



**KUM DÖKÜM İLE ÜRETİLEN DIN X210Cr12
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDE ISIL
İŞLEMLERİN ABRAZİV AŞINMA DAYANIMINA
ETKİSİ**

ŞÜKRÜ ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi S. Özmen ERUSLU
İkinci Danışman: Prof. Dr. S. Osman YILMAZ
2022**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KUM DÖKÜM İLE ÜRETİLEN DIN X210Cr12 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDE
ISIL İŞLEMLERİN ABRAZİV AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ

ŞÜKRÜ ÖZTÜRK

ORCID: 0000-0002-4683-353X

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi S. Özmen ERUSLU

İkinci Danışman: Prof. Dr. S. Osman YILMAZ

OCAK-2022

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

KUM DÖKÜM İLE ÜRETİLEN DIN X210Cr12 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDE ISIL İŞLEMLERİN ABRAZİV AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ

Şükrü ÖZTÜRK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sait Özmen ERUSLU

İkinci Danışman: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

Bu çalışmada kullanılan numuneler kum döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen numuneler, Mo (Molibden) takviyeli ve Mo takviyesiz olarak üretilmiştir. Üretilen numunelere farklı sıcaklık, bekleme süresi ve soğutma ortamı gibi kıyas parametreleri kullanılarak ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanan numuneler parlatma işlemine tabi tutularak SEM görüntüleri alınmış ve numunelerin içi yapıları incelenmiştir. Numuneler belirli süre ve mesafe parametrelerine bağlı olarak, kum zımpara kullanılarak farklı yükler altında abraziv aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Aşınma deneyi sonrası sonuçlar; uygulanan yük, aşınma miktarı, Mo varlığının etkilerine göre mukayese edilmiştir. Numunelerin mikro vickers sertlik ölçümleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonrasında, belirli ısıl işlem parametrelerinin ve Mo takviyesinin, soğuk iş takım çeliğinin sertlik ve aşınma direnci üzerinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Numune, Molibden, Soğuk İş Takım Çeliği, Aşınma, Abraziv, Isıl İşlem

ABSTRACT

THE EFFECTS OF HEAT TREATMENTS ON ABRASIVE WEAR STRENGTH OF SAND CAST DIN X210Cr12 COLD WORK TOOL STEELS

Şükrü ÖZTÜRK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Dr. Sait Özmen ERUSLU

Co-Supervisor: Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

The samples used in this study were produced using the sand casting method. The produced samples were produced with and without Mo (Molybdenum) reinforcement. Heat treatment was applied to the produced samples by using comparison parameters such as different temperature, waiting time and cooling environment. The heat treated samples were polished and SEM images were taken and the internal structures of the samples were examined. The samples were subjected to abrasive wear test under different loads using sandpaper, depending on certain time and distance parameters. Results after the wear test; The effects of applied load, amount of wear and presence of Mo were compared. Micro Vickers hardness measurements of the samples were made. As a result of experimental studies, it has been determined that certain heat treatment parameters and Mo reinforcement give positive results on the hardness and wear resistance of cold work tool steel.

Keywords: Specimen, Molybdenum, Cold Work Tool Steel, Wear, Abrasive, Heat Treatment

2022, 71 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı	4
1.3. Tez Çalışmasının Önemi	4
2. ÇELİĞİN TANIMI	6
2.1. Çeliklerin Temel Özellikleri	6
2.2. Karbon Oranlarına Göre Çeliklerin Sınıflandırılması.....	6
2.3. Düşük Karbonlu Çelikler	7
2.4. Orta Karbonlu Çelikler	7
2.5. Yüksek Karbonlu Çelikler	8
3. TAKIM ÇELİKLERİ	9
3.1. Takım Çeliklerinin Özellikleri	10
3.2. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması	10
3.2.1. Soğuk İş Takım Çelikleri	11
3.2.2. Sıcak İş Takım Çelikleri.....	12
3.2.3. Yüksek Hız Takım Çelikleri.....	12
3.3. Takım Çeliklerindeki Alaşım Elementlerinin Etkileri	12
4. ÇELİKLERDE ISIL İŞLEM	14
4.1. Tavlama.....	14
4.1.1. Yumuşatma Tavlaması	14
4.1.2. Gerilme Giderme Tavlaması	14
4.1.3. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması	15
4.1.4. Normalleştirme Tavlaması	15

4.2. Sertleştirme	15
4.3. Islah İşlemi.....	15
5. MATERYAL METOD	17
5.1. Materyal	17
5.2. Metod	21
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	24
6.1. Aşınma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	24
6.1.1.Kum Kalıba Döküm Yöntemiyle Üretilmiş Soğuk İş Takım Çeliklerinde Aşınma Sonuçları	24
6.1.2.Kum Kalıpta Molibdensiz Olarak Üretilen Numunelerde Isıl İşleme Bağlı olarak Elde edilen Aşınma ve Mikro Sertlik Sonuçları.....	27
6.1.3.Kum Kalıpta Molibdenli Olarak Üretilen Numunelerde Isıl İşleme Bağlı olarak Elde edilen Aşınma ve Mikro Sertlik Sonuçları.....	28
6.1.4.Mikroskop ve SEM görüntülerine bağlı olarak karbür dağılımlarının değerlendirilmesi	29
6.1.5.XRD Sonuçlarının Değerlendirilmesi	49
6.1.6.EDS analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	51
7. SONUÇLAR.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3. 1. Takım çeliklerinde kullanılan alaşım elementleri ve kullanım oranları.....	10
Çizelge 5. 1. 2080 Takım Çeliğinin Kimyasal İçeriği.....	17
Çizelge 5. 2. Uygulanan ısıtım işlem parametreleri tablosu.....	22



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 5. 1. Isı ve zaman kontrollü kül fırını.....	18
Şekil 5. 2. AS 135 Isıl İşlem Tuzu	18
Şekil 5. 3. Parlatma Cihazı	19
Şekil 5. 4. Optik Mikroskop	19
Şekil 5. 5. Rockwell Sertlik Cihazı	20
Şekil 5. 6. Mikro-Vickers Sertlik Cihazı.....	20
Şekil 5. 7. Blok On Disk Aşınma Cihaz.....	21
Şekil 5. 8. Abrasiv aşınma uygulanmış numuneler.....	23
Şekil 6. 1. Elde edilen döküm numunelerde aşınma sonuçları.....	24
Şekil 6. 2. Elde edilen döküm numunelerde mikrosertlik sonuçları.....	25
Şekil 6. 3. Molibden katkısız ve katkılı 2080 takım çeliklerinde su verme işlemi sonrası aşınma miktarının değişimi	26
Şekil 6. 4. Molibden katkısız ve katkılı 2080 takım çeliklerinde su verme işlemi sonrası mikrosertlik değişimi	26
Şekil 6. 5. Molibdensiz Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Aşınma Değişimi.....	27
Şekil 6. 6. Molibdensiz Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Mikrosertlik Değişimi	27
Şekil 6. 7. Molibdenli Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Aşınma Değişimi	28
Şekil 6. 8. Molibdenli Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Mikrosertlik Değişimi	28
Şekil 6. 9. Molibden Katkısız Numune Isıl İşlemsiz Optik Görüntüsü.....	29
Şekil 6. 10. Molibden Katkılı Numune Isıl İşlemsiz Optik Görüntüsü	30
Şekil 6. 11. Molibden katkısız Kum Kalıba Döküm Numunelerde Isıl işlemsiz Mikro Yapı.....	31
Şekil 6. 12. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbür Miktarının Image J Programıyla Tespit Edilmesi.....	31
Şekil 6. 13. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbürlerin Image J programı kullanılarak Ölçülmesi	32
Şekil 6. 14. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbür Uzunluklarının Image J Programı Kullanılarak Elde Edilmesi	32
Şekil 6. 15. Döküm Numune Relatif Frekansı - Karbür Uzunluğu Grafiği	33
Şekil 6. 16. Döküm Numune Relatif Frekansı - Karbür En/Boy Oranı	33
Şekil 6. 17. Molibdensiz Numunelerde S7 Isıl İşlemi Sonrası Yapı Elde Edilen Mikro Yapı.....	34
Şekil 6. 18. Molibdensiz Numunelerde S7 Isıl İşlemi Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği	34
Şekil 6. 19. Molibdensiz Numunelerde S7 Isıl İşlemi Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği	35
Şekil 6. 20. Molibdensiz Numunelerde S7 Isıl İşlemi Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı	35
Şekil 6. 21. Molibdensiz Numunelerde S8 Isıl İşlemi Sonrası Yapı Elde Edilen Mikro Yapı.....	36
Şekil 6. 22. Molibdensiz Numunelerde S8 Isıl İşlemi Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği	37
Şekil 6. 23. Molibdensiz Numunelerde S8 Isıl İşlemi Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği	37
Şekil 6. 24. Molibdensiz Numunelerde S8 Isıl İşlemi Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı	38
Şekil 6. 25. Molibden katkılı Kum Kalıba Döküm Numunelerde Isıl işlemsiz Mikro Yapı	39

Şekil 6. 26. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbür Miktarının Image J Programıyla Tespit Edilmesi.....	40
Şekil 6. 27. Molibden Katkılı Numunelerde Birincil Karbürlerin Image J programı kullanılarak Ölçülmesi	40
Şekil 6. 28. Mo Katkılı Döküm Numune Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği	41
Şekil 6. 29. Mo Katkılı Döküm Numune Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği	41
Şekil 6. 30. Mo Katkılı Döküm Numune Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı.....	42
Şekil 6. 31. S3 Isıl İşlem Sonrası Mikro Yapı (Mo Katkılı).....	42
Şekil 6. 32. Mo Katkılı Numunelerde S3 Isıl İşlem Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği	43
Şekil 6. 33. Mo Katkılı Numunelerde S3 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği	43
Şekil 6. 34. Mo Katkılı Numunelerde S3 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı..	44
Şekil 6. 35. S14 Isıl İşlem Sonrası Mikro Yapı (Mo Katkılı).....	44
Şekil 6. 36. Mo Katkılı Numunelerde S14 Isıl İşlem Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği	45
Şekil 6. 37. Mo Katkılı Numunelerde S14 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği	45
Şekil 6. 38. Mo katkılı Numunelerde S14 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı.	46
Şekil 6. 39. S18 Isıl İşlem Sonrası Mikro Yapı (Mo Katkılı).....	46
Şekil 6. 40. Mo Katkılı S18 Isıl İşlem Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği.....	47
Şekil 6. 41. S18 Isıl İşlem Sonrası -10xx (Mo Katkılı)	47
Şekil 6. 42. Mo Katkılı S18 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği.....	48
Şekil 6. 43. Mo Katkılı S18 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı.....	48
Şekil 6. 44. Mo Katkılı Numune S11 Isıl İşlem Sonrası XRD Analizi Grafiği.....	49
Şekil 6. 45. Mo Katkısız Numune S15 Isıl İşlem Sonrası XRD Analizi Grafiği	50
Şekil 6. 46. Mo Katkısız Isıl İşlemsiz Numune EDS Analizi	51
Şekil 6. 47. Object 8 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	52
Şekil 6. 48. Object 9 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	53
Şekil 6. 49. Object 10 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	54
Şekil 6. 50. Mo Katkısız S15 Isıl İşlemi Sonrası Numune EDS Görüntüsü.....	55
Şekil 6. 51. Object 6 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	56
Şekil 6. 52. Object 5 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	57
Şekil 6. 53. Object 7 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	58
Şekil 6. 54. Mo Katkılı Isıl İşlemsiz Numune EDS Görüntüsü.....	59
Şekil 6. 55. Object 15 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	60
Şekil 6. 56. Object 16 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	61
Şekil 6. 57. Object 17 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	62
Şekil 6. 58. Mo Katkılı S19 Isıl İşlemi Sonrası Numune EDS Görüntüsü.....	63
Şekil 6. 59. Object 11 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	64
Şekil 6. 60. Object 12 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	65
Şekil 6. 61. Object 13 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Mo	: Molibden
Cr	: Krom
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
X210Cr12	: 2080 Soğuk İş Takım Çeliği (1.2080)
Mn	: Manganez
W	: Tungsten (Volfram)
ESR	: Elektro-Slag Eritme
VAR	: Vakumlu Ark Yeniden Eritme
C	: Karbon
°C	: Santigrat Derece (Celsius)
V	: Vanadyum
Fe-C	: Demir-Karbon
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
Fe ₃ C	: Sementit
HB	: Brinell Sertlik
HRC	: Rockwell Sertlik
Si	: Silisyum
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
V	: Vanadyum
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
Mn-S	: Manganez (II) Sülfür
Fe-S	: Demir (II) Sülfür
S	: Kükürt
P	: Fosfor
N	: Azot
H	: Hidrojen

O	: Oksijen
NaOH	: Sodyum Hidroksit
CO	: Karbonmonoksit
NaNO ₃	: Sodyum Nitrat
KNO ₃	: Potasyum Nitrat
AS 135	: Isıl İşlem Tuzu (50% NaNO ₃ - 50% KNO ₃)
EDS	: Enerji Dağılımı Spektrometresi
stdr	: Standart
XRD	: X-Ray Diffraction (X-Işımı Difraksiyon Spektroskopisi)



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi S. Özmen ERUSLU 'ya şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Araştırmamın deneysel çalışma ve analiz kısmında bana yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. S. Osman YILMAZ ve Prof. Dr. Tanju TEKER' e teşekkürü bir borç bilirim.

Şükrü ÖZTÜRK
Makine Mühendisi



1. GİRİŞ

Soğuk iş takım çelikleri, yüksek karbonlu daha az miktarda manganez, tungsten, molibden ve krom içeren çeliklerdir. Sertliği arttırılabilen, aşınmaya karşı direnci ve yüksek sıcaklıklarda şeklini koruma yeteneği bu malzemenin temel özellikleridir. Bu sebeplerden dolayı soğuk iş takım çelikleri, el aletleri veya makine kalıpları gibi alet üretimi için uygun olan bir çelik türüdür.

Takım çeliği üretiminde, büyük miktarlarda hurda çelikten ve demir cevherinden elektrik ark ocaklarında ergitmeyle üretime başlanır. Ergimiş çelikteki kükürt ve fosfor içeriği gazdan arındırma işlemleriyle dengelenerek takım çeliği kompozisyonunda ingotlar dökülür.

İngotlarda mikro ve makro düzeyde segragasyonlar gözlenir. Bu homojen olmayan yapı, çelik kompozisyonuna ve soğuma hızına bağlı olarak bir miktar kontrol edilebilmektedir.

Yeniden eritme teknolojileri elektro-slag eritme (ESR) veya vakumlu ark yeniden eritme (VAR) teknikleri kullanılarak istenmeyen ötektik karbürlerden ve yapıda istenmeyen kükürt gibi elementlerden arındırılmış daha homojen bir yapı elde edilir.

Soğuk iş takım çelikleri kullanım yerlerine bağlı olarak basınç kuvvetleri, sürtünme kaynaklı kesme kuvvetleri, termal yükler ve kimyasal yükler gibi kullanım ömürlerini etkileyecek farklı kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler neticesinde soğuk iş takım çelikleri yeterince dayanıklı değiller ise aşınma, kırılma, plastik deformasyon gibi kalıcı hasarlar oluşmaktadır.

Soğuk iş takım çelikleri yüksek C (karbon) içeriğine sahip olmasından dolayı çok yüksek aşınma direnci olan bir malzemedir. Aşınmaya göre nispeten düşük tokluk değerlerini gösterir. Yüksek ısılarda boyutsal kararlılığı iyidir. Sertleştirme işlemleri ile istenilen derinlikte sertleştirmeye uygundur. Düşük tokluk değerlerini iyileştirmek, deformasyon sertleşmesini gidermek, sertleştirme işlemleri sonrasında ve ikincil fazlardan dolayı oluşan kırılma yapıyı gidermek için bu çeliklere birçok ısıl işlem uygulanmaktadır. Soğuk iş takım çelikleri ısıl işlem türlerine göre sınıflandırılırlar.

1.1. Literatür Özeti

Amini vd. 2080 soğuk iş takım çeliklerinde konvansiyonel ısıtma işlemlere ek olarak uygulanan krojenik ısıtma işlem uygulamalarının mikro yapıya ve aşınma dayanımına etkilerini incelemiştir [1].

Çalışmalarında su verme işlemlerinde su, yağ, hava, -30 °C etanol ve -195 °C sıvı nitrojen gibi farklı soğutma ortamları kullanılmıştır. Soğutma şiddetinin artırılmasının, 2080 takım çeliğinin mikro yapısı üzerinde, kalıntı östeniti azalttığı, karbür oranının arttığını ve daha homojen bir karbür dağılımı oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Jurci Cr, V takviyeli takım çeliklerinde ısıtma işlemlerin mikroyapıya etkisini incelemiştir [2].

Uygulanan yumuşak tavlama sonucu, östenitleme sıcaklığında vanadyum bazlı karbürler östenit içinde erimiştir. Östenitleme sıcaklığı aşıldığında, tane irileşmesi ile birlikte kalıntı östenit miktarının arttığı gözlenmiştir. Uygun soğutma ortamı sağlandığında sertliğin kolayca 60 HRC değerine ulaştığı belirlenmiştir.

Rubesova vd. 2080 soğuk iş takım çeliklerinin ısıtma işlemlere bağlı olarak elde edilen farklı mikro yapıları için su jeti uygulamalarında aşınma davranışını incelemiştir [3].

Çalışmada uygulanan ısıtma işlem sonrası, -160°C'de 24 saat boyunca kriyojenik olarak soğutma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 2 saat 300°C'de temperleme işlemi yapılmıştır. İşlemler sonucunda en yüksek aşınmaların östenit yapılarında, karbür yapılarında daha az aşınma ve en düşük aşınma değerlerinin kriyojenik işlem uygulanan çeliklerde olduğu sonucuna varmışlardır.

Seyedraoufi vd. Soğutma hızının 2080 soğuk iş takım çeliklerinin mikro yapısı ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemiştir [4].

Analizle 10x10x55 mm boyutların numuneler hazırlanarak yapılmıştır. Numuneler 950 °C'de 1-2 saat bekletildikten sonra farklı soğutma ortamlarında soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Soğutma işlemi sonrasında sırasıyla; parlatma, optik mikroskop ile mikro yapı incelemesi, mikro sertlik ölçümü, charpy darbe testi uygulanmıştır.

Soğutma hızının artırılması ile birlikte; karbürler içerisindeki krom miktarının azaldığı, beynitik yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Soğutma hızı ve östenitleme süresinin artırılmasıyla oluşan martenzitik yapının sertliği azalttığı belirlenmiştir.

Sapate vd. Martenzit oranının soğuk iş takım çeliklerinde aşınma davranışını düşürdüğünü çalışmalarında göstermiştir [5].

Sevim vd. Takım çeliklerinde ısıtılıp işlemsiz durum için abrasiv partikül boyutlarıyla aşınma oranı arasında ilişkiyi ortaya koymuşlardır [6].

Orečný vd. 2080 soğuk iş takım çeliklerinin ısıtılıp işlem, su verme ve nitrüleme işlemi sonrası aşınma davranışlarının değişimini incelemiştir [7].

Çalışmalarında 970 °C altında yapılan su verme işlemlerinde birinci karbürlerin çözünmeyerek yapıda gözlendiğini tespit etmişlerdir. Mikro sertlik değerleri incelendiğinde tüm ısıtılıp işlem proseslerinde yüzeyden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Buradan yüzeydeki mikro sertlik değerlerinin abrasiv aşınma koşullarına uygun malzeme ve ısıtılıp işlem seçiminde yanıtıcı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bakshi vd. Yüksek karbonlu çeliklerde martenzitik, perlitik ve beynitik mikro yapıların abrasiv aşınma dayanımına etkilerini incelemiştir [8].

Singh vd. 2379 serisi AISI D2 takım çeliklerinde ısıtılıp işlemlerin mikro yapı ve abrasiv aşınma üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmalarında en yüksek aşınma direncine martenzitik iç yapıda ince karbür dağılımında ulaşmışlardır [9].

Zebala vd. soğuk iş takım çeliklerinin tornada işlenebilirliğini kesme koşullarının etkilerini incelemiştir [10].

Çalışmada, su verme işlemine tabi tutulmuş (sertleştirilmiş) takım çeliklerinin, taşlama yerine sert tornalama işlemi yapılarak avantaj ve dezavantajları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, sert tornalama işleminin, taşlama işlemine göre daha hızlı, çıkan talaşların geri dönüşüme daha elverişli olduğu, ısıtılıp işlem ile sertleştirilmiş parçaların işlem sürelerinin azalmasında, işleme maliyetlerinin düşmesinde önemli bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaplan vd. AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş takım çeliklerinin delinmesinde kesici takım aşınmalarını incelemiştir [11].

Çalışmalarında, farklı uzunluklara sahip HSS burgu matkap kullanılarak delme işlemi uygulamışlardır. İşlem parametresi olarak iş parçasının sertliği, matkap uzunluğu/takım kullanma mesafesi, kesme hızı, ilerleme hızı ve açılan delik sayısı seçilmiştir. Matkap aşınmaları SEM ve optik mikroskop görüntüleri alınarak aşınma özellikleri incelenmiştir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Soğuk iş takım çelikleri istenilen özellikteki metal malzemelerin bükme, derin çekme, kesimi gibi şekillendirme yapmak amacı ile kullanılan çeliklerdir. DIN X210Cr12 soğuk iş takım çeliği, deformasyona uğramaması, metal kesme özelliklerinin üstün olması, sürtünme dayanımının iyi seviyede olması ve korozyona dayanımlı olması gibi önemli özelliklere sahip olması sebebiyle sanayide çok kullanılan bir çeliktir.

Çekme dayanımlarının ve düşük toklukları sebebiyle abraziv aşınma gerektiren yerlerde W içerikli tipleri tercih edilir. Takım çeliklerinde karbür oranı ve alaşımlandırma oranları arttıkça abraziv aşınma direncinin arttığı bilinmektedir. Ancak artan alaşım elementiyle birlikte malzeme masrafları artmakta, işleme ve ısıl işlem zorlukları oluşmaktadır. Bu sebeplerle genellikle soğuk iş takım çeliklerinde aşınma ömrünü arttırmak için yüzey modifiye işlemleri uygulanır.

DIN X210Cr12 soğuk iş takım çelikleri seri üretimde zımbalama kalıpları gibi boyutsal hassasiyet ve aşınma dayanımı gerektiren yerlerde çok kullanılan çeliklerdir. Dökümden yüksek karbür oranlarına sahip olarak ledeburitik yapıya sahip olarak elde edilen çeliğin ısıl işlem neticesinde karbür dağılımının ve aşınma direnci iyileştirilmektedir.

Tez çalışmasının amacı, DIN X210Cr12 soğuk iş takım çeliklerinin ısıl işlem sonucunda elde edilen iç yapılarının abraziv aşınma mukavemetine etkilerini incelemektir.

1.3. Tez Çalışmasının Önemi

Takım çeliklerine uygulanan geleneksel sertleştirme yöntemlerinde çelik östenitleme işleminin ardından çelik cinsine bağlı olarak çeşitli soğutma ortamlarında en düşük tabii sıcaklık olan oda sıcaklığına kadar soğutulur ve martenzitik yapı elde edilir. Oda sıcaklığına kadar yapılan konvansiyonel soğutmayla bu tür çeliklerin bünyesinde yüksek oranda kalıntı östenit olarak adlandırılan bir faz bırakır.

Bu faz takım aşınma dirençlerini düşürmektedir [12]. Bu çeliklerin aşınma dirençlerini iyileştirmek için sertleştirme işlemi sırasında ve sonrasında birçok ısı işlem uygulanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yapılan kriyojenik işlemler ile -196°C sıcaklıklara kadar inilerek sertleşme işleminde ortaya çıkan kırılğan kalıntı ostenit etkileri giderilebilir [12]. Kalıntı ostenitin etkilerini gideren diğer bir yöntem sertleşme sonrası yapılan menevişleme ısı işlemidir.

Özellikle yüksek sertlik gerektiren uygulamalarda kullanılan karbür yapıcı etkiye sahip olan Cr, Mo, V katkılarına sahip soğuk iş takım çeliklerinde karbür oranı doğru ısı işlemler sayesinde artırılıp kırılğan etki yapan kalıntı ostenit azaltılmaktadır [13]. Farklı ısı işlem ortamlarının ikincil sertleşebilme özelliğine sahip soğuk iş takım çeliklerinde sertliğe etki ettiği gösterilmiştir [14].

Sertleştirme sonrası yapılan menevişleme işlemlerinde, sıcaklık ve bekleme süresi çelik sertliği ve tokluk değerlerini etkilemektedir [15].

Bu çalışmada DIN X210Cr12 soğuk iş takım çelikleri kum döküm ile üretilecektir. Döküm sonrası farklı ısı işlemler altında sertleştirilecek numunelerin abraziv aşınma ve iç yapı değişimleri incelenecektir.

2. ÇELİĞİN TANIMI

Çelik, maksimum %2,06 oranında karbon (C) içeren Fe-C (demir-karbon) alaşımıdır. Çoğunlukla sünek yapıya sahip olan çelikler, uygulanabilecek bazı ısıt işlemler sayesinde sertlik, tane boyutu, tokluk ve aşınma direnci gibi pek çok mekanik özellikleri üzerine değişiklik yapılabilmektedir. Kimyasal kompozisyonundan da anlaşılacağı üzere, çeliğin özelliklerinin belirlenmesinde en büyük etken element karbondur. Çelikler genel olarak demir-karbon alaşımları olmalarının yanı sıra, mekanik özelliklerini değiştirebilecek birçok element takviyesi yapılabilmektedir. Yapılan takviye elementleri ve bunlara uygulanan ısıt işlemler sayesinde, çeliğin mekanik özellikleri üzerinde iyileştirmeler yapmak mümkündür [16].

2.1. Çeliklerin Temel Özellikleri

- Çelikler çoğunlukla ısıt işlemlere karşı duyarlıdır. Kimyasal kompozisyonları ve uygulanacak ısıt işlemler sonucunda istenen, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel ve manyetik özellik, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık direnci, sertlik gibi özellikler kazanabilirler.
- Çelikler, kimyasal yapılarına uygun ısıtlara getirilerek işlenebilme kabiliyeti kazanırlar (haddeleme, presleme, dövme).
- Talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri kullanılarak şekillendirilebilirler.
- Çelikler, genel olarak kaynak yapılabilme özelliğine sahiptir.
- Genel olarak boyama, plastik kaplama, metal kaplama işlemlerine uygundur.

2.2. Karbon Oranlarına Göre Çeliklerin Sınıflandırılması

Çeliklerdeki en önemli alaşım elementi karbondur [17]. Çelikler sahip oldukları özellikleri büyük oranda yapılarında bulunan karbon miktarı belirlemektedir. Kimyasal içeriklerinde karbon, mangan ve silisyum bulunan çelikler karbon çelikleri olarak adlandırılırlar. Krom, nikel ve molibden gibi alaşım elementleri bu çeliklerde bulunmaz [18].

Çelikler bünyelerinde bulunduracakları karbon miktarlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| • Düşük Karbon Çelikleri | 0,08-0,25 % Karbon |
| • Orta Karbon Çelikleri | 0,35-0,55 % Karbon |
| • Yüksek Karbon Çelikleri | 0,55-1,5 % Karbon |

Çeliklerin yapısında bulunan karbon miktarı artışı ile mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler aşağıdaki gibi özetlenebilir [19].

- Çeliğin sertliği artar. Sünekliği azalır (Çelik gevrekleşir).
- Aşınma direnci artar.
- Talaşlı ve talaşsız işlenebilirliği azalır.
- Çeliğin ergime noktası düşer. Dökülebilme özelliği artar.
- Kaynaklanabilme özelliği azalır.
- Isıl işleme uygunluğu artar.

2.3. Düşük Karbonlu Çelikler

Genellikle %0,20-0,25'ten daha az oranlarda karbon içeren çelik sınıfıdır. Mekanik yapı olarak bakıldığında yumuşak ve düşük dayanımlı çelikler olarak tanımlanabilirler. İçerdikleri karbon oranlarının düşük olması sebebiyle ısıtılarak uygulayarak kütleli olarak sertleştirilemezler. Yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabilmektedir. Yapısal olarak yüksek tokluğa sahip sünek malzemelerdir.

Genel olarak otomotiv, inşaat, gıda ve makine imalatı gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4. Orta Karbonlu Çelikler

Yapı olarak %0,25 ile %0,6 arasında karbon içeren çeliklerdir. Mekanik özellikleri ısıtılarak işlemler ile iyileştirilebilmektedir. Karbon oranları dolayısıyla sertleştirilebilme kabiliyetleri düşüktür.

Üretimleri esnasında bazı karbür yapıcı elementlerin eklenmesiyle, ısıtılarak işlem kabiliyetleri ve buna bağlı olarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün kılınır.

Genellikle transmisyon mili, dişliler, ray, yaprak yaylar ve krank milleri gibi yüksek dayanım, yüksek aşınma dayanımı ve tokluk istenen makine parçalarının imalatında kullanılırlar.

2.5. Yüksek Karbonlu Çelikler

İçeriğinde %0,60'tan daha fazla karbon içeren çeliklerdir. Mekanik özellik olarak düşük ve orta karbonlu çeliklere göre; sertlikleri yüksek, sünekliği düşük, yüksek mukavemetlidir.

Isıl işlem kabiliyetleri yüksek olan bu çeliklerde karbon oranları genellikle %1,4 oranlarına kadar artırılırlar. Yapılan element takviyeleri sayesinde, uygulanan ısıl işlemler sonrası oluşan karbürler dolayısıyla sertlikleri artırılmaktadır.

Genellikle bıçak, yay, kesici takımların üretiminde kullanılmaktadırlar.



3. TAKIM ÇELİKLERİ

Yüksek alaşımlı ve yüksek oranda C içeren çeliklere takım çelikleri denir. Bu çeliklerin ıslah çeliklerinden en önemli farkı iç yapılarındaki empürite oranının düşük olması nedeniyle belirtilen mukavemet ve sertlik değerlerinde sapmanın minimum olmasıdır. Bu nedenle takım çelikleri ıslah çeliklerinden daha pahalıdır.

Bu malzemeler genellikle ısıtıl işlem görmemiş olarak satın alınır ve kullanıcısı tarafından işlendikten sonra ısıtıl işlem uygulanır.

Takım çelikleri genellikle, hammaddelere şekil verme, kesme, bükme, dövme, talaşlı ya da talaşsız imalat yöntemlerinin uygulanmasında kullanılırlar.

Takım çelikleri malzemelerin işlenmesi ve şekillendirilmesi için kullanılan asil çeliklerdir. Toplam çelik üretiminin %8'ine sahip olan takım çeliklerinin kullanımı her yıl artış göstermektedir. Çelik malzemelerin takım çeliği olarak sınıflandırılması sadece kullanım amacına yönelik olmaktadır. Diğer çelik grupları gibi takım çeliklerinde kimyasal bileşime göre sınıflandırmak veya sınırlandırmak mümkün olmamaktadır. Zira hem kimyasal bileşim çok geniş aralıklarda değişebilmekte hem de diğer çelik grupları ile kesişebilmektedir [20].

Bu nedenle aynı kimyasal bileşimdeki çelikler üretim yöntemlerindeki değişikliklerle farklı özelliklere sahip olabilmektedir, böylece farklı kullanım alanlarında aynı kimyasal bileşime sahip malzeme farklı isimler ile adlandırılabilir [20].

Örneğin;

- 29 CrMoV9 (1.2307), plastik enjeksiyon kalıbı
- 30 CrMoV9 (1.7701) ıslah çeliği
- 31 CrMoV9 (1.8519) nitrasyon çeliği

Alaşım elementi	Alaşım elementi miktarı
C	0-2
Si	0-2
Mn	0-17
Cr	0-25
Co	0-12
Mo	0-9
Ni	0-20
V	0-5
W	0-18

Çizelge 3. 1. Takım çeliklerinde kullanılan alaşım elementleri ve kullanım oranları

3.1. Takım Çeliklerinin Özellikleri

Takım çelikleri, hijyenik ve homojen mikro yapıya sahiptirler. Yeterli derecede akma dayanımı ve sünekliği olan takım çelikler aynı zamanda yüksek sertliğe de sahiptir. Pek çok malzemenin şekillendirilmesinde kullanılan takım çelikler, yüksek aşınma direnci ve çekme dayanımı ile tercih edilmektedir. Takım çelikleri uygulanan işlemden sonra homojen bir sertlik dağılımındadır.

Takım çelikleri, kimyasal kompozisyonları, özellikleri, uygulama alanları ve çalışma şartlarında kendilerinden beklenen karakteristikleri nedeniyle diğer çelik gruplarına göre çok daha zengin içeriklidir. Mekanik, termal, kimyasal ve tribolojik yüklemeler altında çalışan takım ve kalıp çeliklerinden öncelikle beklenen özellikler, sertlik (sıcak sertlik / dayanım), aşınma dayanımı ve tokluktur. Kullanımda çeşitlilik, yorulma ve sürünme dayanımı ile oksidasyon ve korozyon direnci gibi diğer bazı özellikleri de ön plana çıkarabilir.

3.2. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması

Takım çeliklerinin sistematik olarak içerdiği alaşım elementlerine ve kimyasal bileşimine göre sınıflandırılması mümkün olmadığı için sınıflama ana kullanım alanına göre yapılmaktadır. Burada karakteristik farklılık malzemenin özelliklerini de etkiler şekilde kullanım sıcaklığıdır [20].

Buna göre DIN 17350 normunda takım çelikleri şu şekildedir;

- Soğuk iş takım çelikleri
- Sıcak iş takım çelikleri
- Yüksek hız takım çelikleri

Bu malzemeleri birbirlerinden ayıran en önemli özellik sertlik ve bu sertliğin temperleme sıcaklığı ile değişimidir.

3.2.1. Soğuk İş Takım Çelikleri

Karbon miktarı %0,3 – %2,5 arasında değişen, alaşım elementi olarak da karbür oluşturuvcu krom, vanadyum, molibden ve volframın yanı sıra nikel ve mangan da bulduran takım çeliklerine soğuk iş takım çelikleri denir. Yüksek başlangıç sertliklerine sahiptir ve bu sertlik 200°C'yi aştığında hızlı bir şekilde düşmektedir. Soğuk iş takım çelikleri genellikle; Kesme takımları, kırma bıçakları, derin çekme ve sıvama kalıpları, pres takımları gibi parçaların yapımında kullanılırlar.

Soğuk iş takım çeliklerinde istenen özellikler; yüksek çekme, basma ve aşınma dayanımı, yüksek sertlik, iyi işlenebilme kabiliyeti, yüksek kaynak kabiliyeti, iyi dökülebilme ve iyi şekillenebilme kabiliyetidir.

3.2.1.1. 1.2080 Takım Çeliği

1.2080 (X210Cr12) malzeme ledebüritik yapılı soğuk iş çeliğidir. Yüksek aşınma dayanımı ve ısı işlem sırasında boyutsal kararlılığı olan bir çeliktir. Basınca mukavemeti yüksektir.

4 mm kalınlığa kadar sacların kesme kalıplarında, derin çekme kalıplarında, çekme yüzükleri, ahşap işleme takımları, aşındırıcı tozları presleme kalıpları, aşınmaya dayanıklı olması gereken plastik kalıplarında, profil rölelerinde kullanılır.

1.2080 çelik sac kalıpcılığında yüksek gerilmeli kesme ve zımba takımları, profil makaraları, çekme ve derin çekme kalıpları, kâğıt ve plastik bıçakları, ince saclar için kullanılan makas bıçakları için uygundur. Genel çalışma sertliği, 58- 62 HRC aralığındadır.

3.2.2. Sıcak İş Takım Çelikleri

Bu çelikler yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini aşınmaya karşı dirençlerini ve tokluklarını kaybetmeden çalışabilirler. Bunların C oranları düşük olup %0,3 – 0,5 arasındadır. Başlıca elementleri Cr, W, Mo'dir. Sıcak iş takım çeliklerinin özellikleri darbelere karşı dayanıklıdır. Ancak çok yüksek sıcaklıklarda darbe mukavemeti düşer. İkinci özelliği yüksek sıcaklıklarda 40 – 55 HRC arası sertlik değerlerini korurlar. Bu takım çelikleri ekstrüzyon kalıpları, metal enjeksiyon kalıpları, sıcak dövme kalıpları gibi yerlerde kullanılırlar.

3.2.3. Yüksek Hız Takım Çelikleri

Yüksek hız takım çelikleri derin sertleşebilir çeliklerdir. Bunlar yüksek mukavemetli ve aşınmaya karşı dirençli malzemelerdir. Bu çeliklerin hepsinde %4 Cr bulunur. Bazı yüksek hız çelikler Mo esaslı bazıları ise W esaslıdır. Yüksek hız takım çelikleri, yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldırabilme özelliğine sahip sıcaklık stabilitesi yüksek çeliklerdir. Bu takım çelikleri genellikle; kesme takımları, freze takımları, şerit testereler, matkap uçları gibi ürünlerin imalatında kullanılırlar.

3.3. Takım Çeliklerindeki Alaşım Elementlerinin Etkileri

Takım çeliklerinde alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle; mekanik özellikler, farklı uygulama alanlarında kullanılacak şekilde değiştirilebilir.

Alaşım elementlerinin kullanılmasında başlıca amaçlanan durumlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Sertliği arttırmak,
- Aşınma direncini arttırmak,
- Yüksek sıcaklık dayanımını arttırmak,
- Dayanımı arttırmak,
- Elektrik direncini değiştirmek,
- Korozyon direncini arttırmak

Karbon elementi çeliklerde en önemli element olup çeliğe sertlik mukavemet artışı kazandırır, bunun yanında darbe dayanımı ve kaynak kabiliyetini düşürür.

Mangan döverek şekillendirme kabiliyetini iyileştirir, su verme sertleşmesi ve sertlik derinliğini iyileştirir.

Krom karbür oluşturma yeteneği yüksek olduğu için sertliği artırır, korozyon dayanımını artırır, kaynak kabiliyetini düşürür.

Nikel tane inceltme etkisi sayesinde mukavemet artırır. Korozyon ve deniz suyu direncini arttırmaktadır.

Silisyum dökümde kalıp doldurma kabiliyetini artırır, fakat dövme, ekstrüzyon gibi plastik şekil vermeye uygun değildir.

Molibden krom ve nikel ile birlikte kullanıldığında karbür oluşturma kabiliyeti sebebiyle sertlik artışı sağlarken aynı zamanda çelikte yeterli tokluk değerlerine ulaşılabilir.

Vanadyum genellikle yüksek hız takım çeliklerinde ısı performansı ve darbe dayanımının yüksek olması sebebiyle tercih edilir.

Tungsten takım çeliklerinin ömrünü termal dayanımı sayesinde iyileştirir, ısı işlem sertliklerinin korunmasını sağlar.

4. ÇELİKLERDE ISIL İŞLEM

Genel olarak ısıl işlem, malzemenin sertliği, tane yapısı ve mekanik özelliklerinin istenilen özelliklerde olması için yapılan ısıtma ve soğutma işlemleridir.

Çeliklere ısıl işlem uygulama amacı genellikle şunlardır:

- Aşınma dayanımını arttırmak,
- Mekanik özellikleri iyileştirmek (tokluk, akma-çekme dayanımı gibi),
- Sünekliliği geliştirmek ve yumuşatmak
- Kaba tane yapısını inceltmek,
- İşlenebilme kabiliyetini arttırmak,
- Gerilmelerin giderilmesidir.

4.1. Tavlama

Malzemelerin, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, yavaş soğutulması şeklinde plastik şekillendirilebilme kabiliyetini arttıran işlemlerdir. Başlıca tavlama işlemleri şu şekilde belirtilebilir.

4.1.1. Yumuşatma Tavlaması

Farklı sertlikteki metal malzemelerin belirli sıcaklıklarda tavlansarak plastik şekil değiştirme işlemlerine uygun sertliğe getirilmesi işlemine denmektedir.

Çelik malzemelerin içerisindeki ince uzun yapıdaki karbür plakalar, yumuşatma tavlamasıyla küresel bir yapıya dönüştürülür. Bu durumda çelik ilk haline oranla daha yumuşak ve kolay şekillendirilebilir bir yapıya sahip olur. Bu yöntem küreleştirme tavlaması olarak da bilinir.

4.1.2. Gerilme Giderme Tavlaması

Üretim kaynaklı (Kaynak, talaşlı işlem, plastik şekil verme vs.) iç gerilmeleri gidermek amacıyla yapılan bir işlemdir. Faz dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklıkta parçalar en fazla iki saat bekletilerek iç gerilmelerinin giderilir.

4.1.3. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması

Üretim bazlı tane sınırlarında gerçekleşen deformasyonu gidermek amacıyla yapılır. Faz dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklıkta, bir saate kadar bekletme ve yavaş soğutma ile tane yapısı iyileştirilerek deformasyon öncesi özelliklerin geri kazanılması sağlanır.

4.1.4. Normalleştirme Tavlaması

Tavlama işlemlerinin tamamı malzemeye iyi özellikler kazandırmakla beraber, tane irileşmesine de sebep olur. Yapılacak işleme göre iri taneli yapıların istenmediği durumlar için malzemeler sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak, sakin havada soğumaya bırakılırlar. Normalleştirme tavlamasını diğerlerinden ayıran özellik parçaların yavaş soğutulması yerine, sakin havada hızlı soğutulmasıdır. Bu durumda tane yapısı daha ince yapılı olur. Bu işlem normalizasyon olarak da bilinir.

4.2. Sertleştirme

Üretimi yapılan parçaların çalışma şartlarına göre değerlendirilmesiyle, parçanın tamamı veya bir kısmının, çekirdeğe kadar veya sadece cidar yüzeyi boyunca sertlik kazanması istenebilir. Bu gibi durumlar söz konusu olduğu zaman istenen özelliğe göre farklı ısıl işlemler uygulanması gerekir.

Yapılış özellikleri ve nihai yapı özellikleri göz önüne alınarak sertleştirme işlemi farklı başlıklar altında değerlendirilir.

4.3. İslah İşlemi

İstenen sertlik ve mekanik özelliklerin elde edilmesi amacıyla yapılan su verme ve menevişleme işlemidir. Özellikle parçanın tüm kesitinin sert olması istendiği durumlar için kullanılır. Sertleştirme yöntemleri işlemi en basit şekilde, malzemenin sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılması ve ani olarak soğutulmasıyla gerçekleştirilmesi şeklinde tarif edilebilir. Konuyla ilgili olarak, sertleştirme sıcaklığının seçimi, ısıtma hızı, soğutma ortamı seçimi ve soğutma hızı gibi faktörlerin birbiri ile olan ilgileri ve doğru değerlerin belirlenmesi uzmanlık gerektiren konulardır. Sertleştirme sıcaklık aralıkları, maksimum sertliğin, en küçük tane yapısı ile elde edilmesini sağlayacak şekilde bir dizi deney ile belirlenen değerlerdir. Bu değerlerin altında veya üzerinde yapılacak ısıtma, sertlik değerinin düşük, nihai iç yapının ise istenen şekilde

olmaması ile sonuçlanacaktır. Ayrıca sertleştirme sıcaklığında tutma süresi de önemli olup, malzemenin alaşım, az alaşım olması ve tane boyutlarının uygunluğu ile bağlantılıdır. Su verme ortamının seçimi, malzemenin alaşım miktarıyla alakalıdır. Düşük alaşım çelikler için daha çok su ve tuz banyoları tercih edilirken, yüksek alaşım çelikler için çarpılma riski göz önünde bulundurularak yağ gibi yumuşak ortamlar tercih edilir. Yoğunlukla kullanılan soğutma ortamları su, yağ, tuz banyosu ve hava şeklinde belirtilebilir.

- **Su:** Suda su verme işlemiyle ilgili en önemli özelliklerden biri, sıcak parçayı soğutmak için kullanılan suyun sıcaklığıdır. 20-40°C arasındaki soğutma suyu sıcaklığı en verimli sıcaklıktır. 60°C üzerindeki sıcaklıklarda soğutma hızı fazlasıyla düşer.

- **Yağ:** Yağda su verme işlemindeki yağın soğutma hızı, suyun soğutma hızından yavaştır. Soğutma hızının en verimli olduğu yağ sıcaklığı 50-80°C arasındadır. Ayrıca yağın sürekli olarak hızlı biçimde karıştırılması verimi büyük ölçüde artırır.

- **Tuzlu Su Çözeltilisi:** Suda su verme verimini artırmak için suya sodyum hidroksit veya mutfak tuzu ilave edilebilir. Mutfak tuzu parça üzerinde korozyona sebep olduğu için pek az tercih edilir. %10 oranında ilave edilecek NaOH soğutma hızını çok fazla artırır. Bu tip kullanımlar, yüksek sertleşme derinliğini artırarak iç gerilmelerin az olmasını da sağlar.

- **Hava:** Havada su verme işlemi diğer yöntemlere göre en az verimli olanıdır. Bunun en büyük sebebi havanın soğutma hızının çok düşük olmasıdır. Hatta hatta havanın soğutma hızı suyun %1'inden daha azdır. Bu sebeple bu yöntem sadece yüksek hız çelikleri için tercih edilebilir.

5. MATERYAL METOD

Bu bölümde haddeleme yöntemiyle üretilmiş ve temin edilmiş olan soğuk iş takım çeliklerine uygulanan ısıl işlemler, mikro yapı incelemeleri, aşınma testleri ve sertlik ölçümleri ilgili bilgiler verilmiştir. Çalışmada ısıl işlemler sonucunda elde edilen iç yapı ve sertlik değerleriyle aşınma sonuçlarının arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

5.1. Materyal

Tezin deneysel çalışmalarında kullanılmak üzere standart reçeteye uygun olarak ve %2 molibden takviyeli formu ile 1.2080 (X210Cr12) çelik numuneleri imal edilmiştir.

Standart 1.2080 takım çeliği reçetesi aşağıdaki gibidir. (Çizelge 5.1)

Kimyasal İçerik Oranı (%)								
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Diğer
2,03	0,26	0,38	11,50	-	0,04	0,04	-	
2,12	0,29	0,41	12,07	0,8	0,23	0,08	0,01	

Çizelge 5. 1. 2080 Takım Çeliğinin Kimyasal İçeriği

Çizelge 5.1' de kimyasal içeriği verilmiş 1.2080 (X210Cr12) çelik malzemeler 10 kg'lık orta frekanslı bir indüksiyon fırınında eritildi. Oksidasyon ve cürufu en aza indirmek için potaya ağırlıkça %75 FeSi eklenmiştir. Molibden katkılı numunelerde kimyasal içeriğe % 0,8 oranında Mo katkısı yapılarak karbür stabilizasyonu ve yüzeyden sertleşme derinliği artırılmıştır. Kalıplamada karbondioksit gazı yardımıyla kalıp ve maçaların sertleştirildiği CO₂ yöntemi kullanılmıştır. Eriyik 1560 °C'ye ısıtılarak ve 1450 °C'de CO₂-silikat kalıplarına dökülmüştür.

Isıl işlemlerde, Makine mühendisliği malzeme laboratuvarında bulunan aşağıda resmi verilmiş ısı ve zaman kontrollü fırın kullanılmıştır. (Şekil 5.1)



Şekil 5. 1. Isı ve zaman kontrollü kül fırını

Uygulanan ısıl işlemlerde tuz banyosu için, AS 135 (50% NaNO₃- 50% KNO₃) ısıl işlem tuzu kullanılmıştır.



Şekil 5. 2. AS 135 Isıl İşlem Tuzu

Çalışmada ısıl işlemler sonrası mikro yapı incelemeleri için, makine laboratuvarında bulunan, aşağıda resimleri verilmiş olan parlatma cihazı ve optik mikroskop kullanılmıştır. Mikro düzeyde faz dağılımı, karbür oluşumu ve kalıntı östenit değişiminin incelenmesi elektron mikroskobu (SEM) ve EDS ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. 3. Parlatma Cihazı



Şekil 5. 4. Optik Mikroskop

Mikro yapı incelemesi sonucunda elde edilen parçaların makro ve mikro düzeyde sertliklerini belirlemek amacıyla makine laboratuvarında bulunan aşağıda resimleri verilmiş olan rockwell ve mikro-vickers sertlik cihazlarının kullanılmıştır.



Şekil 5. 5. Rockwell Sertlik Cihazı



Şekil 5. 6. Mikro-Vickers Sertlik Cihazı

Aşınma testlerinde fakültemiz Makine mühendisliği malzeme laboratuvarında bulunan aşağıda resmi verilmiş blok on disk aşınma cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5. 7. Blok On Disk Aşınma Cihazı

5.2. Metod

Deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler kum kalıba döküm yöntemi ile imal edilmiş olup 2 cm³ ölçülerinde boyutlandırılmıştır.

Elde edilen numunelerin belirlenen sıcaklıklarda ostenitleştirme işlemi sonrası uygulanan ısı işlemleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Çizelge 5.2)

Numune	Ostenitleştirme Sıcaklığı	Ostenitleştirme sıcaklığında bekleme süresi (s)	Soğutma Ortamı	Difüzyon sıcaklığı	Difüzyon bekleme süresi (s)	Son soğutma
1	1050 °C	1s	Su			
2	1050 °C	2s	Su			
3	1050 °C	1s	Tuz	550	3s	Hava
4	1050 °C	1s	Tuz	550	6s	Hava
5	1050 °C	1s	Tuz	550	9s	Hava
6	1050 °C	1s	Tuz	550	12s	Hava
7	1050 °C	1s	Tuz	600	3s	Hava
8	1050 °C	1s	Tuz	600	6s	Hava
9	1050 °C	1s	Tuz	600	9s	Hava
10	1050 °C	1s	Tuz	600	12s	Hava
11	1050 °C	1s	Tuz	650	3s	Hava
12	1050 °C	1s	Tuz	650	6s	Hava
13	1050 °C	1s	Tuz	650	9s	Hava
14	1050 °C	1s	Tuz	650	12s	Hava
15	1050 °C	1s	Tuz	700	3s	Hava
16	1050 °C	1s	Tuz	700	6s	Hava
17	1050 °C	1s	Tuz	700	9s	Hava
18	1050 °C	1s	Tuz	700	12s	Hava

Çizelge 5. 2. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri tablosu

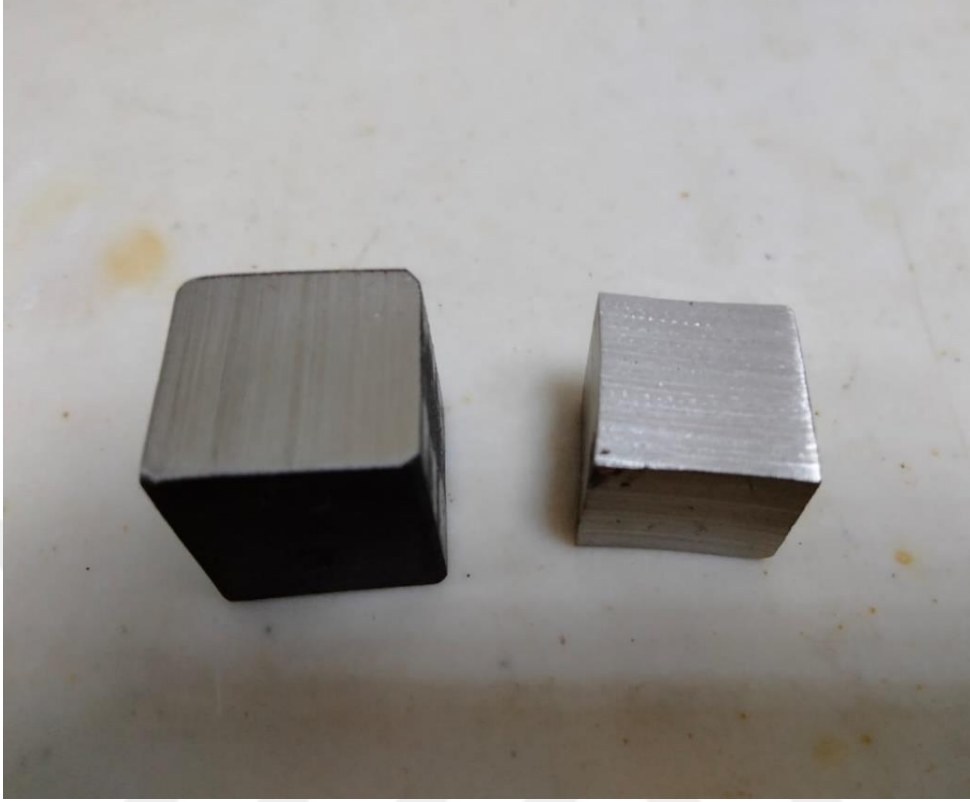
Isıtma işlemlere tabi tutulan numuneler, mikro yapı ve sertlik ölçümleri yapılabilmesi için makine laboratuvarında bulunan parlatma cihazı ile temizlenerek parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikro yapıların görüntülenebilmesi için numunelere dağlama işlemi uygulanmıştır.

Mikro düzeyde faz dağılımı, karbür oluşumu ve kalıntı ostenit değişiminin incelenmesi elektron mikroskobu (SEM) ve EDS ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir.

Mikro yapı incelemeleri sonrasında numunelerin rockwell ve vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Blok on disk aşınma cihazı ile 30 N ve 40 N yük uygulanarak abrazyon aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma ölçümlerinde, mesafe ve zamana bağlı ölçümler alınarak dinamik aşınma kayıpları değerlendirilmiştir. Aşınma testleri 60 mesh'lik zımpara kullanılarak 400m mesafede gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda blok aşındırılmış numune resimleri gösterilmektedir.



Şekil 5. 8. Abraziv aşınma uygulanmış numuneler

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

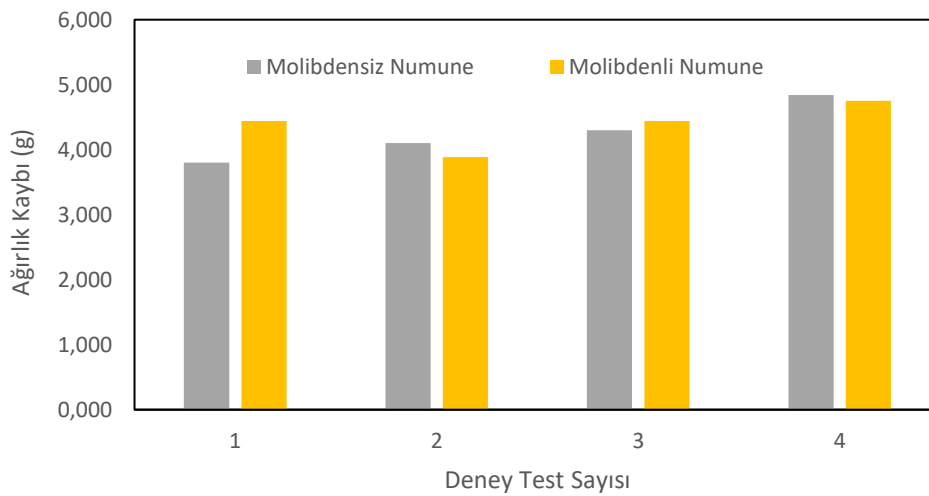
Molibden takviyeli ve standart reçeteli 2080 takım çeliklerine aynı ısıl işlem prosesleri uygulanarak kıyas yapılmıştır. Isıl işlemlerde ostenitleme sıcaklıkları sabit tutulmuştur. Uygulanan ısıl işlemlerde su, tuz ve hava olmak üzere farklı soğutma ortamları kullanılmıştır.

Numunelerden elde edilen deneysel veriler kıyaslanarak, literatür araştırmaları dahilinde yorumlanmıştır. Aşağıda elde edilen numunelerin aşınma sonuçları değerlendirilmiştir.

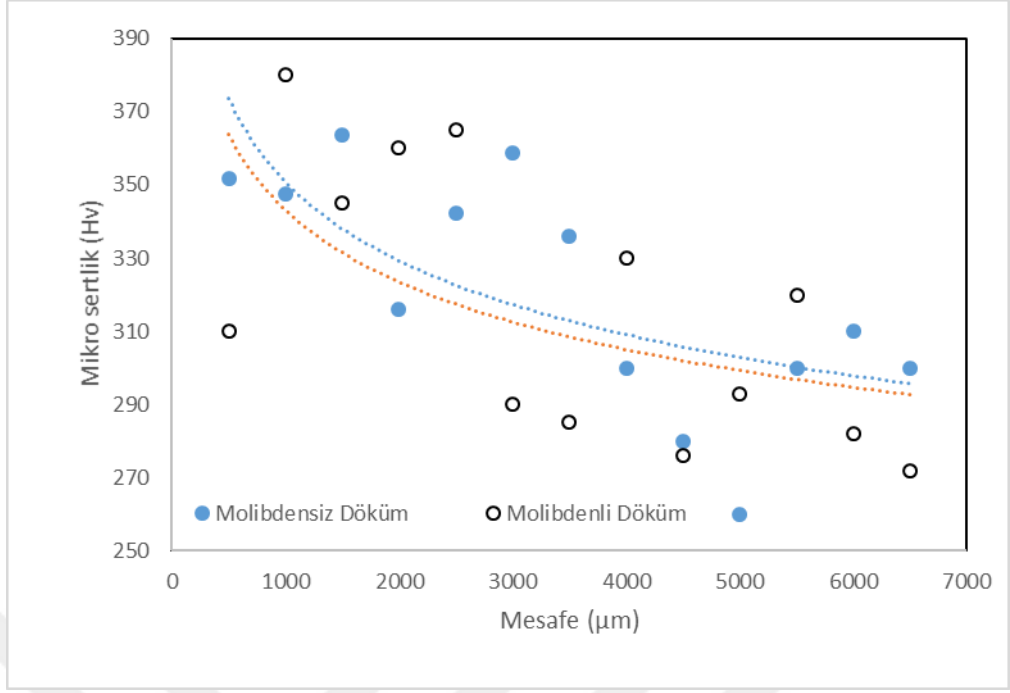
6.1. Aşınma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

6.1.1. Kum Kalıba Döküm Yöntemiyle Üretilmiş Soğuk İş Takım Çeliklerinde Aşınma Sonuçları

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Çizelge 9.1’de kimyasal içeriği verilmiş olan kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş olan molibdensiz ve molibden takviyeli soğuk iş takım çeliklerinde ısıl işlemsiz ve ısıl işlenmiş uygulanmış durumlar için blok on disk aşınma tekniği kullanılarak aşınma sonuçları değerlendirilmiştir. Molibden ve molibdensiz üretimde döküm parçalardaki aşınma değişim değerleri ve mikrosertlik sonuçları aşağıda verilmiştir.

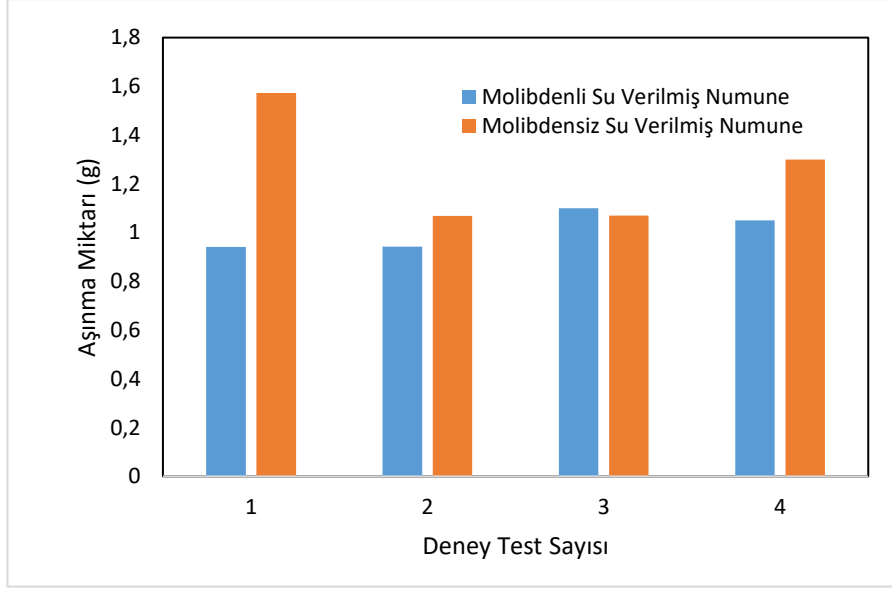


Şekil 6. 1. Elde edilen döküm numunelerde aşınma sonuçları



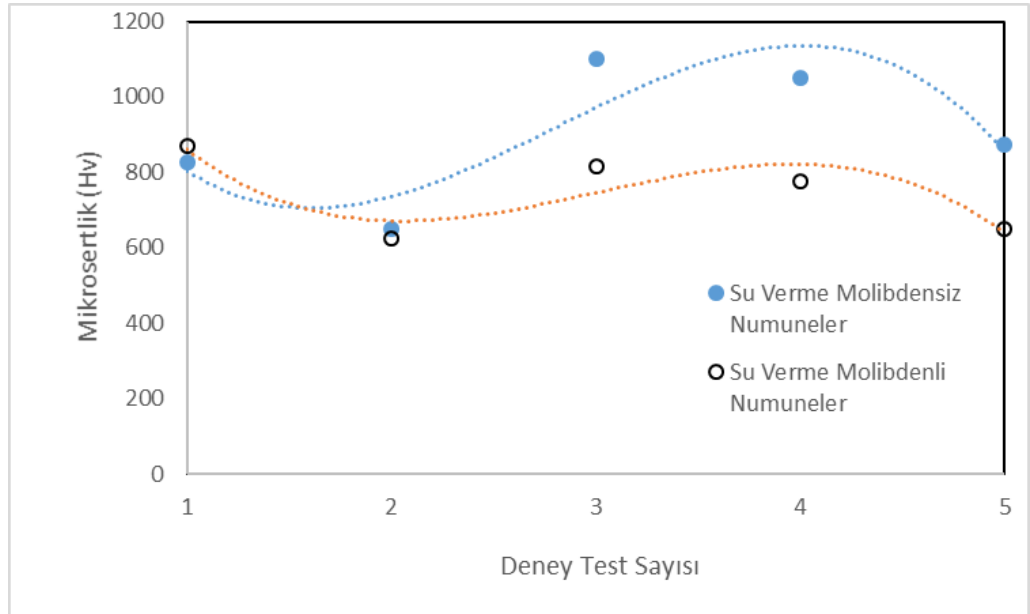
Şekil 6. 2. Elde edilen döküm numunelerde mikrosertlik sonuçları

Üretilen numunelerde aşınma sonuçları mikrosertlik ile elde edilen sertlik sonuçları arasında şekilde görüldüğü gibi bir uyum gözlenmektedir. Üretilen döküm numunelerde homojen bir iç yapı elde edilemediği için aşınma değerleri mesafeye bağlı olarak değişim göstermekte olup grafikte ortalama aşınma değerleri verilmiştir. Döküm numunelerde ortalama sertlik değerleri 320 Micro-Vickers ve 4.3 gr aşınma değerleri elde edilmiştir. Dökülerek üretilen molibden katkısız ve katkılı numuneler 1050 C° sıcaklıkta ostenitleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra öztemper ısl işlemine tabi tutulmuşlardır. Öztemper ısl işlemi görmeden önce numunelerde maksimum sertlik ve aşınma durumunu görmek için su verme işlemi uygulanmıştır. Aşağıda su verme işlemi uygulanmış molibden katkısız ve katkılı numunelerde mikrosertlik ve aşınma dayanımının değişimleri verilmiştir.



Şekil 6. 3. Molibden katkısız ve katkılı 2080 takım çeliklerinde su verme işlemi sonrası aşınma miktarının değişimi

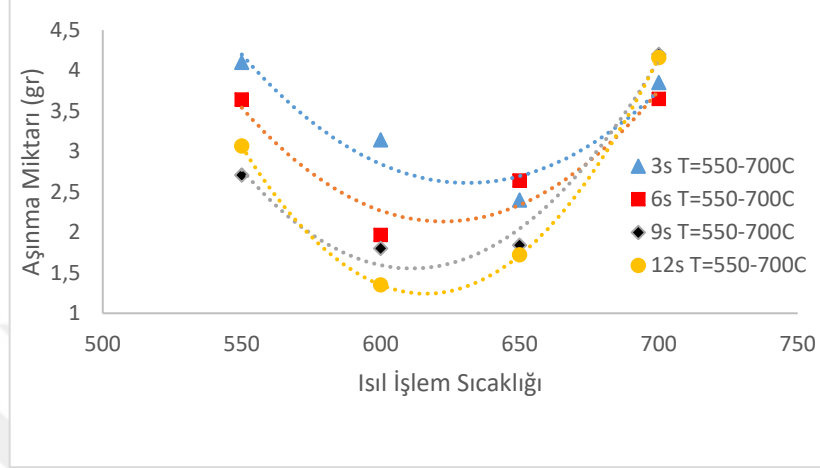
Şekil 6.3 'te görüldüğü gibi Molibden katkısıyla beraber aşınma miktarında %20-30 oranında azalma olduğu görülmüştür. Şekil 6.4'de Molibden ilavesinin mikro sertliği düşürdüğü görülmektedir. Molibdenin karbon ile bağ yapıp Molibden karbürü oluşturması matris sertliğini düşürmüştür ama karbür varlığından dolayı aşınma oranı azalmıştır.



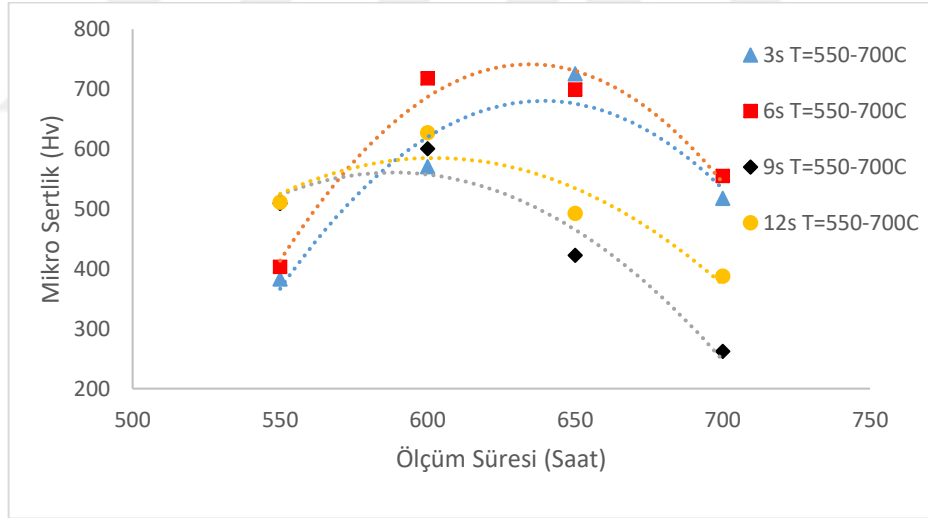
Şekil 6. 4. Molibden katkısız ve katkılı 2080 takım çeliklerinde su verme işlemi sonrası mikrosertlik değişimi

6.1.2. Kum Kalıpta Molibdensiz Olarak Üretilen Numunelerde Isıl İşleme Bağlı olarak Elde edilen Aşınma ve Mikro Sertlik Sonuçları

Kum kalıpta molibdensiz olarak üretilen numunelerde ısıl işleme bağlı olarak elde edilen aşınma ve mikro sertlik sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 5. Molibdensiz Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Aşınma Değişimi



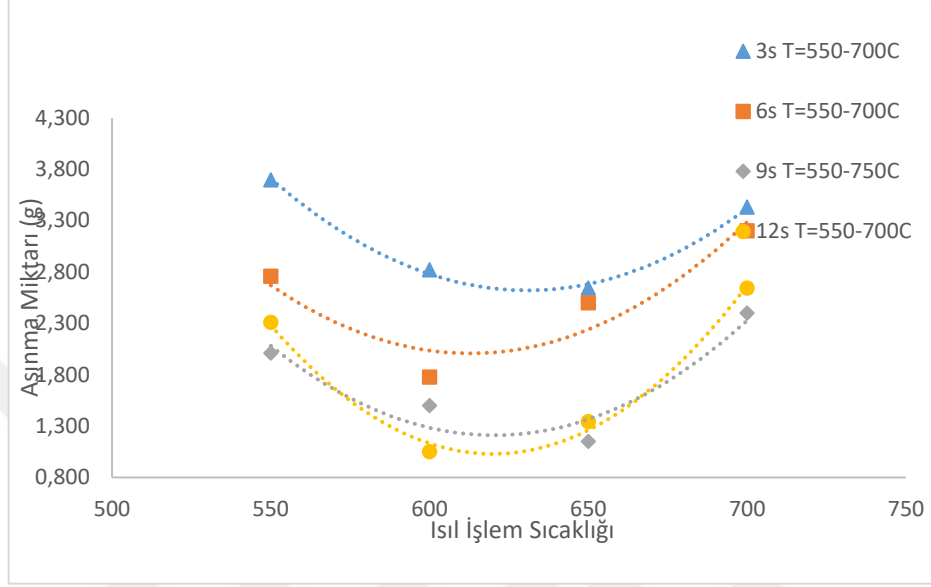
Şekil 6. 6. Molibdensiz Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Mikrosertlik Değişimi

Öz temper ısıl işlem sıcaklığı ve temperleme süresinin mikro sertlik ve aşınma değerlerinde etkili bir parametre olduğu görülmektedir.

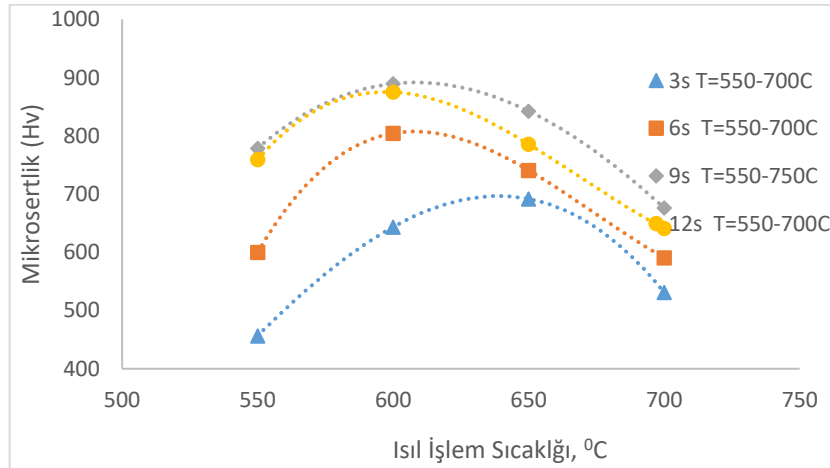
600-630 C sıcaklık aralığında minimum aşınma maksimum sertlik değerine ulaşılmış olup optimum değerler elde edilmiştir.

6.1.3. Kum Kalıpta Molibdenli Olarak Üretilen Numunelerde Isıl İşleme Bağlı olarak Elde edilen Aşınma ve Mikro Sertlik Sonuçları

Kum kalıpta molibdenli olarak üretilen numunelerde ısıl işleme bağlı olarak elde edilen aşınma ve mikro sertlik sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 7. Molibdenli Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Aşınma Değişimi



Şekil 6. 8. Molibdenli Numunelerde Isıl İşleme Bağlı Olarak Mikrosertlik Değişimi

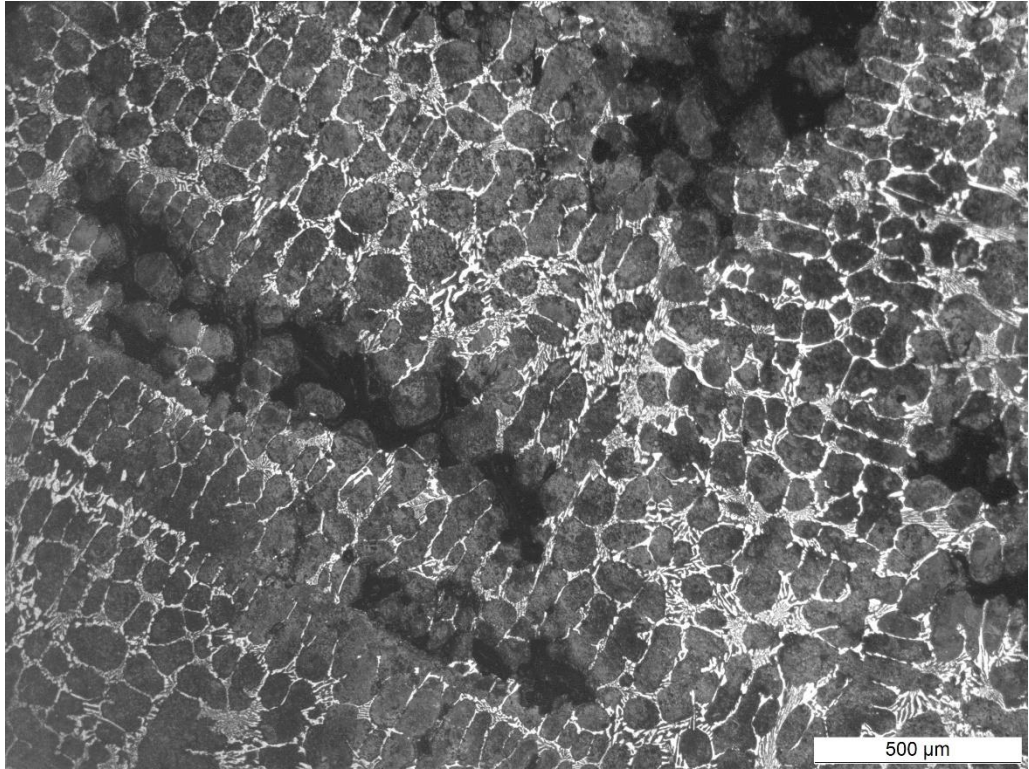
Şekilden de görüldüğü gibi öz temper ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak 600 C° değerine kadar ısıl işlem süresi arttıkça sertlik artışına bağlı olarak aşınma miktarları düşmekte olup, molibdenli numunelerde daha homojen bir sertlik aşınma değişimi olduğu gözlenmektedir.

Öz temper ısıtıl işleminden sonra molibden ilavesiyle aşınma oranının sertlik artımına bağlı olarak yaklaşık %30 mertebelerinde düştüğü gözlenmiştir.

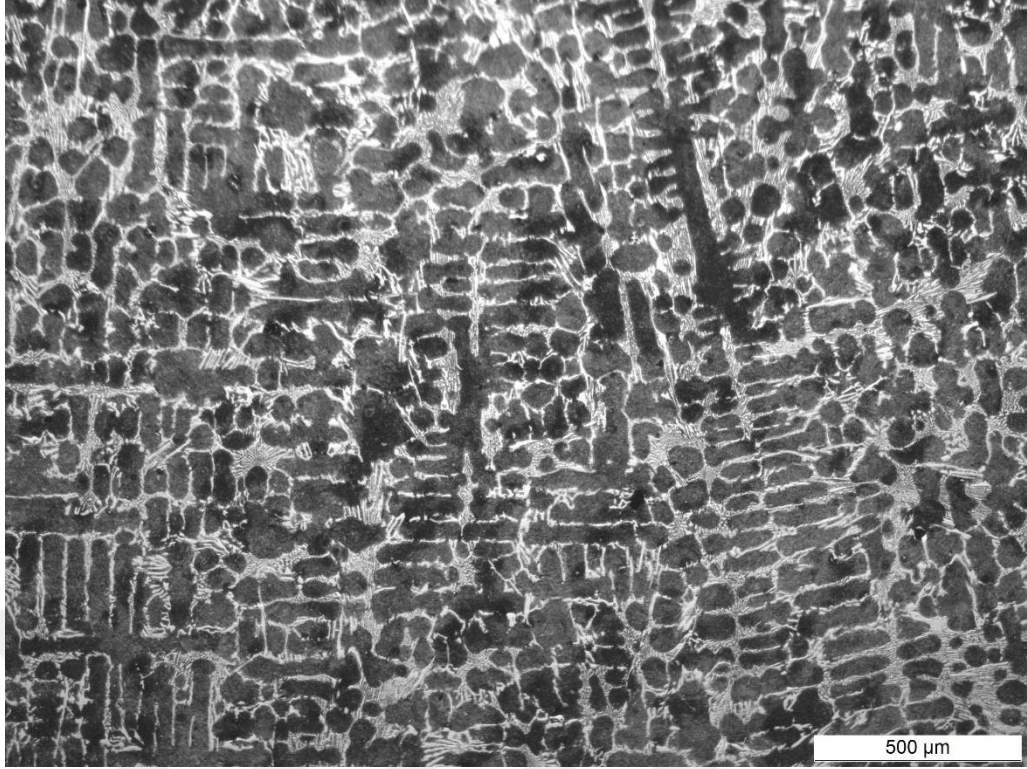
Öz temper ısıtıl işlemiyle ortalama sertlik değeri 600-700Hv değerindeyken su verilmiş numunelerde ortalama sertlik 800-1000Hv aralığında görülmüştür. Ancak su verme sonrası numunelerde hasarlar oluşmuştur. Öz temper ısıtıl işlemi sonrası elde edilen numunelerde aşınma değeri su verme sonucuna eş değer çıkmıştır ve numuneler hasar görmemiştir.

6.1.4. Mikroskop ve SEM görüntülerine bağlı olarak karbür dağılımlarının değerlendirilmesi

Aşağıda molibdenli ve molibdensiz olarak elde edilen döküm numunelerin optik ve Sem görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6. 9. Molibden Katkısız Numune Isıl İşlemsiz Optik Görüntüsü

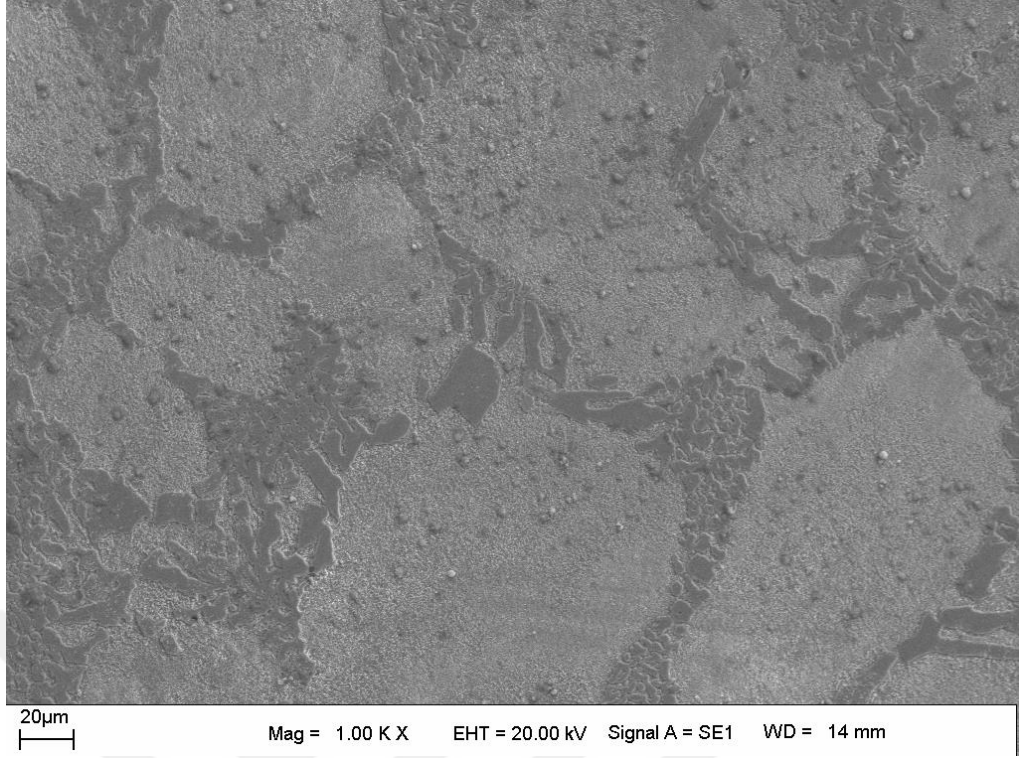


Şekil 6. 10. Molibden Katkılı Numune Isıl İşlemsiz Optik Görüntüsü

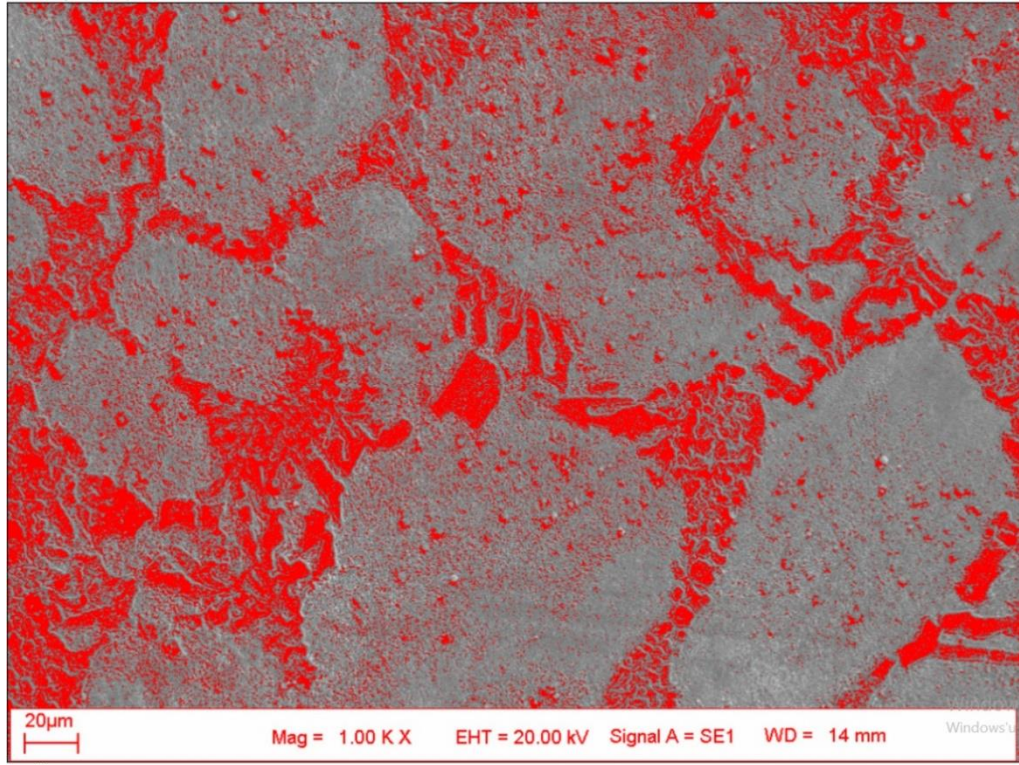
Şekillerden de görüldüğü gibi molibden ve molibdensiz ısıl işlemsiz döküm numunelerde homojen olmayan birincil karbürlerden oluşan dentritik bir yapı gözlenmektedir. Molibden katkılı ve katkısız tüm numunelerde iç yapıda ötektik bir yapı gözlenmektedir.

Molibden katkısının ikincil dendrit kolları arasındaki mesafeyi kısalttığı görülmektedir. Bu durum birincil karbürlerin ebatlarının küçülmesine ve dolayısıyla malzemenin mekanik özelliklerinin (darbe direnci, çekme mukavemeti) iyileşmesine vesile olmaktadır.

Birincil karbür dağılımı her iki döküm numune için mikro düzeyde SEM görüntüleri üzerinden, Image J programı kullanılarak, yapıda bulunan karbür oranları ve boyutları analiz edilmiştir. Aşağıda molibden katkısız numunelerde iç yapıdaki birincil karbür dağılımı ve karbür oranları verilmiştir.

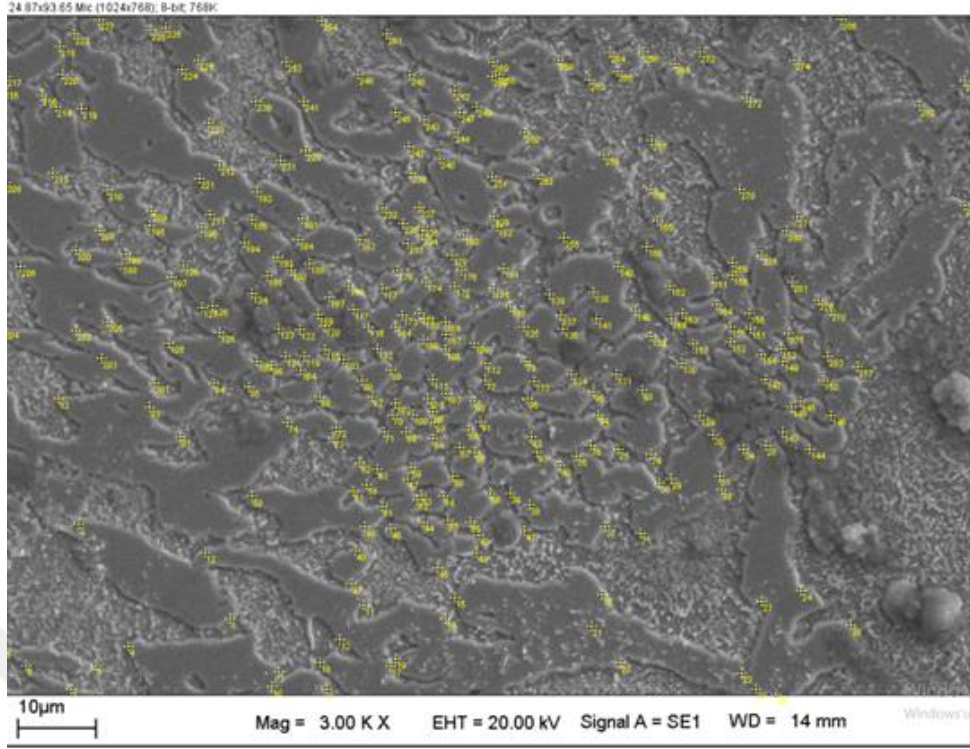


Şekil 6. 11. Molibden katkısız Kum Kalıba Döküm Numunelerde Isıl işlemsiz Mikro Yapı

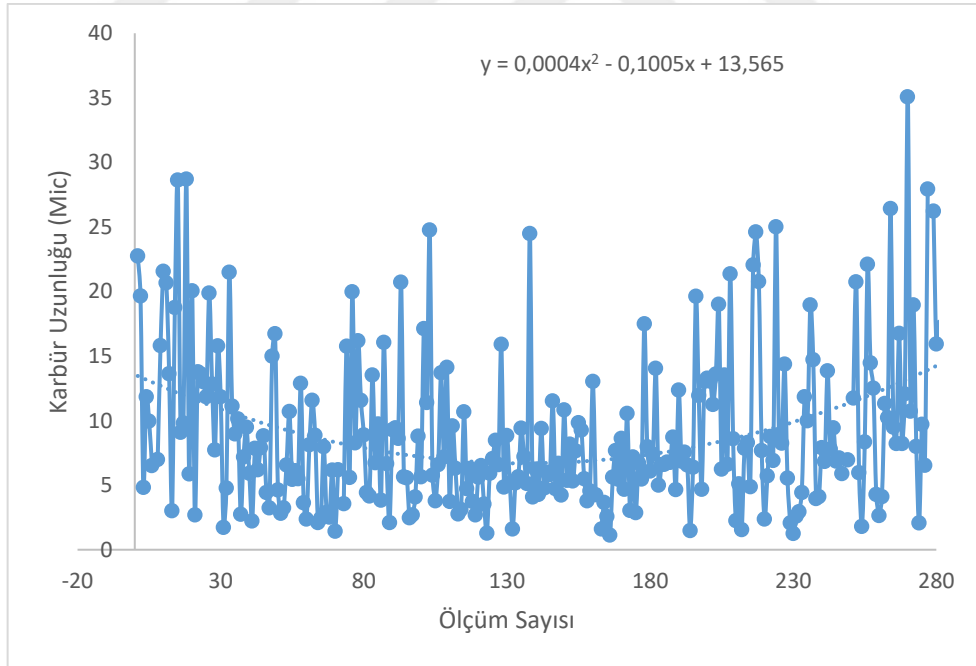


Şekil 6. 12. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbür Miktarının Image J Programıyla Tespit Edilmesi

Karbür oranı Image J programı kullanılarak %33-36 standart sapma 1.675 tespit edildi.

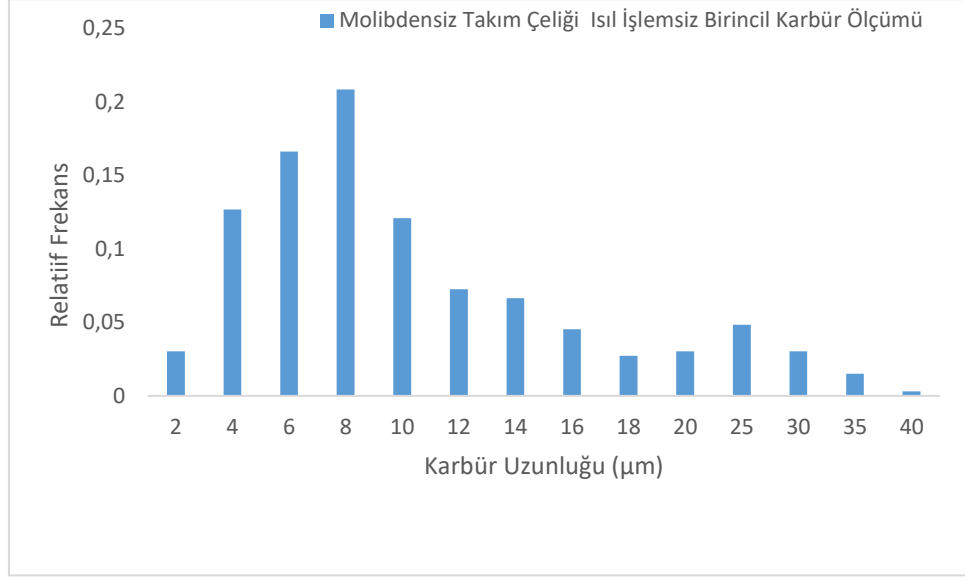


Şekil 6. 13. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbürlerin Image J programı kullanılarak Ölçülmesi

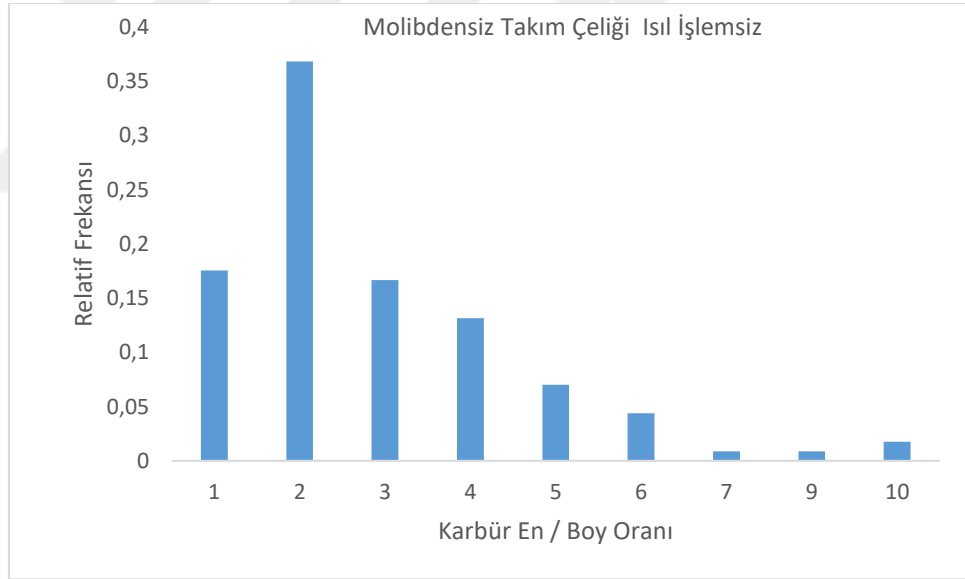


Şekil 6. 14. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbür Uzunluklarının Image J Programı Kullanılarak Elde Edilmesi

Birincil karbür ortalama uzunlukları molibdensiz döküm numunelerde 10 Mikron Standart Sapma 7.419 Mikron ölçülmüştür.

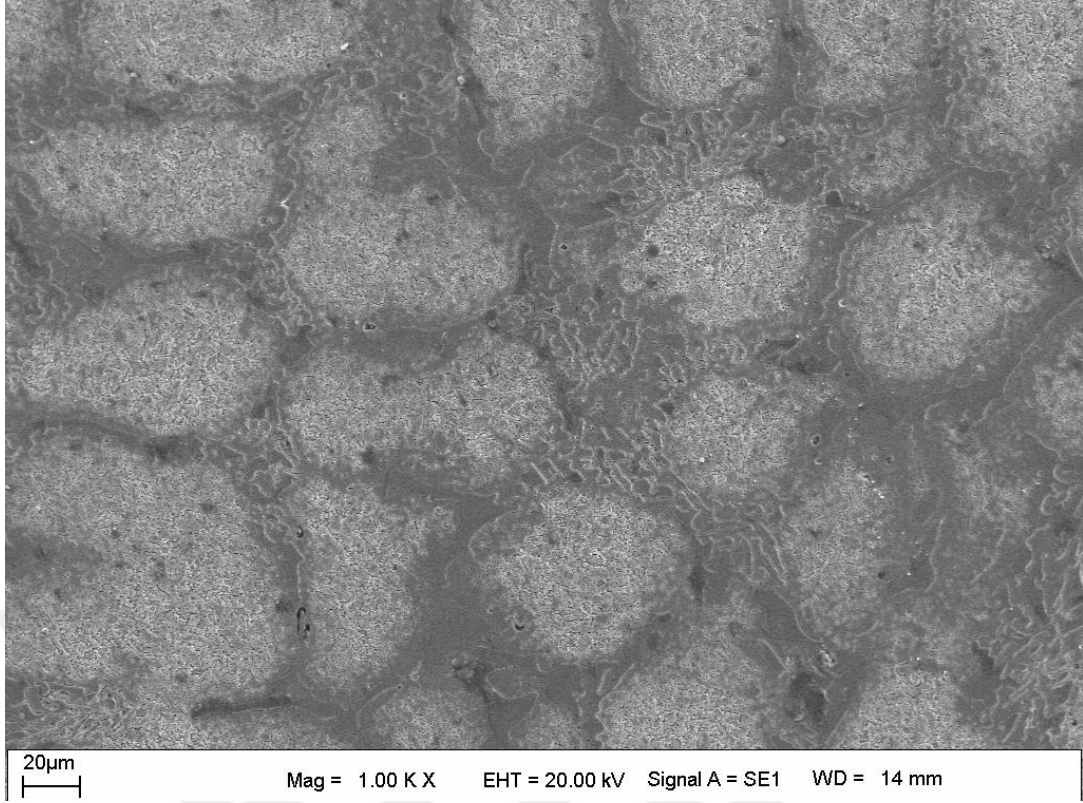


Şekil 6. 15. Döküm Numune Relatif Frekansı - Karbür Uzunluğu Grafiği



Şekil 6. 16. Döküm Numune Relatif Frekansı - Karbür En/Boy Oranı

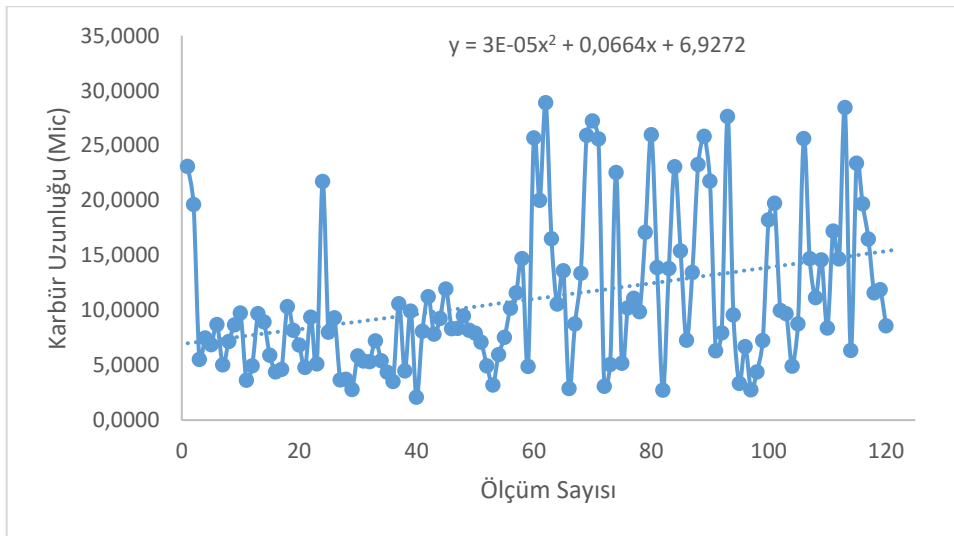
Şekillerden de görüldüğü gibi molibden katkısız numunelerde karbür dağılımı ve boyutları düzensizdir. Molibden katkısız numunelerde ısıt işlemler neticesinde elde edilen iç yapı değişimleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 17. Molibdensiz Numunelerde S5 Isıl İşlemi Sonrası Yapı Elde Edilen Mikro Yapı

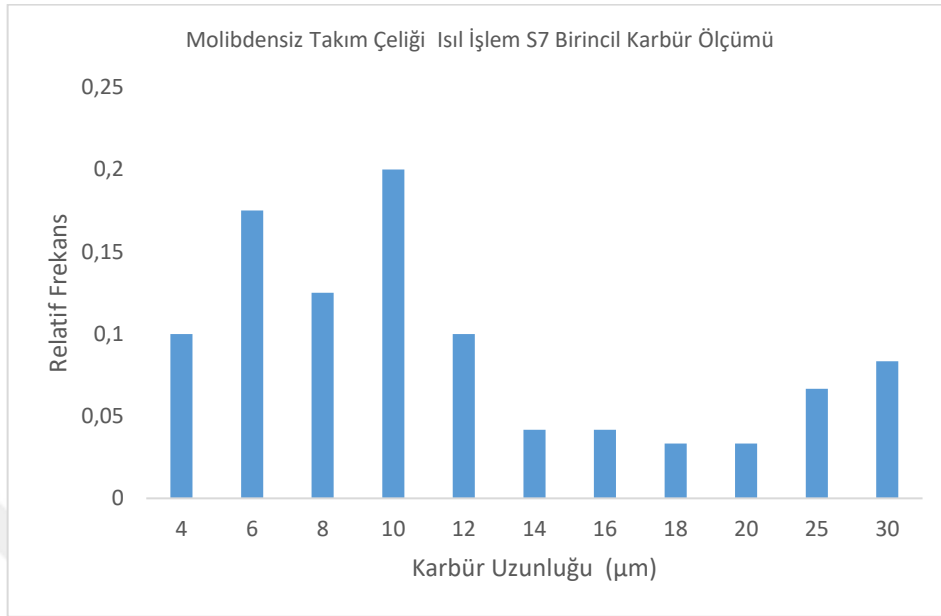
Yapılan incelemede ısıl işlem ile birlikte Molibden katkısız numunelerde birincil karbürlerde difüzyona bağlı olarak sayısal azalmalar, kalıntı ostenit bölgelerinde artış gözlenmiştir. Bu durum karbür ölçüm sayısına da yansımış olup şekil 6.18’de gözlenmektedir.

Karbür ve kalıntı ostenit oranı Image J programı kullanılarak %35-37 standart sapma 3.23 ile tespit edildi.

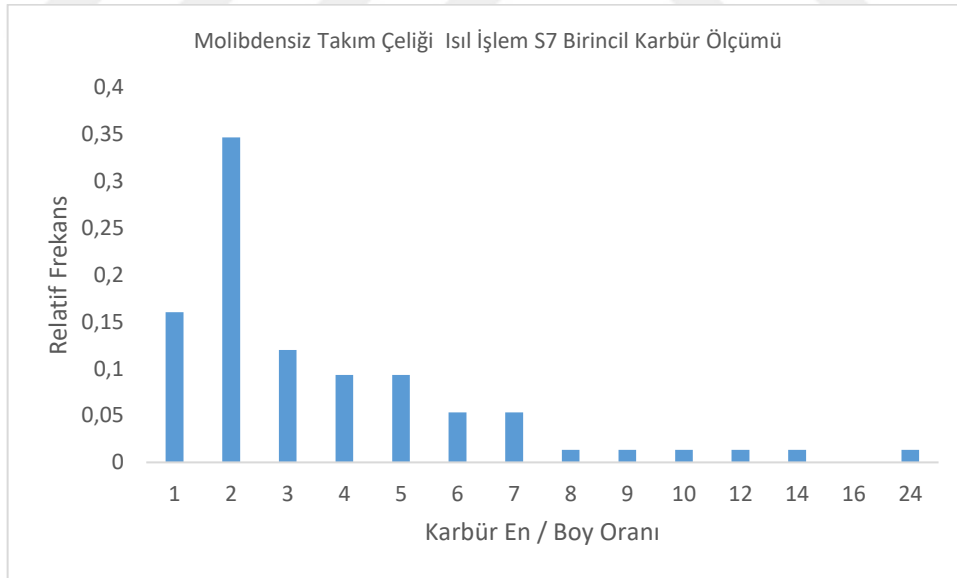


Şekil 6. 18. Molibdensiz Numunelerde S5 Isıl İşlemi Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği

S5 Isıl işleme Karbür dağılımı Ortalama karbür uzunluğu 11 Mikron Standart Sapma 7.02 Mikron olarak elde edilmiştir.

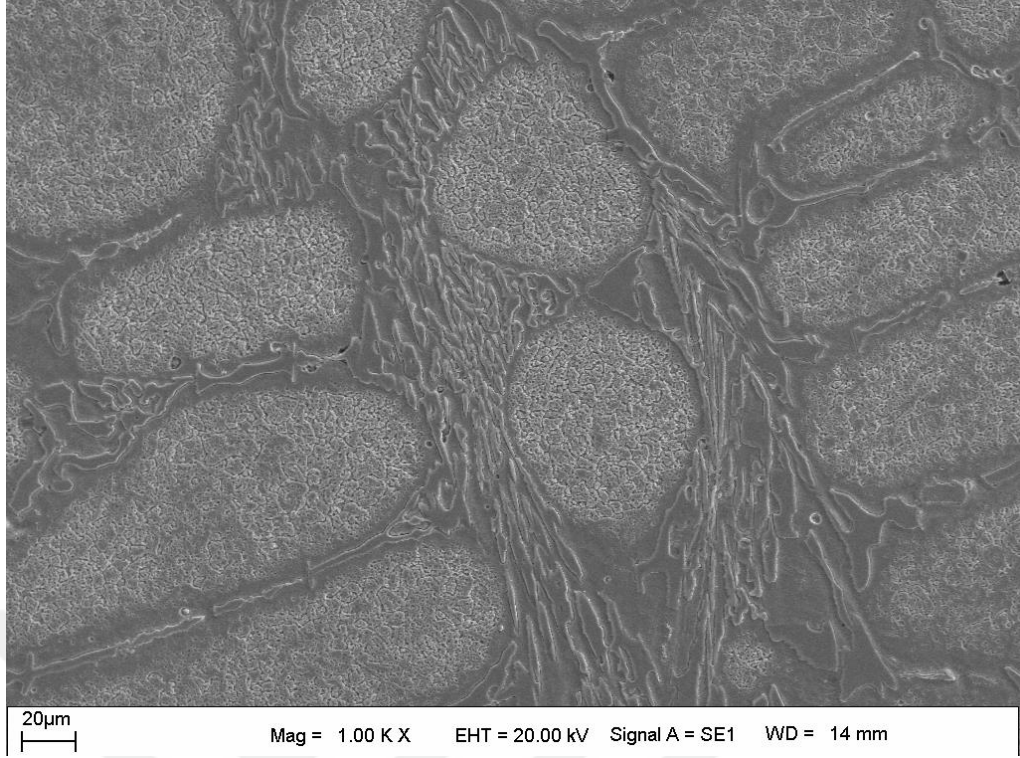


Şekil 6. 19. Molibdensiz Numunelerde S5 Isıl İşleme Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği



Şekil 6. 20. Molibdensiz Numunelerde S5 Isıl İşleme Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı

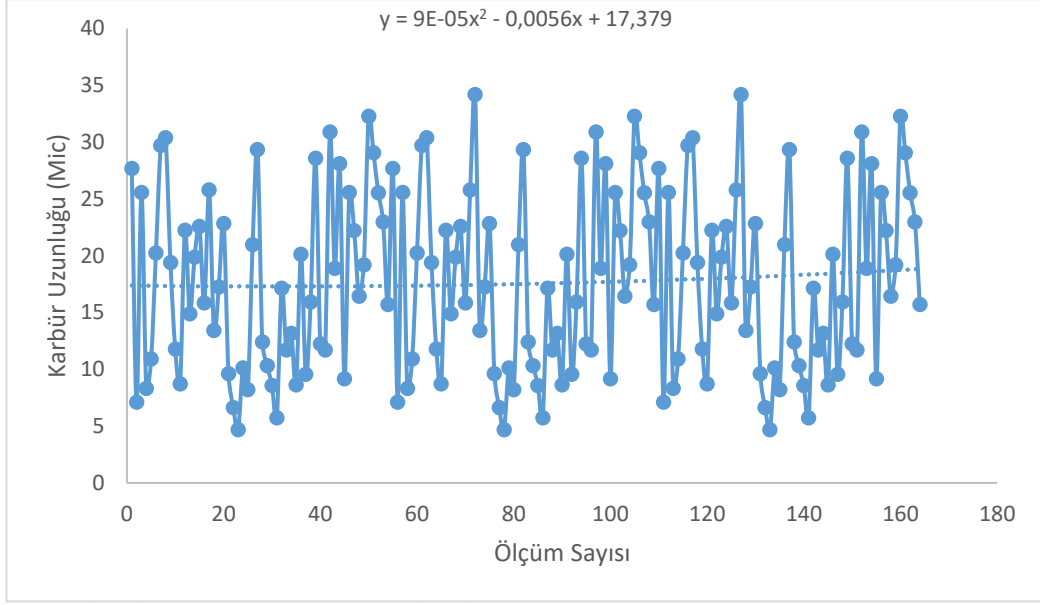
Şekillerden de görüldüğü gibi molibden katkısız numunelerde S5 ısıl işleme sonrası karbür dağılımı ve boyut düzensizliği devam etmektedir.



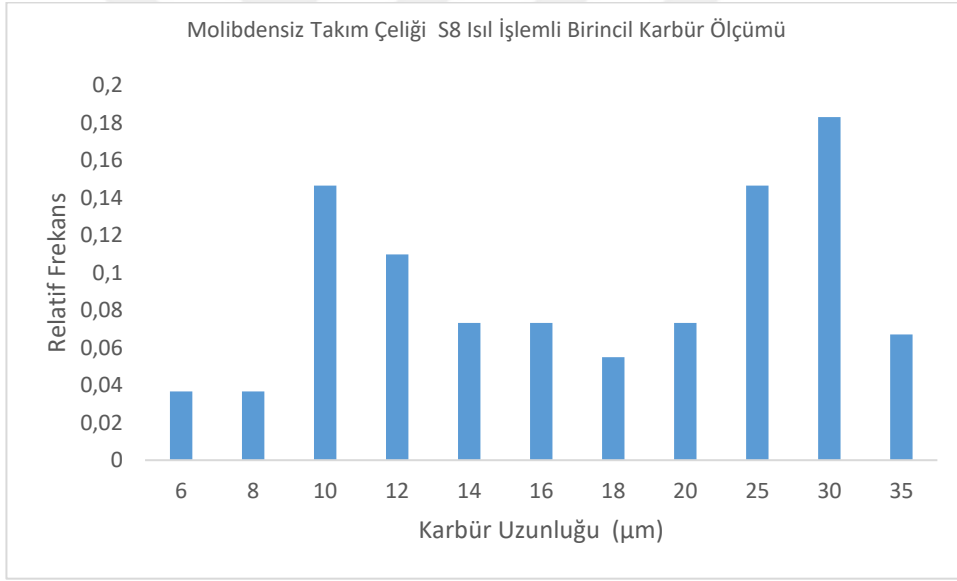
Şekil 6. 21. Molibdensiz Numunelerde S6 Isıl İşlemi Sonrası Yapı Elde Edilen Mikro Yapı

Yapılan incelemede S6 ısıl işlemi ile birlikte Molibden katkısız numunelerde birincil karbürlerde erimeler ve karbürlerde yönlendirilmiş kırılmış iğneli yapılar gözlenmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde ısıl işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak numunelerin iç yapılarında önemli değişimler gözlenmektedir. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça birinci karbür formları değişerek birincil karbür sayısı azalmaktadır.

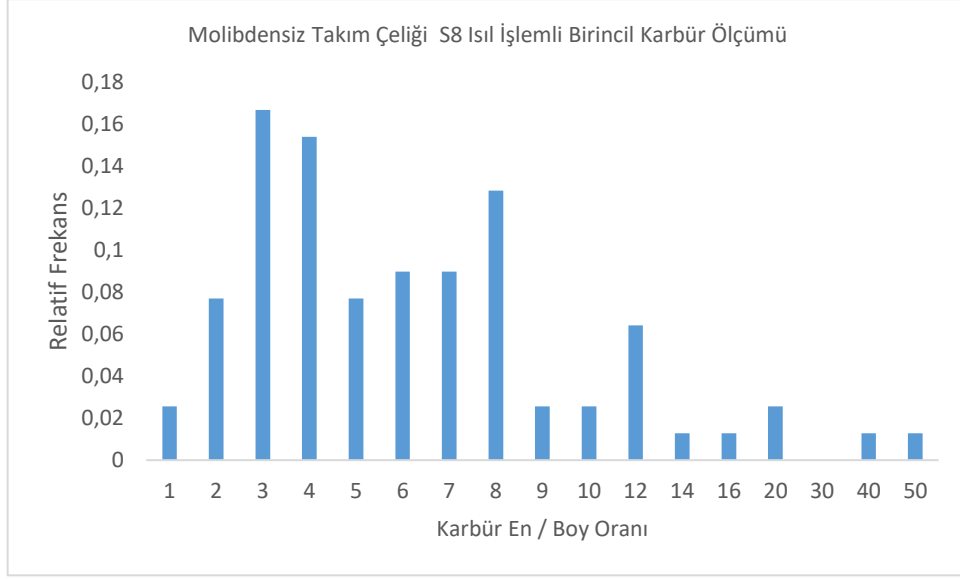
Karbür ve kalıntı ostenit oranı Image J programı kullanılarak %36,73 stdr sapma 3.345 elde edilmiştir.



Şekil 6. 22. Molibdensiz Numunelerde S6 Isıl İşlemi Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği



Şekil 6. 23. Molibdensiz Numunelerde S6 Isıl İşlemi Sonrası Relatif Frekans- Karbür Uzunluğu Grafiği



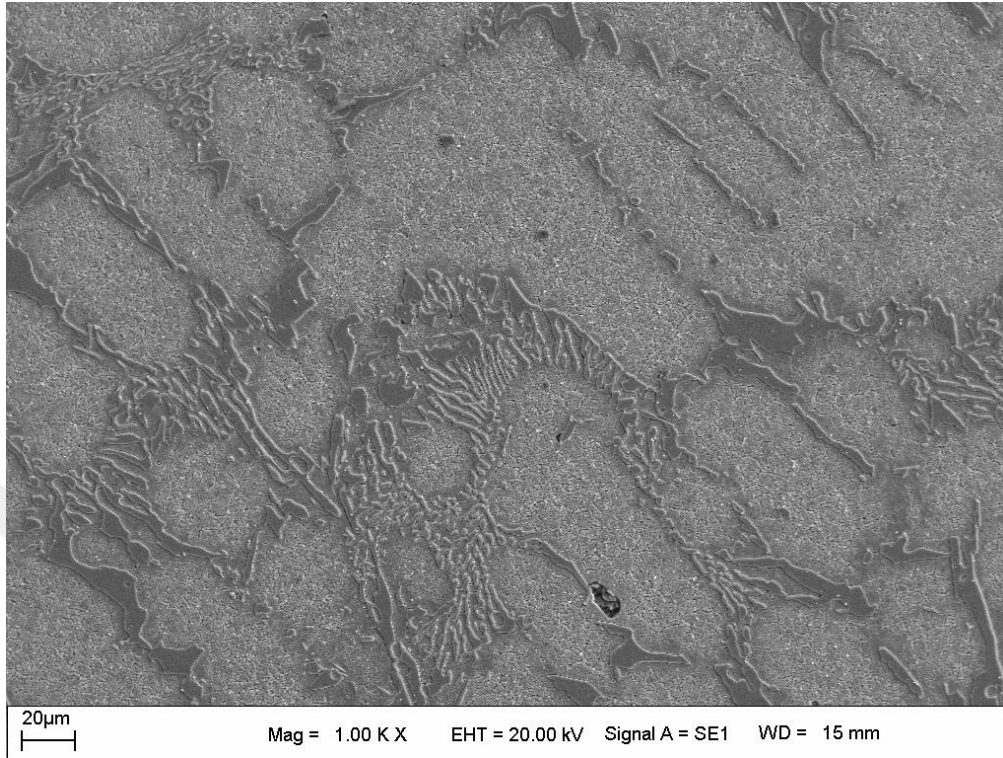
Şekil 6. 24. Molibdensiz Numunelerde S6 Isıl İşlemi Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı

Molibdensiz Numunelerde S6 Isıl İşlemi Sonrası iğneli kırık düzensiz birincil karbür değerleri elde edilmiştir.

Katkısız numunelerden elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

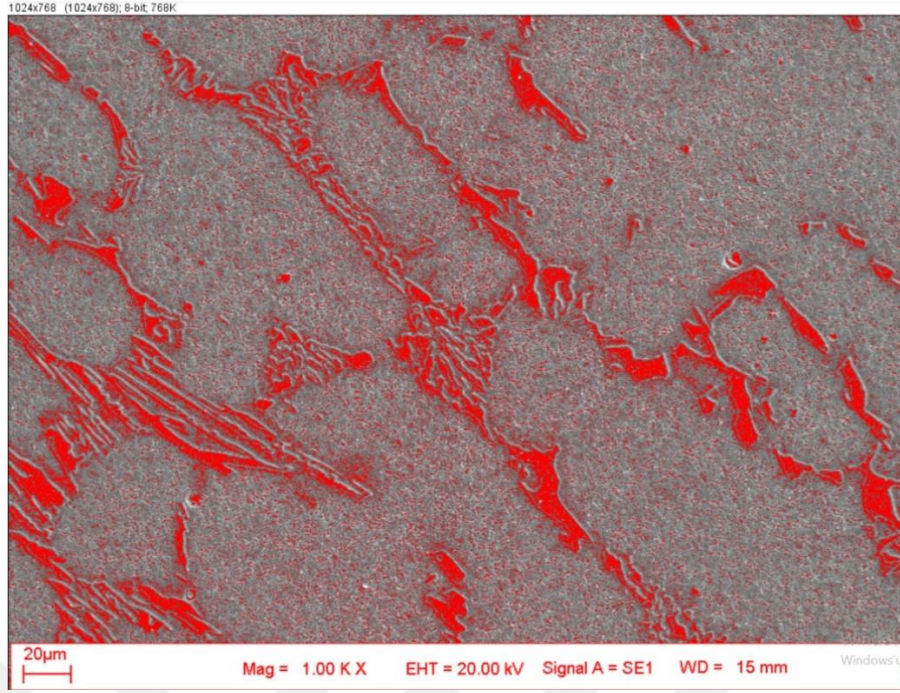
- Birincil karbürlerdeki standart sapma oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yapıdaki karbür dağılımının, homojen olmamasından dolayı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Karbür en/boy oranlarındaki sapmaların malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olacağı şeklinde yorumlanmıştır.
- Sıcaklık artışı ile birlikte birincil karbürlerin erime oranının arttığı, kalıntı ostenit yapıların oluştuğu görülmüştür.
- Sıcaklık artışı ile iğnemsiz, yönlenmiş yapıların oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Molibden katkılı numunelerde iç yapıdaki birincil karbür dağılımı ve karbür oranları aşağıda verilmiştir.



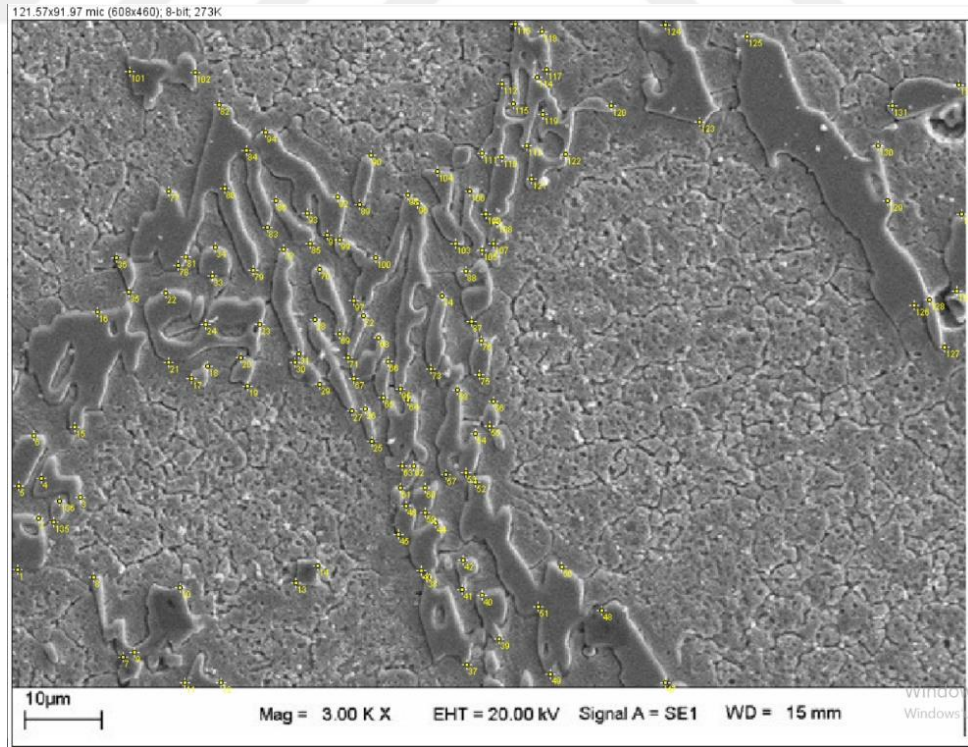
Şekil 6. 25. Molibden katkılı Kum Kalıba Döküm Numunelerde Isıl işlemsiz Mikro Yapı

Molibden katkılı numunelerin ısıl işlemsiz mikro yapısı incelendiğinde homojen olmayan bir dağılım gözlenmektedir. Dentritik kol aralıklarının yapıda kısaldığı karbür sayısının arttığı gözlenmektedir.

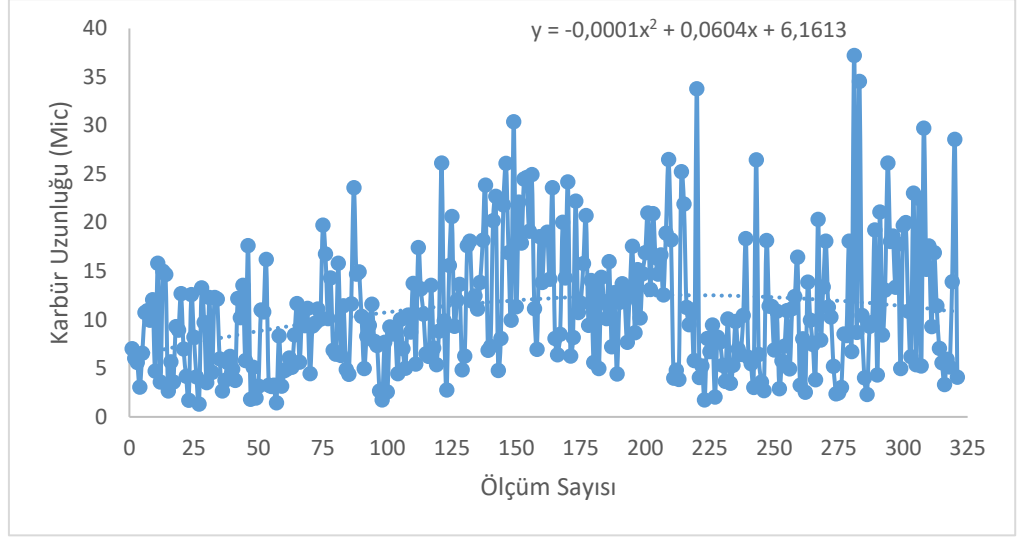


Şekil 6. 26. Molibden Katkısız Numunelerde Birincil Karbür Miktarının Image J Programıyla Tespit Edilmesi

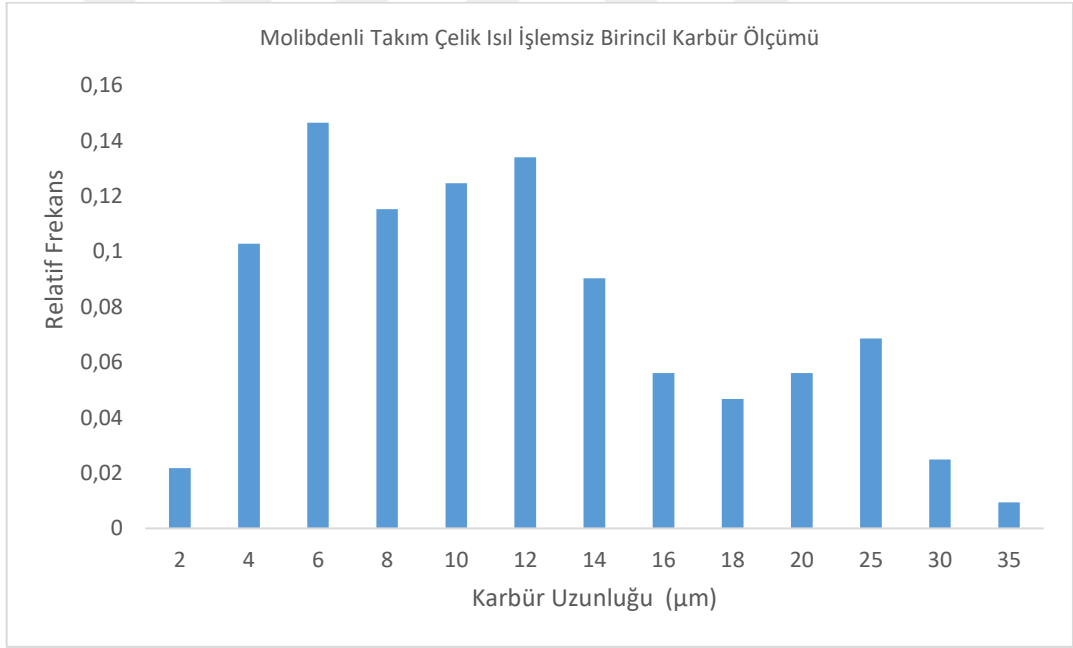
Karbür oranı Image J programı kullanılarak %22,8 – 33 arası değişiyor stdrt sapma 2.241-4 tespit edildi.



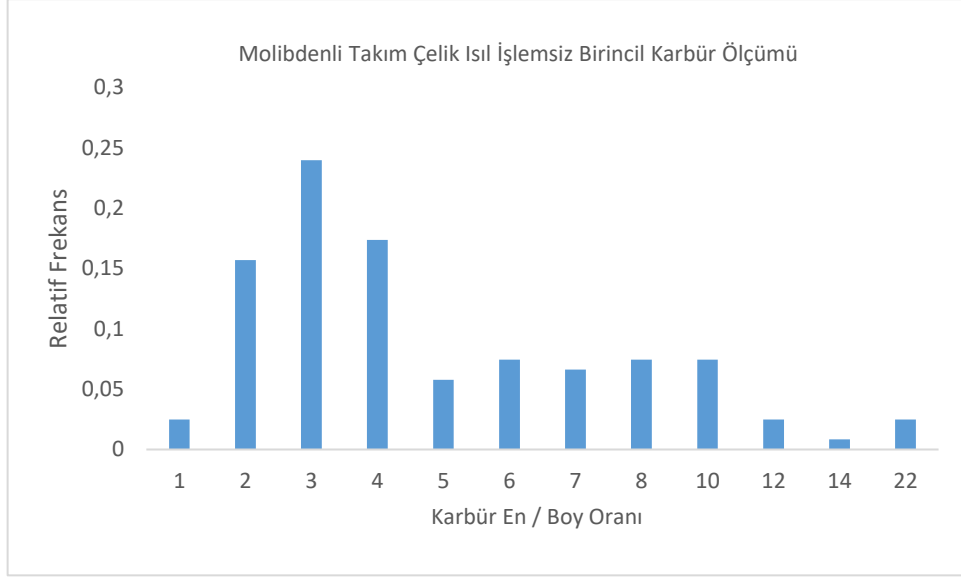
Şekil 6. 27. Molibden Katkılı Numunelerde Birincil Karbürlerin Image J programı kullanılarak Ölçülmesi



Şekil 6. 28. Mo Katkılı Döküm Numune Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği



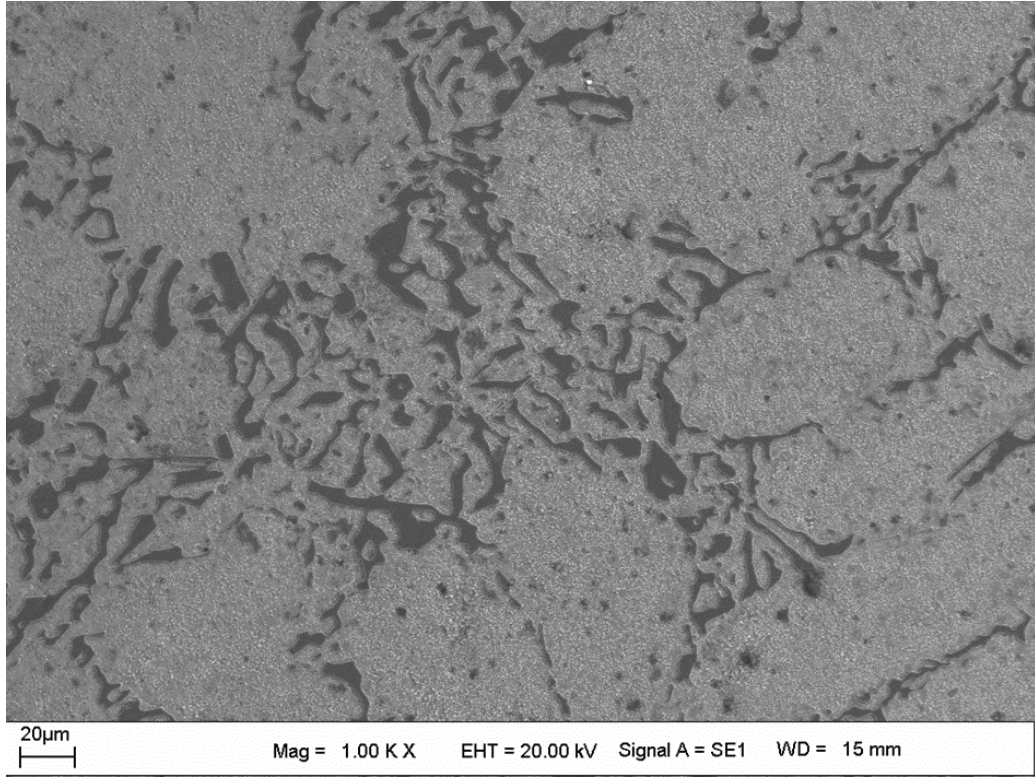
Şekil 6. 29. Mo Katkılı Döküm Numune Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği



Şekil 6. 30. Mo Katkılı Döküm Numune Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı

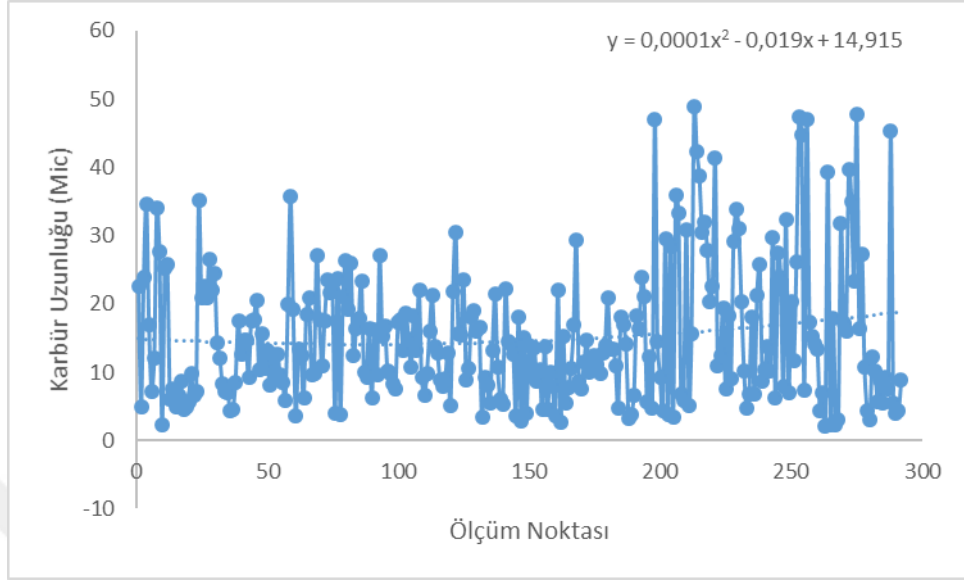
Şekillerden de görüldüğü gibi molibden katkısız numunelerde karbür dağılımı ve boyutları düzensizdir.

Aşağıda S9 ısıl işlemi sonrası Molibden katkılı numunelerde elde edilen iç yapı görülmektedir.



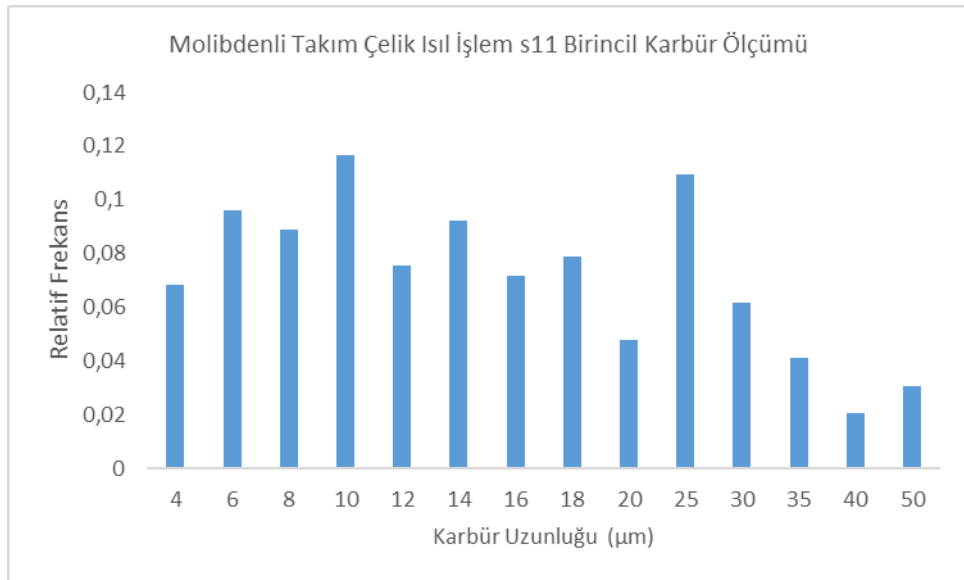
Şekil 6. 31. S9 Isıl İşlem Sonrası Mikro Yapı (Mo Katkılı)

Karbür oranı Image J programı kullanılarak %23.58-25 stdrt sapma 2.295 tespit edildi. Yapıda birincil karbürlerin dışında gri renkli bölgelerde ikincil karbür oluşumu gözlenmiştir. Birinci karbür dağılımının sıklığının azaldığı görülmektedir.

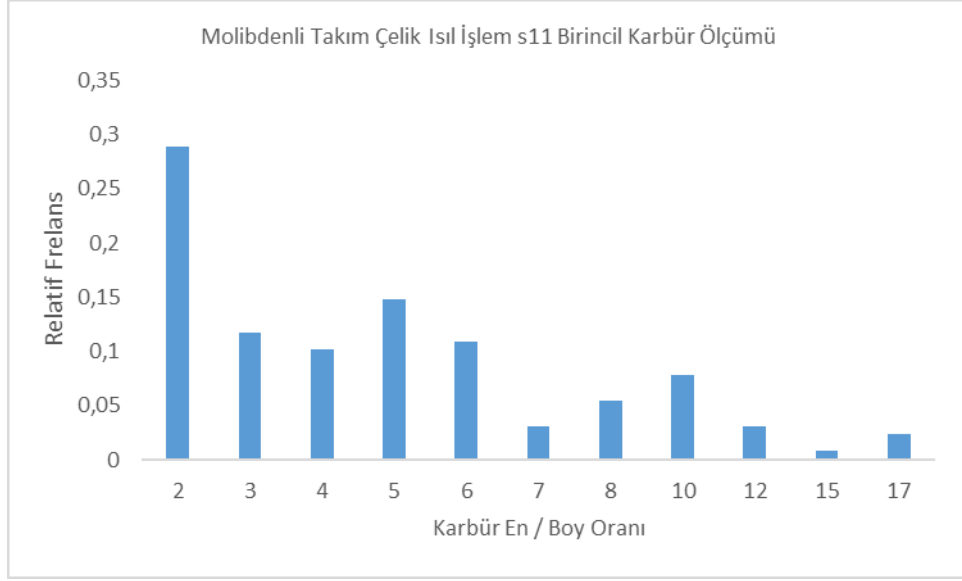


Şekil 6. 32. Mo Katkılı Numunelerde S9 Isıl İşlem Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği

Ortalama karbür uzunluğu 13.76 Mikron Standart Sapma 8.56 Mikron elde edilmiştir.

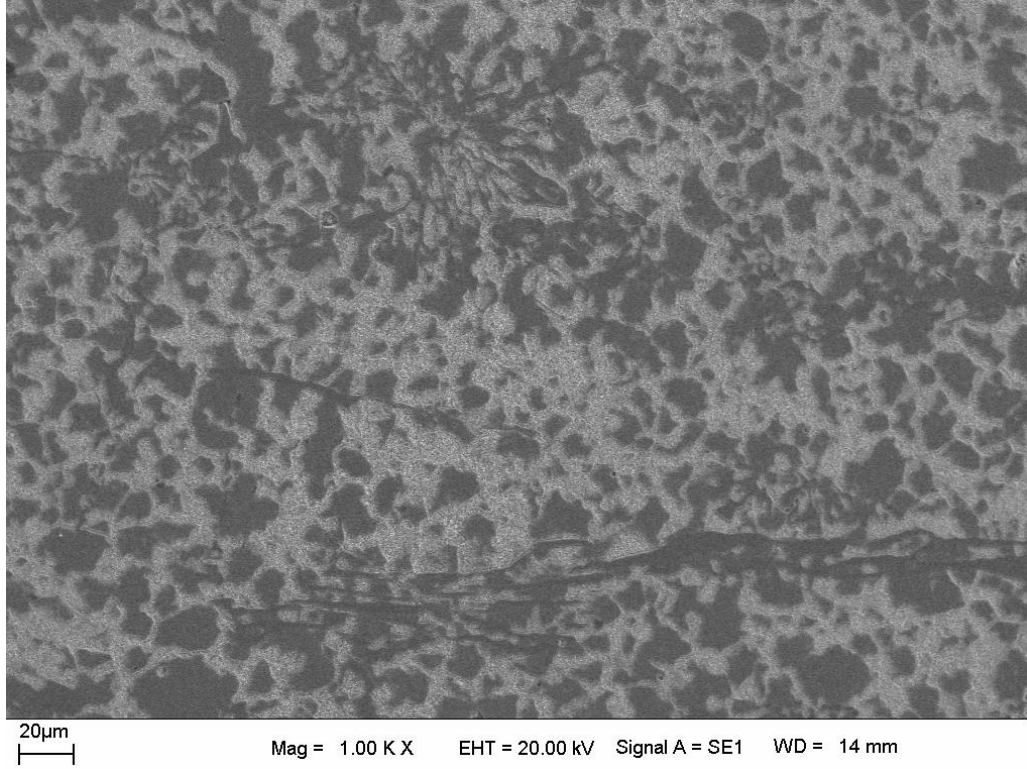


Şekil 6. 33. Mo Katkılı Numunelerde S9 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği



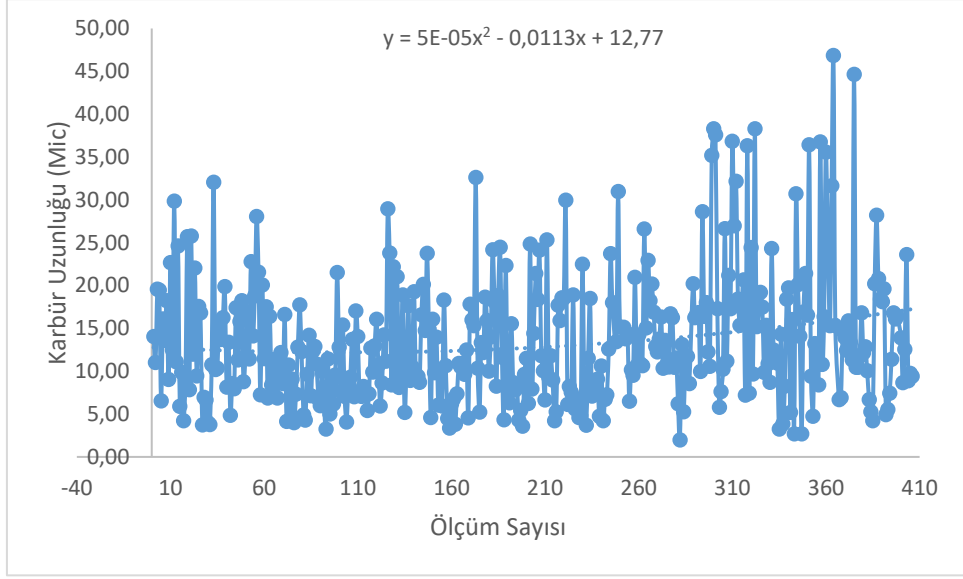
Şekil 6. 34. Mo Katkılı Numunelerde S9 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı

Yapılan incelemede ısıl işlemle birlikte birincil karbür dağılımında homojenliğin arttığı ikincil karbür oluşumunun arttığı gözlenmiştir.



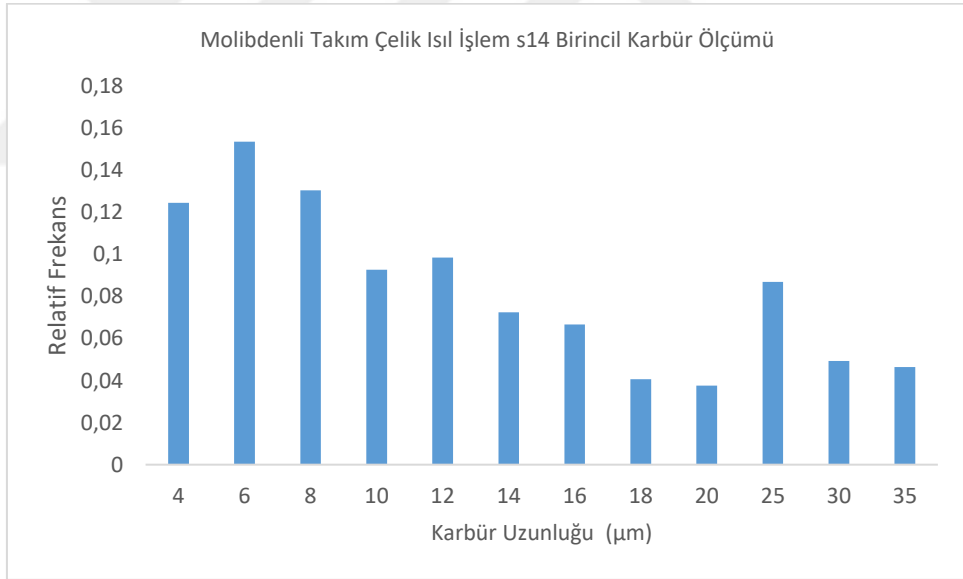
Şekil 6. 35. S12 Isıl İşlem Sonrası Mikro Yapı (Mo Katkılı)

Karbür oranı Image J programı kullanılarak %30 -37 stdrt sapma 1.527-1.94 tespit edildi.

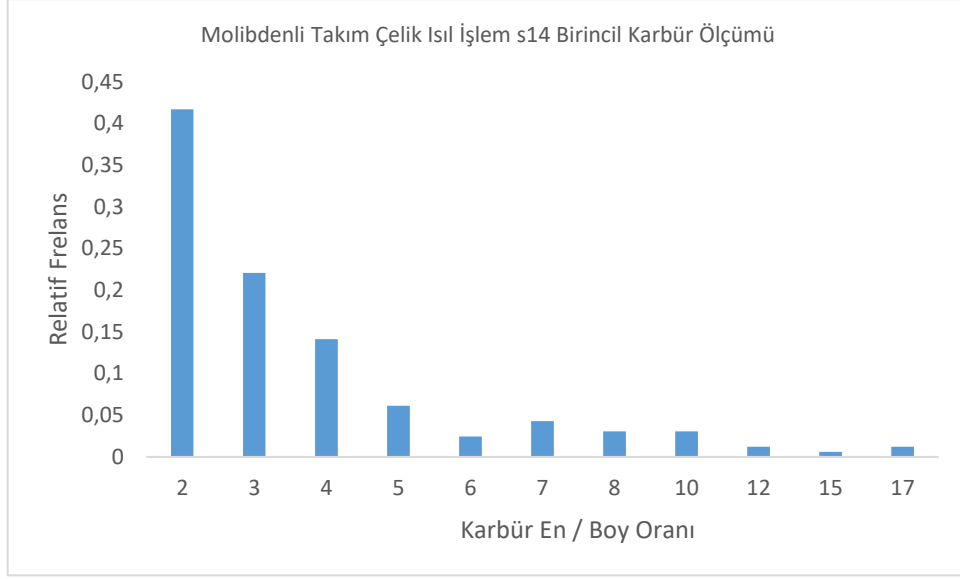


Şekil 6. 36. Mo Katkılı Numunelerde S12 Isıl İşlem Sonrası Karbür Uzunluğu – Ölçüm Sayısı Grafiği

Ortalama karbür uzunluğu 13.65 Mikron Standart Sapma 7.937 Mikron

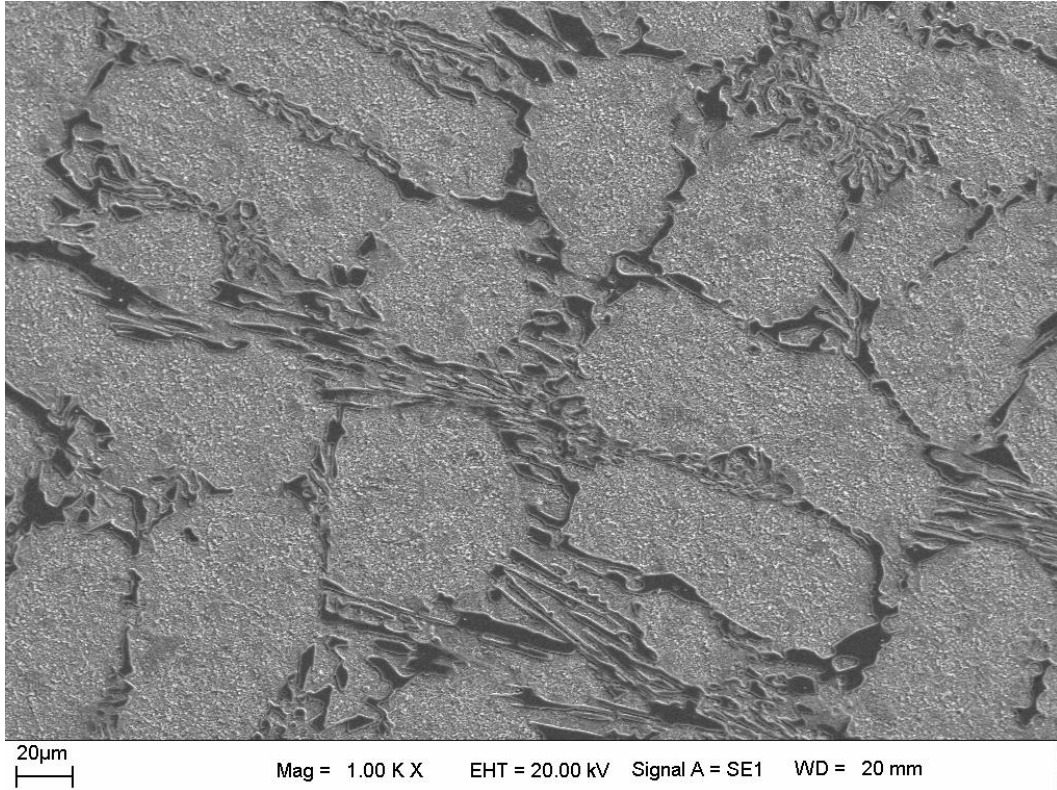


Şekil 6. 37. Mo Katkılı Numunelerde S12 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği



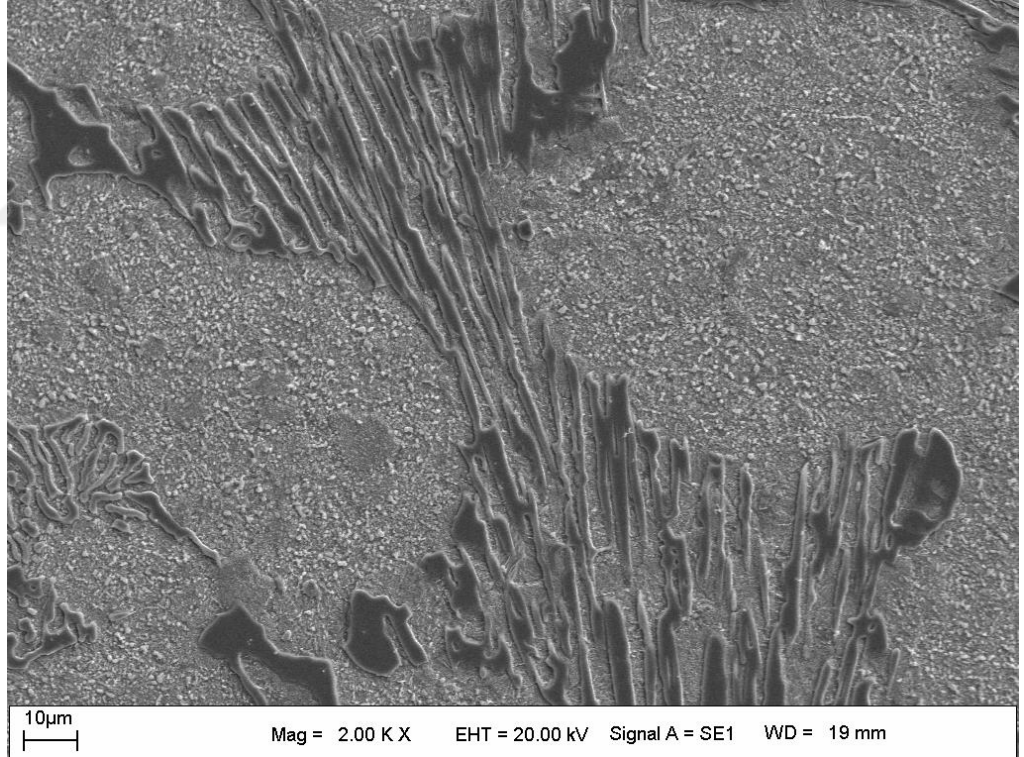
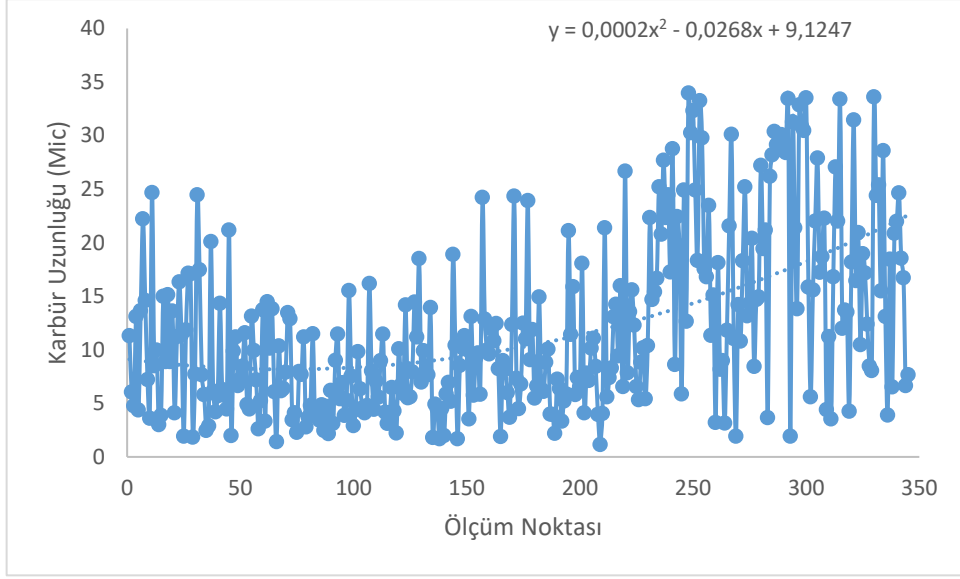
Şekil 6. 38. Mo katkılı Numunelerde S12 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı

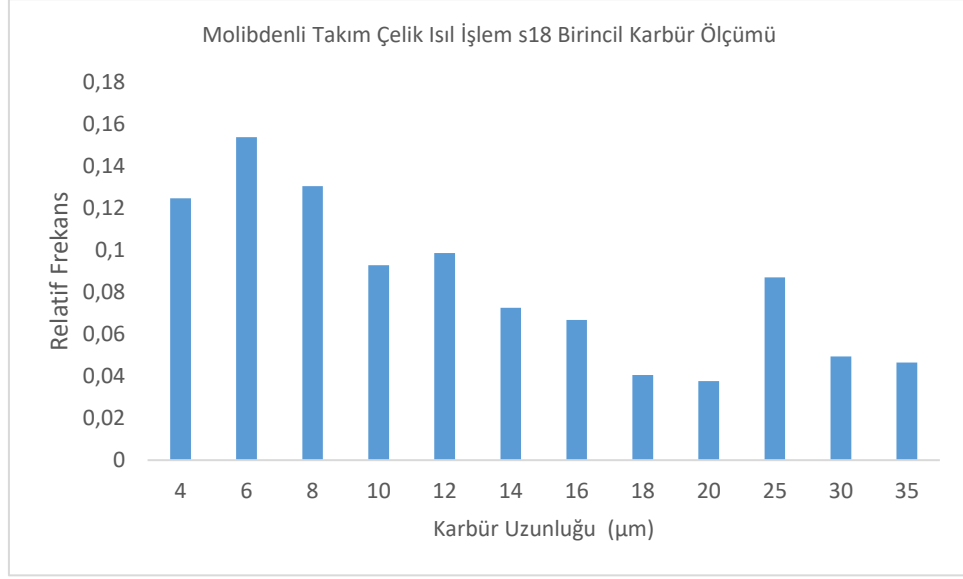
Şekillerden de görüldüğü S12 ısıt işleminde Mo katkılı numunelerde homojen karbür dağılımı elde edilmiştir.



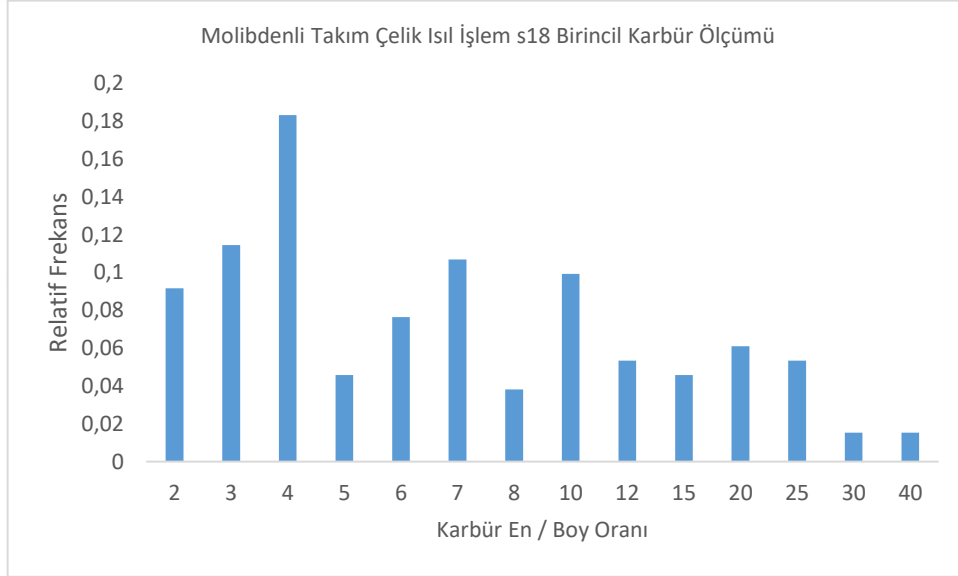
Şekil 6. 39. S16 Isıl İşlem Sonrası Mikro Yapı (Mo Katkılı)

Karbür oranı Image J programı kullanılarak %25 -26 stdrt sapma 2.39 tespit edildi.





Şekil 6. 42. Mo Katkılı S16 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür Uzunluğu Grafiği



Şekil 6. 43. Mo Katkılı S16 Isıl İşlem Sonrası Relatif Frekansı- Karbür En/Boy Oranı

Şekillerden de görüldüğü gibi ısıtma sıcaklığı arttıkça molibdenli numunelerde birincil karbürlerde iğneli ince uzun karbür oluşumunun arttığı homojenliğin azaldığı gözlenmiştir.

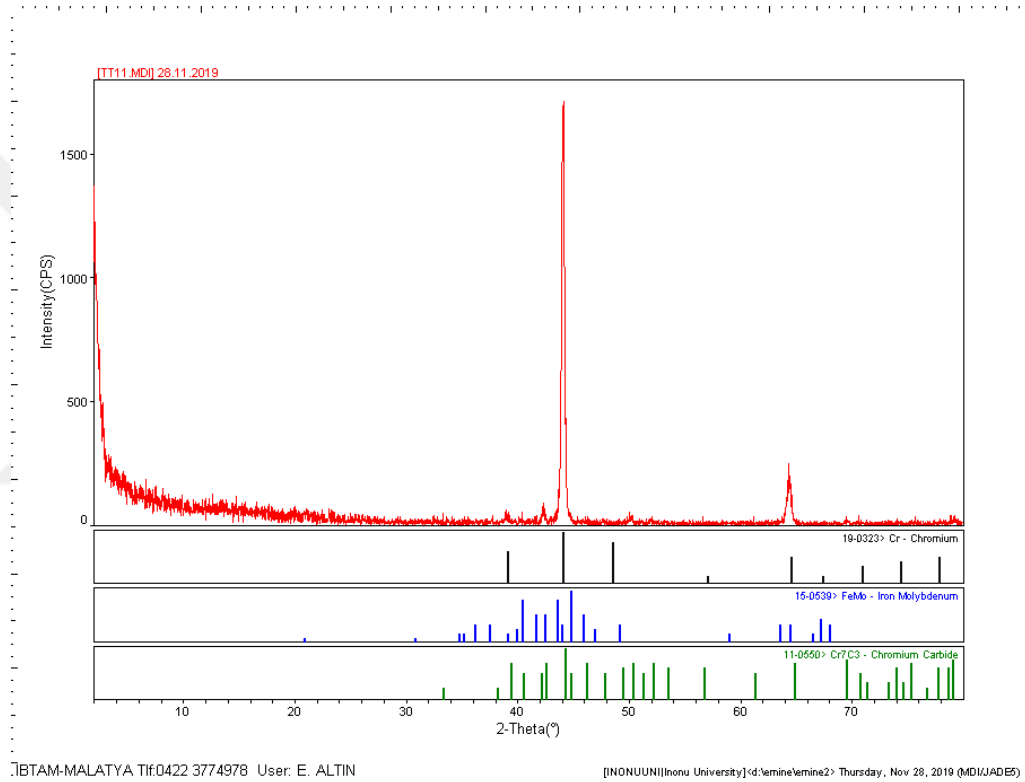
Molibden katkılı numunelerden elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde;

- Mikro yapıda karbür dağılımlarının katkısız malzemelere göre daha homojen olduğu sonucuna varılmıştır. Uygulanan ısıtma işlemler sonrasında yapıdaki karbür dağılımının iyileşerek daha homojen dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.
- Yapıda ikincil karbürlerin oluşumu tespit edilmiştir.

- Birincil karbürler dikkate alındığında, S12 ısıt işleminde optimum değerlere ulaşılmıştır.
- Isıt işlemlerde 650 °C üzerinde sıcaklıklarda ve artan bekleme sürelerine bakılarak karbür dağılımındaki homojen yapının bozulduğu, iğneli yapıların oluşum oranının arttığı sonucuna varılmıştır.

6.1.5. XRD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

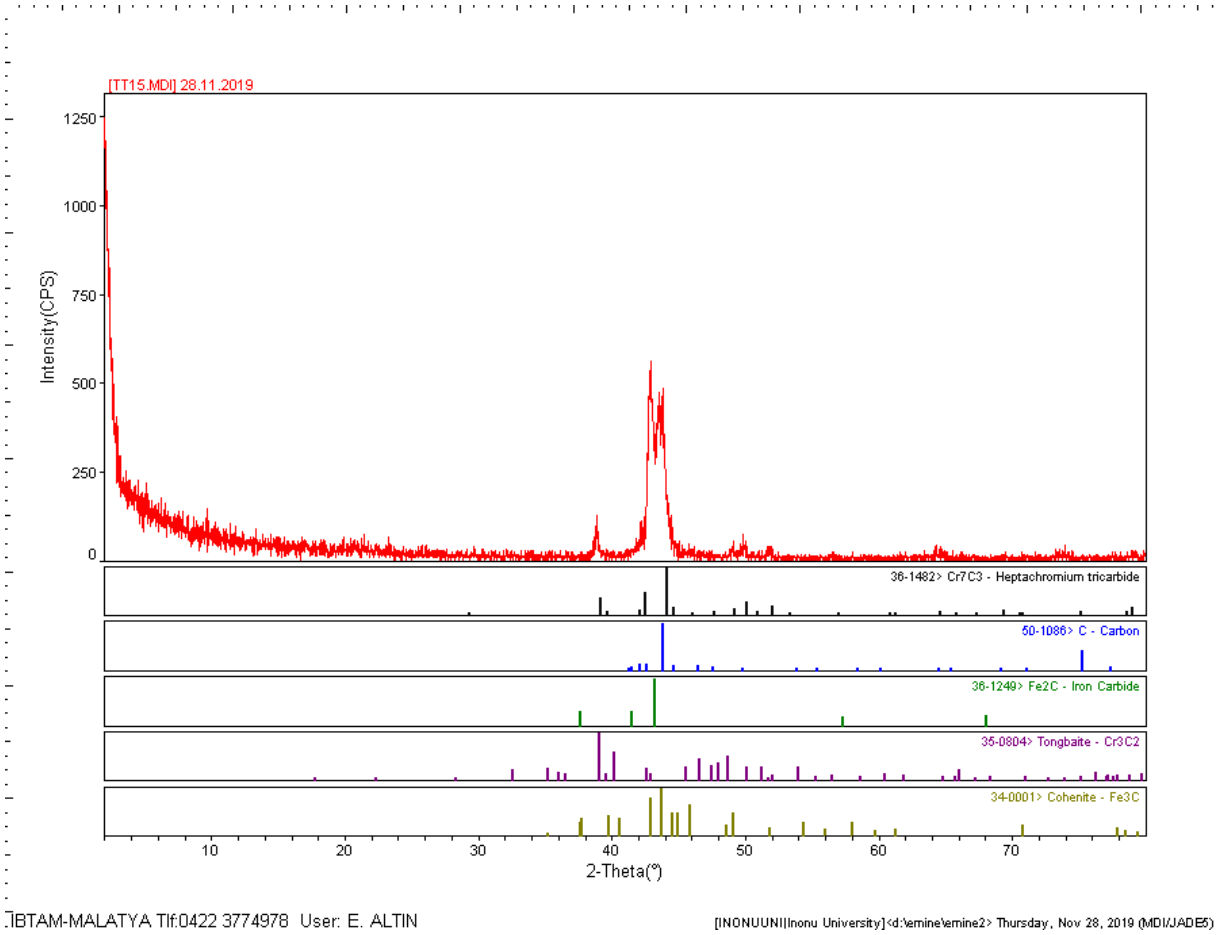
Molibden katkı yapıda oluşan karbürler aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 44. Mo Katkılı Numune S9 Isıt İşlem Sonrası XRD Analizi Grafiği

XRD sonuçlarına göre yapıda Cr bazlı ikincil olarak da Mo bazlı karbür oluşumunun gerçekleştiği görülmektedir.

Molibdensiz yapıda belirlenen karbür tipleri aşağıda XRD sonuçlarıyla verilmiştir.



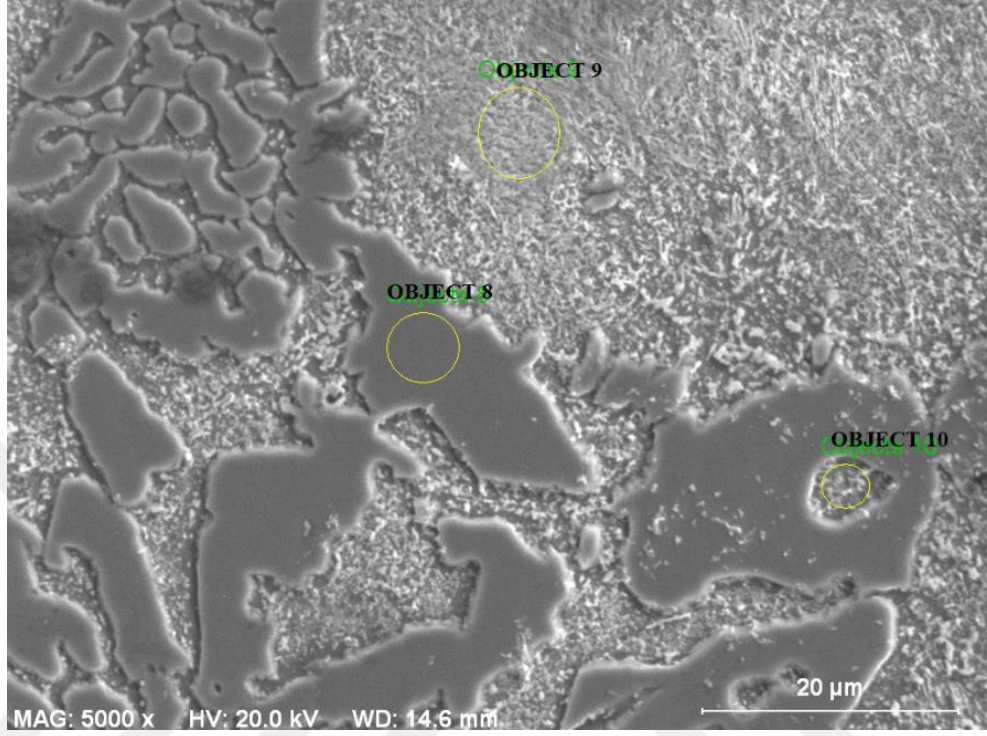
Şekil 6. 45. Mo Katkısız Numune S13 Isıl İşlem Sonrası XRD Analizi Grafığı

Mo katkısız numunelerde XRD sonuçlarına göre yapıda Cr bazlı ikincil olarak da Fe bazlı karbür oluşumunun gerçekleştiği görülmektedir.

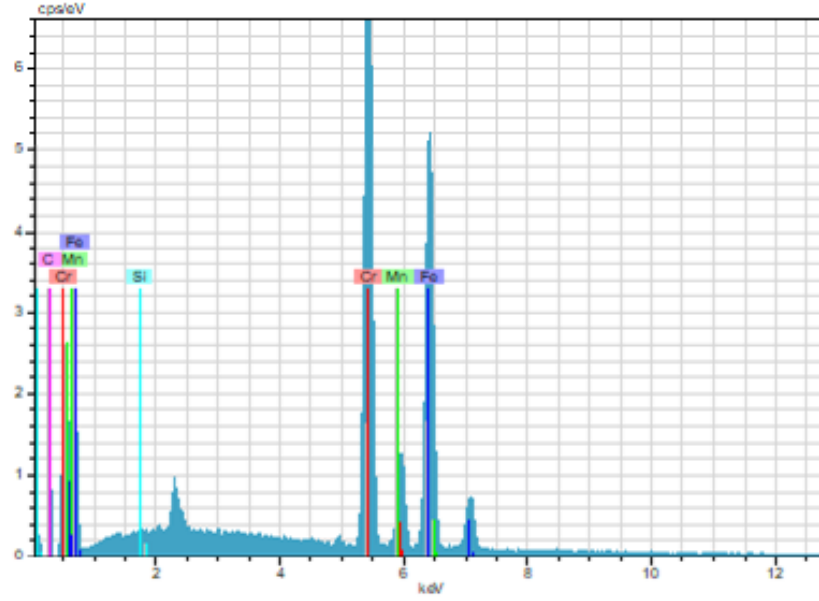
Molibden katkılı döküm malzemelerde krom ağırlıklı birincil karbür oranının yüksek olduğu görülmektedir.

6.1.6. EDS analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Molibden katkısız yapı için, belirlenen noktalardan veriler alınmıştır. Her bir konum için elementel analiz ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 46. Mo Katkısız Isıl İşlemsiz Numune EDS Analizi

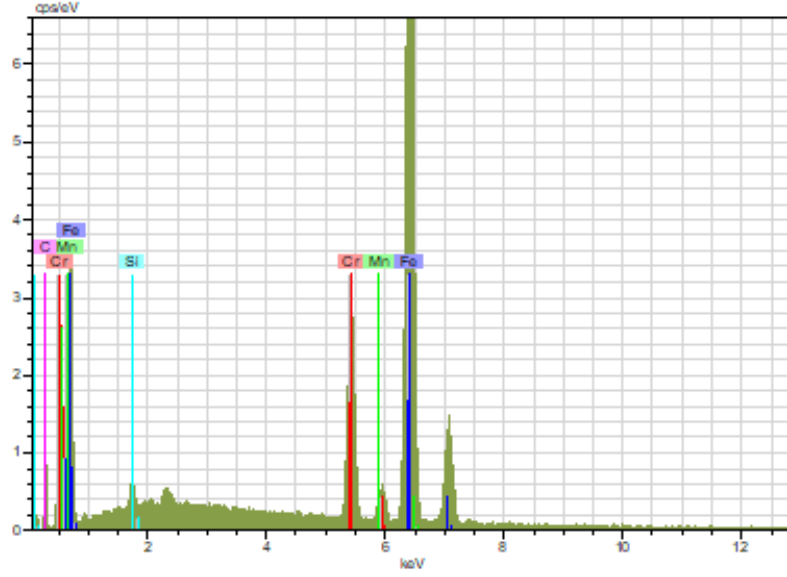


Spectrum: Objects 8

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[<u>wt.-%</u>]	[<u>wt.-%</u>]	[<u>at.-%</u>]	[<u>%</u>]
Fe	26	<u>K-series</u>	43.12	46.58	38.88	1.2
Cr	24	<u>K-series</u>	42.97	46.42	41.61	1.2
<u>C</u>	<u>6</u>	<u>K-series</u>	4.12	4.45	17.26	0.8
Mn	25	<u>K-series</u>	2.26	2.44	2.07	0.2
Si	14	<u>K-series</u>	0.10	0.11	0.18	0.0
<u>Total:</u>			92.57	100.00	100.00	

Şekil 6. 47. Object 8 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Şekilden de görüldüğü gibi koyu renkli yapıda karbür elementlerinden Cr ve Fe oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. Elementel analiz sonucunda bu yapının karbür olduğu değerlendirilmektedir.

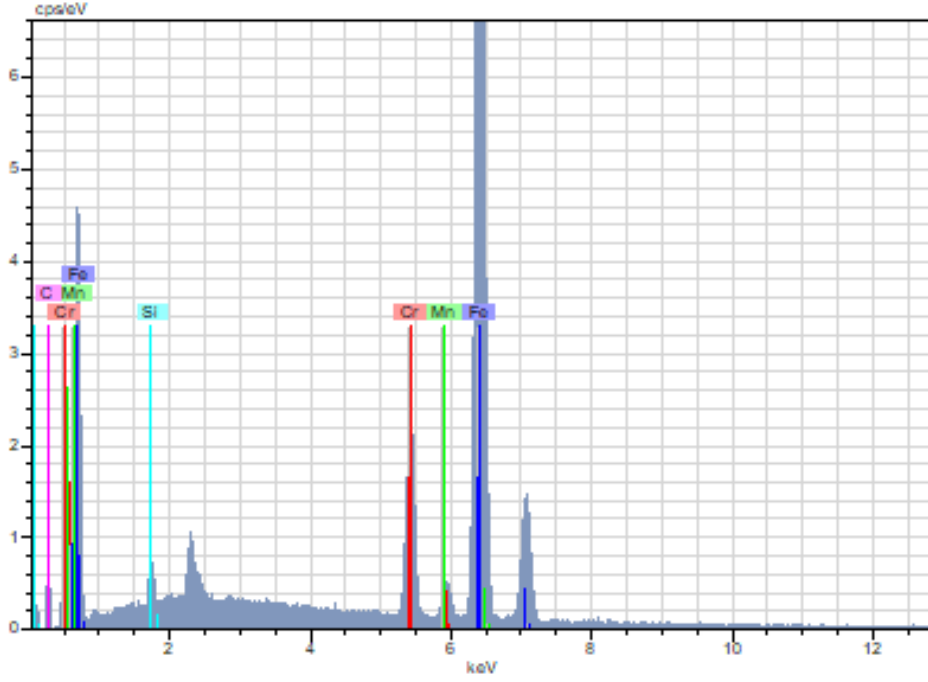


Spectrum: Objects 9

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[%]
Fe	26	K-series	76.79	80.60	72.58	2.1
Cr	24	K-series	12.09	12.69	12.27	0.4
Mn	25	K-series	3.16	3.31	3.03	0.2
C	6	K-series	2.40	2.52	10.55	0.5
Si	14	K-series	0.83	0.87	1.56	0.1
<u>Total:</u>			95.26	100.00	100.00	

Şekil 6. 48. Object 9 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Şekilden de görüldüğü gibi açık renkli yapıda Fe oranlarının fazla olduğu ve karbür elementlerinden Cr görülmektedir. Bu yapının ferritik, perlitik ağırlıklı bir yapı olduğu değerlendirilmektedir.



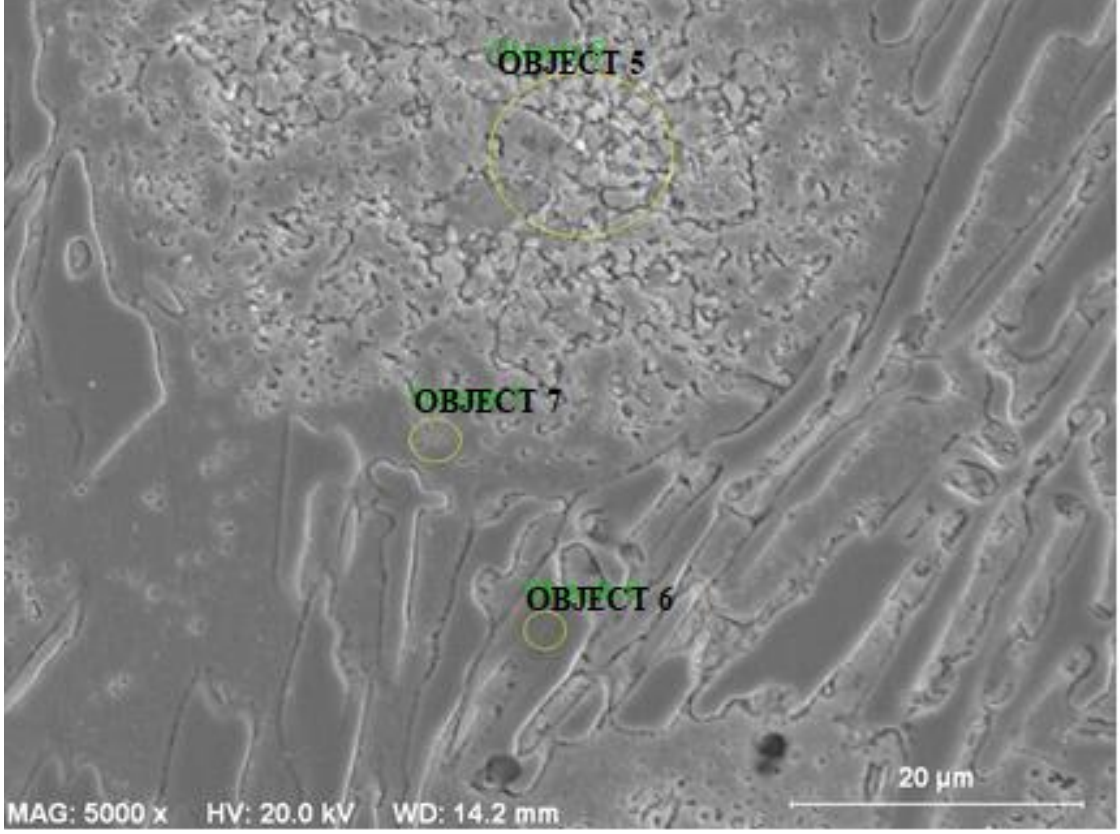
Spectrum: Objects 10

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[<u>wt.-%</u>]	[<u>wt.-%</u>]	[<u>at.-%</u>]	[<u>%</u>]
Fe	26	<u>K-series</u>	79.71	83.49	76.73	2.2
Cr	24	<u>K-series</u>	9.27	9.71	9.58	0.3
Mn	25	<u>K-series</u>	3.72	3.90	3.64	0.2
<u>C</u>	<u>6</u>	<u>K-series</u>	1.84	1.93	8.25	0.4
Si	14	<u>K-series</u>	0.93	0.98	1.79	0.1
<u>Total:</u>			95.48	100.00	100.00	

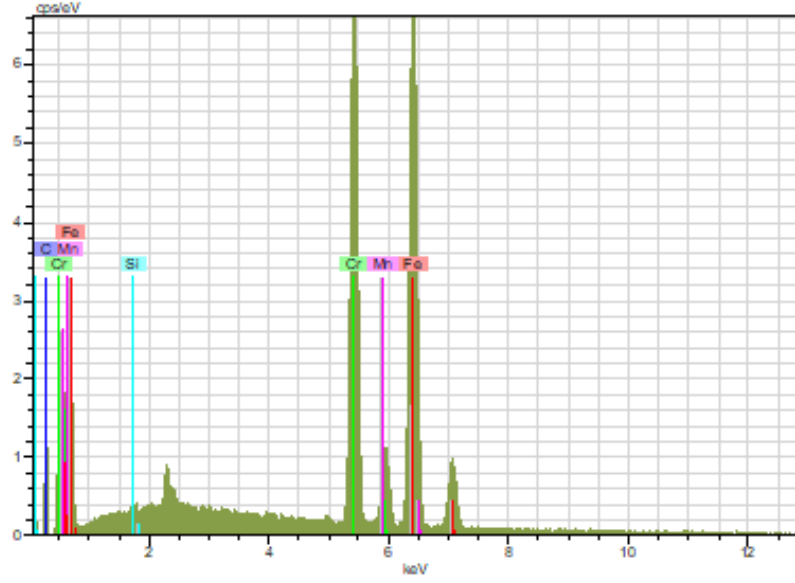
Şekil 6. 49. Object 10 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Yapılan incelemede bu bölgede Fe oranının yüksek olduğu geçiş bölgelerinde ferritik bir yapı olduğu değerlendirilmektedir.

Molibden katkısız ısıl işleme tabi tutulmuş yapılarda elde edilen EDS analizi aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 50. Mo Katkısız S13 Isıl İşlemi Sonrası Numune EDS Görüntüsü

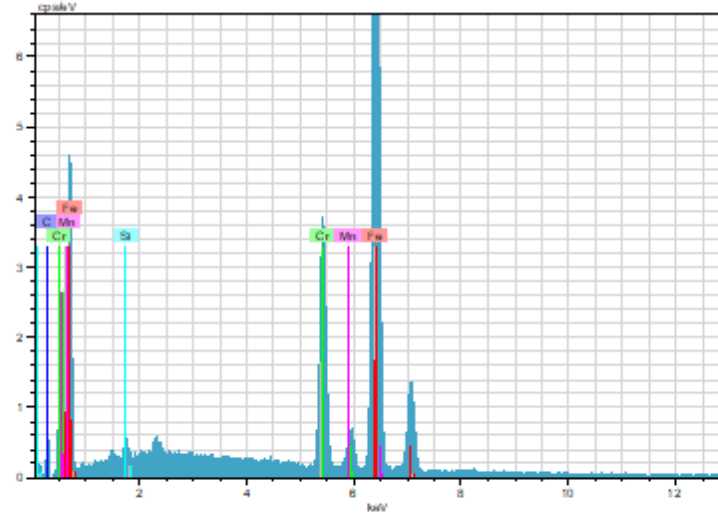


Spectrum: Object 6

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[%]
Fe	26	<u>K-series</u>	52.86	57.73	48.52	1.5
Cr	24	<u>K-series</u>	32.31	35.28	31.85	0.9
C	6	<u>K-series</u>	4.04	4.41	17.23	0.8
Mn	25	<u>K-series</u>	2.15	2.35	2.01	0.2
Si	14	<u>K-series</u>	0.21	0.23	0.39	0.0
<u>Total:</u>			<u>91.57</u>	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	

Şekil 6. 51. Object 6 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Yapılan incelemede koyu renkli yapıda karbür elementlerinden Cr ve Fe oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. Elementel analiz sonucunda bu yapının karbür olduğu değerlendirilmektedir. Ancak döküm durumundaki Cr miktarına göre ısıtılma sonrası bir düşüş görülmektedir. Buradan birinci karbürlerde ısıtılma işlemi birlikte bir azalma gerçekleştiği öngörülmektedir.

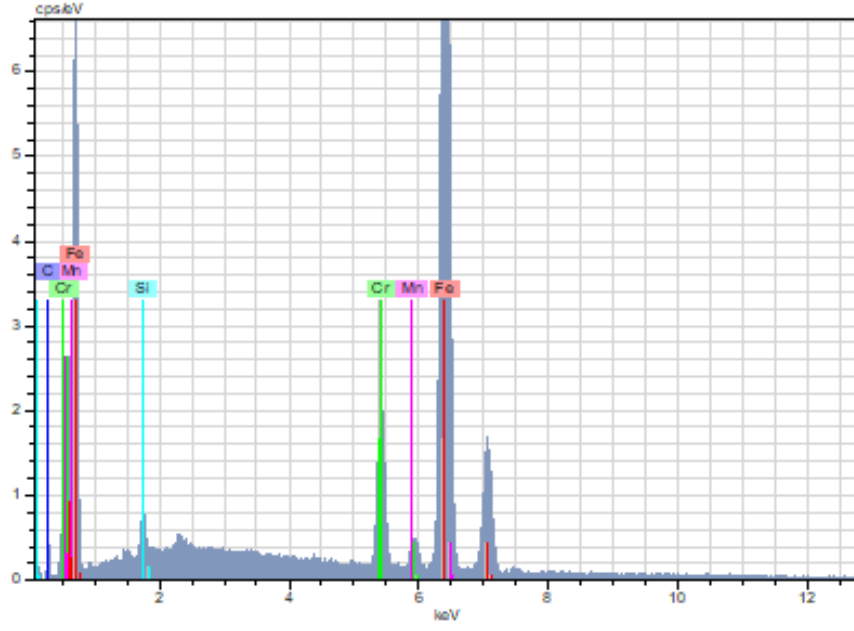


Spectrum: Object 5

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			<u>[wt.-%]</u>	<u>[wt.-%]</u>	<u>[at.-%]</u>	<u>[%]</u>
Fe	26	<u>K-series</u>	77.22	80.39	74.05	2.1
Cr	24	<u>K-series</u>	14.58	15.18	15.02	0.4
Mn	25	<u>K-series</u>	1.93	2.00	1.88	0.2
<u>C</u>	<u>6</u>	<u>K-series</u>	1.81	1.88	8.05	0.4
Si	14	<u>K-series</u>	0.53	0.55	1.01	0.1
<u>Total:</u>			96.07	100.00	100.00	

Şekil 6. 52. Object 5 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Isıl işleme birlikte beyaz renkli noktalarda Cr oranı bir miktar artmakta burada ikincil karbür oluşumunun olabileceği öngörülmektedir.



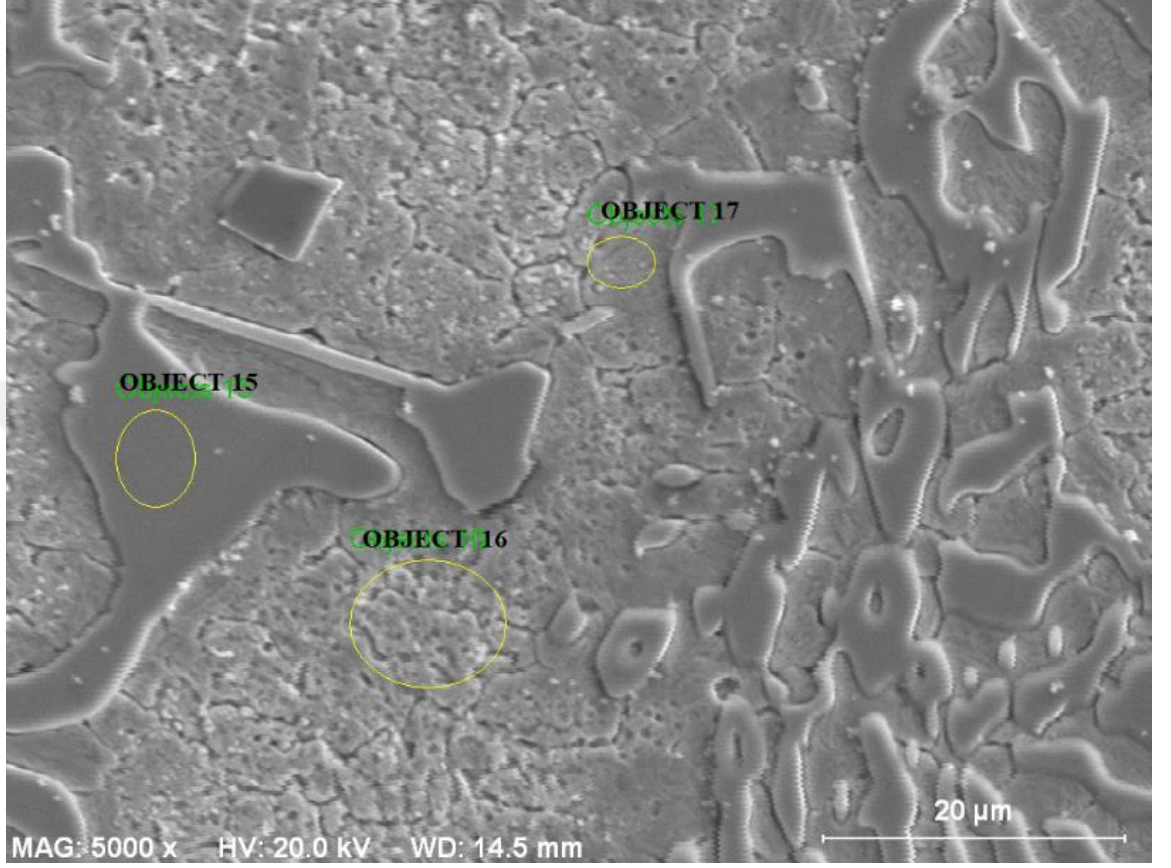
Spectrum: Objects 7

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			<u>[wt.-%]</u>	<u>[wt.-%]</u>	<u>[at.-%]</u>	<u>[%]</u>
Fe	26	<u>K-series</u>	85.14	88.13	83.50	2.3
Cr	24	<u>K-series</u>	7.22	7.48	7.61	0.2
Mn	25	<u>K-series</u>	2.21	2.29	2.20	0.1
<u>C</u>	<u>6</u>	<u>K-series</u>	1.04	1.08	4.76	0.3
Si	14	<u>K-series</u>	0.99	1.02	1.93	0.1
<u>Total:</u>			96.61	100.00	100.00	

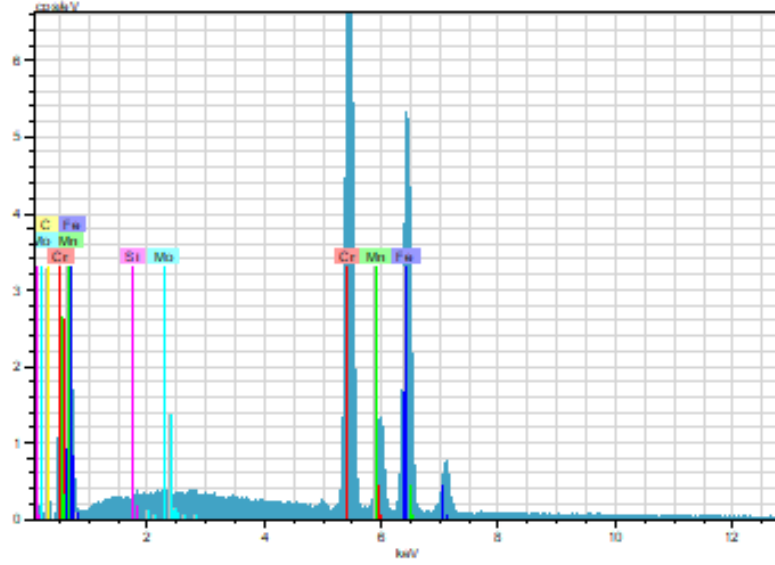
Şekil 6. 53. Object 7 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Isıl işleme birlikte Mo katkısız numunelerde karbür kenarlarında gri bölgelerde demir oranının yükseldiği görülmektedir.

Molibden katkılı yapı için belirlenen noktalardan veriler alınmıştır. Her bir konum için elementel analiz ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 54. Mo Kakılı Isıl İşlemsiz Numune EDS Görüntüsü

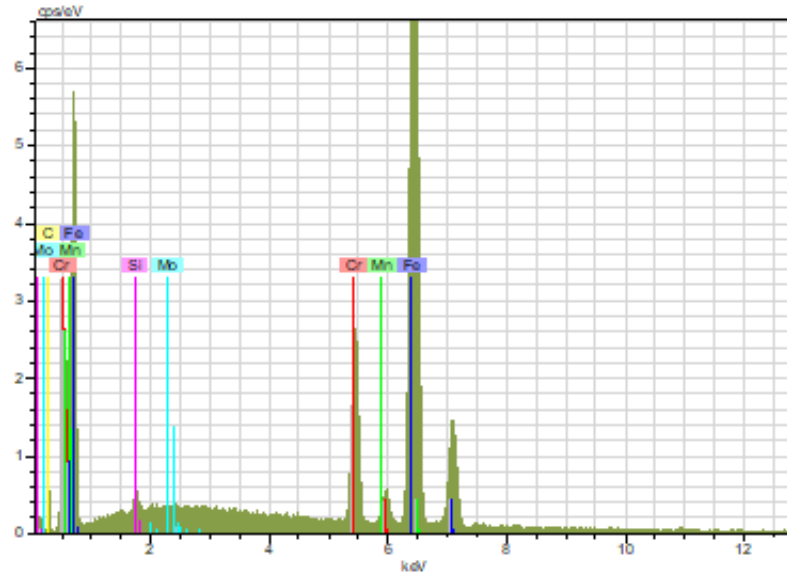


Spectrum: Objects 15

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[<u>wt.-%</u>]	[<u>wt.-%</u>]	[<u>at.-%</u>]	[<u>%</u>]
Cr	24	<u>K-series</u>	47.61	50.36	45.31	1.3
Fe	26	<u>K-series</u>	31.19	32.99	27.64	0.9
Mn	25	<u>K-series</u>	10.86	11.49	9.78	0.4
<u>C</u>	<u>6</u>	<u>K-series</u>	4.07	4.31	16.78	0.8
<u>Mo</u>	<u>42</u>	<u>L-series</u>	0.73	0.78	0.38	0.1
<u>Si</u>	<u>14</u>	<u>K-series</u>	0.06	0.07	0.11	0.0
<u>Total:</u>			<u>94.53</u>	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	

Şekil 6. 55. Object 15 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Şekilden de görüldüğü gibi Mo katkılı numunelerde siyah renkli kısımlarda Cr oranının oldukça yüksek olduğu karbür oluşumunu göstermektedir.

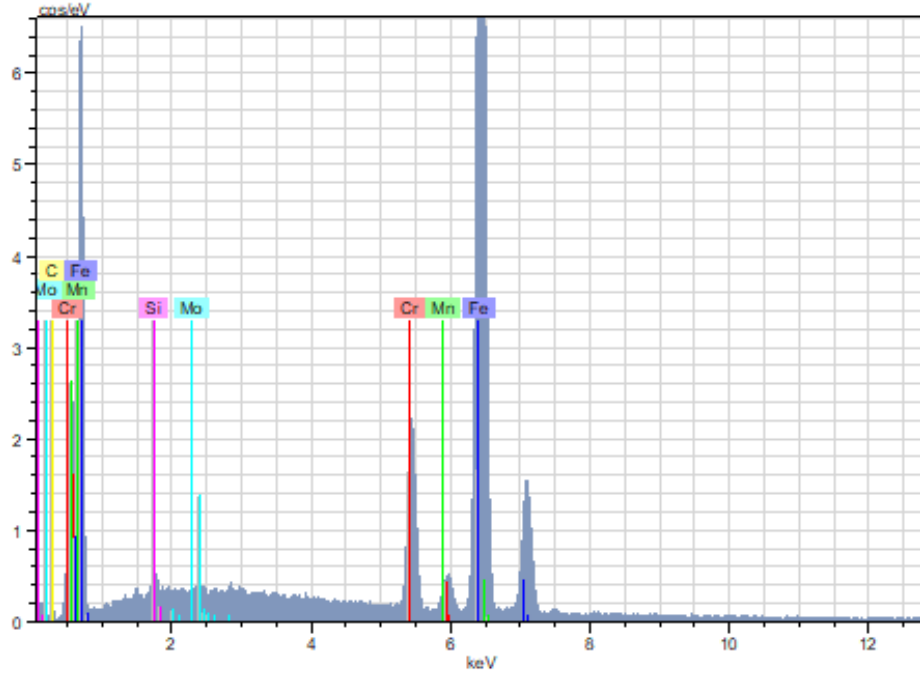


Spectrum: Objects 16

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[%]
Fe	26	K-series	60.12	63.33	59.24	1.6
Mn	25	K-series	21.15	22.28	21.19	0.6
Cr	24	K-series	11.12	11.71	11.77	0.3
C	6	K-series	1.41	1.49	6.47	0.4
Mo	42	L-series	0.64	0.67	0.37	0.1
Si	14	K-series	0.49	0.52	0.97	0.1
<u>Total:</u>			94.93	100.00	100.00	

Şekil 6. 56. Object 16 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Beyaz renkli noktalarda Mo katkısız numuneden farklı olarak Fe elementi yanında Mn oranının yüksek olduğu görülmektedir.



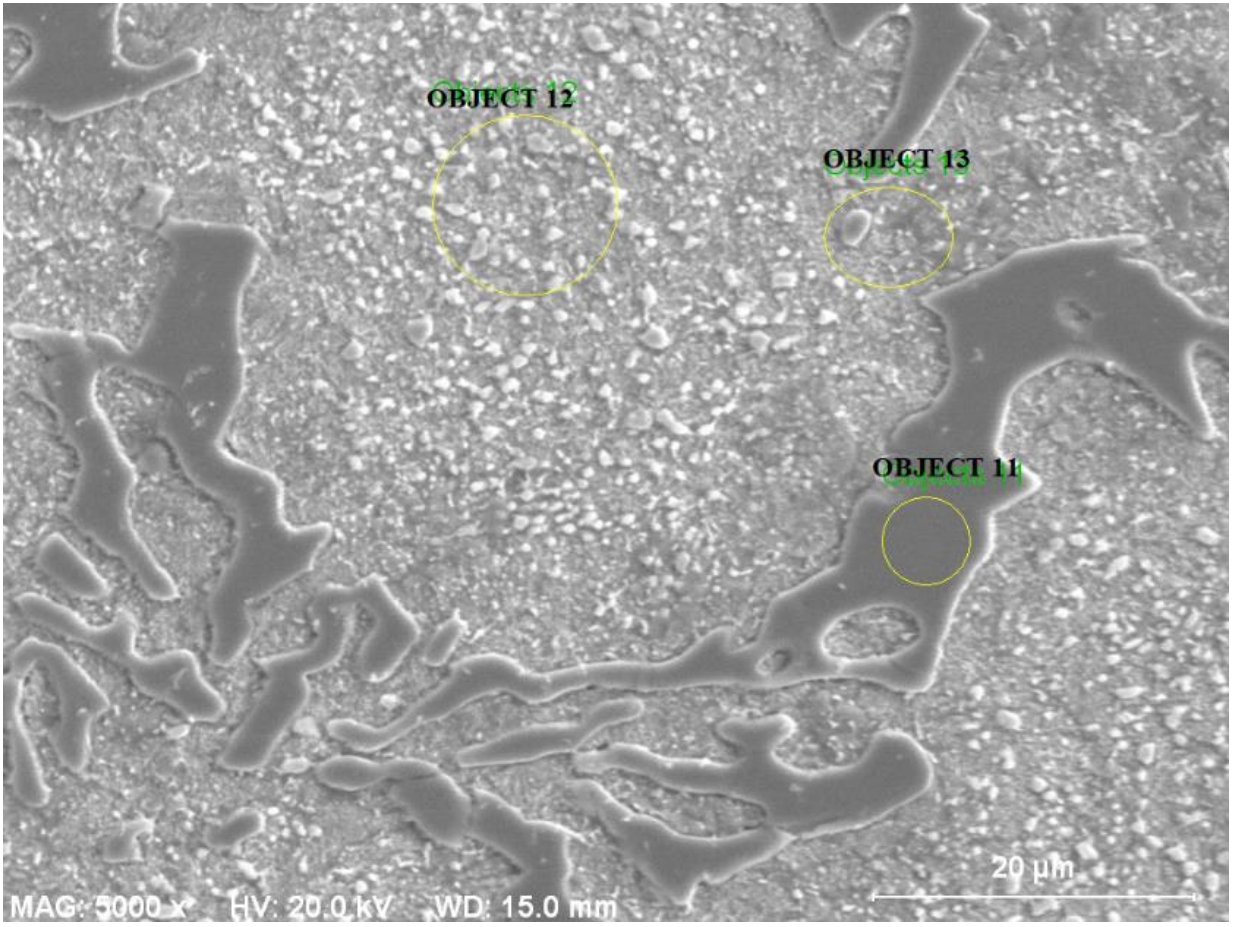
Spectrum: Objects 17

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C norm.</u>	<u>C Atom.</u>	<u>C Error</u>	
			[<u>wt.-%</u>]	[<u>wt.-%</u>]	[<u>at.-%</u>]	[<u>%</u>]
Fe	26	<u>K-series</u>	61.40	65.12	61.52	1.7
Mn	25	<u>K-series</u>	21.61	22.92	22.01	0.6
Cr	24	<u>K-series</u>	8.90	9.44	9.58	0.3
C	6	<u>K-series</u>	1.14	1.21	5.33	0.3
Mo	42	<u>L-series</u>	0.64	0.67	0.37	0.1
Si	14	<u>K-series</u>	0.59	0.63	1.18	0.1
<u>Total:</u>			94.28	100.00	100.00	

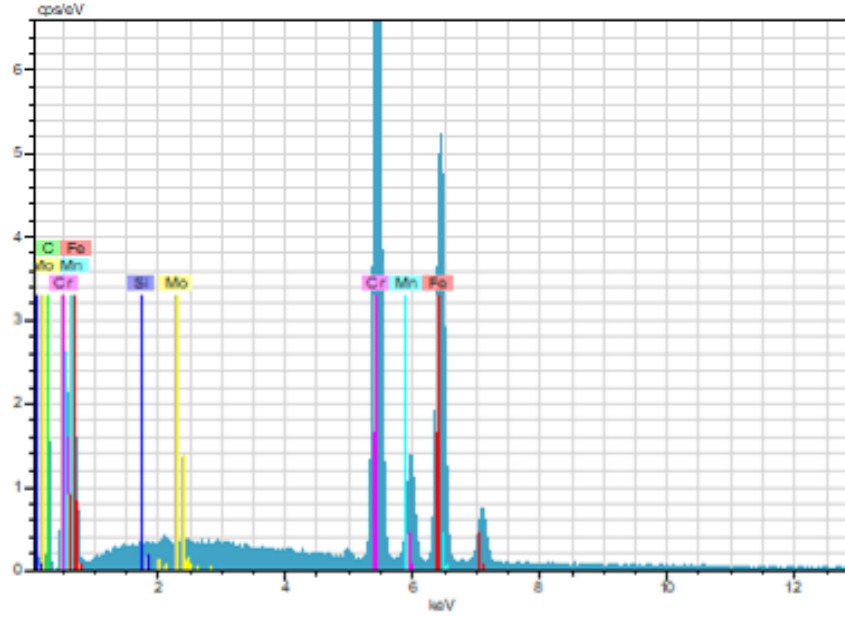
Şekil 6. 57. Object 17 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Gri renkli karbür sonrası geçiş noktalarında Fe elementi ve Mn oranının yüksek olduğu görülmektedir.

Mo katkılı numunelerde ısıl işlemin elementel analize etkisi aşağıda verilmiştir.



Şekil 6. 58. Mo Katkılı S17 Isıl İşlemi Sonrası Numune EDS Görüntüsü

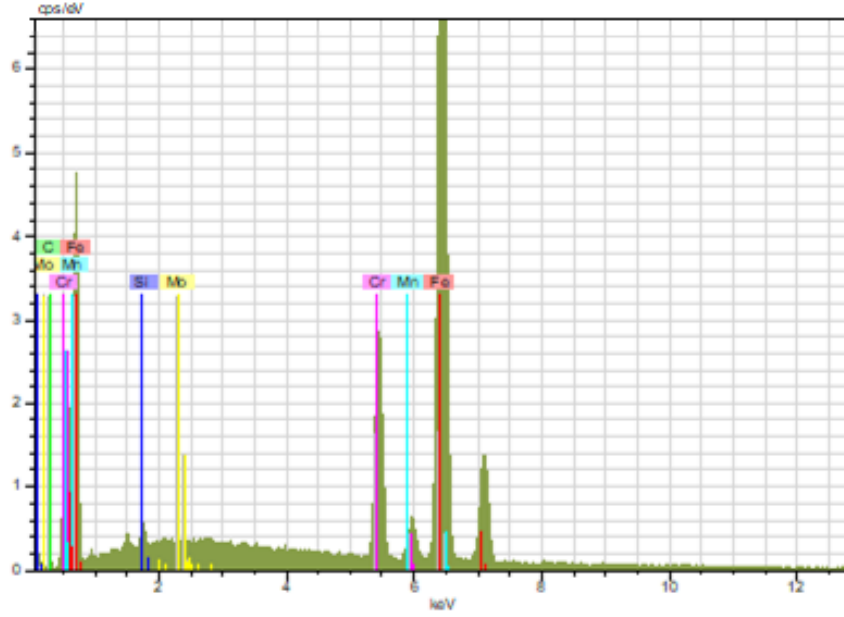


Spectrum: Objects 11

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			<u>[wt.-%]</u>	<u>[wt.-%]</u>	<u>[at.-%]</u>	<u>[%]</u>
Cr	24	<u>K-series</u>	47.02	49.85	44.55	1.3
Fe	26	<u>K-series</u>	31.75	33.66	28.00	0.9
Mn	25	<u>K-series</u>	10.50	11.13	9.42	0.4
<u>C</u>	<u>6</u>	<u>K-series</u>	4.28	4.53	17.53	0.8
<u>Mo</u>	<u>42</u>	<u>L-series</u>	0.70	0.74	0.36	0.1
Si	14	<u>K-series</u>	0.08	0.09	0.15	0.0
<u>Total:</u>			<u>94.33</u>	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	

Şekil 6. 59. Object 11 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Siyah renkli noktalarda Cr ve Fe oranının yüksek olduğu bu noktalarda karbür iç yapı olduğu düşünülmektedir.

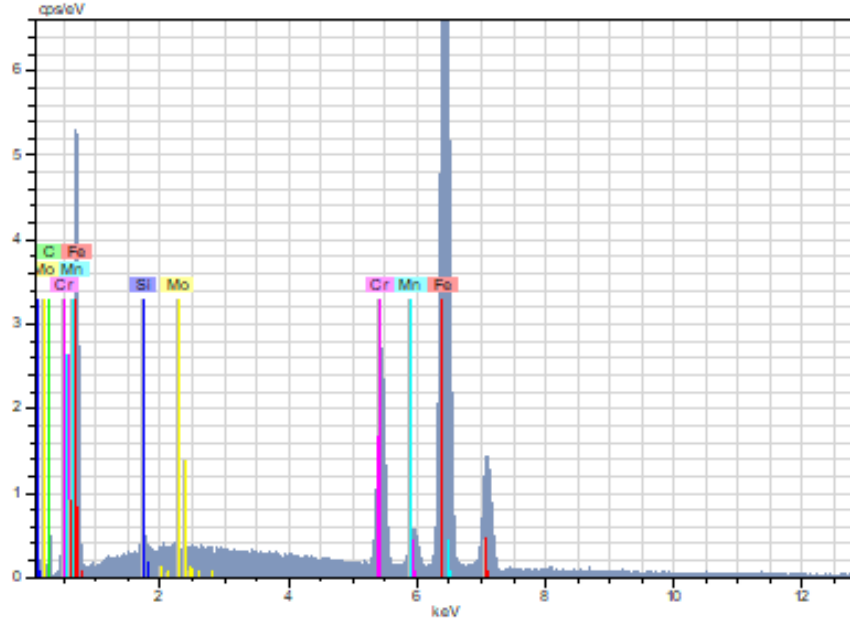


Spectrum: Objects 12

<u>El</u>	<u>AN</u>	<u>Series</u>	<u>unn. C</u>	<u>norm. C</u>	<u>Atom. C</u>	<u>Error</u>
			[wt.-%]	[wt.-%]	[at.-%]	[%]
Fe	26	K-series	58.83	62.48	57.65	1.6
Mn	25	K-series	19.85	21.09	19.78	0.6
Cr	24	K-series	12.55	13.33	13.21	0.4
C	6	K-series	1.77	1.88	8.07	0.4
Mo	42	L-series	0.70	0.74	0.40	0.1
Si	14	K-series	0.46	0.49	0.89	0.1
<u>Total:</u>			94.15	100.00	100.00	

Şekil 6. 60. Object 12 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Beyaz renkli noktalarda ısıl işlemlerle birlikte Fe elementi yanında Mn ve Cr elementinde artış görülmekte ikincil karbür oranının arttığı düşünülmektedir.



Spectrum: Objects 13

<u>El</u>	<u>AN Series</u>	<u>unn. C norm.</u>	<u>C Atom.</u>	<u>C Error</u>	
		<u>[wt.-%]</u>	<u>[wt.-%]</u>	<u>[%]</u>	
Fe 26	<u>K-series</u>	60.52	64.10	60.13	1.7
Mn 25	<u>K-series</u>	20.30	21.51	20.51	0.6
Cr 24	<u>K-series</u>	11.08	11.73	11.82	0.3
<u>C 6</u>	<u>K-series</u>	1.34	1.42	6.21	0.4
<u>Mo 42</u>	<u>L-series</u>	0.69	0.73	0.40	0.1
<u>Si 14</u>	<u>K-series</u>	0.48	0.50	0.94	0.1
<u>Total:</u>		94.41	100.00	100.00	

Şekil 6. 61. Object 13 Noktasında Mikro Yapı Oransal İçerik Grafiği

Isıl işleme birlikte gri noktalarda orantısal bir azalma meydana gelmekte, Fe oranı bu noktalarda çok yüksek çıkmıştır.

7. SONUÇLAR

Çalışmada 2080 soğuk iş takım çelikleri Mo katkılı ve katkısız olarak kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş, elde edilen numunelere suda sertleştirme ve östemperleme ısı işlemleri uygulanarak abrasiv aşınma dayanımları ve mikroyapı değişimleri belirlenmiştir.

Döküm numunelerde sertlik değerleri ortalama 320 HV, abrasiv aşınma esnasında ağırlık kaybı 4.3gr olarak bulunmuştur. Isıl işlemsiz numunelerde sertlik ve aşınma değerleri yakın sonuçlar vermiştir.

Su verilmiş numunelerde sertlik değerleri ortalama 950-1000 HV olarak elde edilmiştir. Aşınma sonrası ortalama ağırlık kaybı 1.2 gr olarak belirlenmiştir.

Çalışmada molibden katkısız ve katkılı numunelerin abrasiv aşınma sonuçları mikro yapı görüntüleri kullanılarak birincil karbür dağılımı, karbür boyutları ve birincil karbür sayısı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Molibden katkısız numunelerde S5 ısı işlemleri incelendiğinde aşınma değerlerinin ısı işlemsiz numunelere göre düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi olarak birincil karbürlerin sıcaklığa bağlı olarak difüzyonla sayısının azalarak ikincil karbürlerin oluşması ve karbür dağılımının homojenliğinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. S5 ısı işlemleri birlikte ısı işlem süresinin uzamasıyla birincil karbür sayısının %50-60 oranında azaldığı tespit edilmiştir. S6 ısı işlemleri birlikte ısı işlem sıcaklığı 550 C° ısı işlem süresi, 12 saate çıkarıldığında aşınma oranı yaklaşık %13 artmıştır. SEM görüntülerinde birincil karbür boyut değişimleri incelendiğinde, ısı işlem süresi 9 saati aştıktan sonra birincil karbürlerin biçimleri değişmiş, iğneli ince uzun bir form gözlenmiştir. Bu ısı işlem aralığında karbür boyları ortalama 10µm'dan 20µm değerlerine ulaşmıştır. Birincil karbür biçiminin iğnemsî yapıya dönüşümü ağırlık kaybını arttırmıştır.

Molibden katkılı numunelerde, SEM ve optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, birincil karbür dentritik kol aralıklarının kısaldığı, birincil karbürlerin katkısız numunelere göre küçüldüğü görülmüştür.

Molibden katkısıyla birlikte ısı işlemsiz numunelerde, katkısız numunelere göre birincil karbür oranında yaklaşık %12 artış olduğu tespit edilmiştir. XRD ve EDS analizleri incelendiğinde, molibden katkılı numunelerde birincil karbür bölgelerinde, Mo elementinin etkisiyle Molibden karbürün oluşması bu sonucu desteklemektedir.

Molibden katkılı numunelerden ısıtıl işlemli S9 numunesi incelendiğinde, aşınma değerlerinin ısıtıl işlemsiz numunelere göre düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi olarak, birincil karbürlerin sıcaklığa bağlı olarak difüzyonla sayısının azalması, ikincil karbür oluşumunun artması gösterilebilir. S9 numunesinde ısıtıl işlem ile birlikte, birincil karbür sayısının yaklaşık %9-10 azaldığı ikincil karbür oluşumunun arttığı SEM görüntülerinden ve Image J ölçümlerinden tespit edilmiştir. Molibden katkılı numunelerde, birincil karbür boyut oranlarının yapıdaki dağılımına bakıldığında (Şekil 6.30-Şekil6.34) ısıtıl işlemle birlikte dağılımın homojenleştiği görülmektedir.

Molibden katkılı numunelerde optimum aşınma sonuçlarının elde edildiği ısıtıl işlemli (650 C° 6 saat) S12 numunesi incelendiğinde birincil karbür sayısının ısıtıl işlemli S9 numunesine göre %28 artış gösterdiği ve yapıda homojen bir dağılım olduğu gözlenmektedir. Birincil karbür boyut oranlarının yapıdaki dağılımına bakıldığında (Şekil 6.38) ısıtıl işlemli S12 numunesi ile birlikte en yüksek birincil karbür dağılımının ve homojenliğinin yakalandığı görülmektedir.

İç yapının ısıtıl işlemler neticesinde düzenlenmesi ve molibdenin karbür yapıcı özelliği sayesinde, çeliğin sertliğinde artışlar olduğu, aşınma oranlarının düştüğü tespit edilmiştir. Molibden katkılı numunelerde optimum ısıtıl işlem parametreleri için aşınma değerleri katkısız numunelere göre %15-20 oranında daha düşük çıkmıştır.

Uygulanan ısıtıl işlem parametreleri incelendiğinde, çeliğin sertliği ve aşınması üzerinde en olumlu etki, Mo katkılı numunelerde 650 C° derecelerde 3-6 saat ısıtıl işlem süreleri (S12 ısıtıl işlemi) için elde edilmiştir. En uygun ısıtıl işlem parametresiyle, S12 numunesinde 850- 900HV sertlik, 1.2gr ağırlık kaybı sonucu elde edilmiştir. Bu aşınma değerleri suda sertleştirme ısıtıl işlemi sonrası 1000HV sertlik ile elde edilmiştir.

Yapılan sertlik ölçümleri verilerine göre, molibden katkısız numunelerde, sertliğin geniş bir aralıkta (300 750HV) değiştiği görülmüştür. Bu durumun mikro yapıdaki homojen olmayan karbür dağılımları ve soğutma hızlarına bağlı olarak homojen olmayan ve kararsız iç yapı değişimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Molibden katkılı numunelerin katkısız numunelere göre tane içinde ikincil karbür oluşturma etkilerinin fazla olduğu sertlik ve dayanımlarının homojenlik ve kararlılık gösterdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Amini K., Akhbarizadeh A., Javadpor S. “Investigating The Effect Of The Quench Environment On The Final Microstructure And Wear Behavior Of 1.2080 Tool Steel After Deep Cryogenic Heat Treatment” *Materials and Design*, 45,316-322,2013.
- [2] Jurci P. “Cr-V Ledeburitic Cold-Work Tool Steels” *Materials and Technologies*,45-5,383-394,2011.
- [3] Rubesova K., Pekovic M., Jirkova H., Hradil D.”Resistance of Tool Steel Processed by Unconventional Forming Technology against Abrasive Wear”, *Manufacturing Technology*21-2,2021.
- [4] Seyedraoufi Z.S., Samiee M.,Abdi F., “The Effect of Cooling Rate on the Microstructure and Mechanical Properties of the Plastic Injection Molds” *Journal of Environmental Friendly Materials*,5,1,07-11,2021.
- [5] Sapate S.G., Chopde A.D., Nilbalkar P.M., Chandrakar D.K. “Effect of Microstructure on Slurry Abrasion Response of En-31 Steel” *Materials and Design*,29,613-621,2008.
- [6] Sevim I., Eryurek I.B., “Effect of Abrasive Particle Size on Wear Resistance In Steels” *Materials and Design*,27-3,173-181,2006.
- [7] Orenç M.,Bursak M.,Sebek M.,Falat L. “Influence Of Hardness, Matrix And Carbides İn Combination With Nitridation on Abrasive Wear Resistance Of X210cr12 Tool Steel”*Metals*,6-10,236,2016.
- [8] Bakshi D. S., Shipway P., Bhadeshia H.K.D.H. “Three-Body Abrasive Wear Of Fine Pearlite, Nanostructured Bainite and Martensite” *Wear*, 308,1,2,46-53,2013.
- [9] Singh K., Khatirkar K.R., Sapate G.S. “Microstructure Evolution and Abrasive Wear Behavior of D2 Steel” *Wear*,15,328-329,2015
- [10] Zębala, W., Siwiec, J. “Hard Turning of Cold Work Tool Steel with CBN Tools” *Advances in Manufacturing Science and Technology*,36,19-32,2012.
- [11] Kaplan Y., Motorcu A.R., Nalbant M., Okay Ş. “The effects of process parameters on acceleration amplitude in the drilling of cold work tool steels” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, ,80,5-8,2015.
- [12] Arslan, Y. “DIN 1.2080 Soğuk İş Takım Çeliği Zımbalarda Derin Kriyojenik İşlem ve Temperlemenin Alın Aşınmasına Etkisi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi”,3,45-55,2014.
- [13] Gecu R., Kısaöz A. ve Karaaslan A. “Soğuk İş Takım Çeliklerinde Cr Ve V İçeriğinin Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, 5. Isıl İşlem Sempozyumu,2016.
- [14] Yıldızlı K, Nair F., Karamış M.B., Akşit İ. “AISI 2379 D2 Tipi Soğuk İş Takım Çeliğinin Farklı Isıl İşlem Ortamlarındaki Sertleşme Davranışı”, 3.Demir Çelik Kongre ve Sergisi,2005.

- [15] Onur C., İnem B.”AISI W1 ve L2 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Düşük Sıcaklıklarda (120°C) Menevişlenmesi İle Optimum Tokluğun Geliştirilmesi”, Gazi Üni. Müh.Mim.Fakültesi Dergisi,18-1,109-124,2003.
- [16]“ÇELİKLERİN KOROZYONU Prof.Dr.Ayşegül AKDOĞAN EKER - PDF ”.
<https://docplayer.biz.tr/10744387-Celiklerin-korozyonu-14-04-2009-prof-dr-aysegul-akdogan-eker.html> (erişim 27 Ocak 2022).
- [17] Patton, W. J. “The science and practice of welding. 4th ed.” Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1967.
- [18] American Welding Society ve L. Griffing, *Welding handbook section four: metals and their weldability*. New York: American Welding Society: London: Distributed by Macmillan, 1972.
- [19] Callister, W., D., Rethwisch, D., G., Materials Science and Engineering, Demir Esaslı Alaşımlar, Wiley, Nobel yayıncılık, Eighth Edition, s, 394-396, 2013
- [20] Özbek, İ., TAKIM ÇELİKLERİ, Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, Erişim adresi <https://slideplayer.biz.tr/slide/9134904/> [Erişim Tarihi: 22.12.2019]