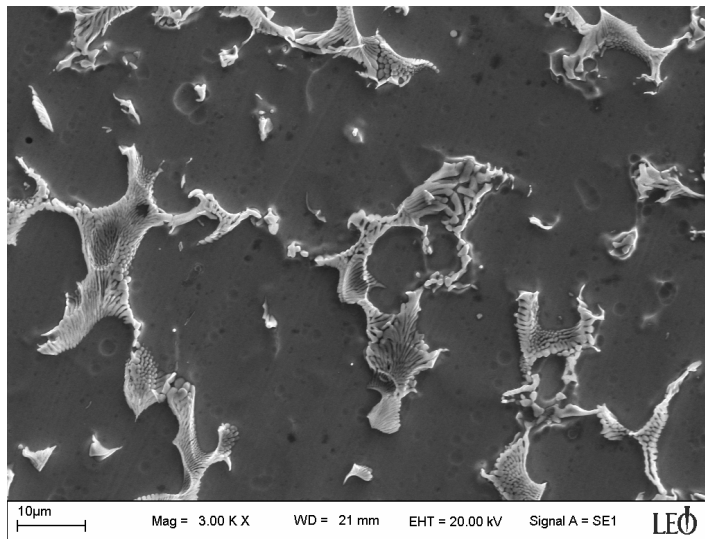
Üretilen alaşımların mikroyapılarının anlaşılması amacıyla SEM ve EDS alışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda gösterildiğı gibidir.

5.3.1. Ni-27Cr-8Mo Alaşımının SEM Sonuçları

şekil 5.5 - 5.6'da % 8 molibden ilaveli alaşımın SEM görüntüleri yer almaktadır. şekilden de anlaşılacağı gibi alaşımın iki fazdan meydana geldiğı anlaşılmaktadır. Bunlardan birincisi dentritler ikincisi ise dentritlerin içinde yer aldığı matris fazıdır. Yani alaşım dentritik bir yapıya sahiptir.

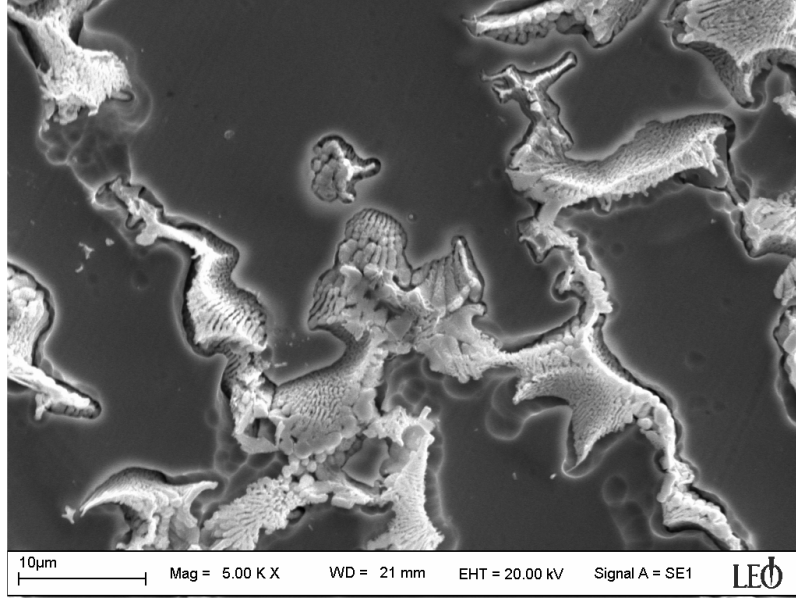


şekil 5.5. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının mikroyapı görüntüsü.

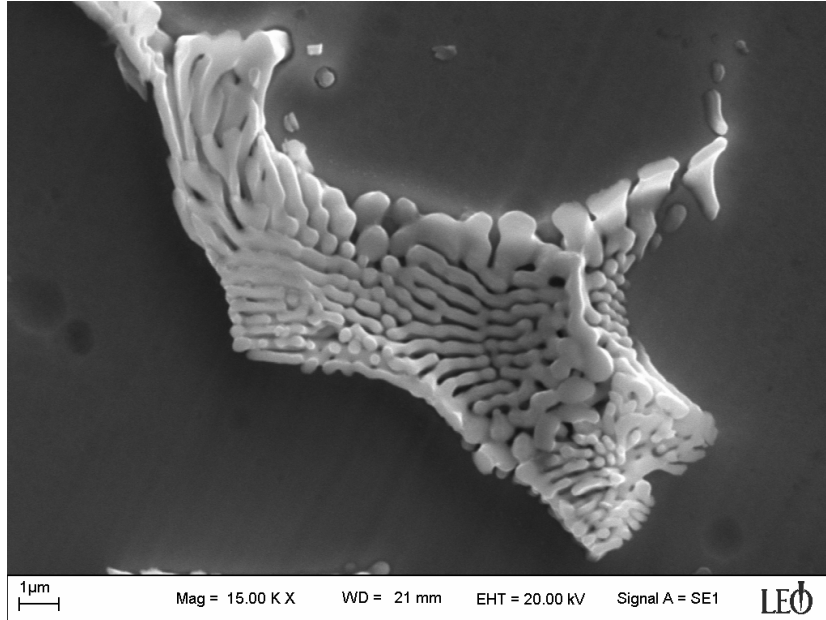


şekil 5.6. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının başka bir görüntüsü.

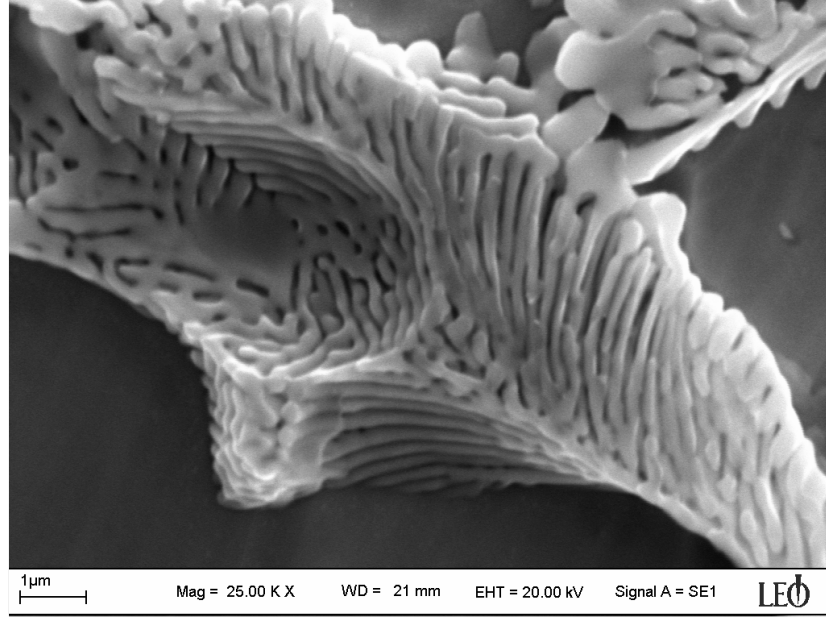
Alaşımların dentritik yapısındaki dentrit kollarının iyi anlaşılması için yapıdan büyütme oranı daha yüksek seviyeli SEM fotoğrafları alınmıştır. Şekil 5.7-5.8-5.9'da bu resimler görülmektedir. Resimlerden anlaşılacağı gibi matris fazı içinde yer alan dentritler özel bir tarzda ve salkım şeklinde katılaşma görünümüne sahiptirler.



Şekil 5.7. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.



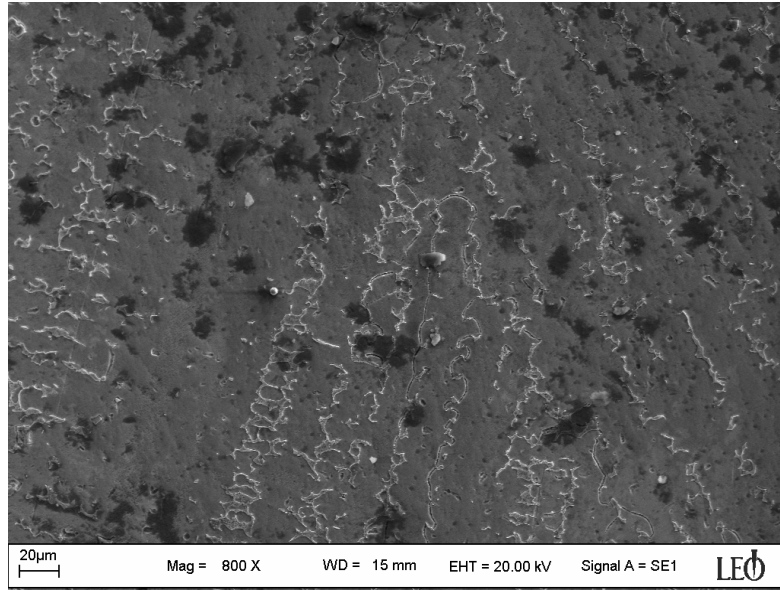
Şekil 5.8. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının görüntüsü.



Şekil 5.9. Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.

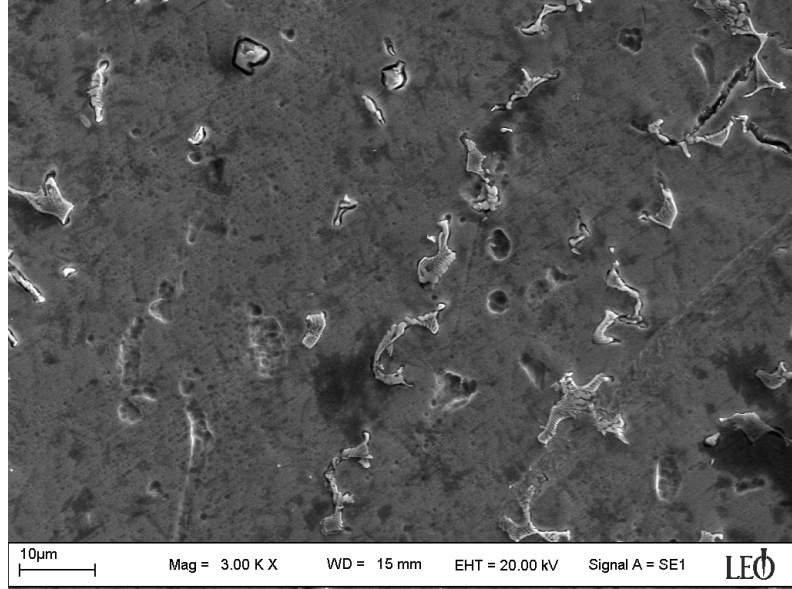
5.3.2. Ni-27Cr-10Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları

Şekil 5.10'da % 10 Mo ilaveli alaşımın mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Bu alaşım da dentritik bir yapıya sahip olup dentrit kolları çok ince kalmıştır. Bunun sebebi alaşım içeriğinden kaynaklanmayıp malzemenin parlatılması hususu ile ilgili olduğu sanılmaktadır.

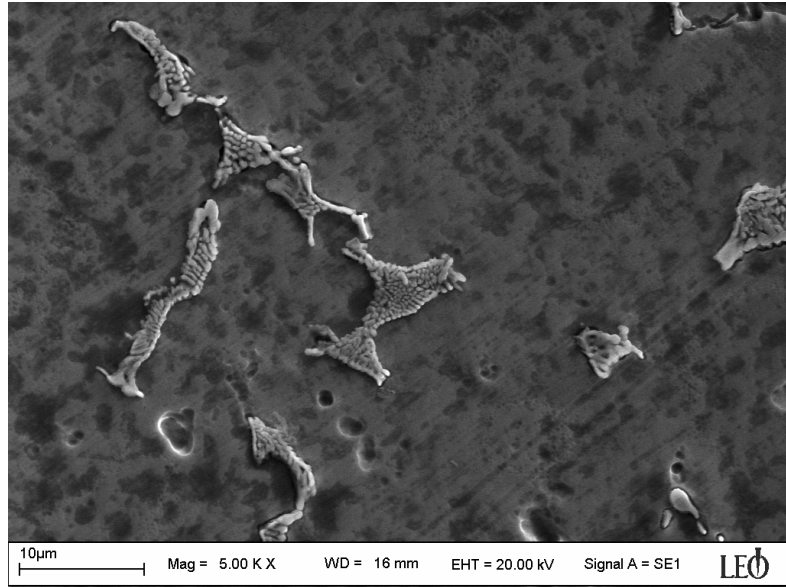


Şekil 5.10. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının görüntüsü.

% 10 Mo ilaveli alaşımdan alınan diğer fotoğraflarda malzemenin dentritik yapısı açıkça görülmektedir (Şekil 5.11-5.14). Fotoğraflardan anlaşılacağı gibi alaşımın matris fazı daha fazlalaşmış, dentrit kolları ise incelmıştır.

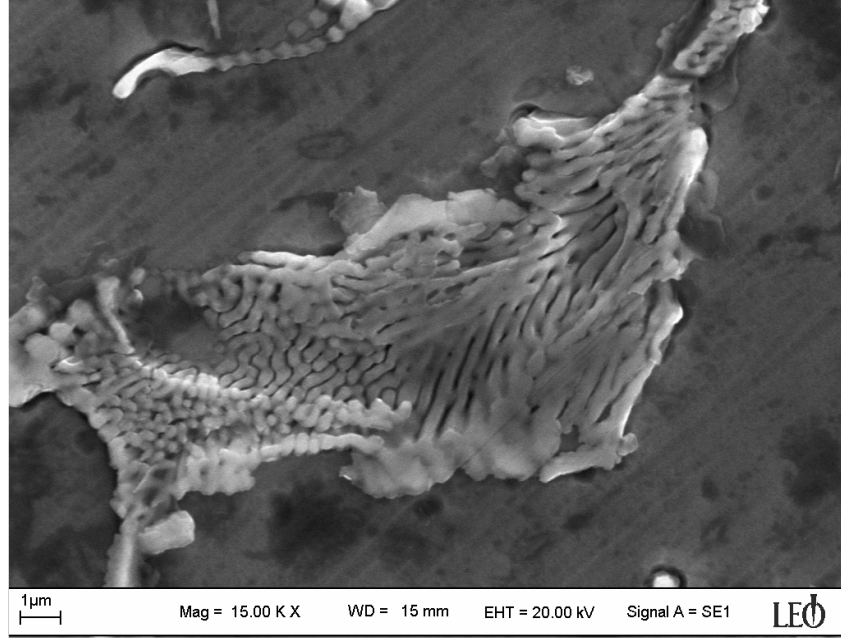


Şekil 5.11. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının görüntüsü.

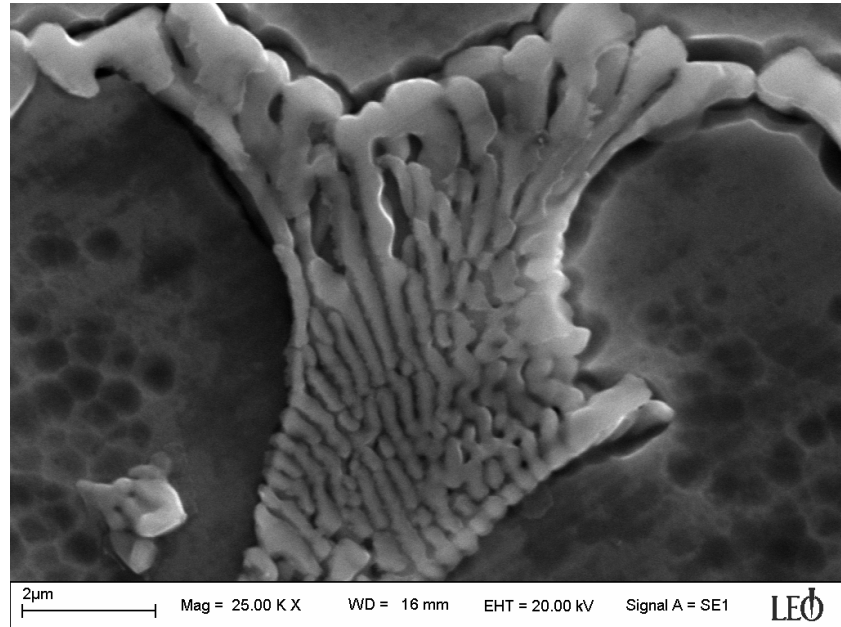


Şekil 5.12. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının görüntüsü.

Şekil 5.13 ve 14’de alaşımın mikroyapısında yer alan dentrit kollarının daha büyük oranlı görüntüleri yer almaktadır. Fotoğraflardan anlaşılacağı gibi dentrit kolları yine % 8 Mo ilaveli numunede olduğu gibi salkım şeklinde katılmıştır.



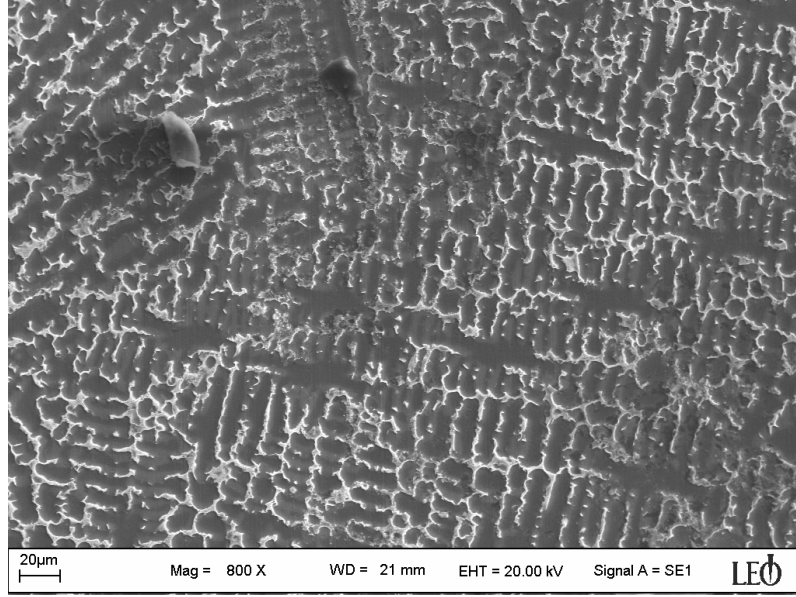
Şekil 5.13. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının bir kesitinin SEM görüntüsü.



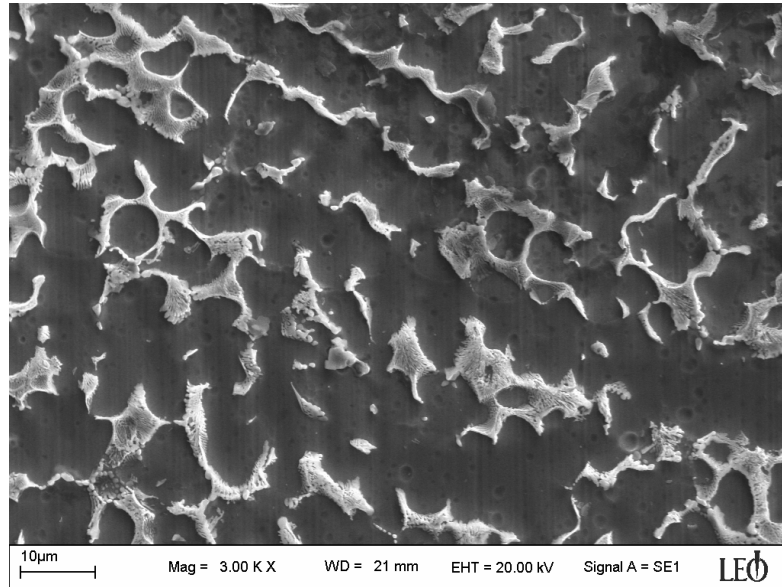
Şekil 5.14. Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.

5.3.3. Ni-27Cr-12Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları

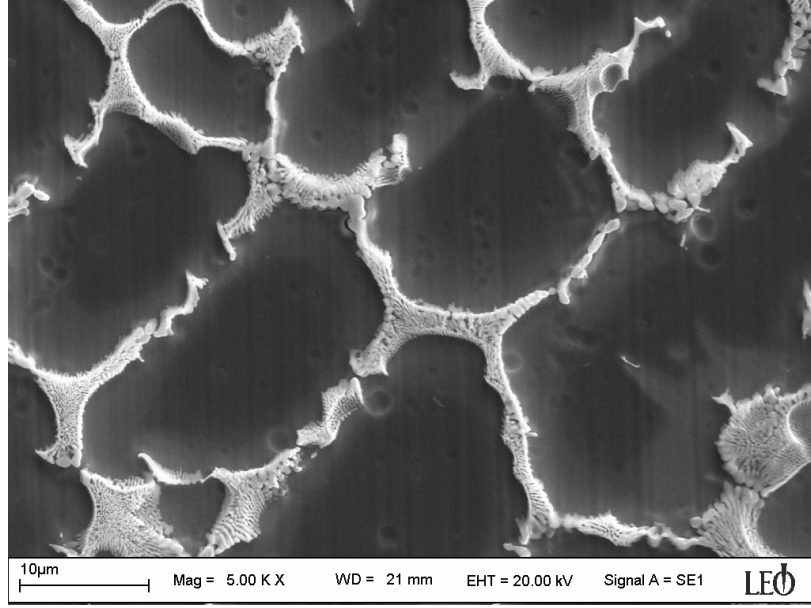
% 12 Mo ilaveli alaşımanın mikroyapısı birinci ve ikinci numunenin yapısından çok farklı bir görünüm sergilememiştir. Bu numune de dentritik bir yapıya sahiptir (Şekil 5.15-5.19). Ancak dentrit kollarının bu alaşımda daha fazla sıklaştığı görülmektedir.



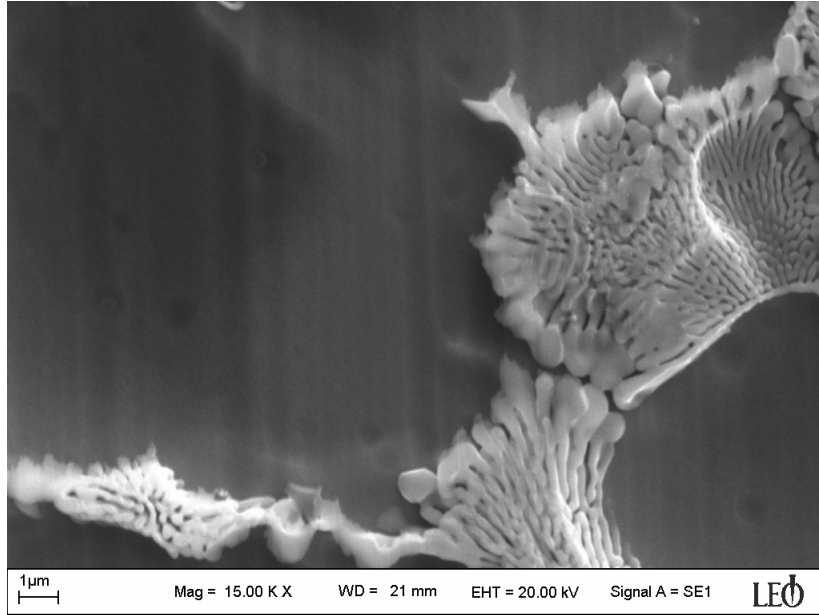
Şekil 5.15. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımasının SEM görüntüsü.



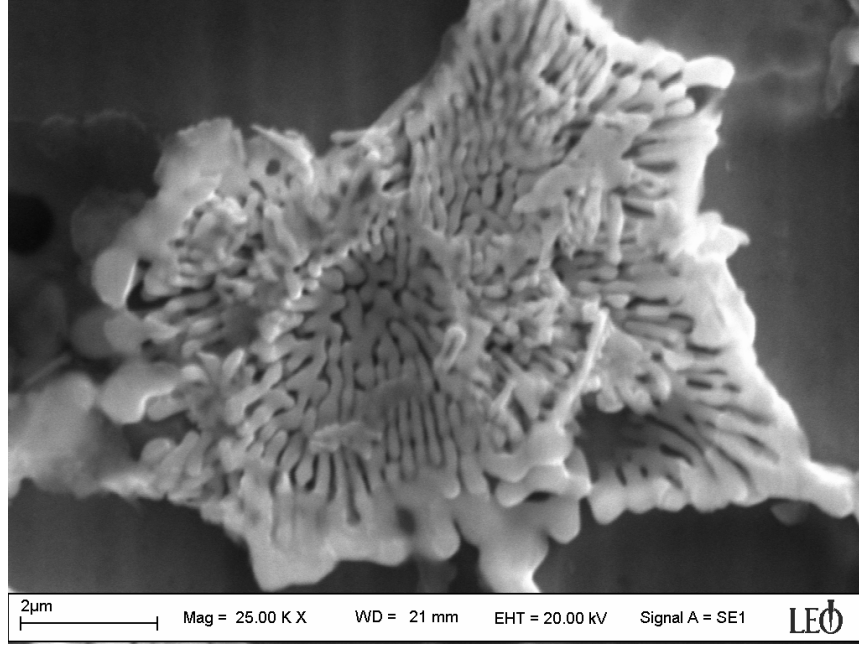
Şekil 5.16. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımasının SEM görüntüsü.



Şekil 5.17. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.



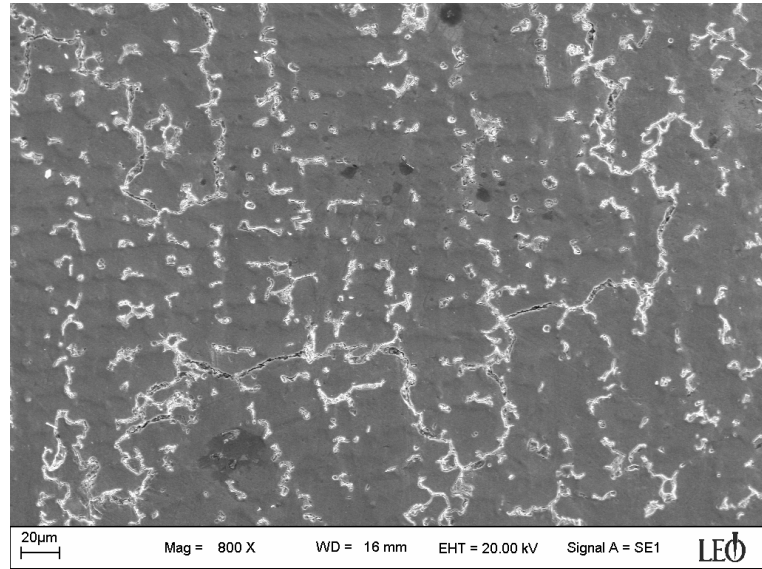
Şekil 5.18. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.



Şekil 5.19. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.

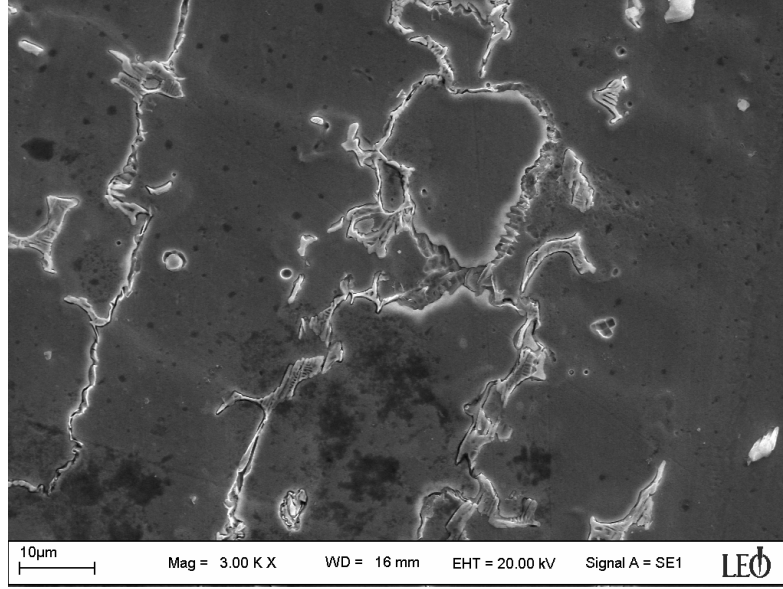
5.3.4. Ni-27Cr-14Mo Süper Alaşımının SEM Sonuçları

% 14 Mo ilaveli alaşımın mikroyapısı birinci, ikinci ve üçüncü numunenin yapısından farklı bir görünüm sergilemiştir. Bu numune de dentritik bir yapıya sahiptir (Şekil 5.20-5.23). Ancak dentrit kollarının bu alaşımda daha az yer kapladığı görülmektedir.

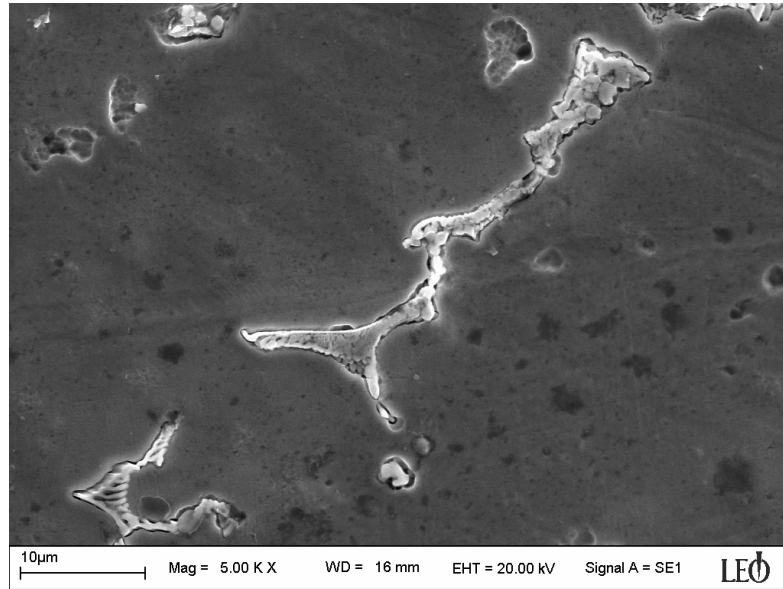


Şekil 5.20. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.

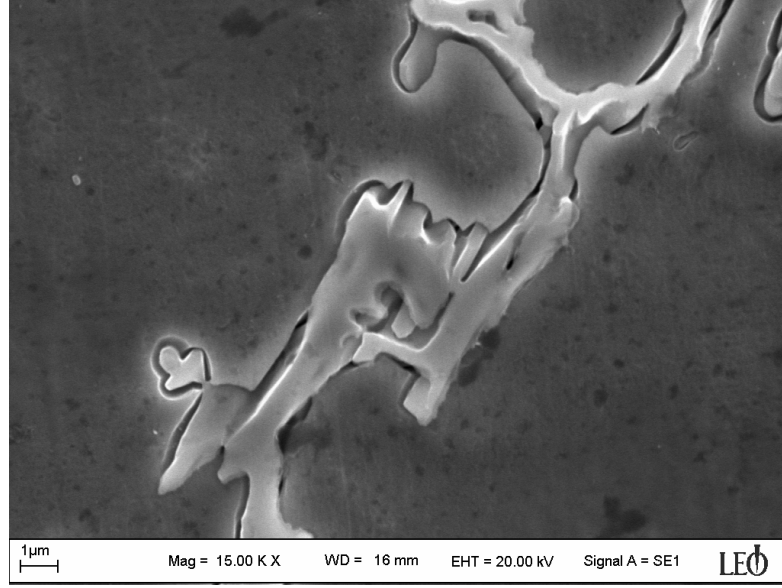
Şekil 5.21’de alaşıma yapılan % 14 Mo ilavesinden dolayı fazlaşan matris fazı ve incelen dentrit kolları görülmektedir. Şekil 5.22 ve 23’de aynı yapılar görülmektedir. Bu yapıların ilk üç numuneden diğer bir farkı dentrit kollarının daha zayıf olması ve salkım şeklinde bulunmayışıdır.



Şekil 5.21. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının bir kesitinin SEM görüntüsü.



Şekil 5.22. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.



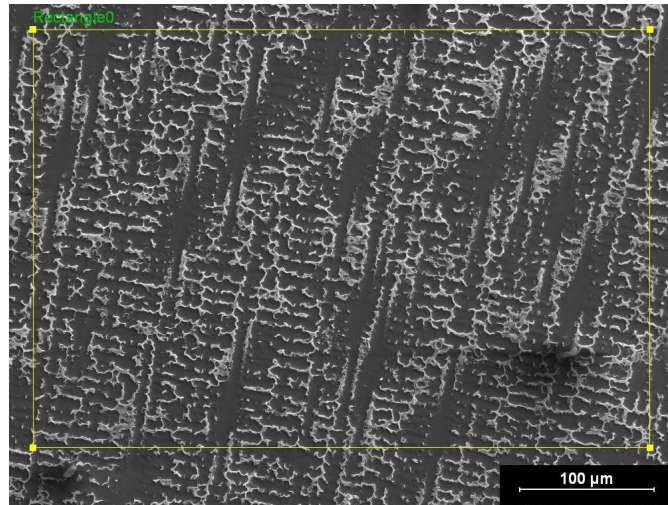
Şekil 5.23. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının SEM görüntüsü.

5.4. Mikroyapı EDS Analiz Sonuçları

Numunelerin mikroyapısında yer alan fazların bileşimlerinin anlaşılması amacıyla her numune için EDS çalışmaları yapılmıştır.

5.4.1. Ni-27Cr-8Mo Alaşımının EDS Sonuçları

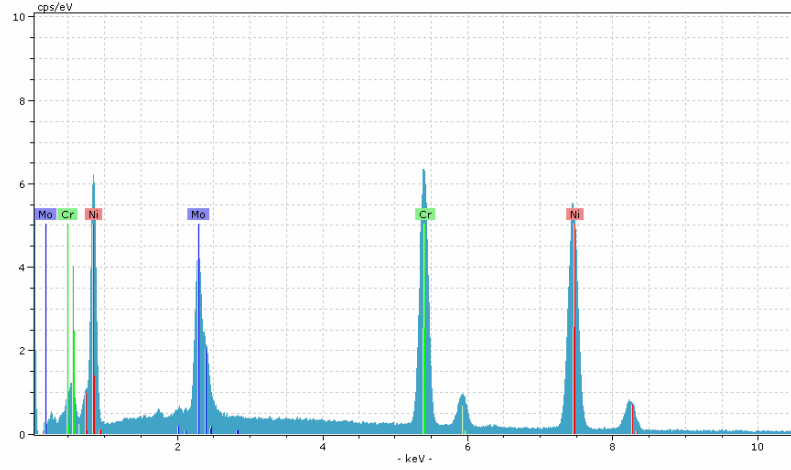
Ni-27Cr-8Mo alaşımının Şekil 5.24’de görülen fotoğrafından noktasal analizler (EDS) alınmıştır. Fotoğrafta görülen dikdörtgen şeklindeki bölgeden alınan analiz sonuçları Şekil 5.25’de verildiği gibidir.



Şekil 5.24. Ni-27Cr-8Mo alaşımının EDS analiz bölgesi

Spectrum: Rectangle0

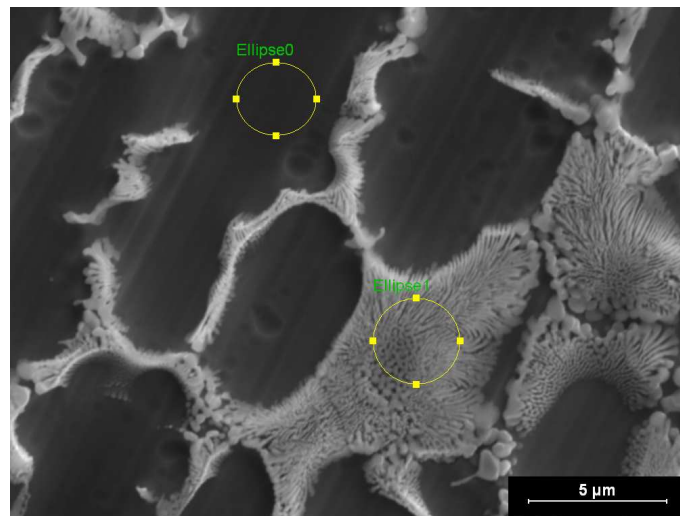
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Ni	28	K-series	53.78	55.30	56.96
Cr	24	K-series	27.15	27.92	32.46
Mo	42	L-series	16.32	16.78	10.57
Total:			97.2 %		



Şekil 5.25. Ni-27Cr-8Mo alaşımlarının EDS analiz sonuçları ve grafiği

Bu sonuçlara göre Ni-27Cr-8Mo alaşımından alınan kesitteki nikelin ortalama % 55 oranında, kromun ortalama % 27 oranında ve molibdenin ortalama %16 oranında dağıldığı tespit edilmiştir.

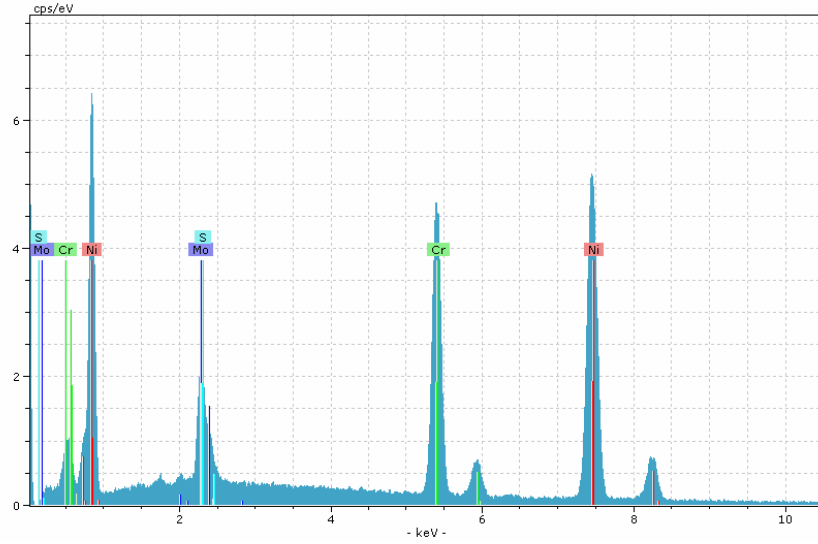
Ni-27Cr-8Mo alaşımının dentrit kolları ve matris fazının bileşim değerlerinin belirlenmesi amacıyla farklı bölgelerden EDS analizleri alınmıştır. Şekil 5.26'da gösterilen iki bölgeden alınan analiz sonuç ve grafiği Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Ni-27Cr-8Mo alaşımlarının EDS analizi alınan iki farklı bölgesi (elips 0 ve elips 1)

Spectrum: Ellipse0

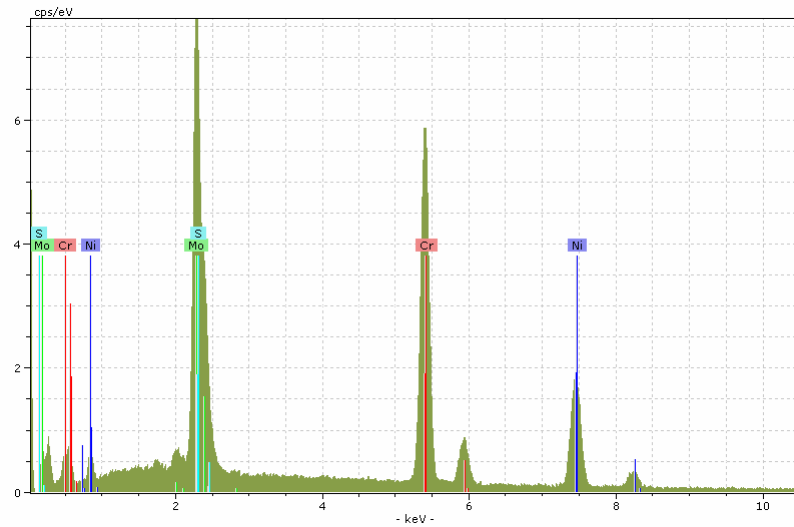
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Ni	28	K-series	60.40	65.28	65.78
Cr	24	K-series	22.72	24.56	27.93
Mo	42	L-series	9.38	10.14	6.25
S	16	K-series	0.02	0.02	0.04
Total:			92.5 %		



Şekil 5.27. Ni-27Cr-8Mo alaşımında elips 0 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği.

Spectrum: Ellipse1

Cr	24	K-series	31.62	36.96	44.98
Mo	42	L-series	30.13	35.22	23.23
Ni	28	K-series	22.08	25.81	27.83
S	16	K-series	1.72	2.01	3.97
Total:			85.5 %		

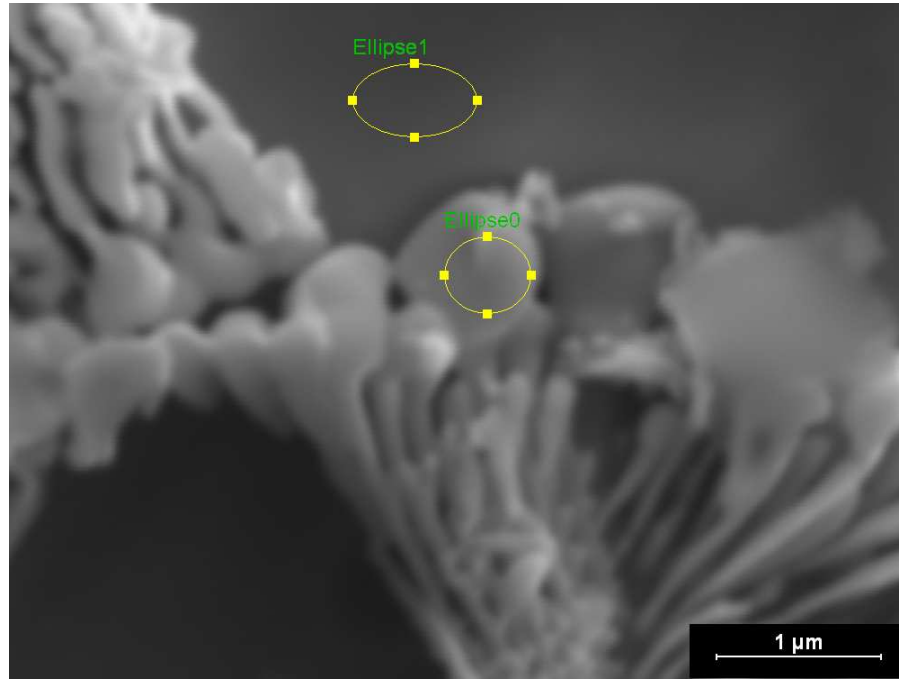


Şekil 5.28. Ni-27Cr-8Mo alaşımında elips 1 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği.

Bu sonuçlara göre; 1. bölgede yani matris fazında (elips 0) nikelin ortalama % 65 oranında, kromun ortalama % 25 oranında ve molibdenin ortalama %10 oranında olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Ni-27Cr-8Mo süper alaşımının hazırlanmasındaki alaşım oranları ile 1. bölgeden (elips 0) alınan EDS analiz sonuçları birbirine çok yakın değerlerde olduğu anlaşılmıştır. 2. bölgeden (elips 1) alınan analiz sonuçlarına göre krom ve molibdenin yoğunlukta olduğu ve ana metal olan nikelin bu bölgede fazla yoğun olmadığı anlaşılmıştır.

5.4.2. Ni-27Cr-10Mo Alaşımının EDS Sonuçları

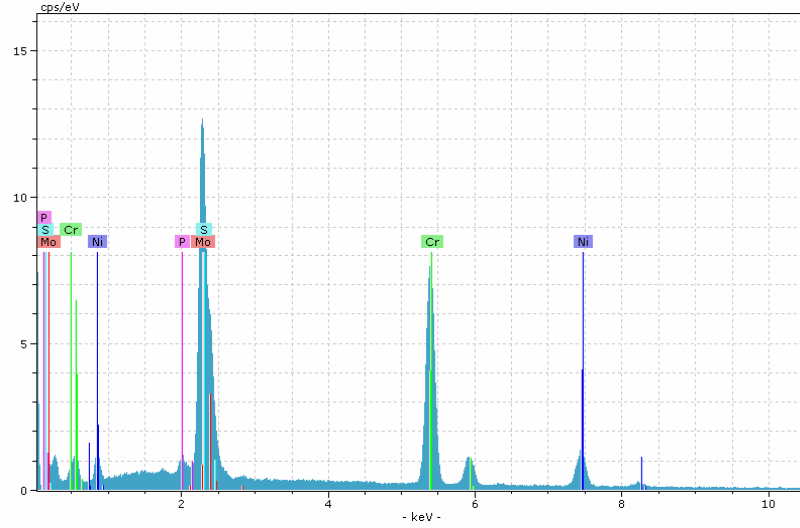
Ni-27Cr-10Mo alaşımının matris fazı ve dentrit kollarının bileşimlerinin anlaşılması amacıyla alaşıma ait Şekil 5.29'da gösterilen fotoğrafın iki bölgesinden (elips 0 ve elips 1) EDS analizleri alınmıştır. Analiz sonuçları ve grafikleri Şekil 5.30 ve 5.31'de gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Ni-27Cr-10Mo alaşımında 2 farklı bölgenin (elips0 ve elips1) mikroyapısı

Spectrum: Ellipse0

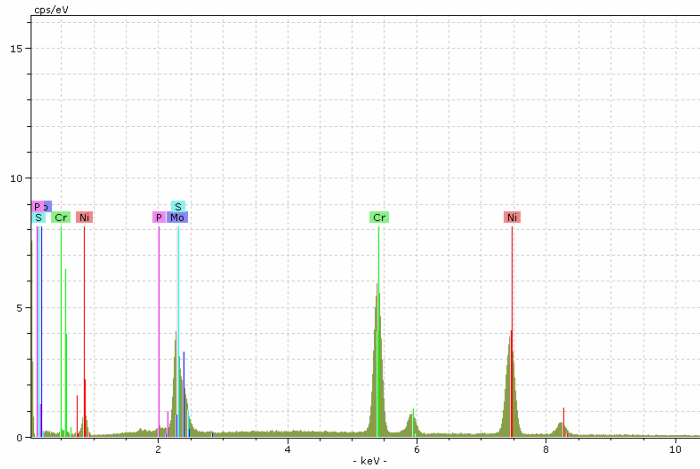
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Mo	42	L-series	38.57	45.65	31.72
Cr	24	K-series	33.52	39.67	50.86
Ni	28	K-series	11.73	13.89	15.77
S	16	K-series	0.67	0.79	1.64
P	15	K-series	0.00	0.00	0.00
Total:			84.5 %		



Şekil 5.30. Ni-27Cr-10Mo alaşıminin fotoğrafından alınmış elips 0 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği

Spectrum: Ellipse1

Ni	28	K-series	48.53	42.36	43.72
Cr	24	K-series	40.13	35.02	40.81
Mo	42	L-series	24.84	21.68	13.69
S	16	K-series	1.08	0.94	1.77
P	15	K-series	0.00	0.00	0.00
Total:			114.6 %		

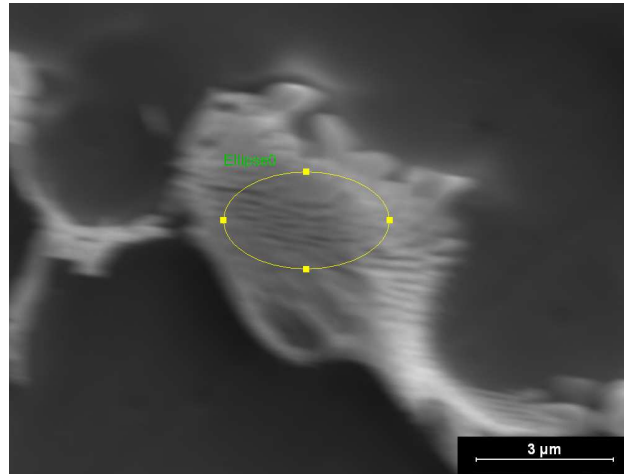


Şekil 5.31. Ni-27Cr-10Mo alaşıminin fotoğrafından alınmış elips 1 bölgesinin EDS analiz sonuç ve grafiği

Bu sonuçlara göre; 1. Bölgede açık renkli kısımda (elips 0) molibdenin % 45 oranında, kromun %39 oranında olduğu ve esas metal olan nikelin bu bölgede fazla yoğun olmadığı %13 oranında bulunduğu anlaşılmıştır.

2. bölgede (elips 1) nikelin ortalama % 42 oranında, kromun ortalama %35 oranında ve molibdenin ortalama % 22 oranında bulunduğu tespit edilmiştir.

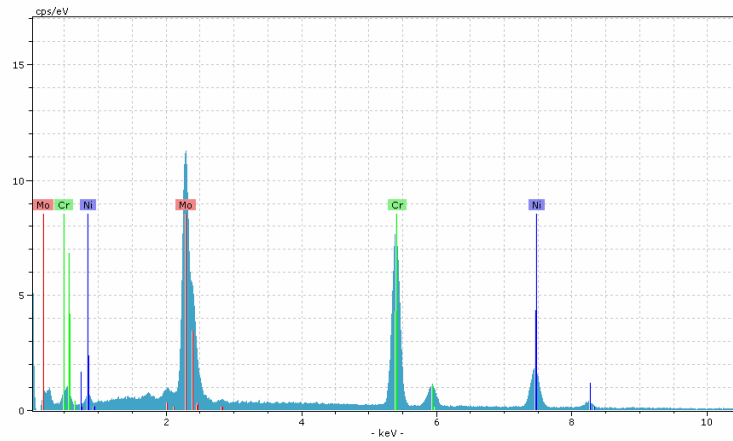
Dentritik bölge analizinin daha iyi yapılabilmesi amacıyla Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımının dentrit kolundan başka bir EDS analizi alınmıştır (Şekil 5.32). Bu bölgenin analiz sonuç ve grafiği Şekil 5.33’de verilmiştir.



Şekil 5.32. Ni-27Cr-10Mo alaşımının mikroyapısı ve EDS analiz bölgesi

Spectrum: Ellipse0

E1	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [At.%]
Mo	42	L-series	36.58	42.46	29.38
Cr	24	K-series	32.82	38.10	48.63
Ni	28	K-series	16.75	19.44	21.99
Total:			86.2 %		



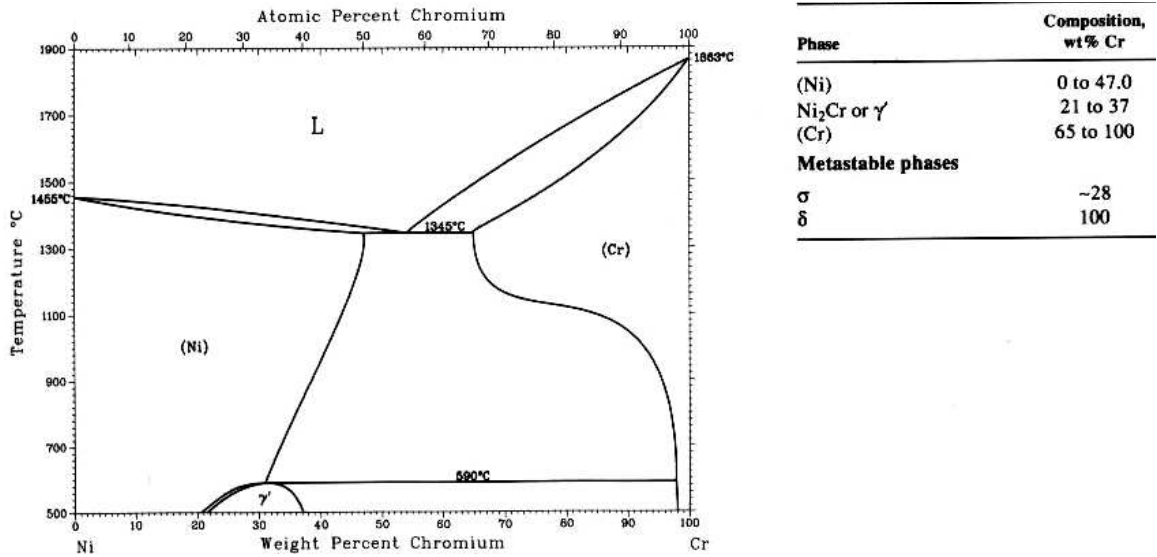
Şekil 5.33 Ni-27Cr-10Mo alaşımının EDS analiz sonuç ve grafiği

Bu sonuçlara göre Ni-27Cr-10Mo alaşımasının dentrit yapının EDS analizi için incelenen elips 0 bölgesinde molibdenin ortalama % 42 oranında, kromun ortalama %38 oranında ve esas metal olan nikelin ortalama % 20 oranında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre elips 0 bölgesinde molibdenin ve kromun yoğun olduğu anlaşılmıştır.

5.5. X-Işınlari Sonuçları

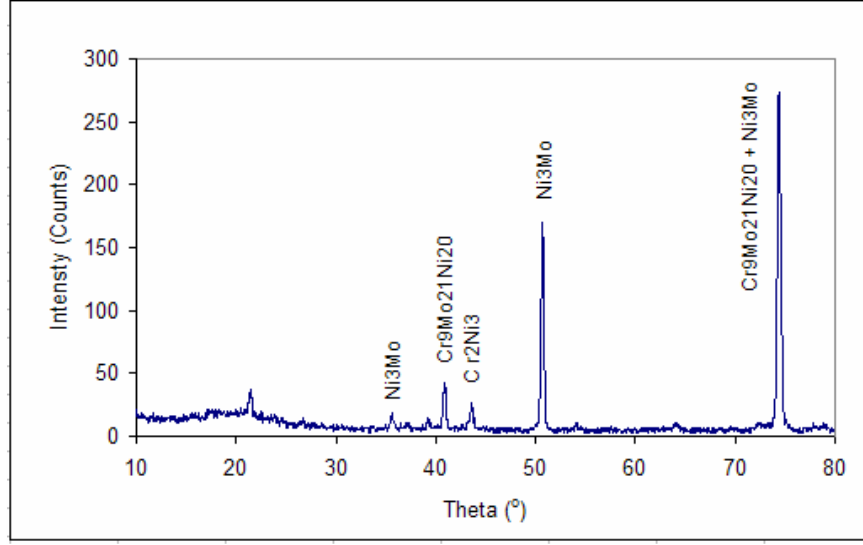
5.5.1. Ni-27Cr-8Mo Süper Alaşımasının X-Işınlari Sonuçları

Şekil 5.34 de NiCr alaşımına Mo ilave edilmeden önceki denge diyagramı ve faz tablosu görülmektedir. Faz tablosuna göre alaşım Ni, Cr, Ni₂Cr veya γ' fazları ile σ , δ fazından ibarettir.



Şekil 5.34. Ni-Cr alaşımasının denge diyagramı ve faz tablosu

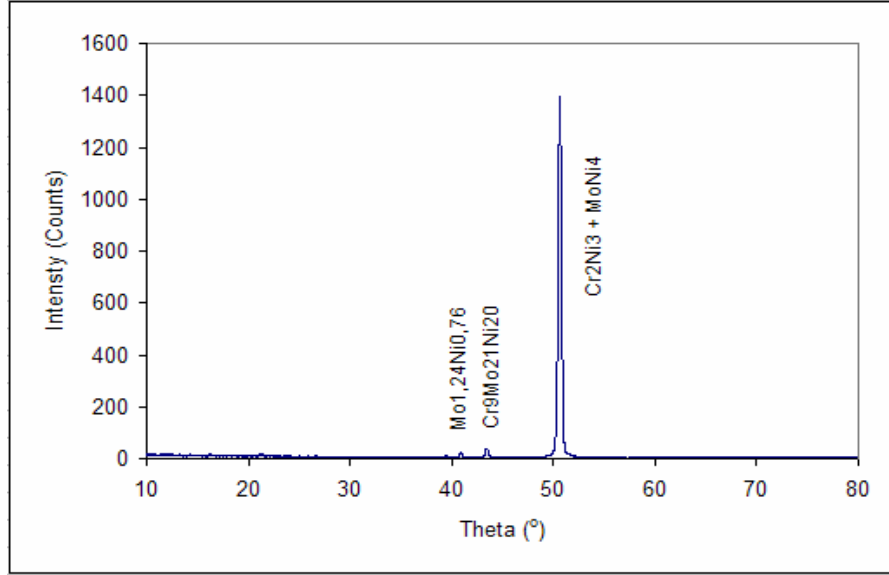
Ni-Cr alaşımına % 8 Mo ilavesinden sonra alaşımın faz yapısı değişmiş ve yeni fazlar ortaya çıkmıştır. Bu fazların ortaya çıkarılması amacıyla yapılan Ni-27Cr-8Mo Süper alaşımasının x-ışınları incelemeleri sonuçları Şekil 5.35'deki grafikte görüldüğü gibidir. Ni-Cr alaşımına % 8 oranında Mo ilavesi ile Cr₉Mo₂₁Ni₂₀, Cr₂Ni₃ ve Ni₃Mo fazları oluşmuştur.



Şekil 5.35. Ni-27Cr-8Mo süper alaşımının x-ışınları grafiği

5.5.2. Ni-27Cr-10Mo Süper Alaşımının x-ışınları Sonuçları

Ni-27Cr-8Mo süper alaşımının Mo oranını % 2 artırmakla elde edilen Ni-27Cr-10Mo süper alaşımının x-ışınları sonuçları Şekil 5.36’da görüldüğü gibidir.



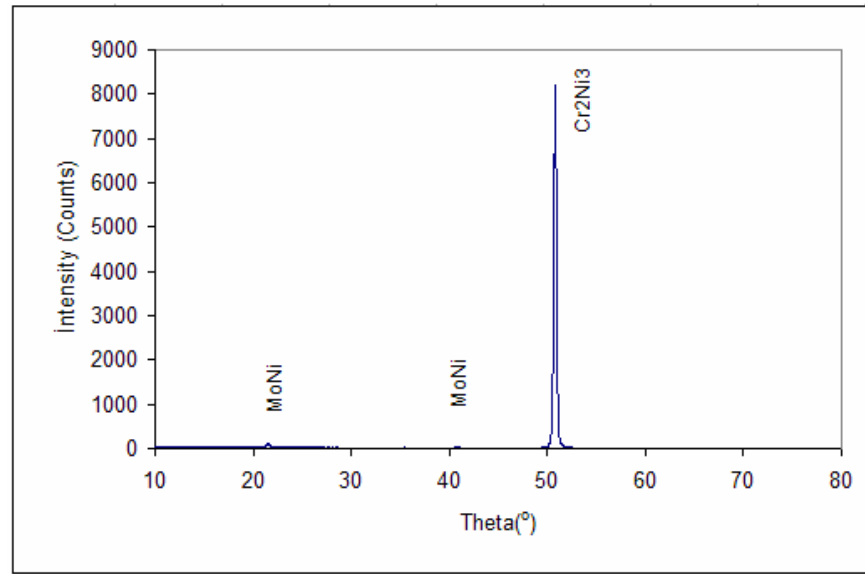
Şekil 5.36. Ni-27Cr-10Mo süper alaşımının x-ışınları grafiği.

Bu sonuca göre Ni-27Cr-10Mo Süper alaşımında Cr₉Mo₂₁Ni₂₀, Cr₂Ni₃, Mo_{1,24}Ni_{0,76} ve MoNi₄ fazlarının olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5.35 ve Şekil 5.36’dan görülebileceği gibi her iki alaşımda da aynı fazlar oluşmasına rağmen oluşan faz miktarlarında

farklılıklar vardır. % 10 Mo ilaveli alaşımda bazı fazlar çok azalmıştır. En yoğun faz Cr_2Ni_3 + MoNi_4 fazıdır.

5.5.3. Ni-27Cr-12Mo Süper Alaşımının x-Işınları Sonuçları

Ni-27Cr-10Mo süper alaşımının Mo oranını % 2 artırmakla elde edilen Ni-27Cr-12Mo süper alaşımının x-ışınları sonuçları Şekil 5.37’de görüldüğü gibidir.



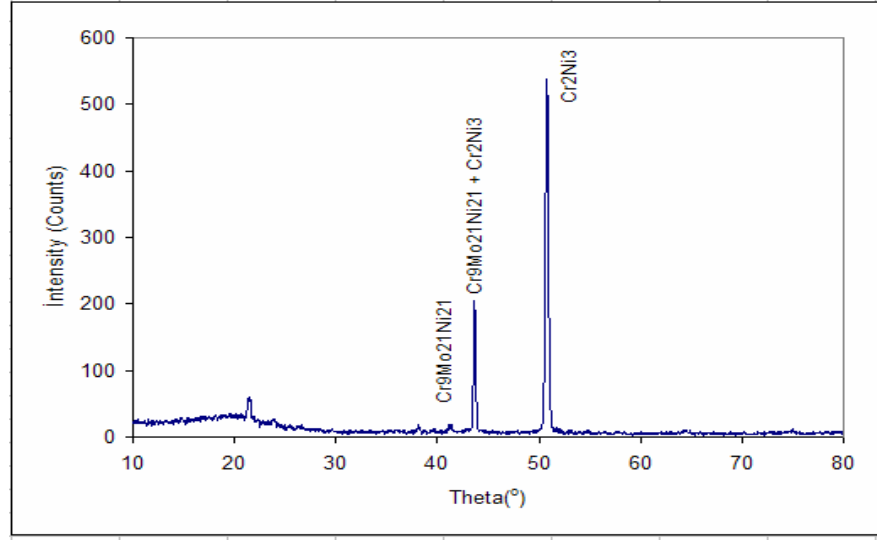
Şekil 5.37. Ni-27Cr-12Mo Süper alaşımının X ışınları grafiği

Elde edilen sonuçlara göre Ni-27Cr-12Mo süper alaşımında Cr_2Ni_3 ve MoNi fazlarının oluştuğu anlaşılmıştır.

Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’den görülebileceği gibi Ni-27Cr-12Mo alaşımında diğerlerinden farklı olarak MoNi fazı oluştuğu anlaşılmıştır. Yine bu alaşımda % 8 ve %10 Mo ilaveli diğer alaşımlara göre bazı fazların da kaybolduğu tespit edilmiştir. Bu alaşımda en yoğun görülen faz Cr_2Ni_3 fazıdır.

5.5.4. Ni-27Cr-14Mo Süper Alaşımının x-Işınları Sonuçları

Ni-27Cr-12Mo süper alaşımının Mo oranını % 2 artırmakla elde edilen Ni-27Cr-14Mo süper alaşımının x-ışınları sonuçları Şekil 5.38’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.38. Ni-27Cr-14Mo Süper alaşımının X ışınları grafiği

Bu sonuca göre Ni-27Cr-14Mo süper alaşımında Cr₂Ni ve Cr₉Mo₂₁Ni₂₀ fazlarının oluştuğu anlaşılmıştır. % 8 Mo içerikli numunede oluşan fazların aynısı bu alaşımda da oluşmuştur. Böylece 2. ve 3. numunede kaybolan fazlar Mo oranının artmasıyla yeniden açığa çıkmıştır. En yoğun faz Cr₂Ni₃ fazıdır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Nikel esaslı Ni-Cr süper alaşımlarına, molibden katkısının, nikel-krom-molibden (Ni-Cr-Mo) süper alaşımlarına etkisinin incelenmesi için hazırlanan 1.No'lu numune Ni-27Cr-8Mo, 2.No'lu numune Ni-27Cr-10Mo, 3.No'lu numune Ni-27Cr-12Mo ve 4.No'lu numune Ni-27Cr-14Mo süper alaşımların incelenmeleri sonucunda;

- 1- Ulaşılan çekme deneyi sonuçlarına göre Ni-Cr-Mo süper alaşımlarında molibden oranının artmasıyla çekme mukavemetinin arttığı anlaşılmıştır.
- 2- Sertlik ölçme deneyleri sonucunda Ni-Cr alaşımına belirlenen oranlarda Mo ilavesi alaşımın sertlik değerlerinde küçük farklılıklar dışında herhangi bir değişime yol açmamıştır.
- 3- SEM incelemelerinden alaşımların matris fazı içerisinde yer alan dentritlerden meydana geldiği, dentrit kollarının üzüm salkımı şeklinde düzgün bir yapıda oluştuğu ve matris içerisinde dentritlerin homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.
- 4- EDS analizlerinden matris içerisinde nikel ve krom metallerinin yoğunlaştığı ve dentritik bölge de ise molibden ve krom metallerinin yoğunlaştığı anlaşılmıştır.
- 5- X-ışınları incelemelerinden en çok faz çeşidi 1 ve 4 no'lu numunede yer alırken, 2 ve 3 no'lu numunelerde bazı fazların kaybolduğu görülmüştür. Tüm numunelerde tespit edilen fazlar; Cr₉Mo₂₁Ni₂₀; Cr₂Ni₃; Mo_{1,24}Ni_{0,76} ve MoNi₄ şeklindedir.

KAYNAKLAR

Ocken, H., and Velan, A.K., 1935, Laboratory Evaluation of Cobalt-free, Nickel-Based Hardfacing Alloys for Nuclear Applications, Report NP-4993, 1987, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA

Çömez E., 2003 Kobalt Esaslı Elektrotlarla Kaplanan Malzemelerin Mikroyapı ve Mekanik özelliklerinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Elazığ.

Akdoğan, A. ve Nurveren, K. 2003. Şekil Hafızalı Alaşımlar, Mühendis ve Makine, Haziran 2003, sayı 521.

Thambury R., 1983 - W. Wallace, J.A. Goldak, Int. Met. Rev. 28 (1983) 1–22.

Thompson R.G., 1983 - S. Genculu, Weld. J. (Suppl.) 62 (1983) 337s–345s.

Shoemaker L.E., 1999 in: S.A. David (Ed.), Trends in Welding Research, American Society for Metals, Metal Park, OH, 1999, pp. 371–377.

Gale W.F., 1966 - Y. Guan, Metall. Mater. Trans. A 27A (1996) 3621–3636

Ekrami A., 2003 - T.I. Khan, H. Malik, Mater. Sci. Tech. 219 (2003) 132–136.

Paulasto M., 1997 - G. Ceccone, S.D. Petevs, Scripta Materialia 36 (1997) 71–84.

Sims C. T., 1966 - A Contemporary View of Nickel-Base Superalloys, - Journal of Metals, Vol. 18, p 1119(1966).

Decker R. F., 1969 Strengthening Mechanisms in Nickel-Base Superalloys, in Steel-Strengthening Mechanisms, Climax Molybdenum Co., Greenwich, Conn. (1969).

Sabot G. P. and R. Stickler, 1969 - Microstructure of Nickel-Based Superalloys, , physica status solidi, Vol 35, p 11 (1969).

Boyer, H.E. and GALL, 1991 - T.L., Metals Handbook Desk Edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, USA (1991)

Doruk M., 1982 - Korozyon ve Önlenmesi, ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:70, Ankara (1982)

Fontana, M. G., 1986 - Corrosion Engineering, McGraw -Hill Book Company, Singapore (1986)

AY, S.,1988 - Korozyon Kontrol, 1.HİBM Fabrika Müdürlüğü Yayınları, Eskişehir

Pollock, I. B., 1985 - Corrosion of under Thermal Insulation, ASTM, Ann Arbor

VerSnyder F. L. and M.E. Shank, 1970 - The Development of Columnar Grain and Single Crystal High Temperature Materials Through Directional Solidification, , Materials Science and Engineering, Vol 6, p 213 (1970).

DEÜ, Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt: 6 Sayı: 2 S. 81-93 Mayıs 2004

William J.O. 2002, Dental Materials and Their Selection, Quintessence, Pub.Co.Worral

Erdinç Ş.Ş. 1982 - "Seramik Malzemeler-I, Seramik Malzemeler-II, Ders Notları", İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fak., Metalürji Müh. Böl., Seramikler Bilim Dalı.

Çelik E., 2001 - Tiryaki A.K., Akın Y., Avcı E. (2001): "NiCrMo Esaslı Metalik Altlıkların Üzerine Seramik Diş Porselenlerin Üretimi", V. Seramik Kongresi, 3-5 Ekim, 2001, İstanbul, N.21, s. 402-409.

Caniklioğlu B. ve Özel H. 1980 - "Metal-Porselen Çalışmalarında Kullanılan Kıymetli Alaşımlar ve Hazırlama Tekniği", Diş Hekimliği Dergisi, Cilt 16, Sayı 1.

Şeşen M. Kelami. “Özel Ve Süper Alaşımlı Çelikler” İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

M.E.B. 1999 - Metal İşleri Meslek Teknolojisi, Ankara

Caneb G.Yük. Müh. M.T.A. Enstitüsü Plan Proje Şb. Sayı 5

ÖZGEÇMİŞ

1980 Elazığ ili, Palu ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da tamamladıktan sonra 2001 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünü kazandı ve 2004 yılında buradan mezun oldu. Aynı yıl Kahramanmaraş Göksun METEM'e öğretmen olarak atandı. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. Halen Palu Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi Müdürlüğünde Metal İşleri öğretmeni olarak çalışmaktadır.