

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE MARTENSİT
HACİM ORANI VE PARTİKÜL BOYUTUNUN
MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ**

133319

Melika CERAH

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(METAL EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ekim 2003
ANKARA**

133319

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE MARTENSİT
HACİM ORANI VE PARTİKÜL BOYUTUNUN
MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ**

Melika CERAH

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(METAL EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ekim 2003
ANKARA**

Melik CERAH tarafından hazırlanan KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE MARTENSİT HACİM ORANI VE PARTİKÜL BOYUTUNUN MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Kadir Kocatepe
Tez Yöneticisi
K. Kocatepe

Bu çalışma jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet TÜRKER *M. Türk*
Üye : Yrd. Doç. Dr. Kadir Kocatepe *K. Kocatepe*
Üye : Yrd. Doç. Dr. Perihan Dürümüş *P. Dürümüş*
Üye :
Üye :

Bu tez , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

[Signature]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	3
2.1. Isıl İşlemin Tanımı.....	3
2.2. Kritik Tavlama Sıcaklıkları Arasında Östenitleme (Kısmi Östenitleme)...	3
2.2.1. Östenitin çekirdeklenmesi.....	5
2.2.2. Östenitin büyümesi.....	6
2.3. Soğutma İşlemi.....	7
2.3.1. Östenitin ferrite veya perlite dönüşmesi (tam tavlama veya normalizasyon işlemleri).....	8
2.3.2. Östemperleme ısıl işlemi.....	9
2.3.3. Östenitin martensite dönüşümü.....	11
2.3.4. Martensit hacim oranı.....	11
2.3.5. Temperleme ısıl işlemi.....	12
3. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	19
3.1. Küresel Grafitli Dökme Demir’lerde Isıl İşlemle Değişen Mekanik Özellikleri.....	21

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
4.1. Malzeme ve Metod.....	28
4.1.1 Döküm işlemi.....	28
4.2. Isıl İşlemler.....	31
4.2.1. Isıl işlemlerde kullanılan cihazlar ve deney sistemi.....	31
4.2.2. Ferritik matriste küresel grafitlerin etrafında martensitik kabuğun ve sabit martensit hacim oranlarında (% 20, % 40, % 50, % 80, % 100) farklı martensit parçacıklarının dağılımının sağlanması.....	33
4.2.3. Temperleme ısı işlemi.....	37
4.2.4. Çekme numunelerine uygulanan ısı işlemler.....	37
4.3. Metalografik Çalışmalar.....	37
4.4. Çekme Deneyi.....	38
4.5. Sertlik Ölçümü.....	39
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
5.1. Döküm Şartlarında % 3.5 C, % 2.63 Si ve %0.318 Mn Bileşime Sahip Küresel Grafitli Dökme Demirin Mikroyapısı.....	40
5.2. Farklı Sıcaklıklarda Su Verme Isıl İşlemi Sonucu Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapısı.....	41
5.2.1. Değişik sıcaklıklarda kısmi östenitlenmiş ve temperlenmiş KGDD numunelerin mikroyapıları.....	46
5.3. Kantitatif Sonuçlar.....	55
5.3.1. Kısmi östenitleme ısı işleminin martensit hacim oranına etkisi.....	55
5.3.2. Kısmi östenitleme ısı işleminin martensit parçacık boyutuna etkisi.....	56
5.3.3. Küre hacim oranı hesabı ve küre sayısı.....	58

5.4. Değişik Sıcaklıklarda Kısmi Östenitlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi.....	58
5.4.1. Martenzit hacim oranının %0,2 akma dayanımına etkisi.....	60
5.4.2. Martenzit hacim oranının çekme dayanımına etkisi.....	63
5.4.3. Martenzit hacim oranının gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	66
5.4.4. Martenzit hacim oranının sertliğe etkisi.....	68
5.4.5. % Martensit hacim oranının % kesit daralmasına etkisi.....	70
5.5. Temperleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi.....	73
5.5.1. Temperleme süresinin akma dayanımına etkisi.....	73
5.5.2. Temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi.....	75
5.5.3. Temperleme süresinin % toplam gerçek uzamaya etkisi.....	77
5.5.4. Temperleme süresinin sertliğe etkisi.....	80
5.5.5. Temperleme süresinin % kesit daralmasına etkisi.....	82
5.6. Martensit Parçacık Boyutunun Mekanik Özelliklere Etkisi.....	84
5.6.1. Martensit partikül boyutunun % 0.2 akma dayanımına etkisi.....	84
5.6.2. Martensit partikül boyutunun gerçek çekme dayanımına etkisi.....	85
5.6.3. Martensit partikül boyutunun % toplam uzamaya etkisi.....	86
5.6.4. Martensit partikül boyutunun sertliğe etkisi.....	88
5.6.5. Martensit partikül boyutunun % kesit daralmasına etkisi.....	90
5.7. Gerçek % Toplam Uzama İle Gerçek Çekme Dayanımı (Mpa) arasındaki İlişki.....	92
5.7.1. Farklı hacim oranı ve martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	92
5.7.2. İnce martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	93

5.7.3. Aynı % martensit hacim oranına sahip deney numunelerinin temperleme süresine bağlı olarak gerçek % toplam uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	95
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	100
6.1. Sonuçlar.....	100
6.2. Öneriler.....	101
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	106



KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE VE MARTENSİT HACİM ORANI VE PARTİKÜL BOYUTUNUN MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Melika CERAH

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2003

ÖZET

Bu tez % 3,5 C, % 2,63 Si, % 0,318 Mn, % 0,0265 P, % 0,0128 S, % 0,0471 Mg kimyasal bileşimine sahip alaşımsız küresel grafitli dökme demirde martensit hacim oranı ve partikül boyutunun çekme özellikleri üzerine etkisini içermektedir. Ferritik küresel grafitli dökme demir (% 20, % 40, % 50, % 80) martensit hacim oranı elde etmek amacıyla kritik sıcaklıklar arasında (792°C, 805 °C, 815 °C) ve kritik sıcaklıklar üzerinde (900°C) 30 sn tavlansmıştır. % 82 martensit hacim oranı elde etmek için geleneksel su verme (900 °C' de 20 dakika tavlama) işlemi de uygulanmıştır. Aynı zamanda martensit partikül boyutunun mekanik özellikler üzerine etkisini incelemek amacıyla tavlansmış numuneler (kritik sıcaklıklarda ve kritik sıcaklık üzerinde) 900 °C sıcaklıkta 20 dakika süre ile tavlama süre ile geleneksel su verme işlemine tabi tutulmuştur. Değişik martensit hacim oranı ve partikül boyutuna numunelerin tamamı 500 °C'de 1 ve 3 saat süre ile temperlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, martensit hacim oranı arttıkça akma ve çekme dayanımı ve sertlik artmıştır. Fakat % uzama azalmıştır. Yüksek temperleme süreleri ile akma ve çekme dayanımı ve sertlik azalırken % uzama artmıştır. 10,95 µm, 13,98 µm ve 15,57 µm gibi kaba martensit partikül boyutuna sahip numunelerde artan

temperleme süresi ile birlikte düşük akma ve çekme dayanımı fakat yüksek % uzama değeri vermiştir. 0,46 μm ve 2,61 μm ve 2,96 μm martensit partikülleri yüksek akma ve çekme dayanımı, fakat düşük uzama vermiştir. Kısmi östenitleme işlemine tabi tutulmuş numunelerde geleneksel su verme işlemi ile karşılaştırıldığında % uzamayı yaklaşık olarak %76 yükseltirken akma ve çekme dayanımı % 35 düşürmüştür.

Bilim Kodu : 710
Anahtar Kelimeler : Küresel Grafitli Dökme Demir, Kısmi Östenitleme, Martensit Hacim Oranı, Martensit Parçacık Boyutu, Çekme Özellikleri
Sayfa Adedi : 106
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Kadir KOCATEPE

**THE EFFECT OF MARTENSITE VOLUME FRACTION AND
MARTENSITE PARTICLE SIZE ON THE MECHANICAL PROPERTIES
OF SPHEROIDAL CAST IRON**

(M.Sc Thesis)

Melika CERAH

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2003

ABSTRACT

This thesis comprises of a study of the effect of martensite volume fraction and martensite particle sizes on the mechanical properties of unallayed spheroidal graphite cast iron having 3,5 % C, 2,63 % Si, 0,318 % Mn, 0,0265 % P, 0,0128 % S and 0,0471 % Mg chemical composition. Ferritic spheroidal graphite cast iron has been annealed at intercritical temperature ranges (792 °C, 805 °C, 815 °C) and above critical temperature (900 °C) for 30 seconds in order obtain various (20 %, 40 %, 50 %, 80 %) martensite volume fraction. Conventional quenching process (annealing at 900 °C for 20 minutes) also has been applied to obtain 82 % martensite volume fraction. At the same time, for the investigation of the effect of martensite particle sizes on mechanical properties, annealed (at critical temperatures and above the critical temperature) specimen has been conducted conventional quenching at 900 °C temperature for 20 minutes. All specimen having various martensite volume fraction and particle sizes was tempered at 500 °C for 1 and 3 hours. Experimental results showed that yield and tensile strenght and hardness were increased with increasing martensite volume fraction, but elongation was decreased. Higher tempering times resulted in a decrease the yield and tensile strenght and hardness, while increased elongation. Specimen having coarse martensite particules such as

10,95 μm , 13,98 μm , 15,57 μm with increased tempering times gave low yield and tensile strength but high elongation. Martensite particules with 0,46 μm , 2,61 μm and 2,96 μm sizes produced high yield and tensile strenght values, hawever low elongation. Conventional quenching of all specimen gave approximately 76 % increase on elongation while approximately 35,75 % decrease on yield and tensile strenght. Partially austenitized specimen comparing conventional quenching increased elongation approximately 76% while decreases $\approx 35\%$ decrease on yield and tensile strength.



Science Code : 710
Key Word : Spheroidal Graphite Cast Iron, Partially Austenization, Martensite Volume Fraction, Martensite Particule Size Tensile Properties
Page Number : 106
Adviser : Assistant Prof. Dr. Kadir KOCATEPE

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kadir KOCATEPE'ye teşekkür ederim. Bana bütün çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a ve Arş. Gör. Volkan KILIÇLI, Alpay ÖZER, Serkan KALE arkadaşına, numunelerimin işlenmesinde yardım eden Arş. Gör. Gökhan SUR'a, ve Öğr. Gör. Latif KARA'ya KOSGEB çalışanlarından Mühendis Mehmet BİR'e, deney malzemem küresel grafitli dökme demirin dökülmesinde titizlik gösteren ALFA DÖKÜM'ün çalışanları ve sahibi Yrd. Doç. Dr. Şemsettin ÖZDEMİR ve desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. ISO 1083'e göre KGDD'lerin sınıfları ve çekme özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. ASTM A536'ya göre KGDD'lerin sınıfları ve çekme özellikleri.....	19
Çizelge 3.3. TS 526'ya göre KGDD'lerin sınıfları ve çekme özellikleri.....	20
Çizelge 3.4. Hayrynen ve arkadaşlarının su verme ve normalleştirme ısıt işlemleri uyguladıkları KGDD'e ait çekme özellikleri.....	25
Çizelge 3.5. Farklı mikro yapılardaki KGDD'lerin mekanik özellikleri.....	27
Çizelge 4.1. Sfero piki kimyasal bileşimi (Ağırlıkca %).....	28
Çizelge 4.2. Küreselleştirici Malzemenin Bileşimi.....	29
Çizelge 4.3. Aşılaiıcı Malzemenin Bileşimi.....	29
Çizelge 4.4. Dökülen malzemenin kimyasal bileşimi.....	29
Çizelge 4.5. Numune kodları ve tanımları.....	34
Çizelge 5.1. Deney numunelerine uygulanan S ve SS ve G ısıt işlemlerinin martensit hacim oranına etkisi.....	44
Çizelge 5.2. Deney numunelerine uygulanan S ve SS ısıt işlemleri sonucunda martensit parçacık boyutundaki değişim.....	45
Çizelge 5.3. Değişik Sıcaklıklarda Kısmi Östenitlenmiş, Temperlenmiş, Geleneksel Su verilmiş, Küresel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Çekme Özellikleri.....	59
Çizelge 5.4. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin akma dayanımına etkisi.....	61
Çizelge 5.5. İnce morfolojili MHO'nın akma dayanımına etkisi.....	62
Çizelge 5.6. Kaba morfolojili MHO'nın çekme dayanımına etkisi.....	64
Çizelge 5.7. İnce morfolojili MHO'nın çekme dayanımına etkisi.....	65
Çizelge 5.8. Kaba morfolojili MHO'nın gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	67
Çizelge 5.9. İnce morfolojili MHO'nın gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	68

Çizelge 5.10. Kaba morfolojili MHO'nın sertliğe etkisi.....	69
Çizelge 5.11. İnce morfolojili MHO'nın sertliğe etkisi.....	70
Çizelge 5.12. Kaba morfolojili MHO'nın % kesit daralmasına etkisi.....	71
Çizelge 5.13. İnce morfolojili MHO'nın % kesit daralmasına etkisi.....	72
Çizelge 5.14. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin akma dayanımına etkisi.....	73
Çizelge 5.15. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin akma dayanımına etkisi.....	74
Çizelge 5.16. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi.....	76
Çizelge 5.17. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi.....	77
Çizelge 5.18. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	78
Çizelge 5.19. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	79
Çizelge 5.20. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin sertliğe etkisi.....	80
Çizelge 5.21. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin sertliğe etkisi.....	81
Çizelge 5.22. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin % kesit daralmasına etkisi.....	82
Çizelge 5.23. İnce morfolojili MHO'nın % kesit daralmasına etkisi.....	83
Çizelge 5.24. Martensit partikül boyutunun akma dayanımına etkisi.....	84
Çizelge 5.25. Martensit partikül boyutunun gerçek çekme dayanımına etkisi.....	86
Çizelge 5.26. Martensit partikül boyutunun toplam % uzamaya etkisi.....	87

Çizelge 5.27. Martensit partikül boyutunun sertliğe etkisi.....	89
Çizelge 5.28. Martensit partikül boyutunun kesit daralmasına (%) etkisi.....	91
Çizelge 5.29. Kaba martensit morfolojisine sahip deney numunelerin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	92
Çizelge 5.30. İnce martensit morfolojisine sahip deney numunelerin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	94
Çizelge 5.31. % 20 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	96
Çizelge 5.32. % 40 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	97
Çizelge 5.33. % 50 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	98
Çizelge 5.34. % 80 ve % 82 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	99

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. %0-%2-%4 silisyum seviyelerinde demir karbon silisyum üçlü alaşım sisteminin dikey kesitleri.....	4
Şekil 2.2. Fe-C-%2 Si Üçlü Alaşımının Faz Diyagramı.....	5
Şekil 2.3. Fe-C-Si faz diyagramında değişen ötektoid sıcaklığının gösterimi.....	8
Şekil 2.4. Perlitin çekirdeklenme ve oluşumu.....	9
Şekil 2.5. Östemperleme ısıl işleminin şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.6. Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan östemperleme ısıl işleminin izotermal dönüşüm diyagramı.....	10
Şekil 2.7. Temperleme sıcaklığının (a) %Uzama, (b) Darbe dayanımı, (c) Akma dayanımı, (d) çekme dayanımına etkisi.....	14
Şekil 2.8. Temperleme süresinin %Uzama, darbe dayanımı, akma dayanımı ve çekme özellikleri üzerine etkisi.....	15
Şekil 2.9. Su verme öncesi östenitleme sıcaklığının KGDD'in sertliğine etkisi.....	16
Şekil 2.10. Çeşitli temperleme sıcaklıklarında ve sürelerinde sertlik verileri.....	17
Şekil 2.11. Temperleme sıcaklıklarının mekanik özelliklere etkisi.....	18
Şekil 3.1. KGDD'de sertlikle birlikte değişen çekme özellikleri.....	21
Şekil 3.2. Değişik ısıl işlemler uygulanmış KGDD'lerde çekme dayanımı ile % uzama ilişkisi.....	22
Şekil 3.3. KGDD'de farklı mikro yapılar ve bunların çekme dayanımları.....	22
Şekil 3.4. Küresel grafit etrafında ferrit matriste martensit yada ösferrit elde etmek için uygulanan ısıl işlemler.....	23
Şekil 3.5. Küresel grafit etrafında martensit yada ösferrit, matriste ferrit oluşturmak için takip edilen ısıl işlem çevrimi.....	23
Şekil 3.6. Standart dökme demirler ile Çift matrisli (DMS) sünek dökme demirlerin çekme özelliklerinin karşılaştırılması.....	24

Şekil 4.1. Y-blok tasarımı.....	28
Şekil 4.2. Tundish tipi küreselleştirme potasının şematik gösterimi.....	30
Şekil 4.3. Aşılama işleminin yapıldığı işlem potasının şematik gösterimi.....	30
Şekil 4.4. Y-blokların döküldüğü kum kalıbın şematik olarak 3 boyutlu görünümü.....	31
Şekil 4.5. Numune sıcaklık kontrol sisteminin şematik olarak gösterimi.....	32
Şekil 4.6. Su verme için kurulan yağ banyosu düzeneğini şematik olarak gösterimi.....	33
Şekil 4.7. S kodlu deney numunelerine uygulanan ısıtma işlemlerin şematik gösterimi.....	35
Şekil 4.8. SS kodlu deney numunelerine uygulanan ısıtma işlemlerin şematik gösterimi.....	35
Şekil 4.9. G kodlu deney numunelerine uygulanan ısıtma işlemlerin şematik gösterimi.....	36
Şekil 4.10. Çekme numunesi.....	39
Şekil 5.1. S ve SS numunelerinde martensit hacim oranının sıcaklığa bağlı olarak değişimi.....	56
Şekil 5.2. Martensit hacim oranına bağlı olarak martensit partikül boyutundaki değişim.....	57
Şekil 5.3. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak akma dayanımının değişimi.....	61
Şekil 5.4. İnce morfolojili martensit hacim oranına sahip numunelerin % 0,2 akma dayanımlarının değişimi.....	62
Şekil 5.5. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak çekme dayanımının.....	64
Şekil 5.6. İnce morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak çekme dayanımının değişimi.....	65
Şekil 5.7. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi.....	67

Şekil 5.8. İnce morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi.....	68
Şekil 5.9. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak sertliğin değişimi.....	69
Şekil 5.10. İnce morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak sertliğin değişimi.....	70
Şekil 5.11. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi.....	71
Şekil 5.12. İnce morfolojiye sahip martensit hacim oranına bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi.....	72
Şekil 5.13. Kaba martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresi ile akma dayanımının değişimi.....	73
Şekil 5.14. İnce martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresi ile akma dayanımının değişimi.....	74
Şekil 5.15. Kaba martensit morfolojisine sahip S numunelerinde temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi.....	76
Şekil 5.16. İnce martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi.....	77
Şekil 5.17. Kaba martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	78
Şekil 5.18. İnce martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi.....	79
Şekil 5.19. Kaba martensit morfolojisine sahip KGDD'lerde temperleme süresinin sertliğe etkisi.....	80
Şekil 5.20. İnce martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresinin sertliğe etkisi.....	81
Şekil 5.21. Kaba martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresinin kesit daralmasına etkisi.....	82
Şekil 5.22. İnce martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresinin kesit daralmasına etkisi.....	83
Şekil 5.23. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak akma dayanımının değişimi.....	85

Şekil 5.24. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak çekme dayanımının değişimi.....	86
Şekil 5.25. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi.....	87
Şekil 5.26. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak sertliğin değişimi.....	89
Şekil 5.27. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi.....	91
Şekil 5.28. Kaba martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	93
Şekil 5.29. İnce martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	94
Şekil 5.30. % 20 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	96
Şekil 5.31. % 40 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	97
Şekil 5. 32. % 50 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	98
Şekil 5.33. % 80 MHO'na (900 S, 900 SS) ve % 82 MHO'na (900 G) sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	99

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1.-a. Döküm şartlarında KGDD (Dağlamasız) X 100.....	40
Resim 5.1.-b. Döküm şartlarında (% 2 Nital ile dağlanmış) X 400.....	40
Resim 5.2.-a. 792 S dağlamasız X 100.....	41
Resim 5.2.- b. 792 S dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	41
Resim 5.2.-c. 792 SS dağlamasız X 100.....	42
Resim 5.2.-d. 792 SS dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	42
Resim 5.3.-a. 805 S dağlanmamış X 100.....	43
Resim 5.3.-b. 805 S dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	43
Resim 5.3.-c. 805 SS dağlanmamış X 100.....	43
Resim 5.3.-d. 805 SS dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	43
Resim 5.4.-a. 815 S dağlanmamış X 100.....	44
Resim 5.4.-b. 815 S dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	44
Resim 5.4.-c. 815 SS dağlanmamış X 100.....	44
Resim 5.4.-d. 815 S dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	44
Resim 5.5.-a. 900 S dağlanmamış X 100.....	45
Resim 5.5.-b. 900 S dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	45
Resim 5.5.-c. 900 SS dağlanmamış X 100.....	45
Resim 5.5.-d. 900 SS dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	45
Resim 5.5.-e. 900 G dağlanmamış X 100.....	46
Resim 5.5.-f. 900 G dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	46
Resim 5.6.-a. 792 S T1 dağlanmamış X 100	46
Resim 5.6.-b. 792 S T1 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	46

Resim 5.6.-c. 792 S T3 dağlanmamış X 100.....	47
Resim 5.6.-d. 792 S T3 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	47
Resim 5.6.-e. 792 SS T1 dağlanmamış X 100.....	47
Resim 5.6.-f. 792 SS T1 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	47
Resim 5.6.-g. 792 SS T3 dağlanmamış X 100.....	48
Resim 5.6.-h. 792 SS T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	48
Resim 5.7.-a. 805 S T1 dağlanmamış X 100	48
Resim 5.7.-b. 805 S T1 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	48
Resim 5.7.-c. 805 S T3 dağlanmamış X 100.....	49
Resim 5.7.-d. 805 S T3 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	49
Resim 5.7.-e. 805 SS T1 dağlanmamış X 100.....	49
Resim 5.7.-f. 805 SS T1 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	49
Resim 5.7.-g. 805 SS T3 dağlanmamış X 100.....	50
Resim 5.7.-h. 805 SS T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	50
Resim 5.8.-a. 815 S T1 dağlanmamış X 100.....	50
Resim 5.8.-b. 815 S T1 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	50
Resim 5.8.-c. 815 S T3 dağlanmamış X 100	51
Resim 5.8.-d. 815 S T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	51
Resim 5.8.-e. 815 SS T1 dağlanmamış X 100.....	51
Resim 5.8.-f. 815 SS T1 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	51
Resim 5.8.-g. 815 SS T3 dağlanmamış X 100.....	52
Resim 5.8.-h. 815 SS T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	52
Resim 5.9.-a. 900 S T1 dağlanmamış X 100.....	52
Resim 5.9.-b. 900 S T1 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	52

Resim 5.9.-c. 900 S T3 dağlanmamış X 100	53
Resim 5.9.-d. 900 S T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	53
Resim 5.9.-e. 900 SS T1 dağlanmamış X 100.....	53
Resim 5.9.-f. 900 SS T1 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	53
Resim 5.9.-g. 900 SS T3 dağlanmamış X 100.....	54
Resim 5.9.-h. 900 SS T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	54
Resim 5.9.-ı. 900 G T1 dağlanmamış X 100	54
Resim 5.9.-i. 900 G T1 dağlanmış (% 2 Nital) X 400.....	54
Resim 5.9.-j. 900 G T3 dağlanmamış X 100	55
Resim 5.9.-k. 900 G T3 dağlanmış (% 2 Nital) X400.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Amper
A ₁	Alt kritik sıcaklık
C	Grafit / karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
Fe ₃ C	Sementit
Fe-C-Si	Demir-karbon-silisyum üçlü faz diyagramı
(Fe,Cr,Mn) ₃ C	Karbür
G	Geleneksel su verme
HB	Brinell sertlik değeri
HV	Vickers sertlik değeri
Kw	Kilowatt
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Ni	Nikel
P	Fosfor
Pb	Kurşun
S	Kritik tavlama sıcaklıklarından su verme
Si	Silisyum
SS	Çift su verme
T	Temperleme süresi
T _α	Ferrit dönüşüm sıcaklığı
T _p	Perlit dönüşüm sıcaklığı

V	Volt
α	Ferrit fazı
γ	Östenit fazı
γ_{yk}	Yüksek karbonlu östenit

Kısaltmalar**Açıklama**

DMS	Çift matrisli yapı
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
KSH	Kritik soğutma hızı
KTS	Kritik tavlama sıcaklığı
MHO	Martensit hacim oranı

1. GİRİŞ

Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) ile ilgili yapılan araştırmalar üzerine ilk defa 7 mayıs 1948 tarihinde Amerikan Dökümcüler Birliği Philadelphia toplantısında bir tebliğ sunulmuştur.

Krom elementinin etkisine sahip bir elementin bulunması ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Çalışmanın amacı aşınmaya dayanıklı beyaz dökme demiri krom yerine kullanılabilecek bir elementle üretimin gerçekleştirilmesine dayanmaktaydı.

Karbür yapıcı elementler üzerine çalışmaları International Nikel Co. başlatmış ve tüm akla gelen elementlerin yanında doğal olarak Mg' un etkisinde araştırılmıştır. Bu işlemten sonra %0.5 FeSi 85-15 alaşımı ile aşılama yapılarak deney çubukları dökülmüştür (1).

Çekme dayanımı deneyleri neticeleri. sadece gri dökme demirin özelliklerini daha yüksek değerlere ulaştığını göstermekle kalmayıp yepyeni bir malzemenin üretilmiş olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan mikroskobik çalışmalar grafitin lamel şeklinde olmayıp o zamana kadar gözlenmemiş bir şekilde "KÜRESEL" (sfero) bir şekle sahip olduğunu ortaya koymuştur. Karbonun küreler halinde bulunduğu bu dökme demir aynı zamanda nodüler, sfero, sünek dökme demir olarak da adlandırılır (2).

Böylece yüksek karbon miktarına sahip dokusunda küresel grafitlerin mevcut olduğu mekanik özellikleri bakımından çelik döküme özdeş, üretim yöntemi yönünde dökme demir karakteri taşıyan yepyeni bir malzeme endüstriye kazandırılmış oldu (1).

Uygun bileşimdeki dökme demirlere Mg, Ce, Li, So, Na, veya bu elementleri içeren diğer özel alaşımların ilavesi ile grafit küresel biçimde katılarak yeni özelliklere sahip dökme demir (KGDD) elde edilir. KGDD türleri içindeki en dayanıklı ve tokluğu yüksek olanıdır.

KGDD' de matris yapı genellikle perlit, ferrit veya her ikisinin karışımından meydana gelmektedir. Yüksek dayanım ve sertlik, iyi aşınma direnci ve orta derecede süneklik için genellikle perlitik matrisli KGDD' ler tercih edilmektedir. Matris yapı içinde iyi küreselleşmiş ve rastgele dağılmış küre yapısı ve küre sayısı, KGDD' in mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir.

Küreselleştirici elementin ve kükürtün dışında bileşimindeki karbon, silisyum, manganez, ve fosforun alaşımdaki özelliklere etkisi gri dökme demirlere olan etkisi gibidir. KGDD' in genel olarak kimyasal bileşiminde %3-4 C, %1,8-2,8 Si, %0,1-0,8 Mn, maksimum %0,1 P, maksimum %0,02 S, maksimum %0,05 Mg bulunur (3).



2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

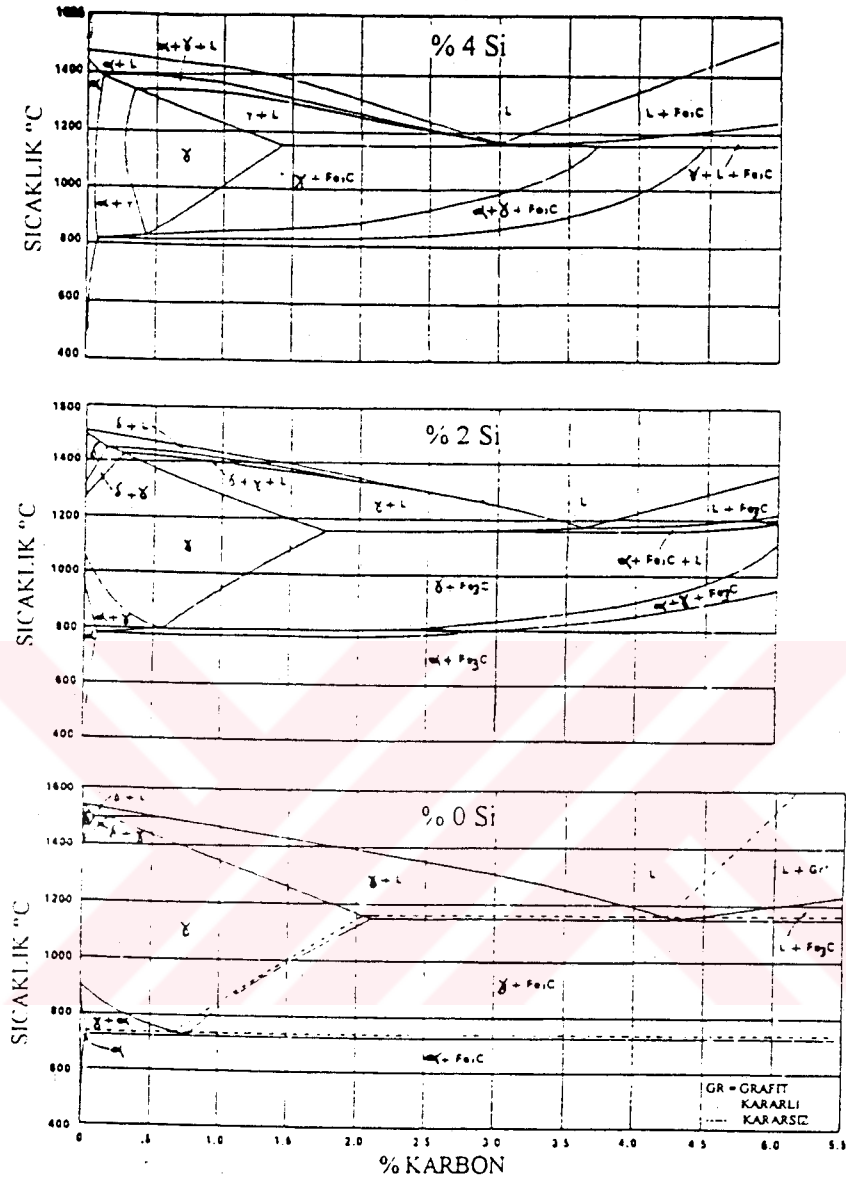
2.1. Isıl İşlemin Tanımı

Genel anlamda ısıtma işlemi, metal ve alaşımlarına istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleridir (4). TS. 1112' ye göre ise, katı haldeki metal veya alaşımlarına belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya çok sayıda, yerine göre ard arda uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir (5).

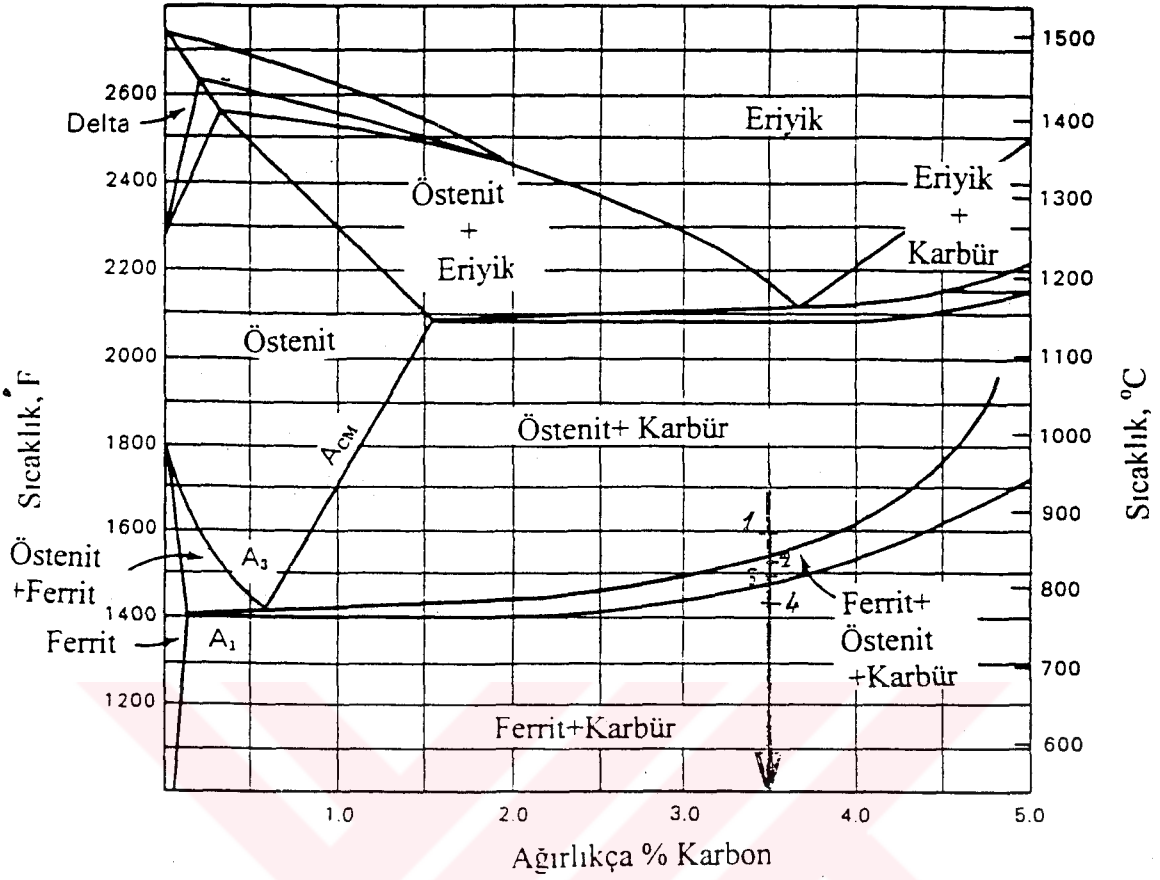
Demir esaslı malzemelere uygulanan bütün temel ısıtma işlemleri östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı demir esaslı malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler.

2.2. Kritik Tavlama Sıcaklıkları Arasında Östenitleme (Kısmi Östenitleme)

Demir-karbon alaşımına silisyum ilave edilecek olursa Şekil 2.1'de görüldüğü gibi kritik sıcaklık aralığı, ilave edilen silisyum miktarına bağlı olarak artmaktadır (4,6,7). Dökme demir malzeme A_1 alt kritik sıcaklığı ile üst kritik sıcaklık aralığına tavlama yapılacak olursa ve belirli bir süre beklenirse yapı östenit (γ) + ferrit (α) + C (grafitten) oluşacaktır. Terazi (manivela) kuralı gereğince kritik tavlama sıcaklığı yükseldikçe östenit hacim oranı ve östenitin içerdiği karbon miktarı artacak sıcaklık düştüğünde ise tersi durum gerçekleşecektir. Bu durum Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.1. %0-%2-%4 silisyum seviyelerinde demir karbon silisyum üçlü alaşım sisteminin dikey kesitleri (7)



Şekil 2.2. Fe-C-%2 Si Üçlü Alaşımının Faz Diyagramı (8)

2.2.1. Östenitin çekirdeklenmesi

Östenit fazı karbonun demir içerisindeki katı eriyiği olarak adlandırılır. Östenit YMK kristal kafes yapısına sahiptir ve karbonun östenitte eriyebilirliği ferritten çok fazladır. 1148 °C' de östenit içerisinde karbonun eriyebilirliği maksimum %2,08'dir, ve sıcaklık 723 °C' ye düştüğünde % 0,8 karbona kadar düşer. Karbonun östenit ve ferrit içerisindeki bu eriyebilirlik farkı çoğu demir esaslı malzemelerin sertleşebilirlik esasını oluşturur (7).

Ferritik matrisli dökme demir bir malzeme A₁ ile üst kritik tavlama sıcaklığı veya üst kritik tavlama sıcaklığının da üzerine ısıtılacak olursa, östenit, enerji bakımından uygun yerler olan ferrit-ferrit tane sınırlarında veya ferrit-grafit ara yüzeylerinde veya ferrit taneleri içerisindeki atomik diziliş hatalarında çekirdeklenip büyüyecektir. Östenit fazı öncelikle ferrit tane sınırlarında bulunan sementit (Fe₃C)

üzerinde çekirdeklenir. Kısa tavlama süresinde bu yerlerde östenit çekirdeklenirken, diğer potansiyel çekirdeklenme yerlerinde östenitin çekirdeklenmesi daha uzun süre alır. Ferrit + Perlit matrisli malzemede östenitin çekirdeklenmesi için muhtemel yerler şu şekilde sıralanabilir (9-12).

- Perlit/perlit ara yüzeyleri
- Perlit kolonileri içinde bulunan sementit/ferrit ara yüzeyleri
- Sementit/ferrit veya grafit/ferrit arayüzeyleri

Perlit kolonileri içindeki lamel veya parçacık şeklindeki sementit, östenitin çekirdeklenmesini başlatır. Sementit parçacıkları östenit çekirdeklenmesi için ara yüzey enerjisini düşürücü bir etki yapmaktadır (9-12).

2.2.2. Östenitin büyümesi

Östenit özellikle tane sınırları boyunca sementit yakınında büyür ve bu sınırları hızla doldurur (9.10.13). Östenitin büyümesi üzerine tavlama sıcaklığı ve zaman etkili parametrelerdir. Sıcaklığın ve zamanın artması, karbon atomlarının difüzyon hızını ve süresini arttıracaktır (10).

Östenitin büyümesi tane sınırlarına dik ve/veya paralel olabilir. Garcia ve Deorda' ya göre (14) 725 °C'de tavlama sırasında sınır difüzyonu nedeniyle ferrit tane sınırlarına paralel yönde östenit taneleri büyümektedir. Östenit tanelerinin ferrit tane sınırlarına dik yönde büyüebilmeleri için de hacim difüzyonu ile kontrol edilmelidir (14).

Difüzyon iki şekilde gerçekleşir (10.14.15):

- a) düşük sıcaklıklarda tane sınırı difüzyonu
- b) yüksek sıcaklıklarda (0,7 Terg) hacim difüzyonu.

Östenit, ferrit tane içlerine olduğu gibi ferrit tane sınırları boyunca da büyümektedir. Ferrit tane içine doğru büyümekte olan östenitin ilerleme mesafesi tane sınırları boyunca ilerleme mesafesinden çok daha azdır (9-16).

Farklı alaşım elementleri içeren demir esaslı malzemelerin kritik tavlama sıcaklıklarındaki östenit oluşum diyagramları da farklıdır.

2.3. Soğutma İşlemi

Dökme demirin östenitik bölgeden soğutulmasıyla, kararlı (dengeli) sisteme göre, östenit ferrit ve grafit dönüşür. Yarı kararlı sisteme göre ise östenit ferrit ve sementitin karışımı olan perlite dönüşür. Ötektoid reaksiyonda, KGDD'lerde bu dönüşüm reaksiyonlarının gerçekleşmesi için gerekli olan referans sıcaklıklar kararlı sistem için T_a (ferrit dönüşüm sıcaklığı) ve yarı kararlı sistem için ise T_p (perlit dönüşüm sıcaklığı) 'dır. Sekil 2.3. Bu sıcaklıklar alaşım elementlerinin % ağırlık oranlarına göre şu şekilde hesaplanabilir (17).

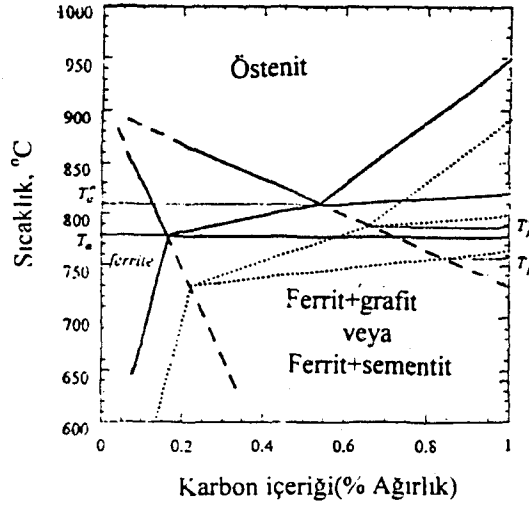
$$T'_a = 739 + 31.5w_{Si} - 7.7w_{Cu} - 18.7w_{Mn} + 3.3w_{Mo} - 10.7w_{Cr} - 26.0w_{Ni} \quad [2.1]$$

$$T_a = 739 + 18.4w_{Si} + 2.0(w_{Si})^2 - 14.0w_{Cu} - 45.0w_{Mn} + 2.0w_{Mo} - 24.0w_{Cr} - 27.5w_{Ni} \quad [2.2]$$

$$T'_p = 727 + 30.07w_{Si} - 1.98(w_{Si})^2 - 10.7w_{Cu} - 13.7w_{Mn} + 9.3w_{Mo} + 24.3w_{Cr} - 12.0w_{Ni} \quad [2.3]$$

$$T_p = 727 + 21.6w_{Si} + 0.023(w_{Si})^2 - 21.0w_{Cu} - 25.0w_{Mn} + 8.0w_{Mo} + 13.0w_{Cr} - 33.0w_{Ni} \quad [2.4]$$

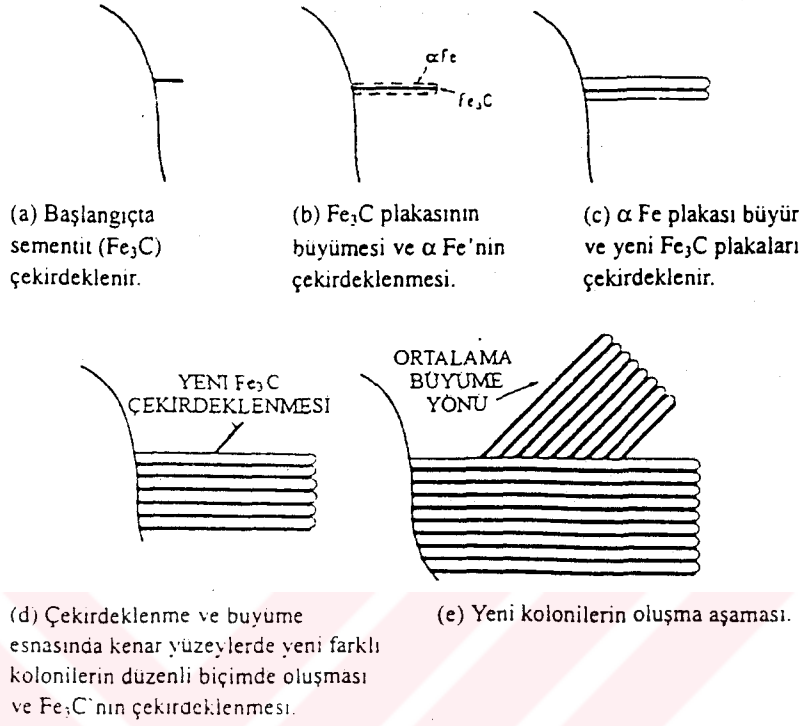
Östenitleme işleminden sonra gerçekleştirilen soğutma işlemi tüm demir esaslı malzemelerin ısıl işlemin önemli bir aşamasını oluşturur. Çünkü soğutma hızına bağlı olarak östenitin dönüşümü sonucunda elde edilen mikro yapı demir esaslı malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.



Şekil 2.3. Fe-C-Si faz diyagramında değişen ötektoid sıcaklığının gösterimi. Sürekli çizgiler Fe-C kararlı sisteminde α/γ /grafit bölgelerini ve kesikli çizgilerde Fe-Fe₃C yarı kararlı sisteminde α/γ /Fe₃C bölgelerini göstermektedir (17)

2.3.1. Östenitin ferrite veya perlite dönüşmesi (tam tavlama veya normalizasyon işlemleri)

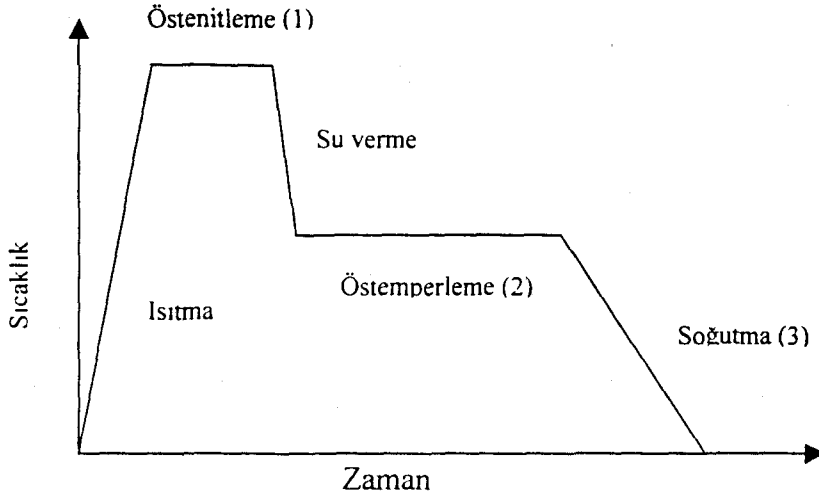
Şekil 2.2'de Fe-%3.5 C ve %2 Si içeren alaşımın üçlü faz diyagramı görülmektedir. 1.2.3.4 gibi farklı sıcaklıklarda tamamen östenitleme veya kısmi östenitleme yapılmış malzeme soğutulacak olursa, soğuma hızına bağlı olarak farklı mikroyapılar elde edilecektir. Alaşım 1. 2. 3 noktalarındaki sıcaklıklardan fırında çok yavaş bir hızda soğutulacak olursa, östenit bünyesinde bulundurduğu fazla karbonu difüzyon yoluyla grafit kürelerine difüz edecek ve böylece östenit ferrite dönüşecektir. 2' veya 3 noktalarından yapılan soğutma işleminde, östenitin dönüşümü ile oluşan ferrite ikincil ferrit, kritik sıcaklıklar arasındaki ferrite ise birincil ferrit denir (7,10,18). 1, 2, 3 noktalarından yapılacak soğutma kritik soğutma hızından (KSH) yavaş fakat havada yapılacak olursa bu durumda yapıdaki östenit perlite dönüşecektir. Soğuma sırasında östenitten ayrılan karbon atomları tane sınırlarında demir ile Fe₃C bileşiğini ilk olarak oluşturduğu kabul edilir. Fe₃C bileşiğinin etrafındaki bitişik östenit bölgesindeki karbonu tüketecektir. Östenitin karbon seviyesi yeterli düzeye düştüğünde bitişik ferrit katmanları oluşacaktır, Şekil 2.4 (7).



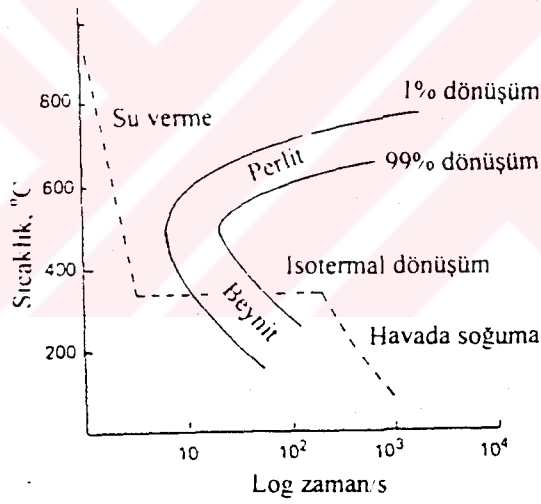
Şekil 2.4. Perlitin çekirdeklenme ve oluşumu (7)

2.3.2. Östempereleme ısı işlemleri

KGDD'lere uygulanan östempereleme ısı işlemleri üç aşamadan oluşur. Birinci aşamada döküm malzeme $850^{\circ}C$ ile $950^{\circ}C$ arasında östenitlenir. İkinci aşamada malzeme tuz ya da yağ banyosunda, KSH'dan daha hızlı (perlit burnunu kesmeyecek hızda) 250 ile $450^{\circ}C$ arasındaki sıcaklığa soğutulur. Üçüncü aşamada ise malzeme bu hızlı soğutulan sıcaklık aralığında 1 ile 8 saat (genellikle 4 saatin üzerinde) arasında bekletilerek östempereleme ısı işlemleri gerçekleştirilir ve malzeme oda sıcaklığına havada soğutulur. Şekil 2.5. Şekil 2.6 (19-21).



Şekil 2.5. Östemperleme ısıtıl işleminin şematik gösterimi (7,20,22)



Şekil 2.6. Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan östemperleme ısıtıl işleminin izotermal dönüşüm diyagramı (19)

Östemperleme ısıtıl işlemi sırasında östenitin dönüşümü iki aşamada gerçekleşir.

I. Aşama: $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma_{y.k.}$

Birinci aşamada östenit iğnesel (acicular) ferrite ve yüksek karbonlu (karbona aşırı doymuş) östenite ($\gamma_{y.k.}$) dönüşür. Malzeme östemperleme sıcaklığında uzun süre bekletilirse ikinci aşama gerçekleşir.

II.Aşama : $\gamma_{y.k.} \rightarrow \alpha + \text{Fe-karbür}$

İkinci aşamada karbon aşırı doymuş östenit ($\gamma_{y.k.}$) ferrite ve Fe-karbüre dönüşür (18,19,21,22). Yüksek karbonlu östenit oldukça kararlı olup, yüksek dayanım ve tokluğa sahiptir. II. Aşama sonucunda oluşan ferrit ve Fe-karbür mikro yapı ise sünekliği ve tokluğu düşürür. Bu nedenle izotermal dönüşüm ikinci aşama başlamadan önce bitirilmelidir (7).

Östenitleme ve östemperleme ısı işlemlerinde östenitleme ve östemperleme sıcaklık ve süreleri malzemenin içerdiği alaşım elementlerinin miktarına bağlıdır (23,24).

2.3.3. Östenitin martensite dönüşümü

Difüzyonlu faz dönüşümlerinin gerçekleşmesi için östenitleme sıcaklığındaki demir esaslı malzeme oldukça yavaş soğutulmalıdır. Düşük soğutma hızlarıyla demir esaslı malzemelere, faz dönüşümlerinin gerçekleşebilmesi için gerekli süre verilmektedir. Ancak östenitleme sıcaklığındaki malzeme yeterli hızda, KSH'dan daha yüksek hızda, soğutulacak olursa malzemeye difüzyon için gerekli olan süre tanınmamış olacaktır. Sonuçta difüzyonsuz faz dönüşümü ürünü olan yarı kararlı martensit fazı oluşacaktır. Şekil 2.5 (7,25-27).

Demir esaslı malzemelerde martensit, karbonun ferrite aşırı doymuş katı eriyiğinden meydana gelen kararsız bir fazdır (6). Martensitik dönüşümün en önemli etkisi demir esaslı malzemelerin dayanım ve sertliğinde sağladığı artıştır (28).

2.3.4. Martensit hacim oranı

Östenitik dönüşümün gerçekleştiği sıcaklığa ısıtılan malzemede, östenitin farklı fazlara dönüşmesi soğuma hızına, östenit tane boyutuna ve alaşım elementlerine

bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta östenitik yapıya sahip malzeme kritik soğuma hızından daha hızlı soğutulacak olursa difüzyonsuz faz dönüşümü sonucu martensitik yapının elde edileceği daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Ancak tavlama sıcaklığına bağlı olarak elde edilen östenit yüzdesi su verme işlemi sonucu oluşan martensitin miktarında esas belirleyici olmaktadır (9,29,30).

KGDD malzeme üst kritik sıcaklığın üzerine ısıtılacak olursa yapı tamamen γ +grafitten oluşacaktır, Şekil 2.1 (1 numaralı bölge). Bu sıcaklıktaki malzeme KSH'dan hızlı soğutulacak olursa östenitin tamamı martensit fazına dönüşecektir. Fakat KGDD malzeme A_1 ile üst kritik sıcaklık aralığına ısıtılacak olursa yapı α + γ +grafitten teşekkül edecektir, Şekil 2.1 Levy kuralı gereğince kritik tavlama sıcaklık aralığında sıcaklık yükseldikçe, östenit hacim oranı ve karbon içeriğinde artacaktır. Bu nedenle oluşan östenitin, karbon içeriği yüksek olduğu için sertleşebilirliği de iyi olacaktır (9.31,32).

2.3.5. Temperleme ısı işlemi

Temperleme su verilmiş çelik ve dökme demir için çok önemli bir ısı işlem basamağıdır. Temperleme ısı işleminin amacı, malzemelerin kırılganlığını azaltmak, tokluk ve sünekliğini arttırmak ve ayrıca kalıntı gerilmeleri gidermektir (8.33,34). Küresel grafitli dökme demirlerin temperlenmesi iki aşamadan meydana gelir (8.34,35).

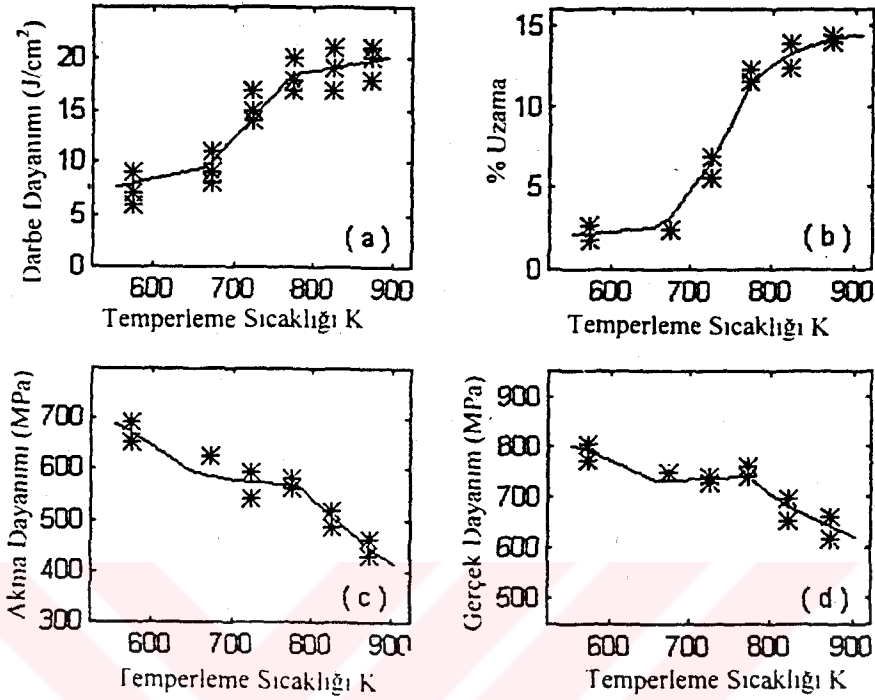
1. Aşama; çelikteki gibi karbürlerin çökmesini,
2. Aşama; karbürlerden ikincil grafitlerin çekirdeklenmesini ve büyümesini içerir.

İkincil grafitleşme sertlikte düşme meydana getirir ve çekmede kesit daralmasını artırır. Alaşım elementleri ikincil grafitleşmenin hızını etkiler. Alaşım elementlerine göre temperleme sıcaklıkları da farklılık gösterir (35).

Çift matrisli küresel grafitli dökme demirlerle ilgili en önemli veri Okabayashi ve arkadaşlarına aittir (36). Okabayashi ve arkadaşları KGDD'e su verme işlemini takiben 200 °C'de 60 dakika ve 600 °C'de 20 dakika gibi farklı sıcaklıklarda temperleme ısı işlemleri yapmışlardır. Çift matrisli küresel grafitli dökme demirde yumuşak faz ferrit ve sert faz martensit veya beynit olduğunu belirtmişlerdir (36).

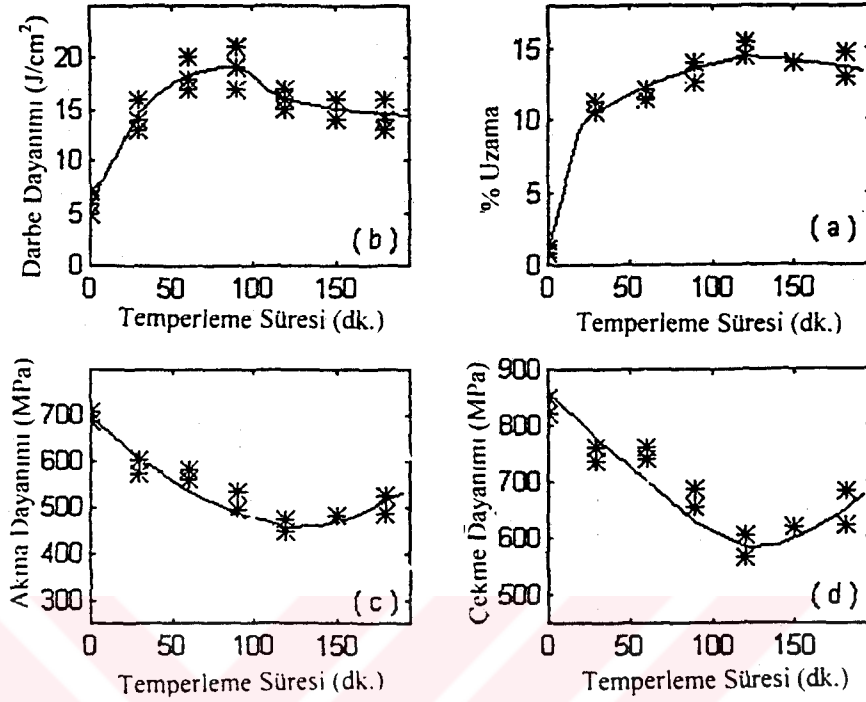
A.M.Rashidi ve arkadaşları (33) tarafından %3.56 C, %0.28 Mn, %1.94 Si kimyasal kompozisyona sahip küresel grafitli dökme demir ilk olarak 950°C' de 2 saat tavllanmış, daha sonra 760°C'ye soğutulmuş ve bu sıcaklıkta 5 saat bekletildikten sonra fırında soğutulmuştur. Daha sonra numuneler 900°C' de 480 saniye kısmi östenitlenmiş ve sıcak suda soğutulmuştur. Bu işlemin takiben ardından 300°C, 400°C, 450°C, 500°C ve 600°C sıcaklıklarda 1 saat temperleme ısı işlemleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmada akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve % uzamanın temperleme sıcaklığı ile değişimini incelemişlerdir, Şekil 2.7 (33).

En iyi darbe dayanımı ve süneklik, 400-500°C arasında olduğu belirtilmiştir (33). Bu çalışmaya göre ferrit-martensit yapıya sahip KGDD'ler 500°C'den yüksek sıcaklıklarda temperlenmesinin iyi sonuç verdiğini de vurgulamışlardır.



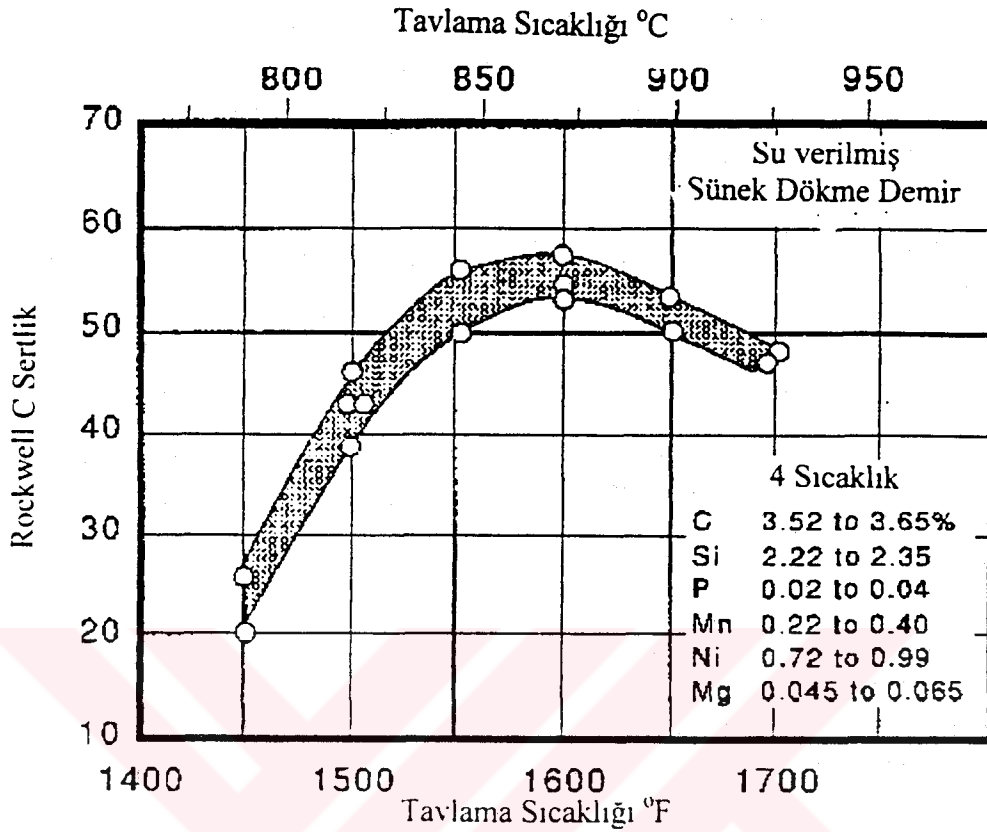
Şekil 2.7. Temperleme sıcaklığının (a) %Uzama, (b) Darbe dayanımı, (c) Akma dayanımı, (d) Çekme dayanımına etkisi (33)

Yalnız 500 °C'de 30, 90, 120, 150, 180 dakika farklı değişik temperleme süreleri kullanılmıştır. 120 dakikaya kadar olan temperleme sürelerinde % uzamanın arttığını ve 120 dakikadan sonra yapılan temperleme ısı işlemi ile % uzama değerinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Rashidi ve arkadaşları (33) elde ettikleri sonuca göre akma dayanımı ve çekme dayanımında 120 dakika ya kadar olan sürelerde azalma meydana gelirken 120 dakikadan sonra ki sürelerde akma ve çekme değerlerinde artış olmuştur. Darbe dayanımında ise 90 dakikaya kadar ki sürelerde artma ve 90 dakikadan sonra 120 dakikaya kadar belirgin bir azalma görülmektedir, Şekil 2.8. (33).



Şekil 2.8. Temperleme süresinin %Uzama, darbe dayanımı, akma dayanımı ve çekme özellikleri üzerine etkisi (33)

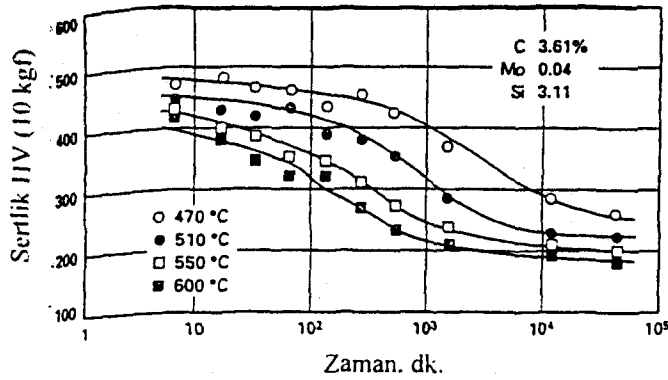
Normalde ticari dökümler 845 ile 925 °C arasında östenitlenerek su verilir ve temperlenir. Gerilim ve su verme çatlaklarını en aza indirmek için su verme ortamı olarak genelde yağ tercih edilir. Yağ banyosu sıcaklığı genel olarak 80-100 °C arasında olmalıdır. 870°C üzerindeki yüksek sıcaklıklarda yapılan östenitleme sonrası malzemeye su verme ısıl işlemi uygulanacak olursa yüksek sıcaklıktaki östenitleme nedeniyle östenit tane boyutu ve kalıntı östenit miktarı artar ve sertlikte düşme görülür, Şekil 2.9 (35).



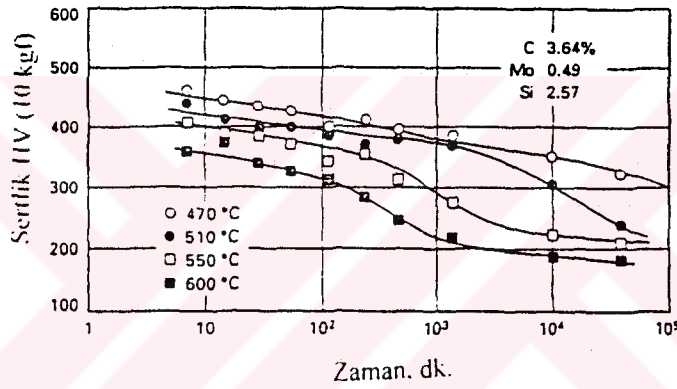
Şekil 2.9. Su verme öncesi östenitleme sıcaklığının KGDD'in sertliğine etkisi (35)

Temperleme ısısal işlemi sonrası malzemenin sertliği, su verme sonrası sertliğe, alaşım elementlerine (kimyasal bileşime), temperleme sıcaklığına ve süresine bağlıdır (37).

K.B.Rundman ve arkadaşları (38) tarafından yapılan bir çalışmada %3,61 C, %0,04 Mo ve %3,11 Si kimyasal bileşimindeki KGDD'e su verme ve temperleme ısısal işlemi yapılmıştır. Bu alaşım 800 °C tavllanmış daha sonra su verilmiş ve son olarak 425-600°C aralığında temperleme uygulanmıştır. Artan temperleme süresi ve sıcaklıkla birlikte malzemenin sertliğinde ortalama 10 HV düşme görülmüştür, Şekil 2.10.-a. Ayrıca yine K.B.Rundman ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada ise % 3.64 C, % 2.57 Si ve % 0.49 Mo kimyasal bileşimindeki KGDD'e yine su verme ve temperleme ısısal işlemi uygulanmıştır. Alaşımın sertliği Şekil 2.10.-b'de görüldüğü gibi artan temperleme süresi ile birlikte düşmektedir (37).



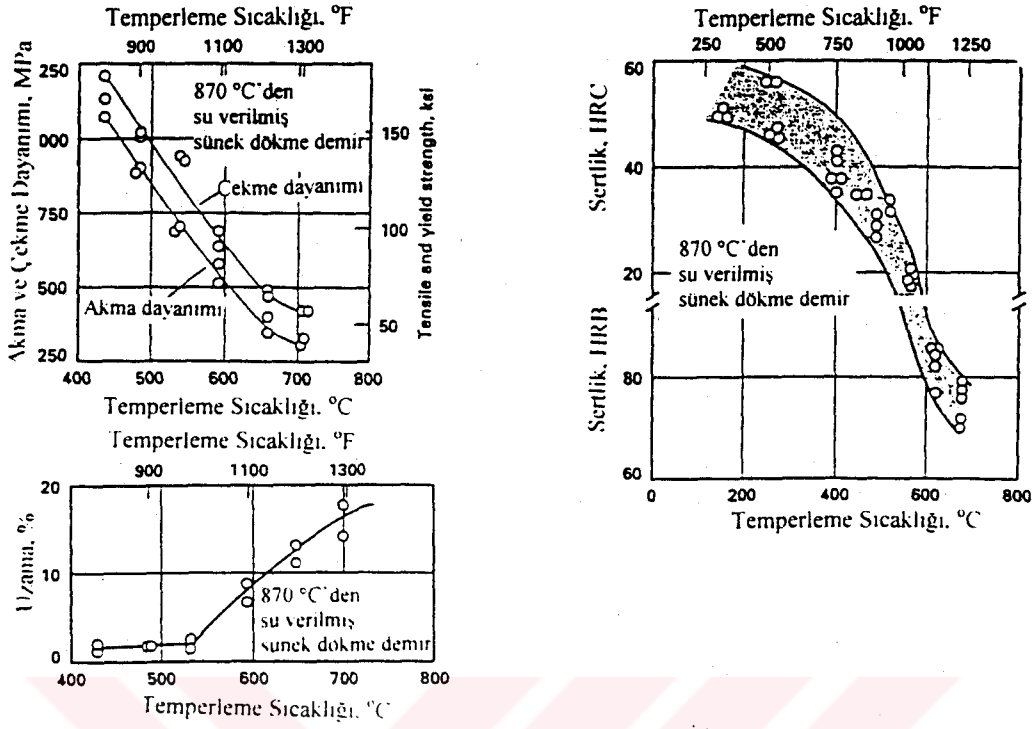
a



b

Şekil 2.10. Çeşitli temperleme sıcaklıklarında ve sürelerinde sertlik verileri (37)

K.B. Rundman ve arkadaşları (36) %3.52-3.68 C, %2.28-2.35 Si, %0.02-0.04 P ve %0.22-0.41 Mn, %0.69-0.99Ni bulunan KGDD'e 870 °C'den su verilerek değişik temperleme sıcaklıklarında 2 saat süreyle temperleme yapmışlardır. Şekil 2.11'den de anlaşılacağı üzere temperleme sıcaklığı arttıkça çekme dayanımı ve sertlik değerlerinde düşme meydana gelirken % uzama değerinde artış olmuştur (35).



Şekil 2.11. Temperleme sıcaklıklarının mekanik özelliklere etkisi (35)

3. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİ

Küresel grafitli dökme demirler (sünek dökme demirler), diğer dökme demirlerde biline kırılmalığının ve düşük uzamanın tam tersine adından da anlaşılacağı üzere çok yüksek toplam uzama sergilerler. KGDD'lerin mekanik özelliklerini kimyasal kompozisyonları ve matris mikroyapıları kontrol eder (7). KGDD'ler çekme dayanımlarına veya matris mikroyapılarına göre standartlaştırılmış olup Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3' te bu standartlar gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. ISO 1083'e göre KGDD'lerin sınıfları ve çekme özellikleri (38)

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)	Matris Mikroyapısı
800-2	480	800	2	248-352	Perlitik
700-2	420	700	2	229-302	Perlitik
600-3	370	600	3	192-269	Perlitik+Ferritik
500-7	320	500	7	170-241	Ferritik+Perlitik
400-12	250	400	12	<201	Ferritik
370-17	230	370	17	<179	Ferritik

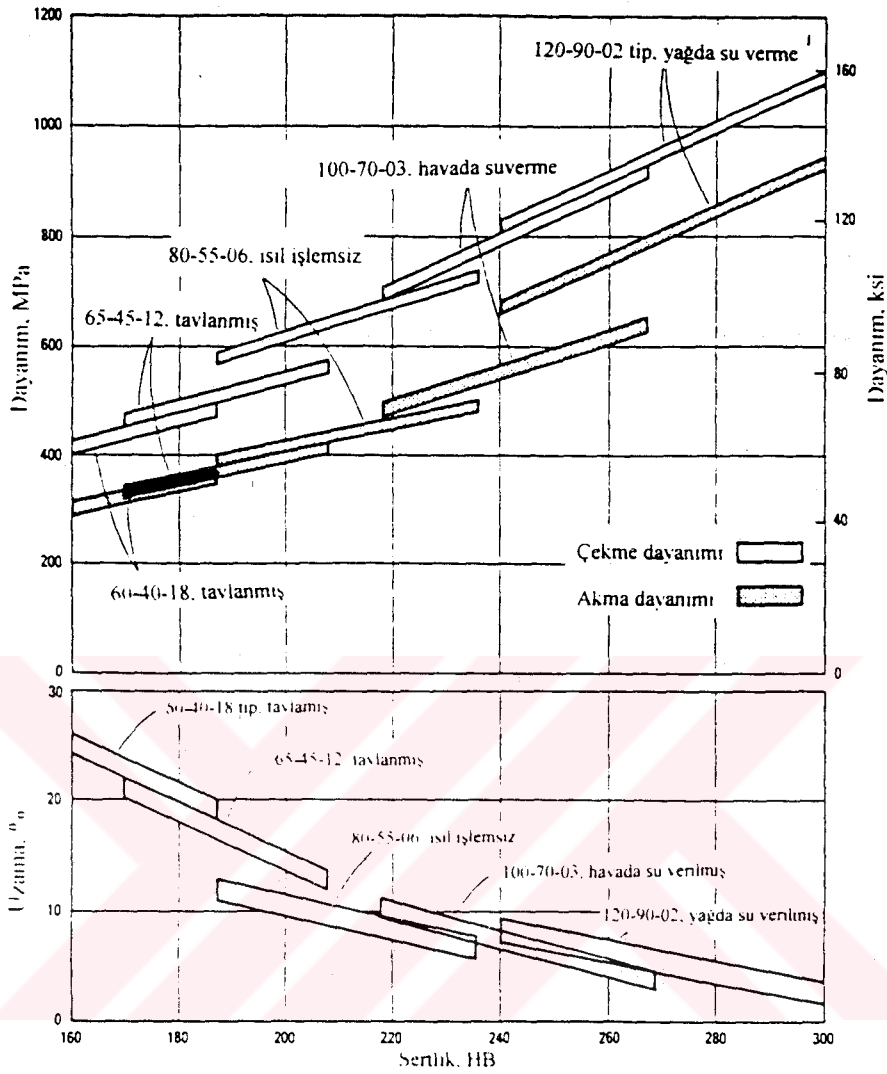
Çizelge 3.2. ASTM A536'ya göre KGDD'lerin sınıfları ve çekme özellikleri (38)

	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
60-40-18	276	414	18
60-42-10	290	414	10
65-45-12	310	448	12
70-50-05	345	485	5
80-55-06	379	552	6
80-60-03	414	552	3
100-70-03	483	690	3
120-90-02	621	827	2

Çizelge 3.3. TS 526'ya göre KGDD'lerin sınıfları ve çekme özellikleri (39)

	Akma Dayanımı (kgf/mm ²)	Çekme Dayanımı (kgf/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HB)	Matris Mikroyapısı
DDK 40	28	42	12	140-201	Daha çok Ferritik
DDK 50	35	50	7	170-241	Ferritik+ Perlitik
DDK 60	40	60	3	192-269	Perlitik+Ferritik
DDK 70	45	70	2	229-302	Daha çok Perlitik
DDK 80	50	80	2	248-352	Perlitik
DDK 35.3	22	35	22	-	Ferritik
DDK 40.3	25	40	18	-	Ferritik

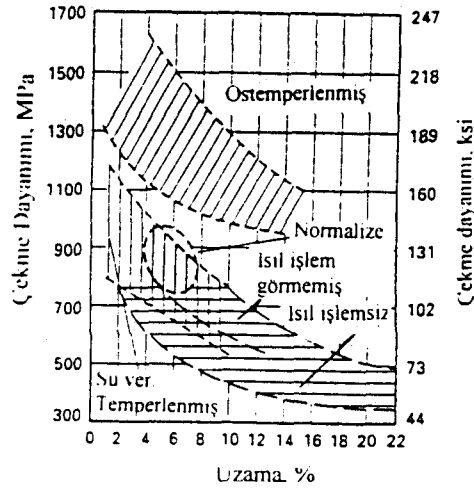
Diğer mühendislik malzemelerinde olduğu gibi, KGDD'lerde de sertlik arttıkça; akma ve çekme dayanımı artarken % uzama değeri azalır(38). Bu durum Şekil 3.1. de gösterilmektedir.



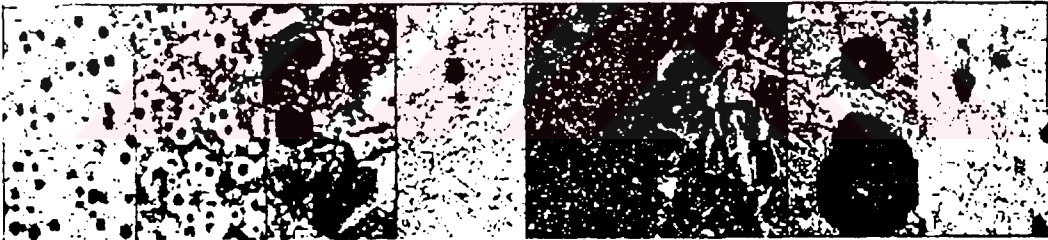
Şekil 3.1. KGDD’de sertlikle birlikte değişen çekme özellikleri (38)

3.1. Küresel Grafitli Dökme Demir’ lerde Isıl İşleme Değişen Çekme Özellikleri

KGDD’lerin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan ısıt işlemler; tavlama, normalleştirme, su verme + temperleme ve östemperlemedir (40). Bu ısıt işlemlerden normalleştirme, su verme + temperleme ve östemperleme ile akma ve çekme dayanımında çok yüksek değerler elde edilirken tavlama ile süneklik ve darbe dayanımı geliştirilir. Değişik ısıt işlemler uygulanmış KGDD’lere ait çekme dayanımı-% uzama ilişkisi Şekil 3.2’de şematik olarak verilmiştir. Yine KGDD’lerde matris mikroyapılarına göre değişen çekme dayanımları Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



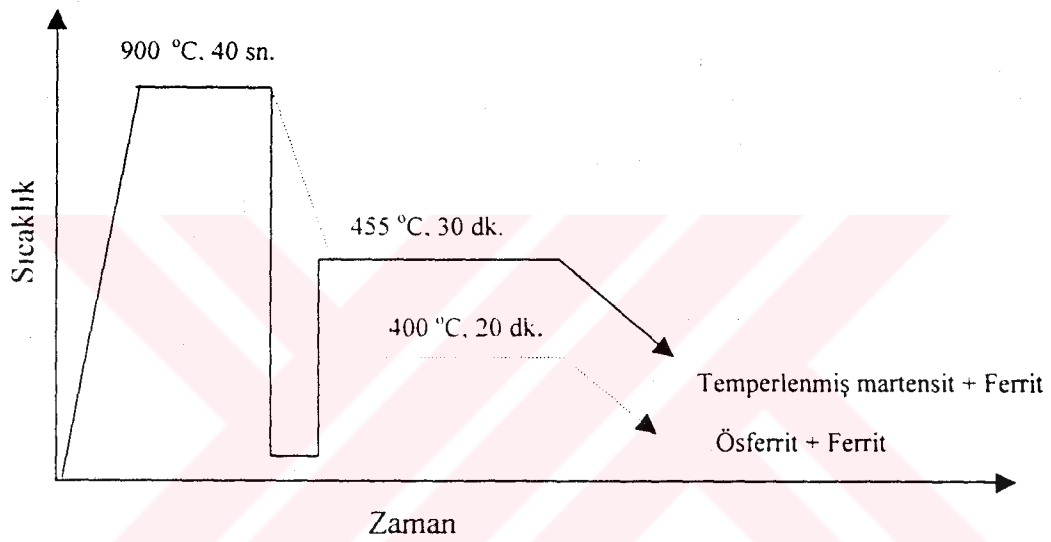
Şekil 3.2. Değişik ısıt işlemler uygulanmış KGDD'lerde çekme dayanımı ile % uzama ilişkisi (40)

Matris							
Feritik Kalite 5	Feritik- pearlitic Kalite 3	Perlitik Kalite 1	Martensitik (Kalıntı östenitle birlikte)	Temperlenmiş Martensitik	ÖKGDD Kalite150	ÖKGDD Kalite230	Östenitik
60.000 psi (414 MPa)	80.000 psi (552 MPa)	100.000 psi (690 MPa)		115.000 psi (793 MPa)	150.000 psi (1050 MPa)	230.000 psi (1600 MPa)	45.000 psi (310 MPa)
							
*Çekme Dayanımı yaklaşık olarak 87.000 psi (600 MPa), sert ve kırılgan. Not : Mikroyapıların hepsindeki büyüme oranları farklıdır							

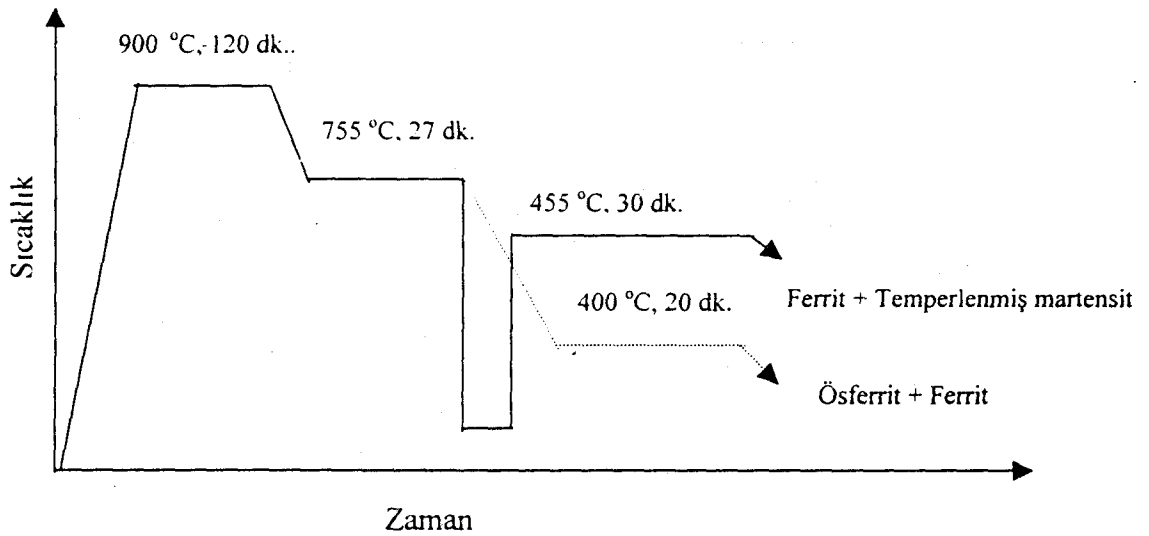
Şekil 3.3. KGDD'de farklı mikro yapılar ve bunların çekme dayanımları (34)

Normalleştirme ile 700-900 MPa arasında çekme dayanımı elde edilirken, su verme ile 700 MPa daha yukarılara çekilir. Su verme ısıt işlemleri sonrası KGDD'in sünekliğini iyileştirmek için 400-600 °C sıcaklıklar arasında temperlenir. 530 °C sıcaklığın üzerindeki temperleme sıcaklıklarında ikincil grafitleşme meydana gelir ki, bu mekanik özellikleri önemli ölçüde düşürür (41).

Voight ve arkadaşlarının (42) yaptıkları bir çalışmada , %3,60 C, %2,2 Si %0,3 Mn, %0,7 Ni ve %0,2 Mo içeren KGDD'de kısmi östenitleme ile martensit elde etmek için su verme işlemi, östenit elde etmek için östemperleme işlemi uygulamıştır. Küresel grafit etrafında ferrit, matriste martensit yada ösferrit elde etmek için uyguladıkları ısı işlem çevrim Şekil 3.4'de, küresel grafit etrafında martensit yada ösferrit, matriste ferrit elde etmek için uyguladıkları ısı işlem çevrimi Şekil 3.5'de gösterilmiştir (42).



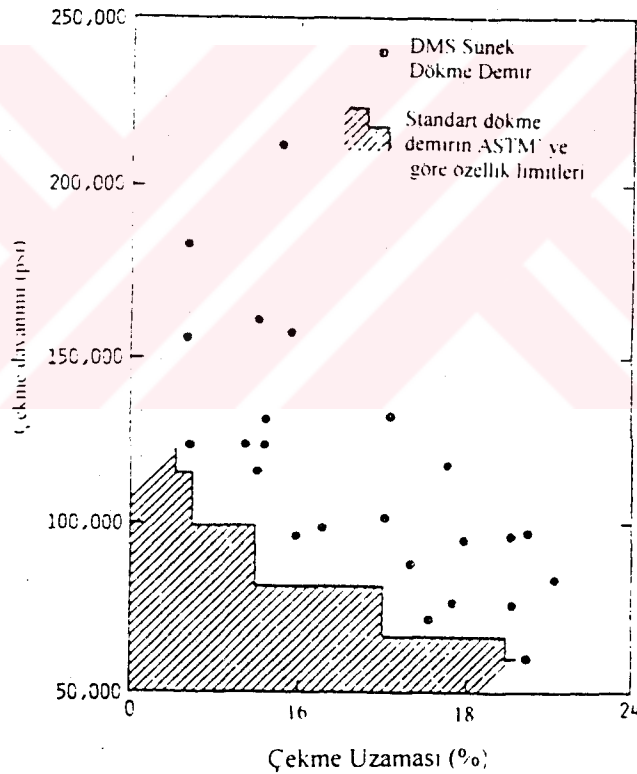
Şekil 3.4. Küresel grafit etrafında ferrit matriste martensit yada ösferrit elde etmek için uygulanan ısı işlemleri (42)



Şekil 3.5. Küresel grafit etrafında martensit yada ösferrit, matriste ferrit oluşturmak için takip edilen ısı işlem çevrimi (42)

Voigt ve arkadaşlarının elde ettikleri çekme deneyi sonuçları Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Şekil 3.6'dan da anlaşılacağı üzere mikroyapısında perritle birlikte martensit yada ösferrit içeren KGDD'ler geleneksel ısıtılmış KGDD'lere kıyasla daha yüksek toplam uzama sergilemişlerdir.

Voight ve arkadaşları (42) kırılma yüzeyi araştırmalarında grafitin etrafında ferrit oluştuğunda mikroçatlağın keskinliğini giderdiğini ve mikroçatlağı yavaşlattığını, grafitin etrafında martensit yada ösferrit oluştuğunda oluşan mikroçatlak başlangıcının daha zor olduğu kaydetmişlerdir (42).



Şekil 3.6. Standart dökme demirler ile Çift matrisli (DMS) sünek dökme demirlerin çekme özelliklerinin karşılaştırılması (42)

Hayrynen ve arkadaşlarının (43) yaptıkları diğer bir çalışmada %3,65 C %2,67 Si, %0,25 Mn, %0,032 P, %0,085 S, %0,02 Cr, >%0,005 Ti, %0,05 Sn, %0,051 Mg, %0,02 Ni, %0,06 Cu, kimyasal bileşime sahip perlitik KGDD'i sertleştirmek için 900 °C sıcaklıkta iki saat tavlama 65 °C' de yağda su verme işlemi uygulamışlardır. Daha

sonra 504 °C sıcaklıkta üç saat süreyle temperleme yapmışlardır. Normalleştirme yapmak içinde 900 °C' de iki saat tavlama ve havada soğutma işlemi uygulamışlardır. Su verme ve normalleştirme ısı işlemi yaptıkları KGDD'in çekme özelliklerini incelemişlerdir (43). Çekme özellikleri Çizelge 3.4' de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Hayrynen ve arkadaşlarının su verme ve normalleştirme ısı işlemleri uyguladıkları KGDD'e ait çekme özellikleri (43)

	Döküldüğü gibi	Normalleştirilmiş	Su verilmiş ve Temperlenmiş
Çekme dayanımı (MPa)	751.6	990.1	1159,7
Akma Dayanımı (MPa)	446	597.8	968
% Uzama	8.0	6.0	4.0
Sertlik (HB)	236	275	378

He Zerong ve arkadaşları (44) yaptığı bir diğer çalışmada, % 3.4 C, % 3.09 Si, ve %0.035 Mg içeren KGDD'e hızlı tavlama ve su verme ile küresel grafit etrafında halka şeklinde martensit ve ferritik matriste de martensit elde etmişlerdir. Bu ısı işlem sonucunda 1180 MPa çekme dayanımı ile birlikte % 8 uzama ve % 1.2 alan daralması sonuçlarını bulmuşlardır. Küresel grafit çevresindeki halka şeklindeki martensitin mikroçatlak çekirdeklenmesini (başlamasını) ve ilerlemesini geciktirdiğini ve yavaşlattığını kaydetmişlerdir. Yine küresel grafit etrafındaki halka şeklindeki martensitin küresel grafit-martensit arayüzeyindeki çatlak çekirdeklenmesini geciktirdiği ve arayüzeyde çatlak ilerlemesini engellediğini kaydetmişlerdir (44).

Rashidi ve arkadaşları (33) yaptığı bir diğer çalışmada, % 3.56 C, % 1.94 Si, % 0.28 Mn, % 1.33 Ni, % 0.29 Mo ve % 0.0125 S içeren küresel grafitli dökme demirde temperleme sıcaklık ve süresinin çift matrisli (ferrit + martensit) mikroyapı üzerine etkilerini incelemek amacıyla 950 °C sıcaklıkta 2 saat tavlamanın ardından 760 °C sıcaklıkta 5 saat bekletme ve ardından fırında soğutma işlemi yapmışlardır. Son

olarak numuneleri 900 °C sıcaklıkta 480 saniye süre ile tavlama suretiyle kısmi östenitleme sağlamışlar ve daha sonra ılık suda su vermişlerdir. Bu numunelerden bir kısmına değişik sıcaklıklarda (300°C, 400°C, 450°C, 500°C ve 600°C) 1 saat temperleme işlemi uygulamışlardır. 500 °C temperleme sıcaklığında ise 30, 90, 120, 150 ve 180 dakika temperleme işlemi yapmışlardır. Rashidi ve arkadaşlarının deneysel çalışmaları sonucunda, 400-500 °C temperleme sıcaklıklarında ve bu sıcaklık aralığında, darbe dayanımı ve % uzama değerleri birden artarken çekme ve akma dayanımında neredeyse hiçbir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında artan temperleme sıcaklığıyla akma ve çekme dayanımları azalmıştır. 500°C temperleme sıcaklığında 90 dakikaya kadar darbe dayanımı artmış, daha uzun temperleme sürelerinde ise azalmıştır. Yine 500°C temperleme sıcaklığında, 120 dakikaya kadar % uzama artarken, 120 dakikadan sonra azalmış, akma ve çekme dayanımları ise artmıştır (33).

Hafız'ın (45) yaptığı bir diğer çalışmada, % 3.52 C, % 2.54 Si, % 0.008 Mn, % 0.0033 Cr, % 0.008 Ni, % 0.009Mo, % 0.018 Cu, % 0.04 Mg, % 0.001 Pb, %0,007 S ve % 0.007 P kimyasal bileşimine sahip küresel grafitli dökme demirde küresel grafit etrafında halka şeklinde değişik mikroyapılar (martensit ve ösferrit) elde etmek amacıyla, 600 °C sıcaklıkta 15 dk tavlamanın ardından çok hızlı bir ısıtma ile 910 °C sıcaklıkta 1.5 dk beklemenin ardından martensit üretmek için buzlu suda soğutma, ösferrit elde etmek için 360 °C sıcaklıktaki tuz banyosunda 90 dk östemperleme yapmıştır. Hafız'ın elde ettiği çekme deneyi sonuçları Çizelge 3.5'te özetlenmektedir (45).

Çizelge 3.5.Farklı mikro yapılarıdaki KGDD'lerin mekanik özellikleri (33)

	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Toplam Uzama (%)
Döküldüğü gibi	297	409	19,1
Ösferritik Halka	341	535	17,9
Martensitik Halka	598	713	4,9

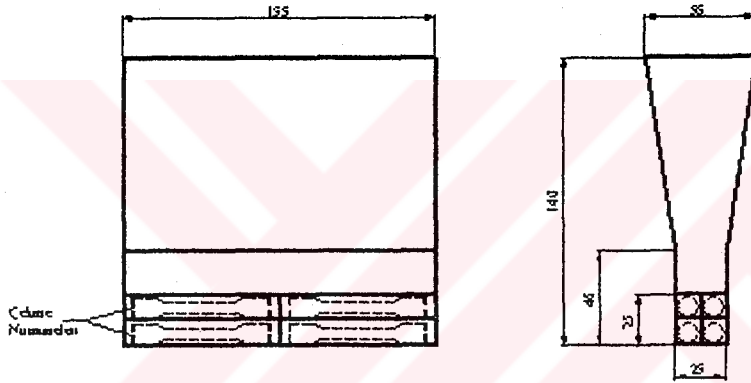
Çizelge 3.5' te görüldüğü üzere küresel grafitin etrafındaki halkanın ösferrit içerdiği durumda toplam uzamada hiç taviz vermeden, akma dayanımında %13 çekme dayanımında ise % 23 iyileşme sağlamıştır. Küresel grafit etrafındaki halkanın martensit olduğu durumda ise % uzamadan % 74 taviz verilirken, akma dayanımında % 50, çekme dayanımında ise % 43 iyileşme sağlamıştır. Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerinde küresel grafit etrafındaki halkanın ösferrit olduğu durumda, numuneler sünek kırılma sergilerken, martensit olduğu durumda kırılgan bir kırılma davranışı sergilediğini belirtmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Malzeme ve Metod

4.1.1. Döküm işlemi

Dökümün yapıldığı kum kalıp tasarımı TS 526'da (39) belirtilen Y-bloklardan Y-II tipine göre hazırlanmıştır, Şekil 4.1 Ergitme işlemi, 1000 kg kapasiteli orta frekanslı ergitme tipi Inductotherm marka indüksiyon ocağı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.1. Y-blok tasarımı (39)

İndüksiyon ocağına şarj girdisi olarak külçe şeklinde sorel marka sfero piki kullanılmıştır. Sfero pikinin kimyasal analizi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sfero piki kimyasal bileşimi (Ağırlıkca %)

Element	Fe	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Sn
%	95	4,1	0,277	0,04	0,004	0,031	0,03	0,005- 0,0021	0,0005

Ergitilmiş olan metal, döküm sıcaklığına ulaştıktan sonra (~1490 °C) küreselleştirme ve aşılama işlemleri yapılmıştır. Küreselleştirme işlemi Tundish tipi işlem potasında, Şekil 4.2, aşılama işlemi döküm potasında, Şekil 4.3, gerçekleştirilmiştir. Küreselleştirme işleminde kullanılan küreselleştiricinin ve aşılama işleminde kullanılan aşılama malzemesinin kimyasal bileşimleri sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir. Küreselleştirme işlemi için ağırlıkça % 1,4 küreselleştirici malzeme, aşılama işlemi için % 0,2 aşılama malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Küreselleştirici Malzemenin Bileşimi

Element	Si	Mg	Al	Ca
%	44-48	5-6	Mak. 1	1,4-1,8

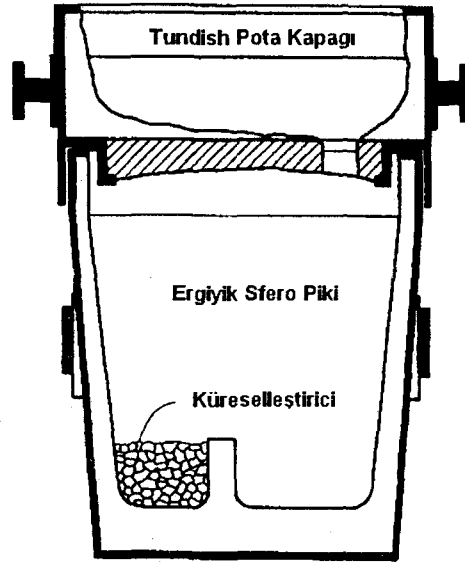
Çizelge 4.3. Aşılama Malzemenin Bileşimi

Element	Si	Ca	Ba	Al
%	73-78	1-2	2-3	Mak. 1,5

İşlem potasına alınan sıvı metal, yaş kum kalıplara (Şekil 4.4) küreselleştiricinin etkinliği geçmeyecek bir süre (3-4 dk) içinde dökülerek oda sıcaklığında katılaşmaya bırakılmıştır. Malzemenin döküm öncesi kimyasal bileşimini tespit etmek amacıyla işlem potasından spektro analiz numunesi alınmıştır. Elde edilen dökme demirin kimyasal bileşimi Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Dökülen malzemenin kimyasal bileşimi

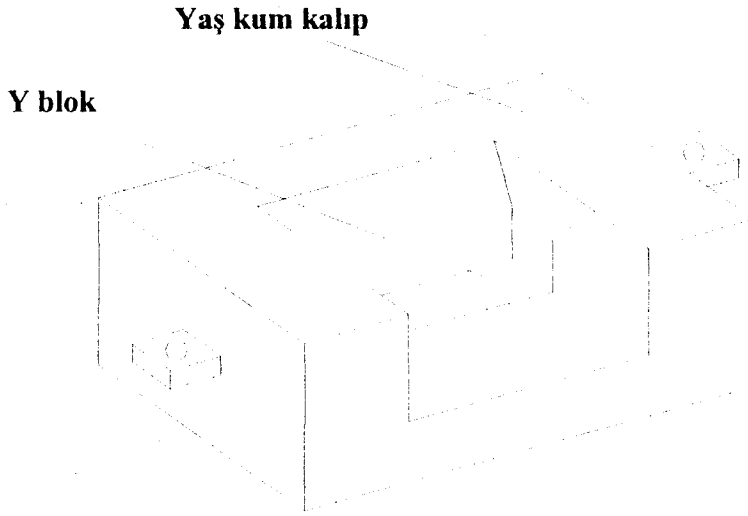
% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	% Al	% Co
3.50	2.63	0,318	0,0265	0,0128	0,031	0,0421	0,0423	0,0218	0,00357
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	% Pb	% Sn	% Mg	% Sb	% Fe
0,0552	<0,002	<0,0120	<0,001	0,005	<0,0002	0,0058	0,0471	0,0055	Geri Kalan



Şekil 4.2. Tundish tipi küreselleştirme potasının şematik gösterimi



Şekil 4.3. Aşılama işleminin yapıldığı işlem potasının şematik gösterimi



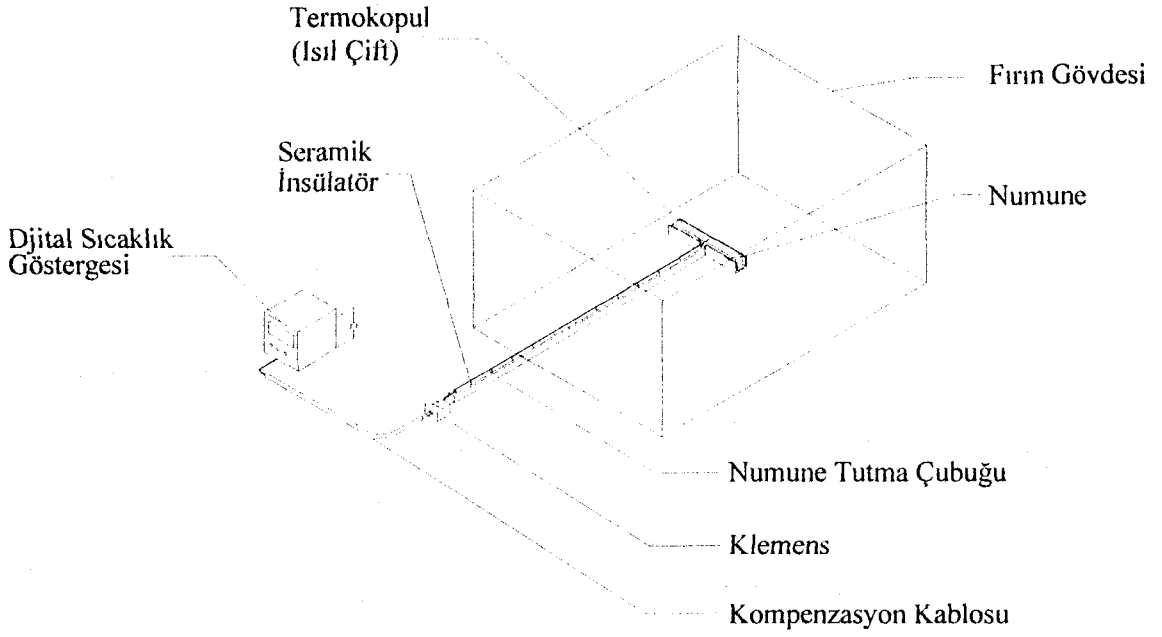
Şekil 4.4. Y-blokların döküldüğü kum kalıbın şematik olarak 3 boyutlu görünümü

4.2. Isıl İşlemler

4.2.1. Isıl işlemlerde kullanılan cihazlar ve deney sistemi

Tavlama işleminde kullanılan tav fırını Hereaus marka olup elektrik direnci ile çalışan ± 5 °C duyarlılıkta ve 0-1350 °C sıcaklıklar arasında tavlamanın yapılabildiği atmosfer kontrolü olmayan bir fırındır. Gerekli işleme payları verilen numunelerde ısıtım sırasında dekarbürize olan bölgeler talaş kaldırılarak uzaklaştırılmıştır.

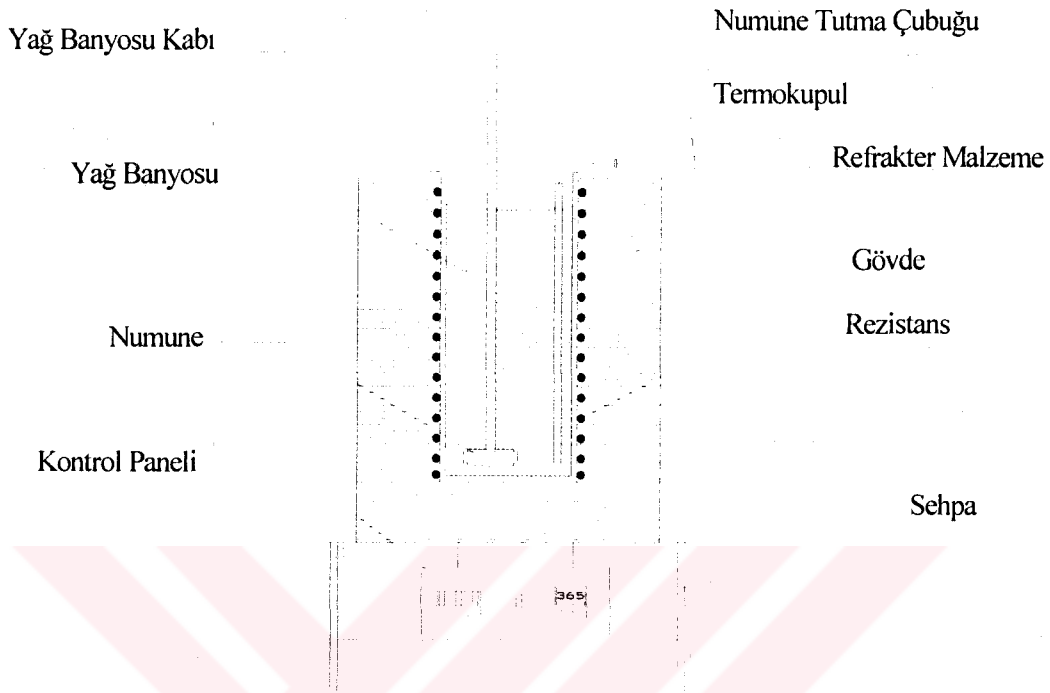
Deneylerde K tipi (Cr-CrAl) ısıtım çift telleri kullanılmıştır. Sıcaklık kontrol sistemi Şekil 4.5’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Numune sıcaklık kontrol sisteminin şematik olarak gösterimi

Numuneler önce sabitleme çubuğuna konulmuş daha sonrada termokupul telleri numune yüzey merkezine nokta kaynağı ile kaynatılmıştır. Isıl çift tellerinin birbirlerine teması tellerin üzerine geçirilen seramik koruyucularla önlenmiştir. Tavlama işlemleri boyunca fırın içerisinde aynı bölge kullanılmış ve numune sıcaklığı sıcaklık göstergesi üzerinden sürekli kontrol edilerek ve tavlama sıcaklığındaki değişim numune sıcak bölgeden soğuk bölgeye veya tam tersi bir yönde hareket ettirilerek ± 2 °C'ye kadar indirilmiştir.

Yağ banyosu olarak 2,5 Kw gücünde ve 200 V ve 13 A, PID kontrol sistemli, ± 2 °C hassasiyetle çalışan Protherm marka yağ banyosu kullanılmıştır. Su verme için kullanılan yağ banyosu düzeneği Şekil 4.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



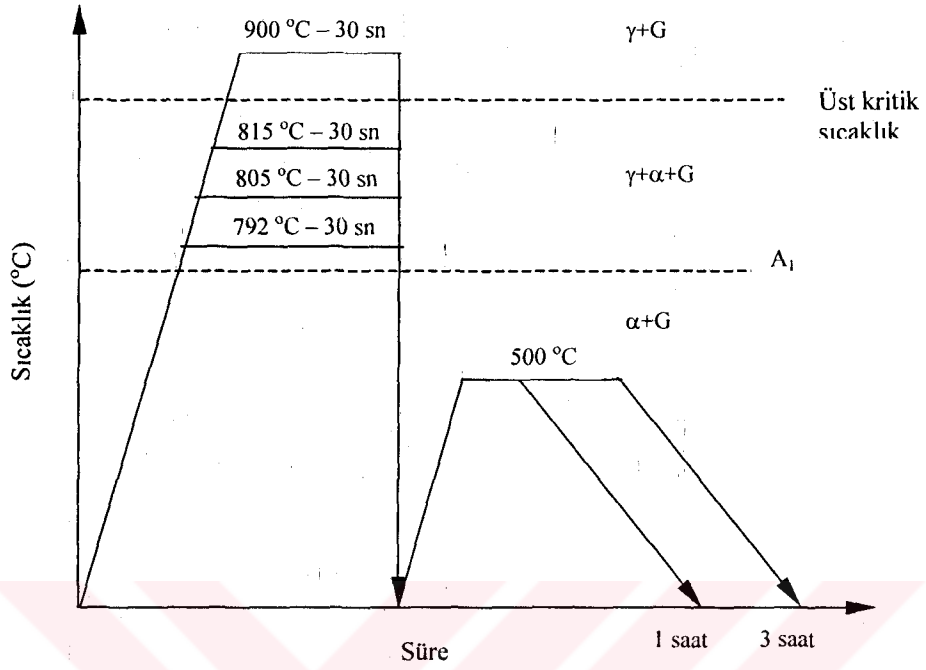
Şekil 4.6. Su verme için kurulan yağ banyosu düzeneğini şematik olarak gösterimi

4.2.2. Ferritik matriste küresel grafitlerin etrafında martensitik kabuğun ve sabit martensit hacim oranlarında (% 20, % 40, % 50, % 80, % 100) farklı martensit parçacıklarının dağılımının sağlanması

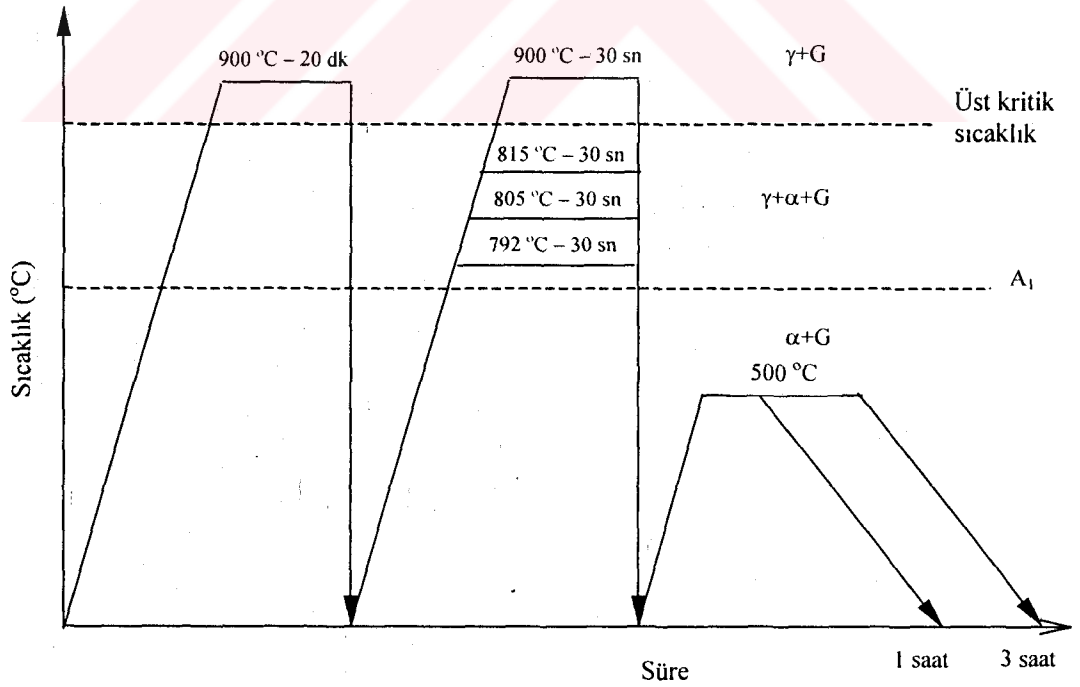
Yukarıdaki başlıkta belirtilen amaca uygun yapılan ısıtma işlemlerin özeti Çizelge 4.5’de ve Şekil 4.7-9’da verilmiştir. Burada G, 900 °C sıcaklıkta 20dk tavlama 100 °C sıcaklıkta yağda soğutulan numuneyi temsil etmektedir. S harfleri kritik tavlama sıcaklığından (KTS) soğutulan numunelerde, SS harfleri ise 900 °C sıcaklıktan yağda su verilmiş soğutma+KTS’den yağda soğutmaya temsil etmektedir. Bu harfleri takip eden rakamlar ise Kritik tavlama sıcaklıklarını (KTS) temsil etmektedir. Daha sonra gelen T harfi ise 500 °C sıcaklıkta temperlemeyi , rakamlar (T1, T3) ise temperleme süresini göstermektedir.

Çizelge 4.5. Numune kodları ve tanımları

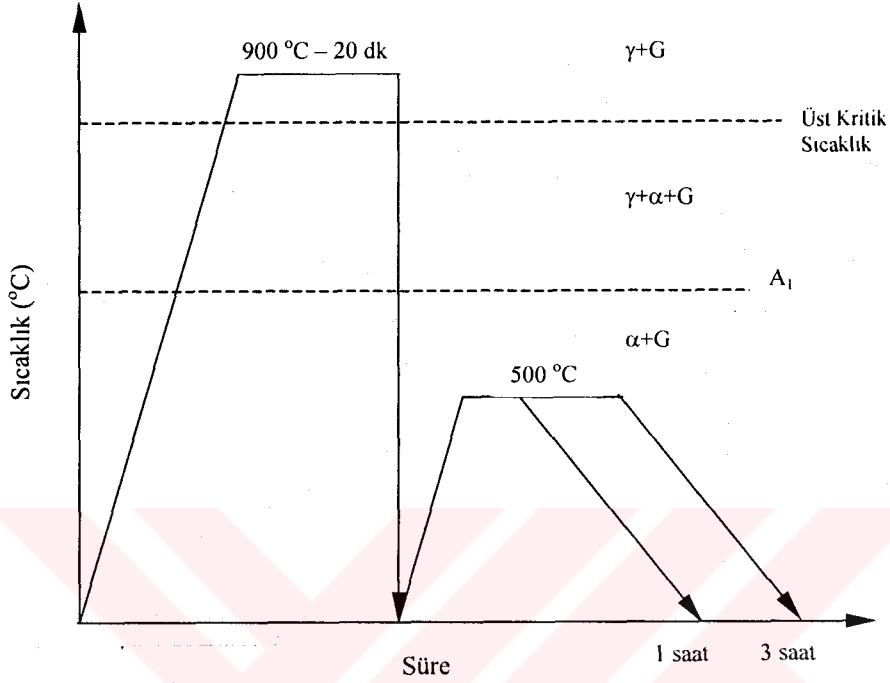
Numune kodu	Tanımı
İşlemsiz	Döküldüğü gibi, ısıtıl işlem görmemiş
S	Kritik sıcaklık aralığından (792 °C, 805 °C, 815 °C) ve 900 °C sıcaklıkta 30 sn östenitleme + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme
SS	900 °C sıcaklıkta 20 dk tavlama + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + Kritik sıcaklık aralığından (792 °C, 805 °C, 815 °C) ve 900 °C sıcaklıkta 30 sn östenitleme + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme
G	900 °C sıcaklıkta 20 dk tavlama + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme
T 1	1 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi
T 3	3 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi
S T1	Kritik sıcaklık aralığından (792 °C, 805 °C, 815 °C) ve 900 °C sıcaklıkta 30 sn östenitleme + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + 1 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi (T1)
S T3	Kritik sıcaklık aralığından (792 °C, 805 °C, 815 °C) ve 900 °C sıcaklıkta 30 sn östenitleme + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + 3 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi (T3)
SS T1	900 °C sıcaklıkta 20 dk tavlama + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + Kritik sıcaklık aralığından (792 °C, 805 °C, 815 °C) ve 900 °C sıcaklıkta 30 sn östenitleme + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + 1 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi (T1)
SS T3	900 °C sıcaklıkta 20 dk tavlama + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + Kritik sıcaklık aralığından (792 °C, 805 °C, 815 °C) ve 900 °C sıcaklıkta 30 sn östenitleme + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + 3 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi (T3)
G T1	900 °C sıcaklıkta 20 dk tavlama + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + 1 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi (T1)
G T3	900 °C sıcaklıkta 20 dk tavlama + 100 °C sıcaklıktaki yağda su verme + 3 saat süre ile 500 °C sıcaklıkta temperleme ısıtıl işlemi (T3)



Şekil 4.7. S kodlu deney numunelerine uygulanan ısıt işlemlerin şematik gösterimi



Şekil 4.8. SS kodlu deney numunelerine uygulanan ısıt işlemlerin şematik gösterimi



Şekil 4.9. G kodlu deney numunelerine uygulanan ısıt işlemlerin şematik gösterimi

4.2.3. Temperleme ısıt işlemi

Kritik tavlama sıcaklıklarından 100 °C sıcaklıktaki yağda soğutulan numunelere bekletilmeksizin temperleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem numunelerin bir kısmına 500 °C sıcaklıkta 1 saat ve bir kısmına da yine 500 °C sıcaklıkta 3 saat süre ile uygulanmıştır. Temperleme işlemleri fırın içerisinde sıcak hava sirkülasyonu ile homojen bir ısı dağılımı sağlayabilen ± 5 °C duyarlılıktaki bir fırında yapılmıştır. Temperleme işleminin ardından numunelerin sıcaklıkları havada soğutularak oda sıcaklığına düşürülmüştür. Temperleme fırını Hereaus marka olup elektrik direnciyle çalışan içerisinde sıcak hava sirkülasyonu olan ± 5 °C hassasiyetli 0-650 °C sıcaklıklar arasında temperlemenin yapılabildiği bir temperleme fırını kullanılmıştır.

4.2.4. Çekme numunelerine uygulanan ısıt işlemler

4 mm kesit kalınlığına sahip numuneler üzerinde üretilen mikroyapılar kesit kalınlığı daha büyük olan çekme numuneleri (Şekil 4.10) üzerinde de üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çekme numuneleri üzerinde izlenen aynı ısıt işlem sırası izlenmiştir.

4.3. Metalografik Çalışmalar

Isıt işlem uygulanan 12x12x4mm boyutlarındaki numuneler standart metalografik yöntemlerle (zımparalama + parlatma) metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Isıt işlem sırasında numune yüzeyinde oluşabilecek dekarbürize bölgesinin en az 0.5 mm kalınlıktaki kısmı metalografik inceleme sonuçlarını etkilememesi için yüzeyden taşlanarak uzaklaştırılmıştır. Dağlayıcı olarak % 2 Nital (% 2 HNO₃ + % 98 C₂H₅OH) kullanılmıştır.

Martenzit hacim oranlarının hesaplanmasında Eşitlik 4.1'de verilen çizgisel kesişme metodu kullanılmıştır. 70 büyütmede 10 ayrı bölgeden ölçüm alınmıştır. Birim alana düşen grafit küre sayısı dağlanmamış numune yüzeyinde 100 büyütmede numunenin 10 ayrı bölgesinden resim alınarak hesaplanmıştır.

$$V_{faz} = \frac{L_{faz}}{L_T} \quad [4.1]$$

V_{faz} : Faz hacim oranı

L_{faz} : Fazı kesen toplam çizgi uzunluğu(mm)

L_T : Çizilen toplam çizgi uzunluğu

Aynı mikrograflar üzerinde martensit partükül boyutunu hesaplamak için Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3 kullanılmıştır (46)

$$D_{MLI} = \frac{L_T \cdot V_{faz}}{N_p \cdot M} \quad [4.2]$$

D_{MLI} : Çizgisel kesişme uzunluğu (mm)

L_T : Toplam çizgi uzunluğu (500mm)

V_{faz} : Ölçülen fazın hacim oranı

M : Büyütme oranı

N_p : Çizgilerin fazı kesen noktalarının sayısı

$$D = D_{MLI} \times 1,766 \quad [4.3]$$

D : Fazın ortalama tane boyutu (μm)

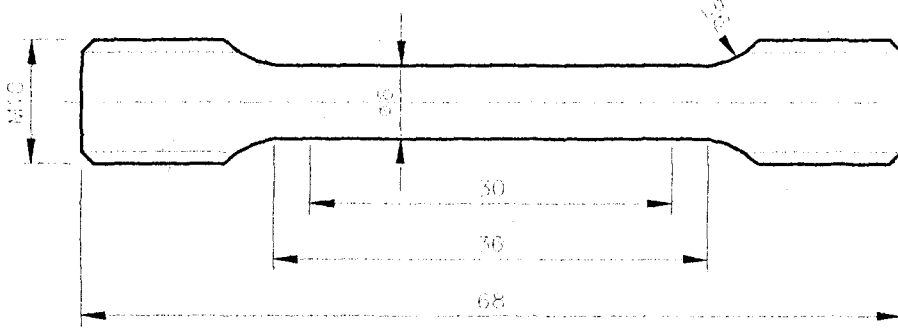
Bütün mikroyapıların görüntülenmesinde Panasonic marka dijital kamera bağlantılı Prior marka optik mikroskop kullanılmıştır.

4.4. Çekme Deneyi

Çekme deneyleri için kullanılan numune boyutları Şekil 4.10'da verilmiştir. Çekme numuneleri boyutları ASTM E8 M standardı (47) baz alınarak hazırlanmıştır. Çekme numuneleri Şekil 4.1'de Y-blok üzerinde gösterilen bölgelerden alınmıştır. Çekme numuneleri üzerinde ısıt işlemler sırasında dekarbürize olan bölgeleri uzaklaştırmak için gerekli işleme payları bırakılmıştır.

Çekme deneyleri Ostim KOSGEB'de DARTEC marka 20 ton çekme ve basma kapasitesine sahip üniversal test cihazında yapılmıştır. Bütün deneylerde hareketli başlık hızı 0,5 mm/dk olarak seçilmiştir. Gerilme ve % uzama değerleri deney sırasında çekme cihazına bağlı otomatik kaydediciden grafik olarak elde edilmiştir.

Aynı grup numunelerden (seriden) en az 5 numune deneye tabi tutulmuştur ve deney sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 4.10. Çekme numunesi

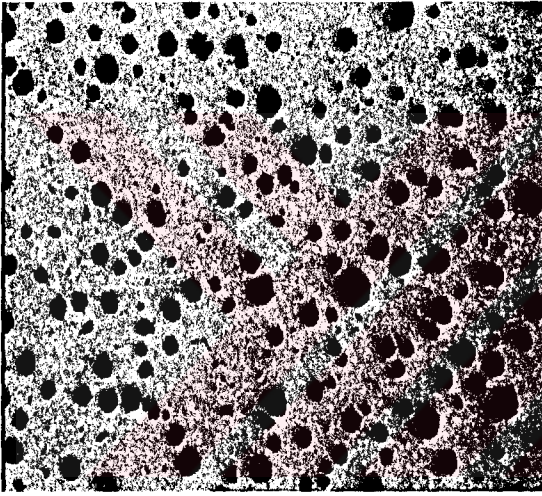
4.5. Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümlerinde Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Malzeme Eğitimi Anabilim Dalında Instron Wolpert marka Diatestor 7551 tipi sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz kalibrasyon bloku ile kalibre edildikten sonra numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Aynı numune için 10 değişik noktadan ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Sertlik ölçüm metodu olarak Vickers (5 kgf yükte elmas pramit uç) sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır.

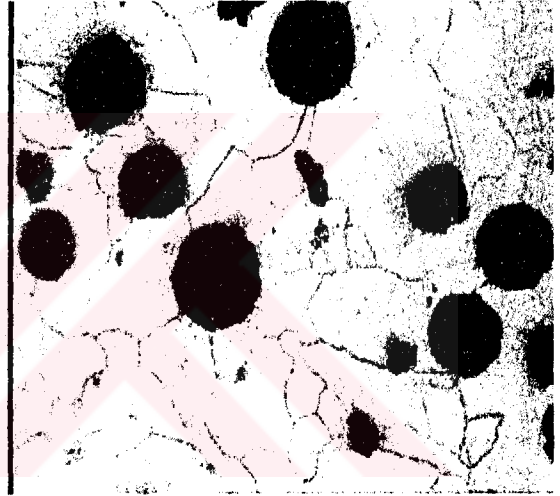
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Döküm Şartlarında % 3.5 C, % 2.63 Si, 0,0471 Mg ve %0.318 Mn Bileşime Sahip Küresel Grafitli Dökme Demirin Mikroyapısı

% 3.5 C, % 2.63 Si, 0,0471 Mg ve %0.318 Mn bileşime sahip küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı Resim 5.1.a.'da ve Resim 5.1.b.'de gösterilmiştir. Döküm parçanın mikroyapısı tamamen ferrit matris ve içerisinde farklı boyutlarda dağılmış küre şeklindeki grafitlerden oluşmaktadır.



Resim 5.1.-a. Dökülmüş şartlarda % 3.5 C, % 2.63 Si, 0,0471 Mg ve %0.318 Mn bileşimine sahip KGDD'in mikroyapısı (Dağlamasız) X100

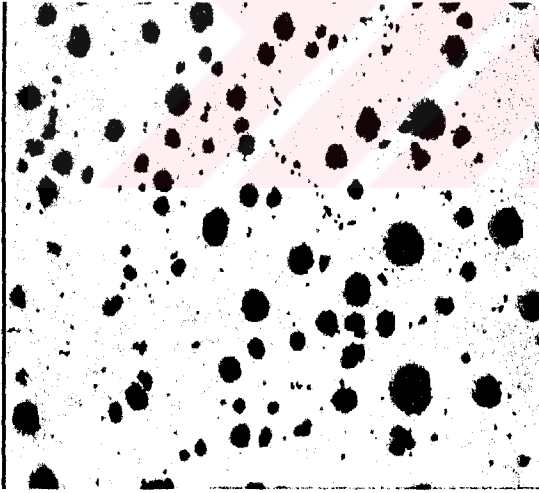


Resim 5.1.-b. Dökülmüş şartlarda % 3.5 C, % 2.63 Si, 0,0471 Mg ve %0.318 Mn bileşimine sahip KGDD'in mikroyapısı (% 2 Nital ile dağlanmış) X400

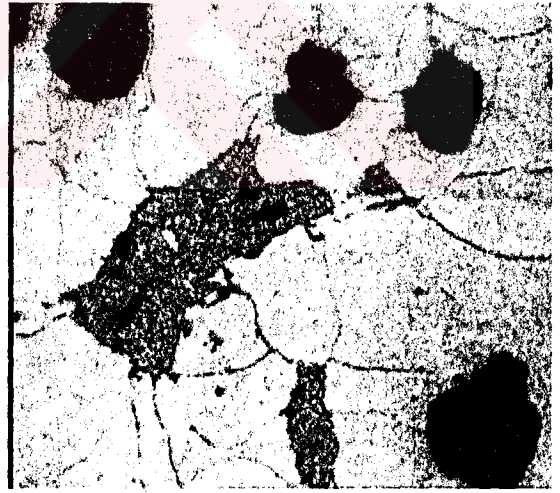
5.2. Değişik Sıcaklıklarda Kısmi Östenitlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Mikroyapıları

Dökülmüş şartlardaki KGDD numunelerin bir kısmına kısmi östenitleme işlemi farklı sıcaklıklarda (792 °C, 805 °C, 815 °C, 900 °C'de) 30 sn süre ile uygulanmış ve oda sıcaklığındaki yağda soğutulmuştur. Aynı kimyasal bileşime sahip diğer numunelere 900 °C'de 20 dakika süre ile östenitlemenin ardından oda sıcaklığındaki yağda soğutulduktan sonra yukarıda açıklanan kısmi östenitleme işlemine tabi tutulmuş ve yağda soğutulmuştur.

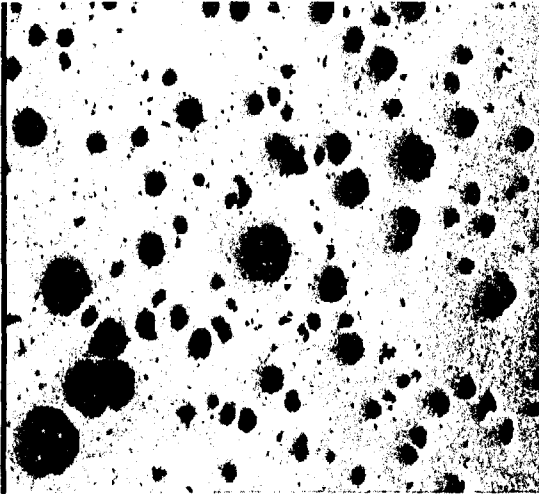
Resim 5.2.a-b'de 792 °C'de 30 sn kısmi östenitleme ısıl işlemine tabi tutulmuş KGDD numunelerin (792 S) mikroyapısında ferrit matris (açık renk) içinde küresel grafitler (siyah renk) martensit (koyu renk) parçacıkları görülmektedir. Oluşan martensit homojen olarak dağılmamış ve daha çok tane sınırlarında yoğunlaşmıştır.



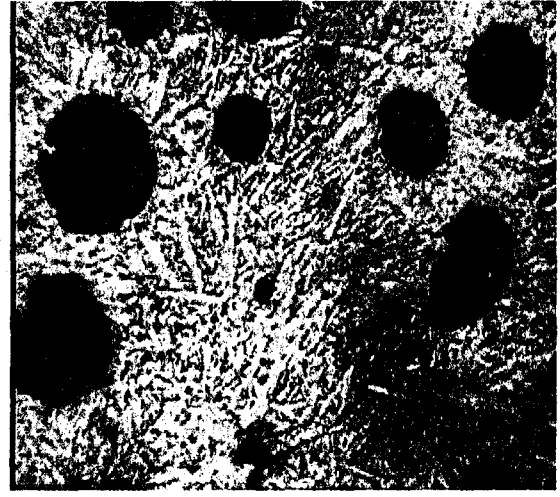
Resim 5.2.-a. 792 S numunesinin mikroyapısı dağlamasız X 100



Resim 5.2.- b. 792 S dağlanmış numunesinin mikroyapısı (% 2Nital) X400



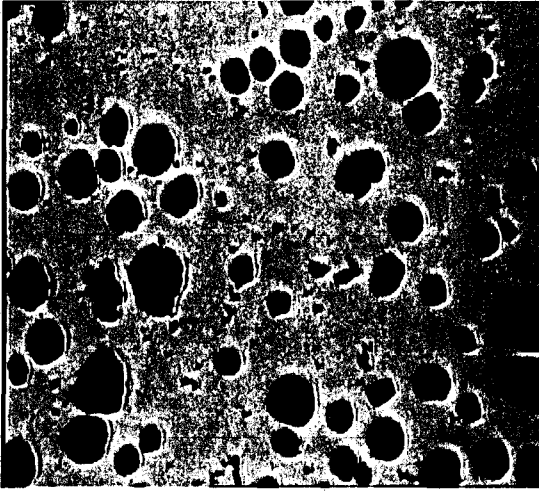
Resim 5.2.-c. 792 SS dağlamasız X100

Resim 5.2.-d. 792 SS dağlanmış
(% 2Nital) X400

Numunelerin 900 °C’de 20 dakika tavlama ısıl işlemini takiben aynı şartlarda kısmi östenitleme işlemine tabi tutulması ferrit matriste dağılmış küresel grafitleri ve homojen şekilde dağılmış % 20 hacim oranında martensit partikül meydana getirmiştir, Resim 5.2c-d. Martensitin homojen şekilde dağılmasının ilk östenitleme ve su verme sonrası oluşan martensit plaka sınırlarının östenitin çekirdeklenmesi için uygun bölgeleri artırmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

Bütün numunelerde kısmi östenitleme sıcaklığı arttıkça mikroyapıda martensit hacim oranının da arttığı tesbit edilmiştir. Martensit hacim oranı 805 °C’de % 40 (Resim 3a-b), 815 °C’de % 50 (Resim 5.4.a-b), 900 °C’de % 80 olmuştur. 900 S numunlerinde 900°C’de numuneler tek fazlı γ (östenit) bölgesinde tavlanaasına rağmen su verme ile matris yapıda % 100 martensit elde edilememiştir. Bunun nedeni östenitleme süresinin yeterli olmamasıdır. Sıcaklığın artması ile birlikte grafit kürelerinin de büyüdüğü gözlenmiştir.

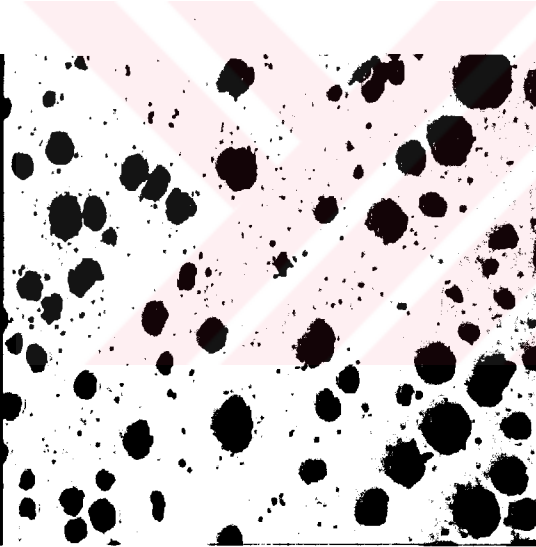
Numunelerin 900 °C’de 20 dakika tavlama ısıl işlemini takiben yukarıda açıklanan aynı kısmi östenitleme ısıl işlemine tabi tutulması martensit morfolojisini inceltmiştir. Martensit hacim oranında ise herhangi bir değışiklik gözlenmemiştir.



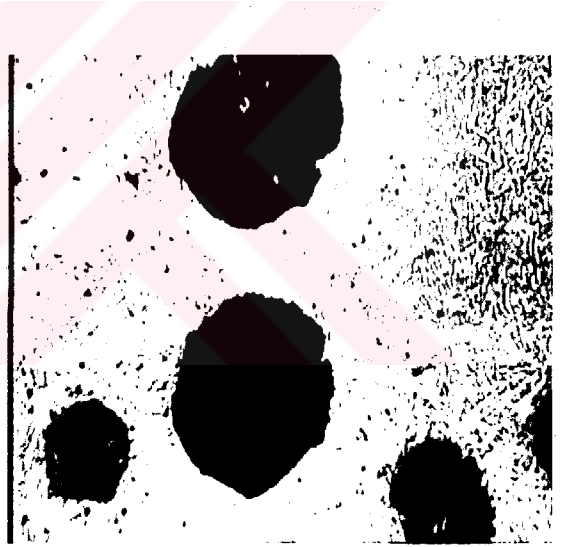
Resim 5.3.-a. 805 S dağlanmamış X 100



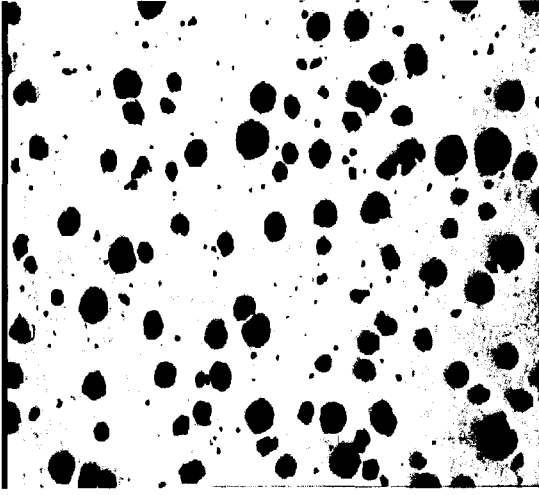
Resim 5.3.-b. 805 S dağlanmış
(% 2 Nital) X400



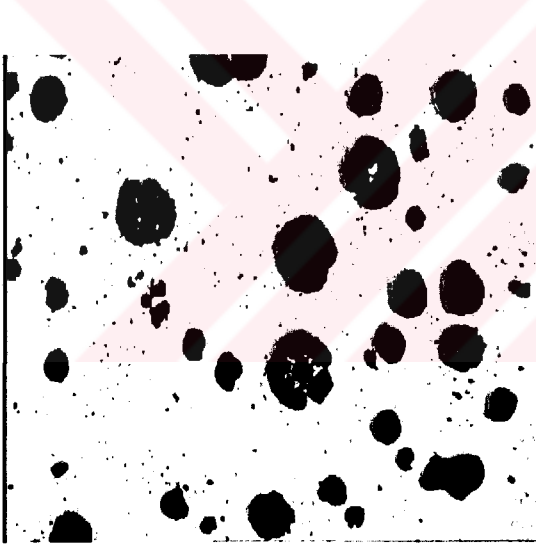
Resim 5.3.-c. 805 SS dağlanmamış X 100



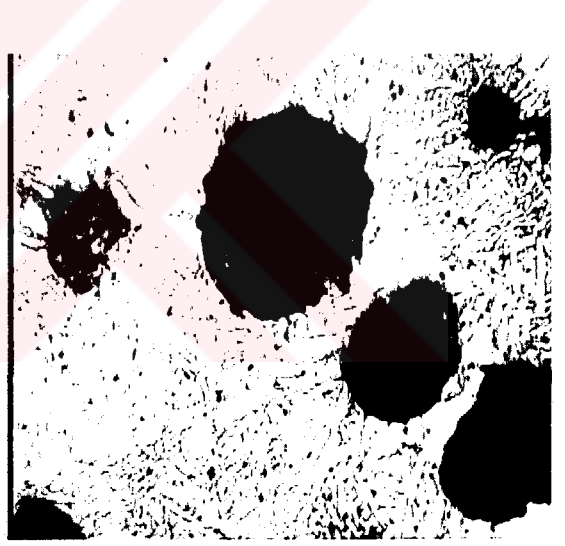
Resim 5.3.-d. 805 SS dağlanmış
(% 2 Nital) X400



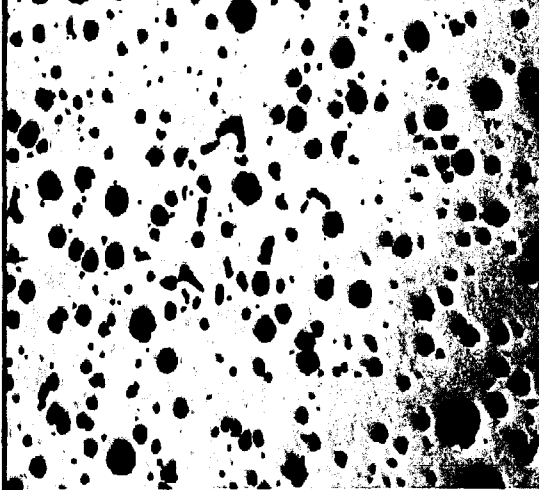
Resim 5.4.-a. 815 S dağlanmamış X 100

Resim 5.4.-b. 815 S dağlanmış
(% 2 Nital) X400

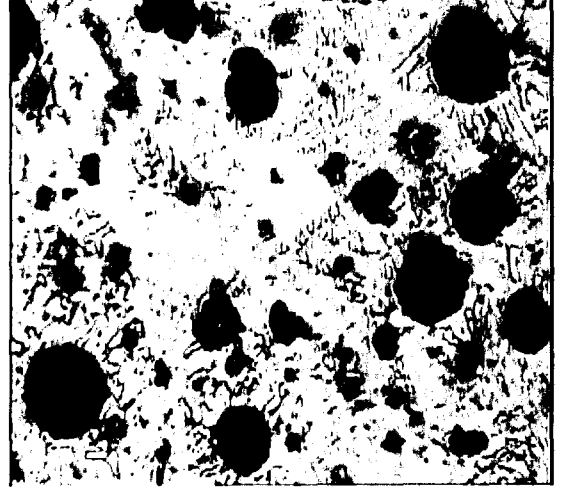
Resim 5.4.-c. 815 SS dağlanmamış X 100

Resim 5.4.-d. 815 SS dağlanmış
(% 2 Nital) X400

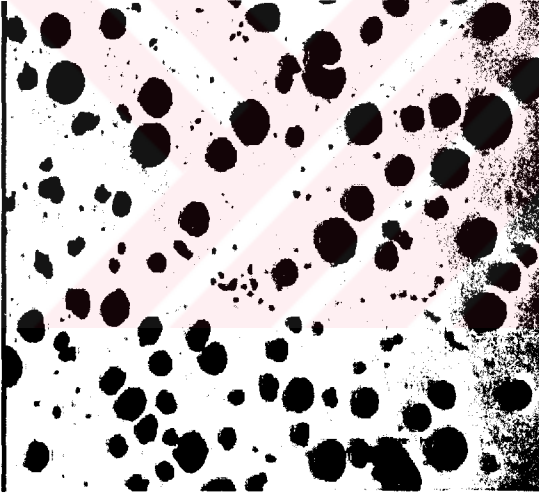
Kısmi östenitleme ısııl işlemeine tabi tutulmamış ve yalnız 900 °C'de 20 dakika tavlama ısııl işlemei uygulanmış numunede % 82 hacim oranına sahip martensit elde edilmiştir, Resim 5.5.e-f. S ısııl işlemei kaba, SS ısııl işlemei ince martensit yapı üretmiştir.



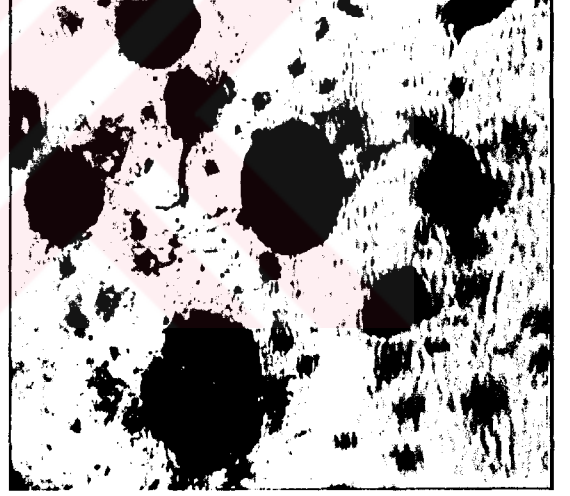
Resim 5.5.-a. 900 S dağlanmamış X 100



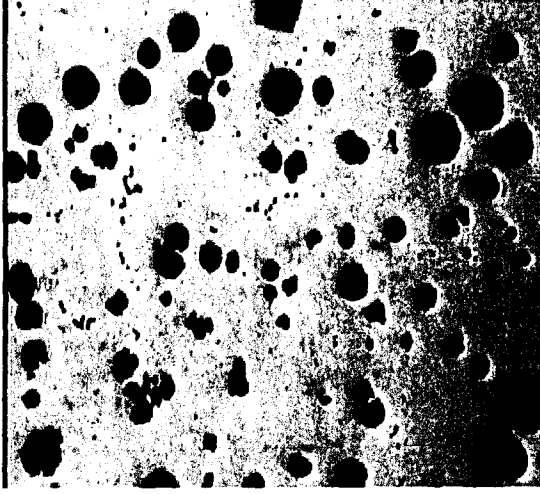
Resim 5.5.-b. 900 S dağlanmış
(% 2 Nital) X400



Resim 5.5.-c. 900 SS dağlanmamış X 100



Resim 5.5.-d. 900 SS dağlanmış
(% 2 Nital) X400



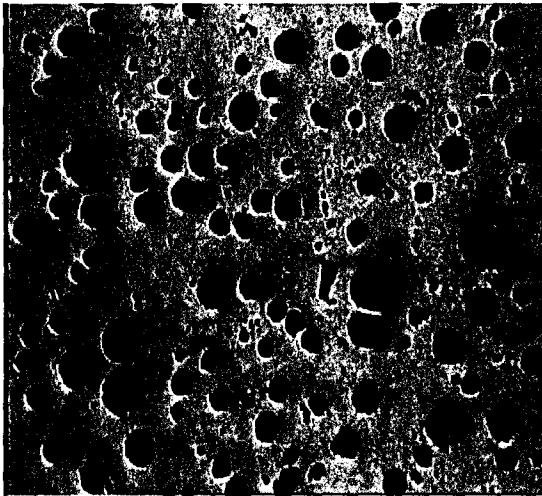
Resim 5.5.-e. 900 G d ğlanmamış X 100



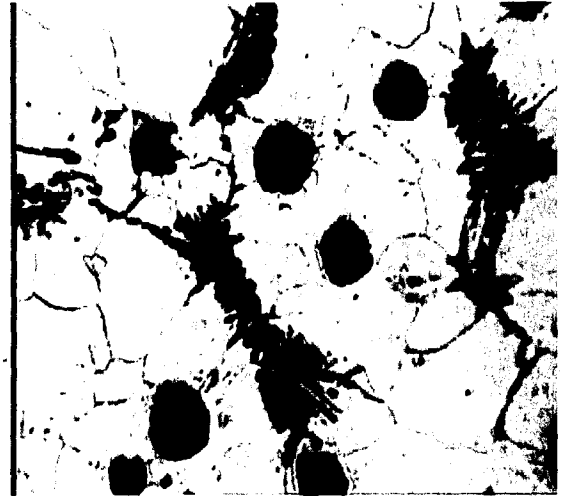
Resim 5.5.-f. 900 G d ğlanmış
(% 2 Nital) X400

5.2.1. Değışik sıcaklıklarda kısmi östenitlenmiş ve temperlenmiş küresel grafitli dökme demir numunelerin mikroyapıları

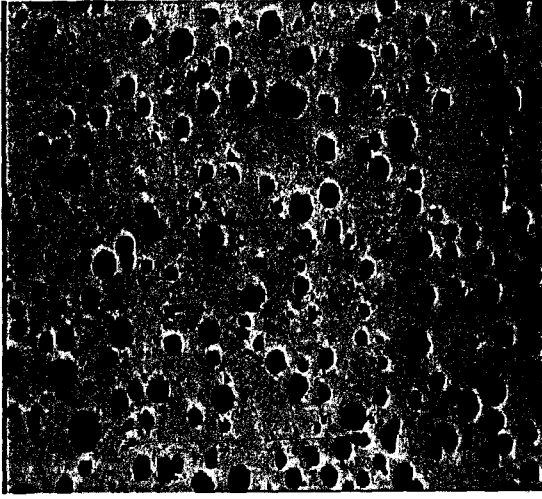
Temperleme ısııl işlemi yapılmış numunelerde ve özellikle 3 saat temperlenen numunelerde ikincil grafitleşme meydana gelmiştir, ikincil grafitleşme Resim 5.6-5.9'da gösterilmiştir.



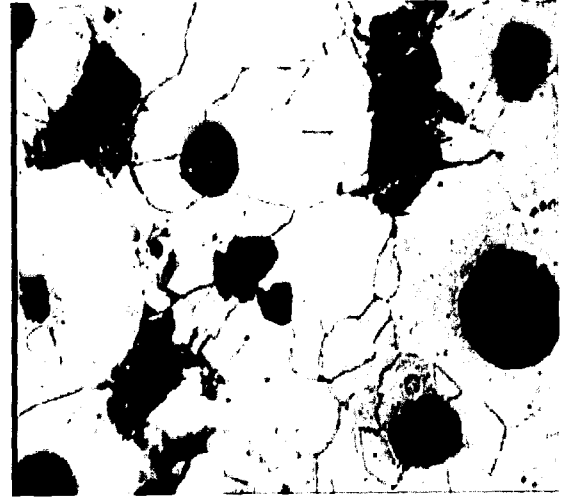
Resim 5.6.-a. 792 S T1 d ğlanmamış
X 100



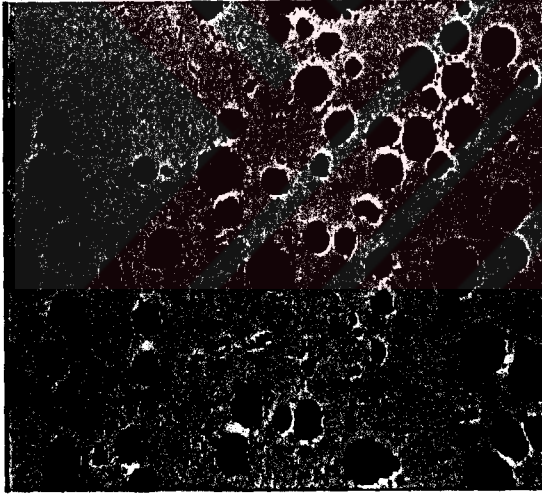
Resim 5.6.-b. 792 S T1 d ğlanmış
(% 2 Nital) X 400



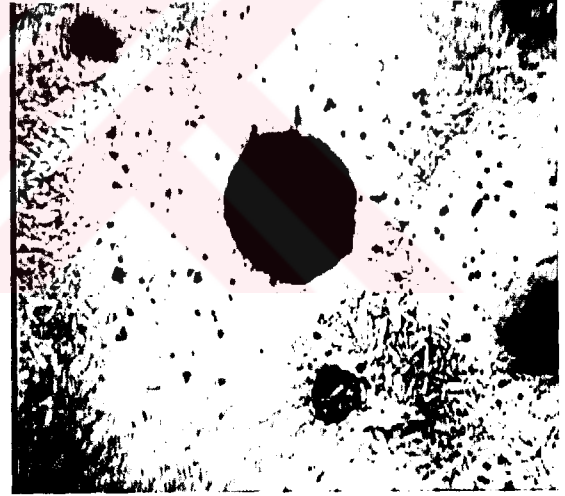
Resim 5.6.-c. 792 S T3
dağlanmamış X 100



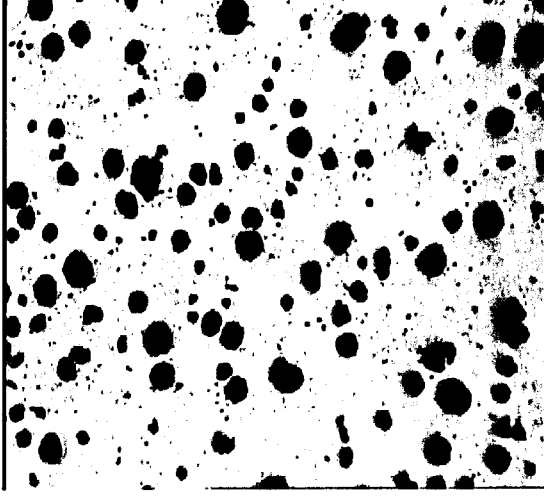
Resim 5.6.-d. 792 S T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



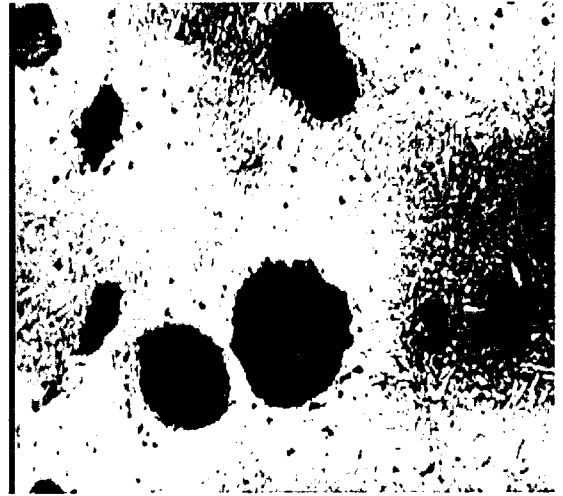
Resim 5.6.-e. 792 SS T1
dağlanmamış X 100



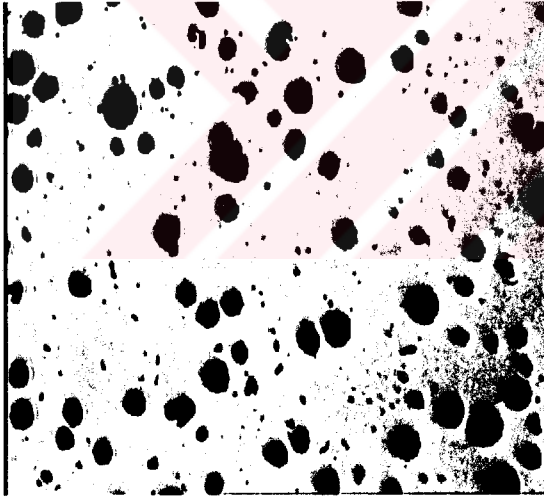
Resim 5.6.-f. 792 SS T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



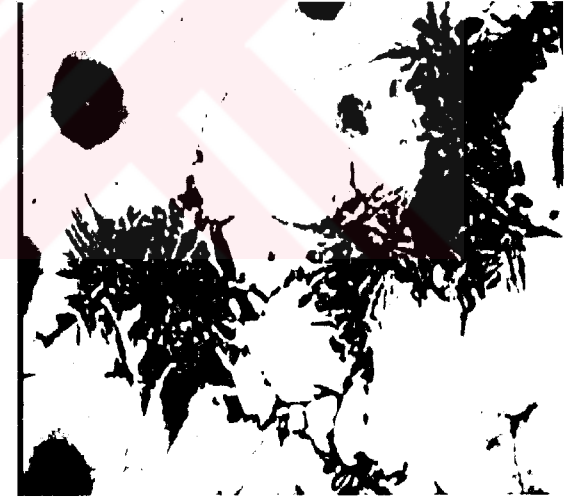
Resim 5.6.-g. 792 SS T3 dağlanmamış
X 100



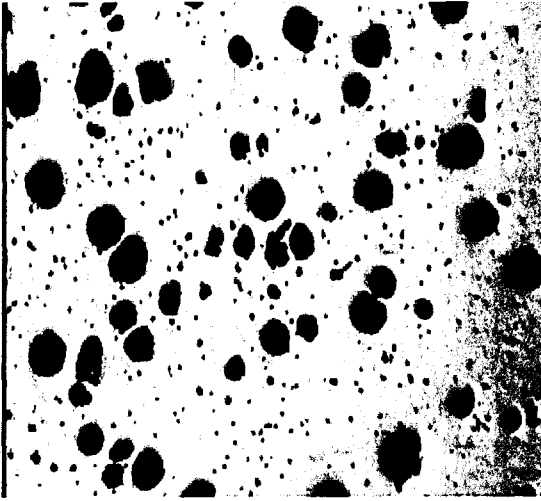
Resim 5.6.-h. 792 SS T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



Resim 5.7.-a. 805 S T1 dağlanmamış
X 100



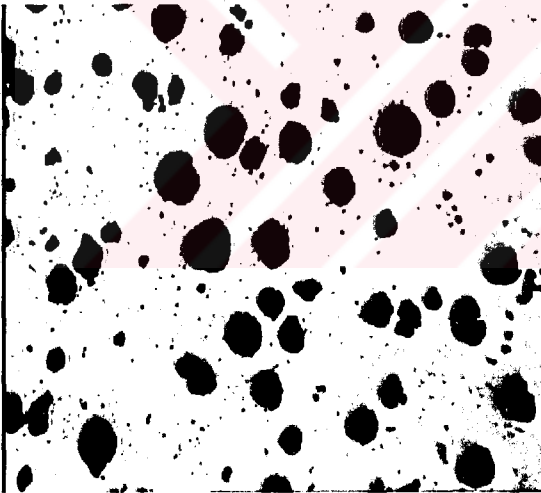
Resim 5.7.-b. 805 S T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



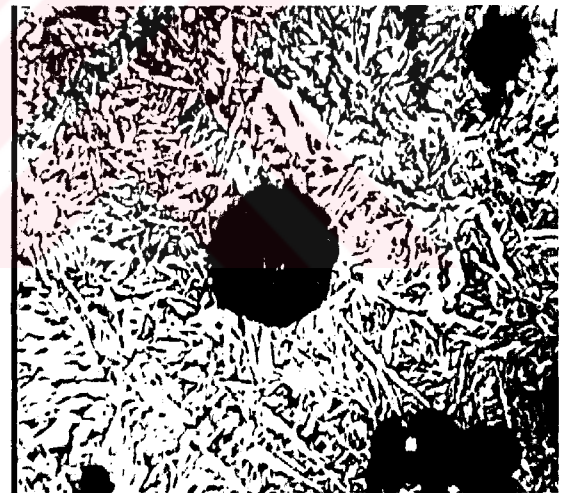
Resim 5.7.-c. 805 S T3
dağlanmamış X 100



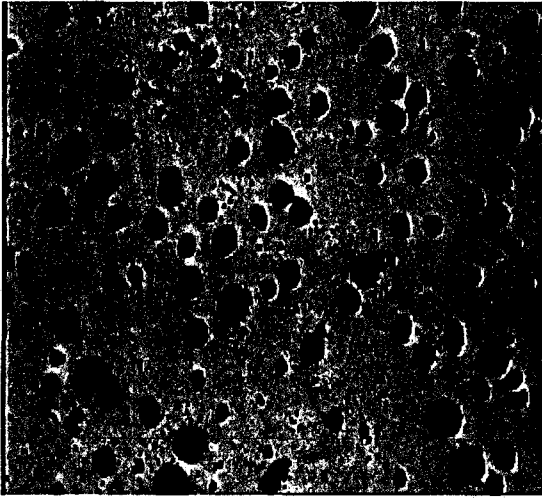
Resim 5.7.-d. 805 S T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



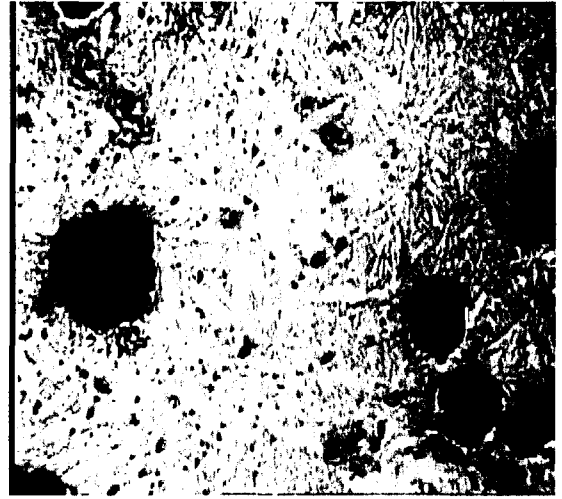
Resim 5.7.-e. 805 SS T1 dağlanmamış
X 100



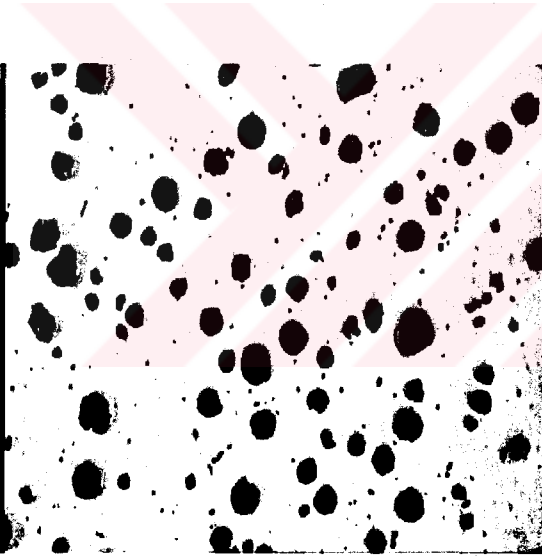
Resim 5.7.-f. 805 SS T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



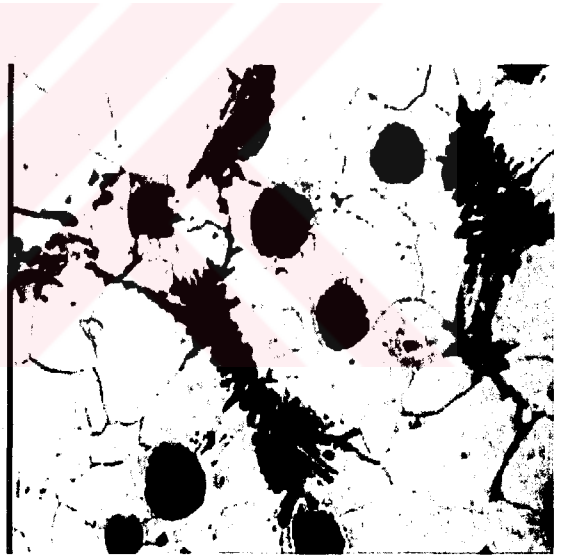
Resim 5.7.-g. 805 SS T3 dağlanmamış
X 100



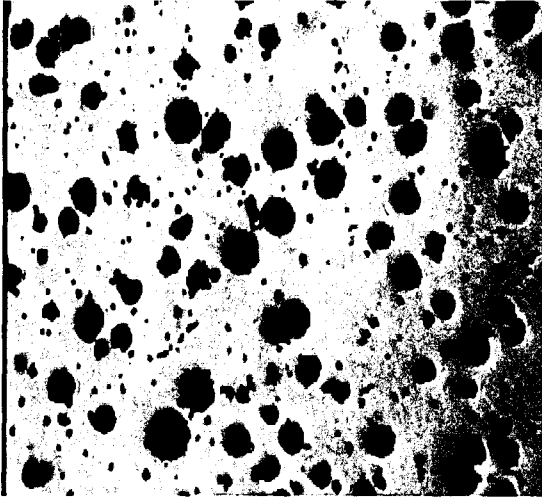
Resim 5.7.-h. 805 SS T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



Resim 5.8.-a. 815 S T1 dağlanmamış
X 100



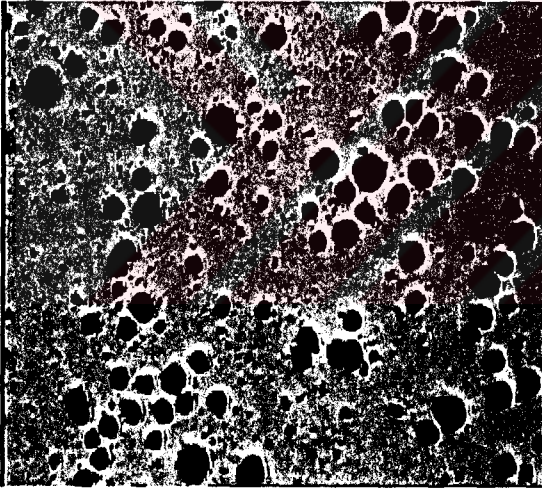
Resim 5.8.-b. 815 S T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



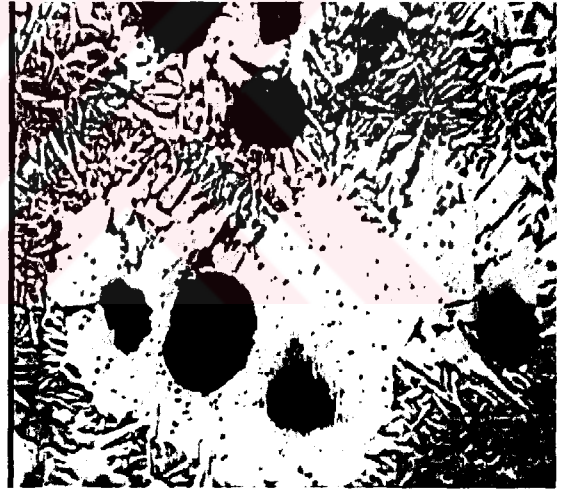
Resim 5.8.-c. 815 S T3 dağlanmamış
X 100



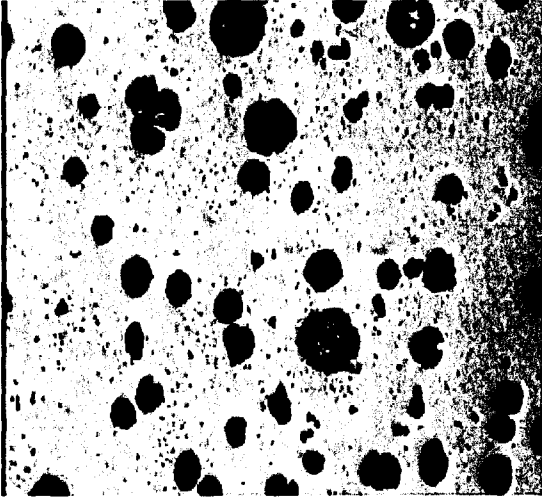
Resim 5.8.-d. 815 S T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



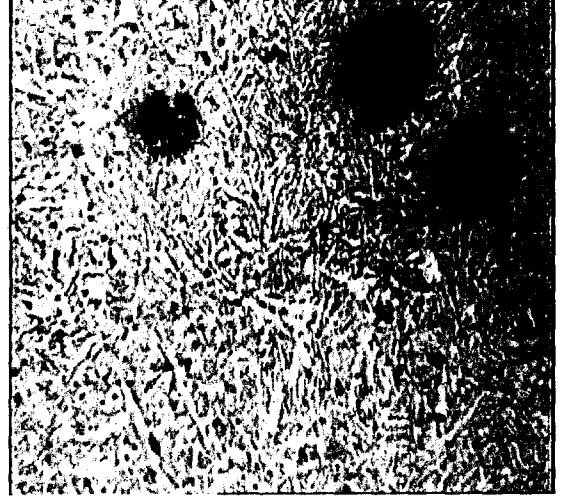
Resim 5.8.-e. 815 SS T1 dağlanmamış
X 100



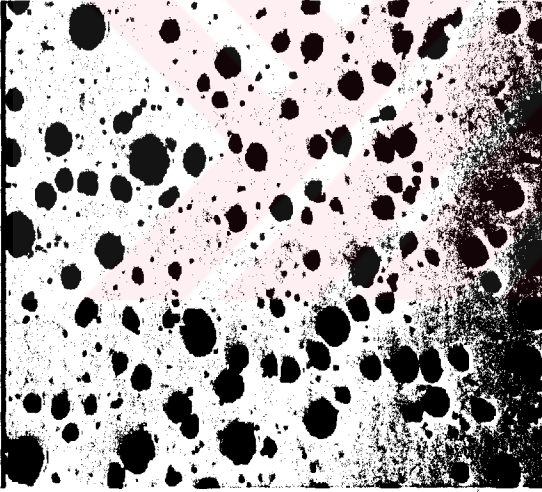
Resim 5.8.-f. 815 SS T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



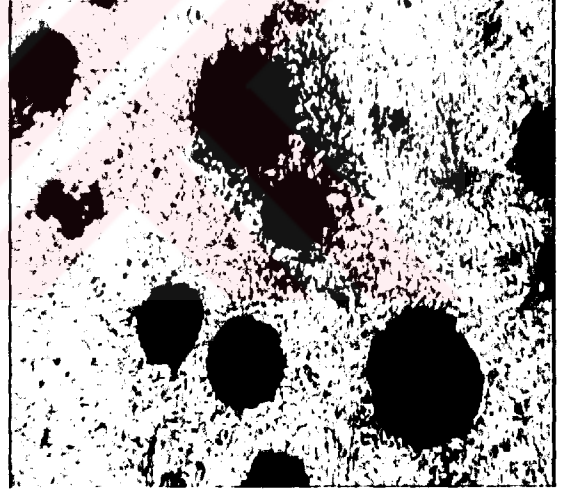
Resim 5.8.-g. 815 SS T3 dağlanmamış
X 100



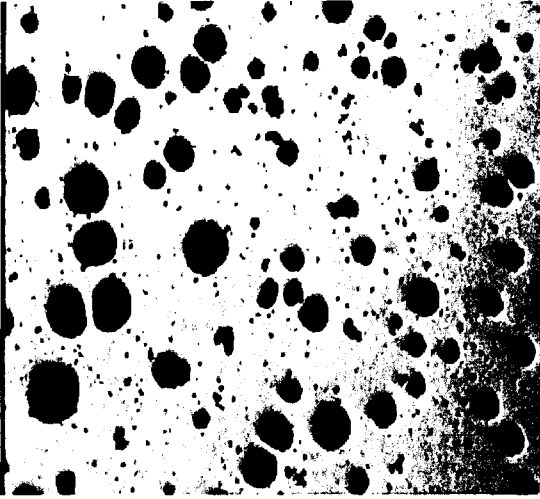
Resim 5.8.-h. 815 SS T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



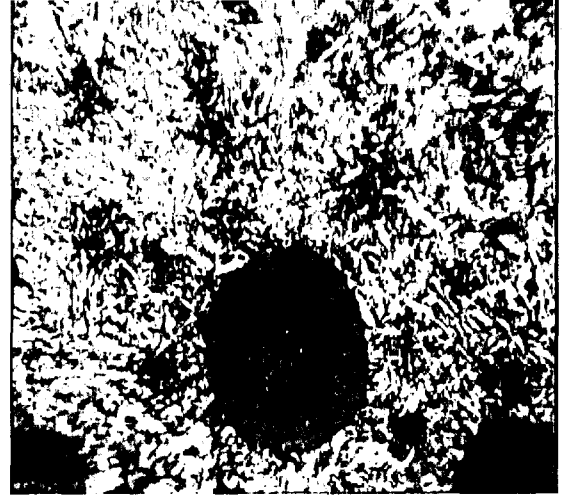
Resim 5.9.-a. 900 S T1 dağlanmamış
X 100



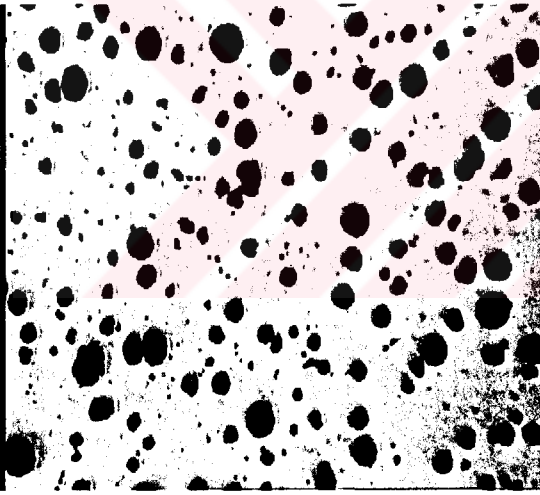
Resim 5.9.-b. 900 S T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



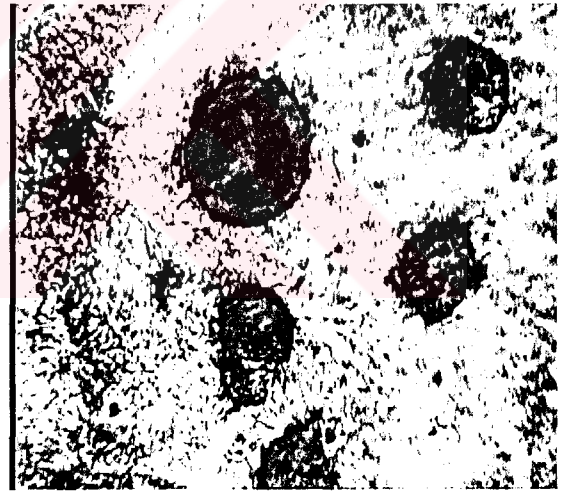
Resim 5.9.-c. 900 S T3 dağlanmamış
X 100



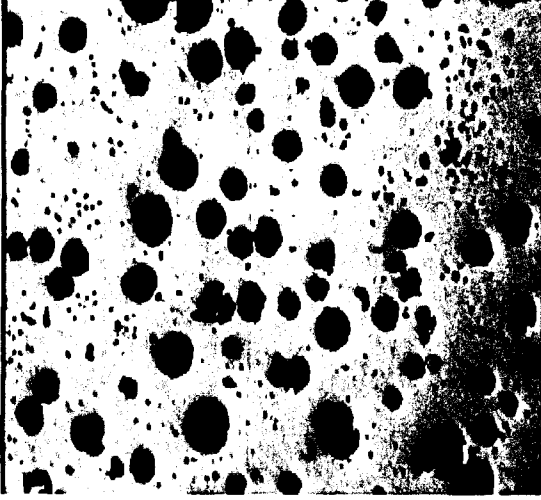
Resim 5.9.-d. 900 S T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



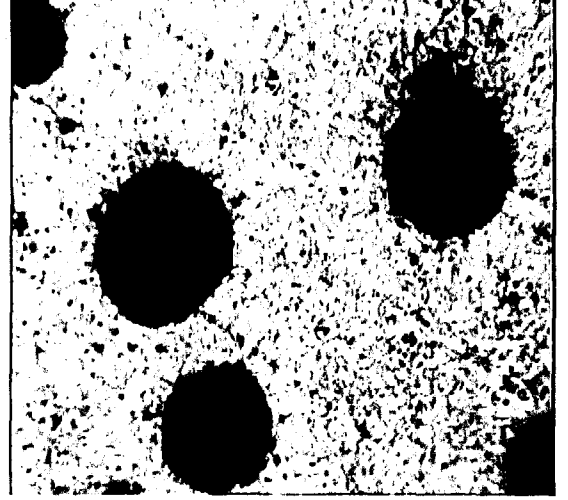
Resim 5.9.-e. 900 SS T1 dağlanmamış
X 100



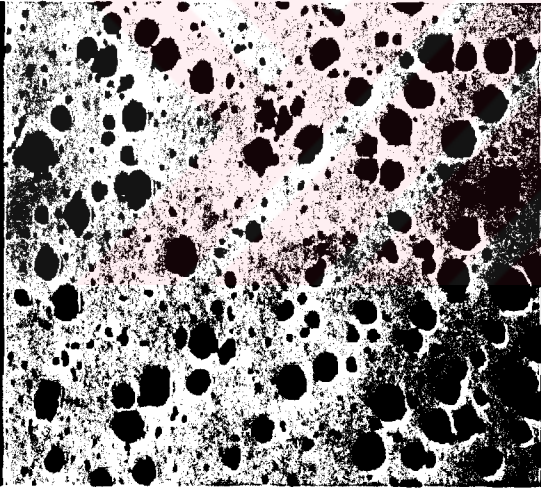
Resim 5.9.-f. 900 SS T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



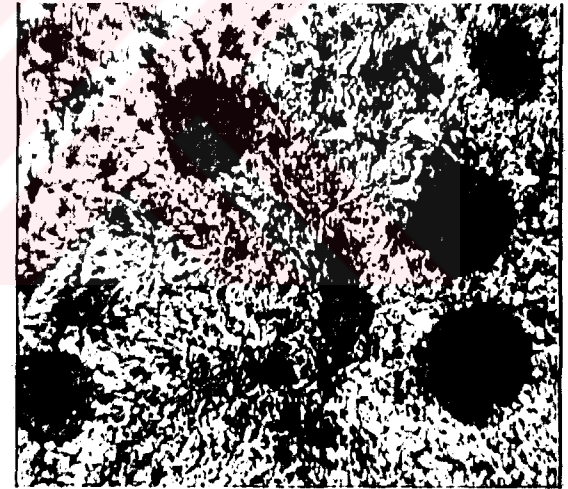
Resim 5.9.-g. 900 SS T3 dağlanmamış
X 100



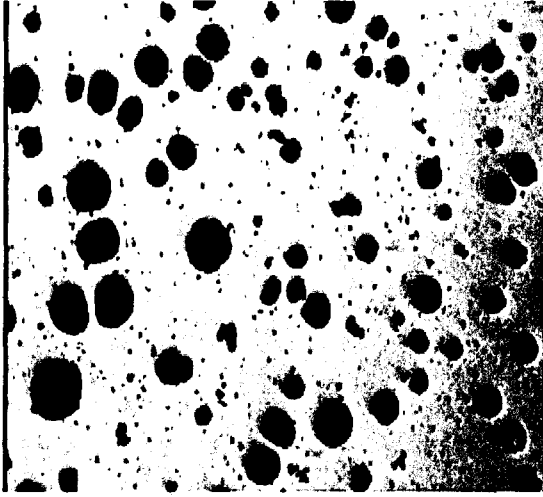
Resim 5.9.-h. 900 SS T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400



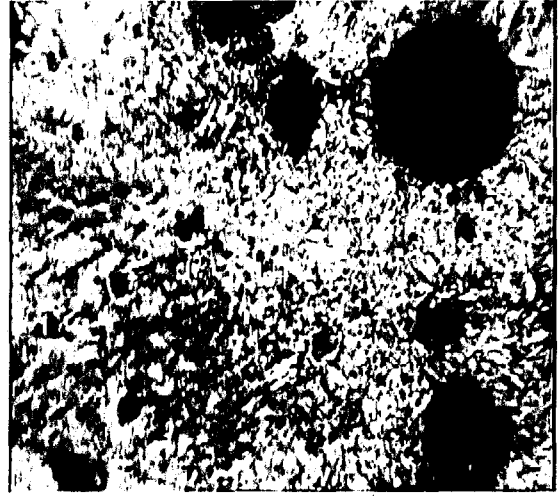
Resim 5.9.-ı. 900 G T1 dağlanmamış
X 100



Resim 5.9.-i. 900 G T1 dağlanmış
(% 2 Nital) X 400



Resim 5.9.-j. 900 G T3 dağlanmamış
X 100



Resim 5.9.-k. 900 G T3 dağlanmış
(% 2 Nital) X400

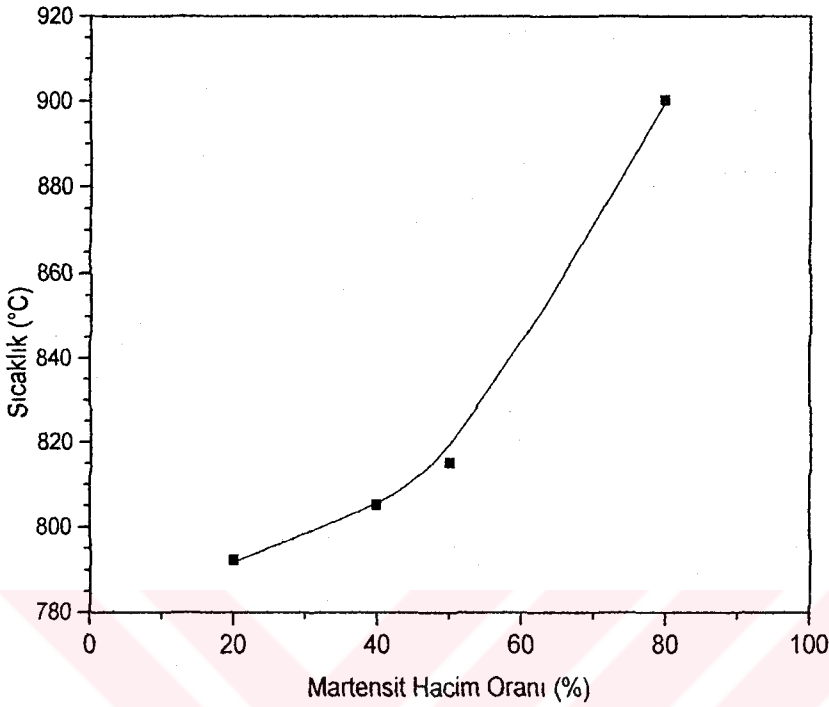
5.3. Kantitatif Sonuçlar

5.3.1. Kısmi östenitleme ısı işleminin martensit hacim oranına etkisi

% 3,5 C, % 2,63 Si ve % 0,318 Mn kimyasal bileşimine sahip küresel grafitli dökme demir alaşımının 30 sn süre ile 792°C, 805°C, 815°C, 900 °C sıcaklıklarda kısmi östenitleme işleminin martensit hacim oranındaki etkisi kantitatif olarak tesbit edilmiştir. Kısmi östenitleme işleminde farklı sıcaklıkların martensit hacim oranına etkisi Çizelge 5.1’de ve Şekil 5.1’de verilmiştir. Kısmi östenitleme sıcaklığı arttıkça martensit hacim oranı da artmıştır. Martensit hacim oranı 792 S ve 792 SS’de % 20 iken 900 S ve 900 SS ‘de %80’e yükselmiştir. 900 G ısı işleminde ise % 82 martensit hacim oranı elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney numunelerine uygulanan S ve SS ve G ısı işlemlerinin martensit hacim oranına etkisi

Östenitleme sıcaklığı (°C) ve	792 S ve 792 SS	805 S ve 805 SS	815 S ve 815 SS	900 S ve 900 SS	900 G
MHO (%)	20	40	50	80	82



Şekil 5.1. S ve SS numunelerinde martensit hacim oranının sıcaklığa bağlı olarak değişimi

5.3.2. Kısmi östenitleme ısıl işleminin martensit partikül boyutuna etkisi

KGDD numunelerine uygulanan S ve SS ısıl işlemlerinin martensit partikül boyutuna etkisi 500 büyütme kullanılan optik mikroskoplarda incelenmiştir. Farklı S ve SS ısıl işlemlerinin ürettiği partikül boyutu Çizelge 5.2’de verilmiştir. Kısmi östenitleme sıcaklığındaki artış martensit partikül boyutunu arttırmıştır, Şekil 5.2. 792 S ısıl işlemi 10,95 μm , 805 S 13,99 μm , 815 S 15,57 μm martensit partikül boyutu meydana getirirken, SS ısıl işlemi ile hedeflenen partikül boyutu düşürülmesi sağlanmış ve 792 SS 0,459 μm , 805 SS 2,61 μm , 815 SS 2,96 μm , olarak ölçülmüştür.

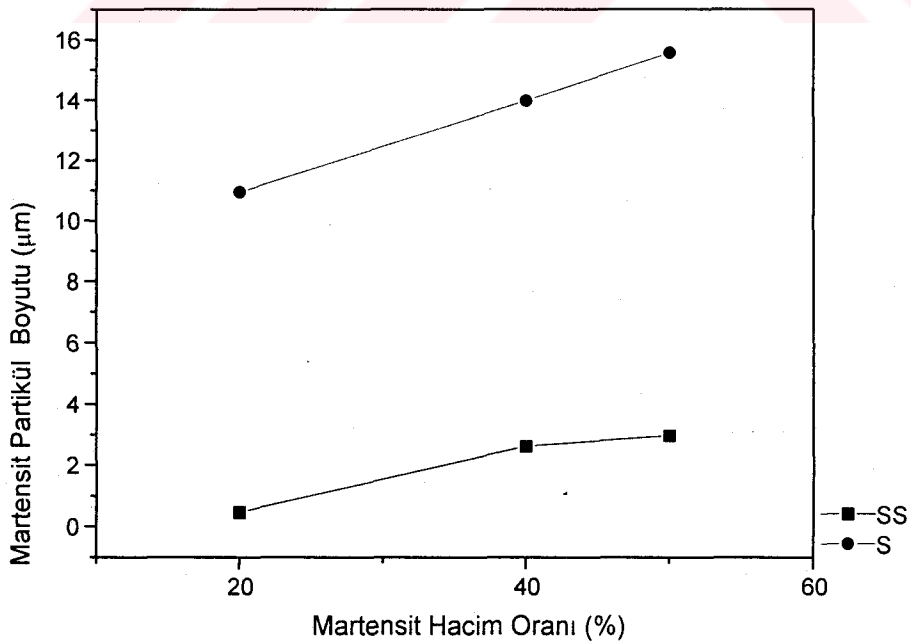
Daha önce martensit partikül boyutu ile ilgili bir çalışmaya literatürde taramasında rastlanılmamıştır. 900 S, 900 SS, 900G kodlu numunelerde parçacık boyutu hesabı optik mikroskoptaki büyütmenin yetersiz olması nedeniyle yapılamamıştır.

boyutu hesabı optik mikroskoptaki büyütmenin yetersiz olması nedeniyle yapılamamıştır.

Çizelge 5.2. Deney numunelerine uygulanan S ve SS ısıt işlemleri sonucunda martensit partikül boyutundaki değişim

Martensit Hacim Oranı (%)	S Kodlu Numunelerin Partikül Boyutu (μm)	SS Kodlu Numunelerin Partikül Boyutu (μm)
20	0,459	10,95
40	2,61	13,98
50	2,96	15,57

Martensit hacim oranı arttıkça numunelerin tamamında martensit partikül boyutunun arttığı görülmektedir, Şekil 5.2.



Şekil 5.2. Martensit hacim oranına bağlı olarak martensit partikül boyutundaki değişim

5.3.3. Küre hacim oranı hesabı ve küre sayısı

Dökülmüş haldeki KGDD’de grafit hacim oranı % 18 olarak ölçülmüştür. 100 büyütmede küre sayısı 308 adet/mm² olduğu tesbit edilmiştir.

5.4. Değişik Sıcaklıklarda Kısmi Östenitlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Mekanik Özellikleri

Geleneksel su verme (G), değişik kritik sıcaklıklarda kısmi östenitleme (S), geleneksel su verme ısıtma işlemi takiben değişik kritik sıcaklıklarda kısmi östenitleme işlemi (SS), S ve SS ısıtma işlemlerini takiben uygulanan (S T1 ve S T3) temperleme ısıtma işlemlerinin küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine olan etkisi Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Değişik Sıcaklıklarda Kısmi Östenitlenmiş, Temperlenmiş, Geleneksel Su verilmiş, Küresel Grafitli Dökme Demir Numunelerin Çekme Özellikleri

Numune Kodu	% Martensit Hacim Oranı	Akma Dayanımı (MPa)	Gerçek Çekme Dayanımı (MPa)	Mühendislik Çekme Dayanımı (MPa)	Gerçek % uzama	Mühendislik % uzama	Kesit Daralması	Hv Sertlik Değeri
İşlemsiz	-	286,5	491,8	416	20,001	22,152	26,68	153
792-S	20	451,5	623,8	577,5	11,987	11,613	17,48	183
792-S-T1	20	295	521,3	442	18,326	20,115	21,97	169
792-S-T3	20	290,5	490,6	428	18,439	20,075	24,89	164
792-SS	20	404	680,4	606	7,639	7,950	5,48	224
792-SS-T1	20	451,3	659,2	595	8,635	8,984	8,03	200
792-SS-T3	20	527	662	602,5	8,234	8,581	6,73	210
805-S	40	476	665	637,5	4,879	4,889	6,45	226
805-S-T1	40	360,5	546,6	489,5	1294	14,153	17,01	196
805-S-T3	40	282,5	526	465,5	14,149	15,199	17,32	182
805-SS	40	465,5	817	766	5,2	5,33	4,81	235
805-SS-T1	40	506	749,1	707,3	6,695	6,895	5,07	229
805-SS-T3	40	516,5	782,3	732,3	6,26	6,216	4,97	232
815-S	50	522	726,2	691	4,615	5	6,23	252
815-S-T1	50	451	685,3	645,5	7,852	8,133	12,68	244
815-S-T3	50	407	625,6	572,5	10,894	11,516	15,78	197
815-SS	50	485,5	824,5	784	4,938	5,066	4,52	264
815-SS-T1	50	512,5	760	712,5	6,589	6,311	4,87	255
815-SS-T3	50	555	807,1	758,5	6,179	6,199	4,63	260
900-S	80	1090,7	1287,8	1278,75	1,238	1,26	1,32	632
900-S-T1	80	1034,5	1230,5	1226,4	1,748	1,762	3,24	414
900-S-T3	80	928,6	1157,2	1142,5	1,796	1,812	3,51	381
900-SS	80	1203,7	1341,4	1326,7	1,112	1,198	1,24	686
900-SS-T1	80	1143,5	1296,7	1279,5	1,613	1,641	3,29	418
900-SS-T3	80	1033	1210	1192,5	1,641	1,674	3,07	385
900-G	82	1156,2	1321,2	1317,2	1,125	1,21	1,28	651
900-G-T1	82	1106	1278,2	1276,5	1,685	1,699	3,13	417
900-G-T3	82	967,5	1202	1187,5	1,699	1,718	3,34	394

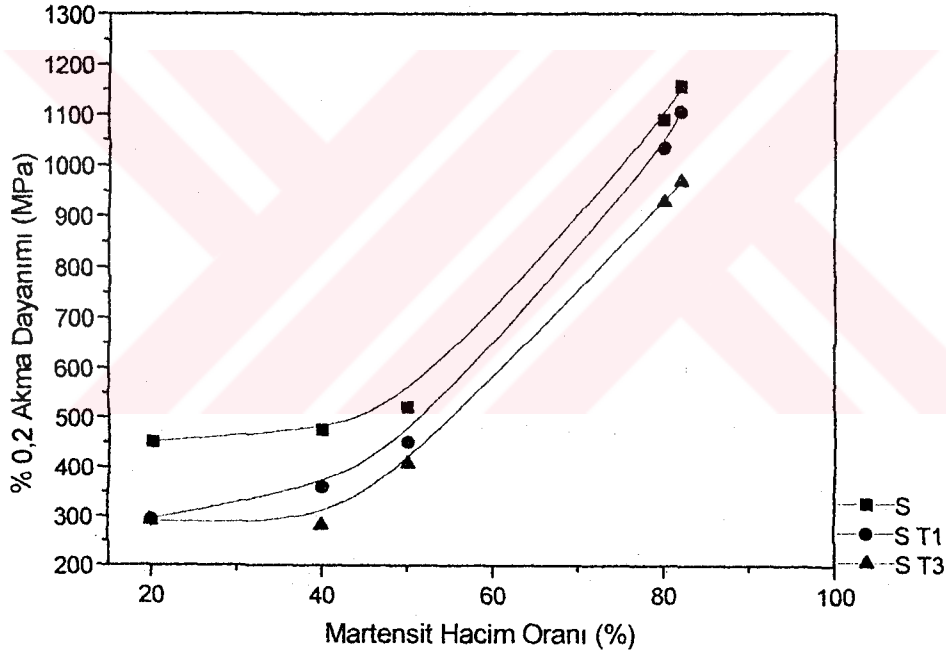
5.4.1. Martensit hacim oranının % 0,2 akma dayanımına etkisi

Şekil 5.3' de kaba morfolojiye sahip (S ısıt işlemleri) ve Şekil 5.4'de ince morfolojiye sahip (SS ısıt işlemleri) numunelerin % 0,2 akma dayanımları ve martensit hacim oranları arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 5.4-5, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de görüldüğü üzere S ve SS numunelerde martensit hacim oranı (MHO) arttıkça akma dayanımı yükselmiştir. 792 S ısıt işleminin meydana getirdiği % 20 MHO 451,5 MPa akma dayanımı verirken 900 S ısıt işleminin sonucu oluşan % 80 MHO da akma dayanımını 1090,7 MPa'ya yükseltmiştir. Akma dayanımı özellikle % 50 MHO'nın üzerinde hızlı bir şekilde artmış, ancak bu artış % 80 MHO'nı üzerindeki MHO'larında (% 82) yavaşlamıştır. Geleneksel su verme işleminde (G) oluşan % 82 MHO 1156,24 MPa akma dayanımı sağlanmıştır.

Çizelge 5.4. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin akma dayanımına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Akma Dayanımı (MPa)					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	451,5	295	290,5	-	-	-
805	40	476	360,5	282,5	-	-	-
815	50	522	451	407	-	-	-
900	80	1090,50	1034,5	928,6	-	-	-
900	82	-	-	-	1156,2	1106	967,5

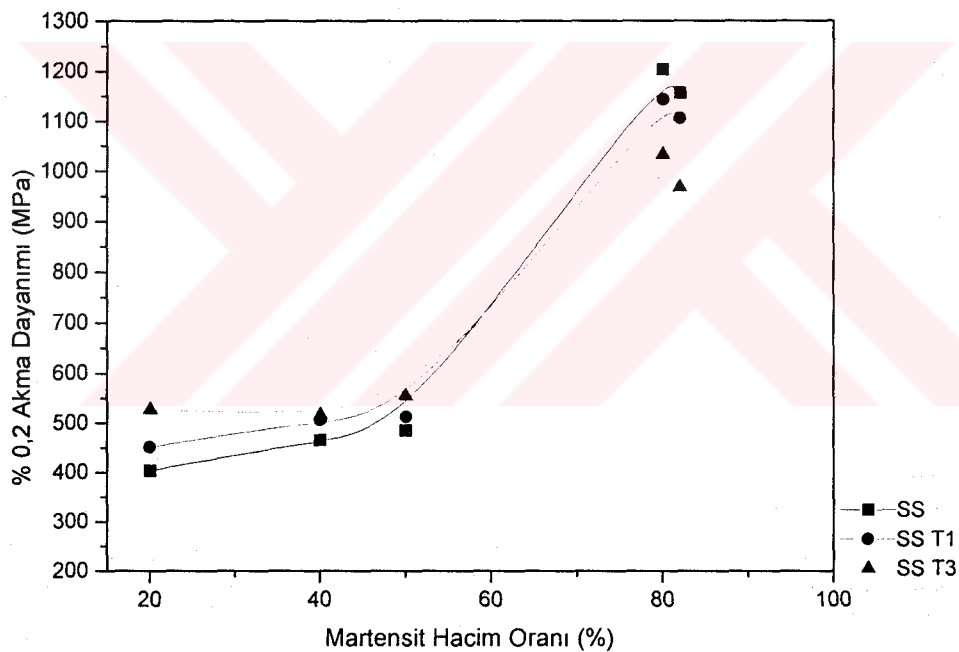


Şekil 5.3. Kaba morfolojili numunelerde martensit hacim oranına bağlı olarak akma dayanımının değişimi

S ısıtılmasına sahip numunelere 1 saat (S T1) ve 3 saat (S T3) temperleme ısıtılma işlemi uygulaması akma dayanımını düşürmüştür. Yüksek temperleme süresi (S T3) akma dayanımında daha büyük düşüşler meydana getirmiştir.

Çizelge 5.5. İnce morfolojili MHO'nun akma dayanımına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Akma Dayanımı (MPa)					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	404	451,3	527	-	-	-
805	40	465,5	506	516,5	-	-	-
815	50	485,5	512,5	555	-	-	-
900	80	1203,7	1143,5	1033	-	-	-
900	82	-	-	-	1156,2	1106	967,5



Şekil 5.4. İnce morfolojili martensit hacim oranına sahip numunelerin % 0,2 akma dayanımlarının değişimi

İnce martensit morfolojisine sahip SS ısıt işlem uygulanmış küresel grafitli dökme demir numunelerinde de yüksek martensit hacim oranları yüksek akma dayanımları üretmiştir, Şekil 5.4, Çizelge 5.5 %50 MHO'nında 485,5 MPa olan akma dayanımı % 80 martensit hacim oranında 1203,73 MPa'ya yükselmiştir. Gelenekesel su verme işleminde (900 G) akma dayanımı 1156,24 MPa olarak tesbit edilmiştir. SS numunelerine uygulanan SS T1 ve SS T3 ısıt işlemi de akma dayanımını

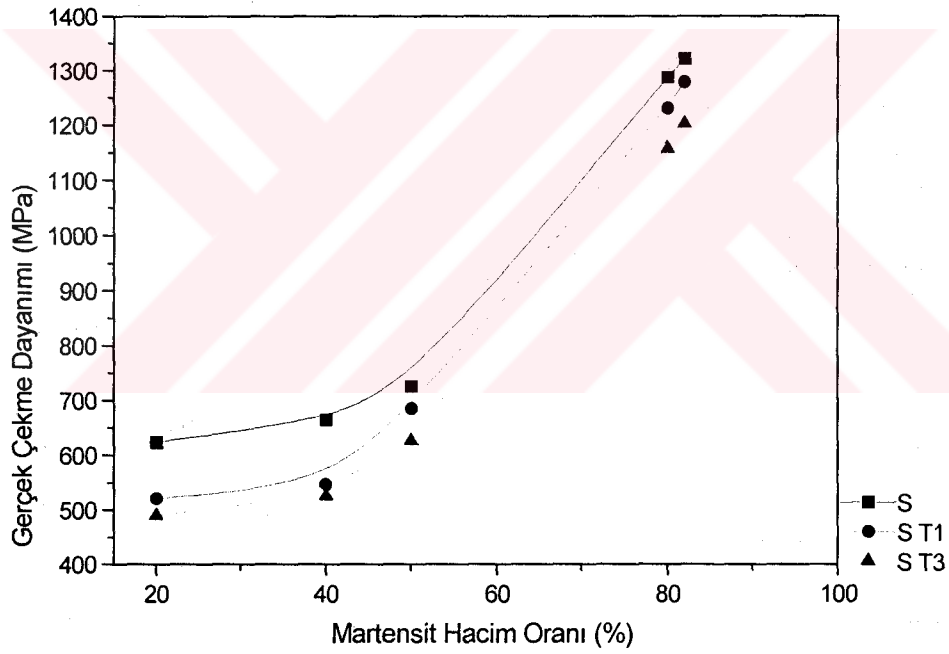
yükssetmiştir. Bunun nedeni ikinci östenitleme sonrası oluşan, çözünmeyen çok ince ve karmaşık [(Fe,Cr,Mn)₃C] karbürlere bağlanmaktadır (33,48). Ancak %50 MHO'na kadar elde edilen akma dayanımları SS numunelerinde aynı hacim oranlarından daha yüksektir. Fakat bu yüksek değerler önemli ölçüde değildir. SS, SS T1 ve SS T3 ısıt işlemlerinde % 80'in üzerindeki martensit hacim oranlarında akma dayanımı düşmeye başlamıştır.

5.4.2. Martensit hacim oranının çekme dayanımına etkisi

Küresel grafitli dökme demirde kaba ve ince morfolojili farklı % hacim oranlarının çekme dayanımına olan etkisi Çizelge 5.6-7, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'de verilmiştir. Dökülmüş haldeki KGDD'in 491,8 MPa olan çekme dayanımı artan % MHO ile birlikte artış göstermiştir. Kritik aralıklardaki sıcaklıklarda SS T1 ve SS T3 numunelerinde artan % MHO ile birlikte çekme dayanımı artmıştır. %20 MHO' na sahip SS T1 numunelerinde çekme dayanımı 659,2 MPa iken, %82 MHO'na sahip SS T1 numunesinde çekme dayanımı 1296,7 MPa' ya ulaşmıştır. Temperleme süresi 3 saate çıkarıldığında (SS T3) kritik sıcaklık aralığındaki numunelerde SS T1 numunelerine göre çekme dayanımında artış gözlenmiştir. Kaba morfolojiye sahip numunelerin çekme dayanımı ince martensit morfolojiye sahip numunelerinkinden daha düşüktür. İnce martensit morfolojiye sahip SS numunelerinde artan % MHO'na göre çekme dayanımının artması S ısıt işlem görmüş numunelere benzer özellik göstermektedir, Şekil 5.6.

Çizelge 5.6. Kaba morfolojili MHO'nın çekme dayanımına etkisi

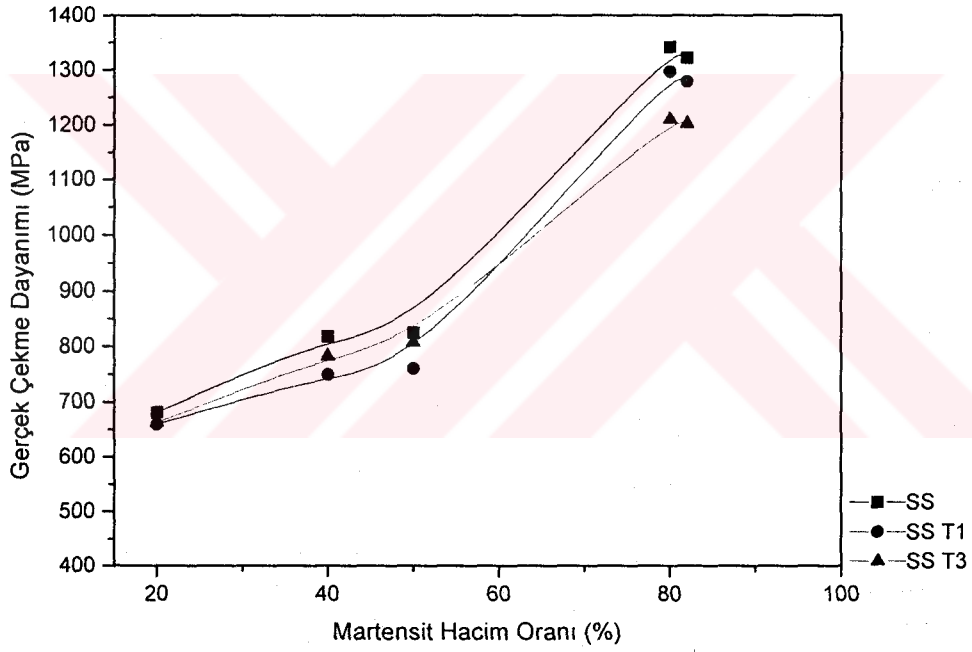
Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Çekme Dayanımı (MPa)					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	623,8	521,3	490,6	-	-	-
805	40	665	546,6	526	-	-	-
815	50	726,2	685,3	625,6	-	-	-
900	80	1287,8	1230,5	1157,2	-	-	-
900	82	-	-	-	1321,2	1278,2	1202



Şekil 5.5. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak çekme dayanımının değişimi

Çizelge 5.7. İnce morfolojili MHO'nun çekme dayanımına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Çekme Dayanımı (MPa)					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	680,4	659,2	662	-	-	-
805	40	817	749,1	782,3	-	-	-
815	50	824,5	760	807,2	-	-	-
900	80	1341,4	1296,7	1210	-	-	-
900	82	-	-	-	1321,2	1278,2	1202



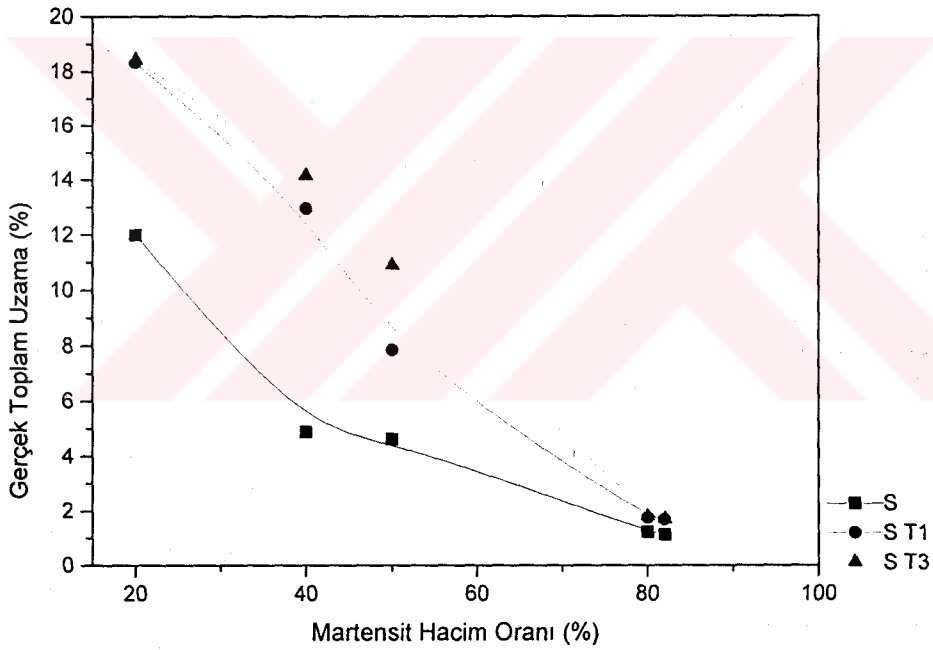
Şekil 5.6. İnce morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak çekme dayanımının değişimi

5.4.3. Martensit hacim oranının gerçek toplam % uzamaya etkisi

Kaba martensit morfolojisine sahip KGDD % martensit hacim oranının artmasıyla gerçek toplam % uzama düşmeye başlamıştır, Çizelge 5.8, Şekil 5.7. İşlemsiz alaşımda 20,00 olan gerçek toplam % uzama kısmi östenitleme işlemi (S) sıcaklığı arttıkça veya diğer bir ifade ile MHO'nı arttıkça hızlı bir şekilde düşüş göstermiştir. Bu düşme, % 20 MHO: 4,87, % 50 MHO : 4,61, % 80 : 1,23 olarak gerçekleşmiştir. Geleneksel su verme ısıtma işlemi (G, GT1, GT3) ise % 82 MHO ürettiği için gerçek toplam % uzama sırasıyla 1,12, 1,68 ve 1,69 olmuştur. Gerçek toplam % uzamanın artan % MHO ile düşmesinin sebebi, martensit fazının sert ve kırılgan bir yapıya sahip olmasıdır. Ferrit fazının ise yumuşak ve sünekliği artırıcı etkisi vardır. MHO artarken ferrit hacim oranı azalmaktadır. İnce martensit morfolojiye sahip numunelerde de aynı durum söz konusudur.

Çizelge 5.8. Kaba morfolojili MHO'nın gerçek toplam % uzamaya etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Gerçek toplam % uzamaya					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	11,987	18,326	18,439	-	-	-
805	40	4,879	12,94	14,149	-	-	-
815	50	4,615	7,852	10,894	-	-	-
900	80	1,238	1,748	1,796	-	-	-
900	82	-	-	-	1,125	1,685	1,699

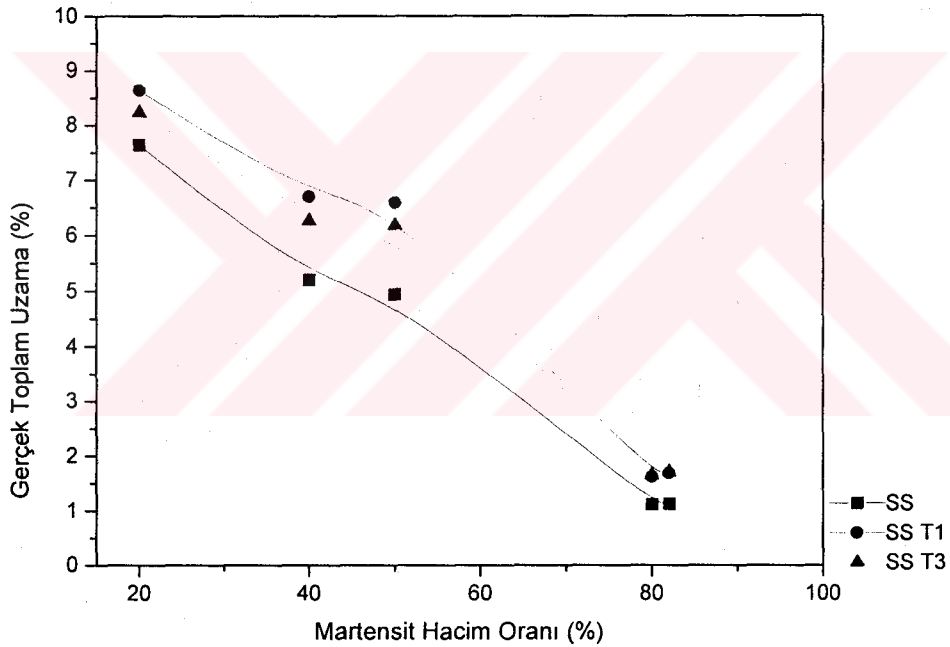


Şekil 5.7. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi

Çizelge 5.9 ve Şekil 5.8'da ince morfolojiye sahip (SS ısıtma işlemi uygulanmış) martensit hacim oranına bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi görülmektedir. % MHO'nın artması ile gerçek toplam uzama değeri azalmıştır.

Çizelge 5.9. İnce morfolojili MHO'nın gerçek toplam % uzamaya etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Gerçek toplam % uzamaya					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	7,639	8,635	8,234	-	-	-
805	40	5,2	6,695	6,26	-	-	-
815	50	4,938	6,589	6,179	-	-	-
900	80	1,112	1,613	1,641	-	-	-
900	82	-	-	-	1,125	1,685	1,699



Şekil 5.8. İnce morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi.

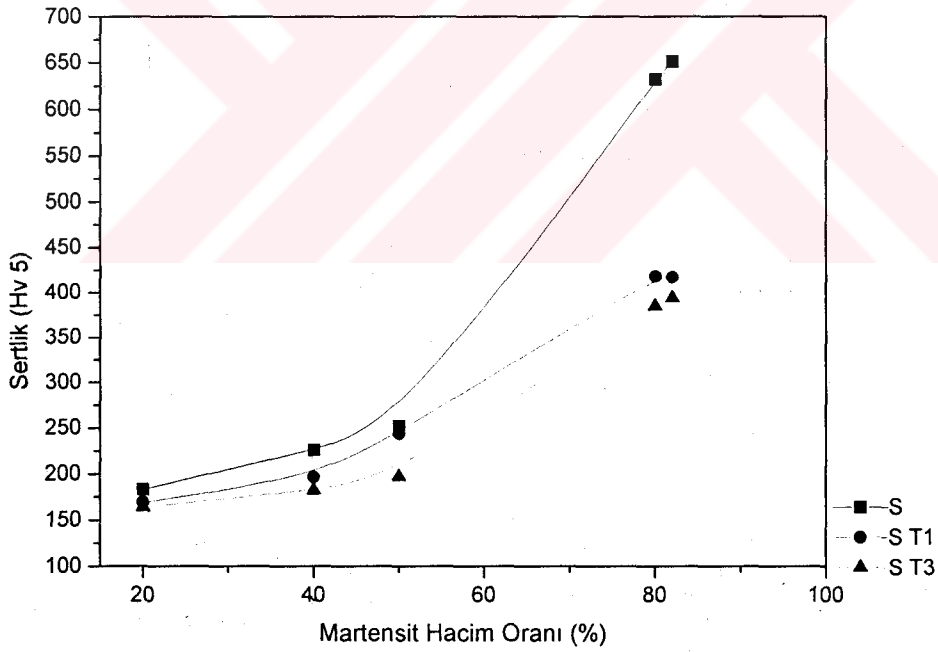
5.4.4. Martensit hacim oranının sertliğe etkisi

Kaba ve ince martensit morfolojili S ve SS numunelerinde % MHO'nı arttıkça sertliğin arttığı gözlenmiştir, Çizelge 5.10, Şekil 5.9. %20 MHO'nın sahip deney numunesinde sertlik 183 (Hv5) iken %80 MHO'nına sahip deney numunelerinde sertlik değeri 632'ye çıkmıştır. 900 G ısıt işlemi uygulanmış % 82 MHO'nına sahip deney numunelerinde ise sertlik değeri 651 olarak tesbit edilmiştir. Ayrıca

temperleme süresi ile sertlik değerinin düştüğü ST1, ST3, GT1 ve GT3 numunelerinde de gözlenmiştir.

Çizelge 5.10. Kaba morfolojili MHO'nın sertliğe etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Sertlik (Hv5)					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	183	169	164	-	-	-
805	40	226	196	182	-	-	-
815	50	252	244	197	-	-	-
900	80	632	414	381	-	-	-
900	82	-	-	-	651	417	394

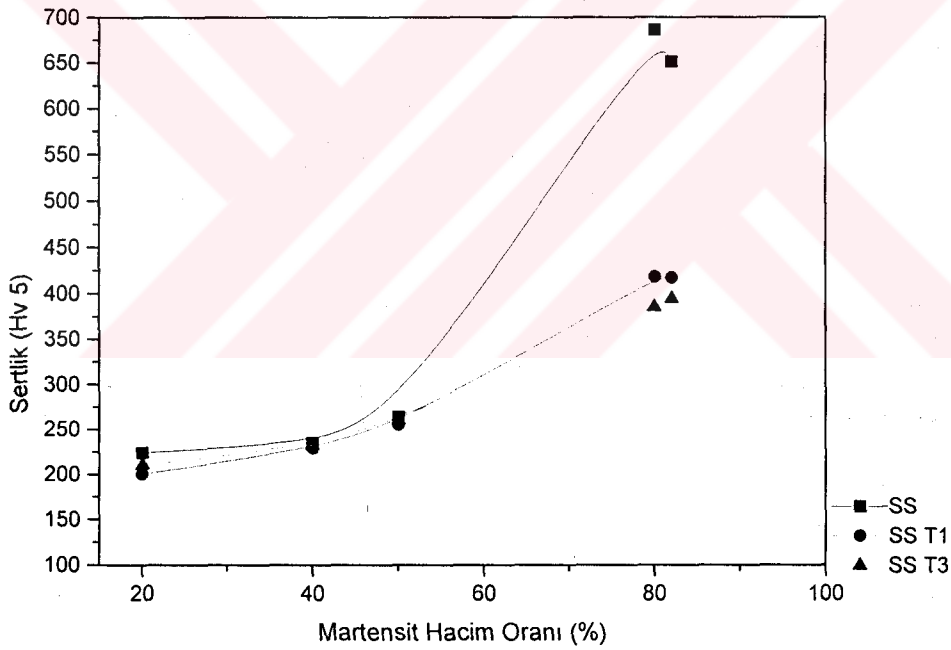


Şekil 5.9. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak sertliğin değişimi

% 82 MHO' nına sahip 900 G numunelerinde ise sertlik değeri 900 SS'e göre daha düşük çıkmıştır. Yine artan temperleme süresi ile birlikte SS numunelerin sertlik değerlerinin düştüğü Çizelge 5.11 ve Şekil 5.10'de görülmektedir.

Çizelge 5.11. İnce morfolojili MHO'nun sertliğe etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	%	Sertlik (Hv5)					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	224	200	210	-	-	-
805	40	235	229	232	-	-	-
815	50	264	255	260	-	-	-
900	80	686	418	385	-	-	-
900	82	-	-	-	651	417	394



Şekil 5.10. İnce morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak sertliğin değişimi

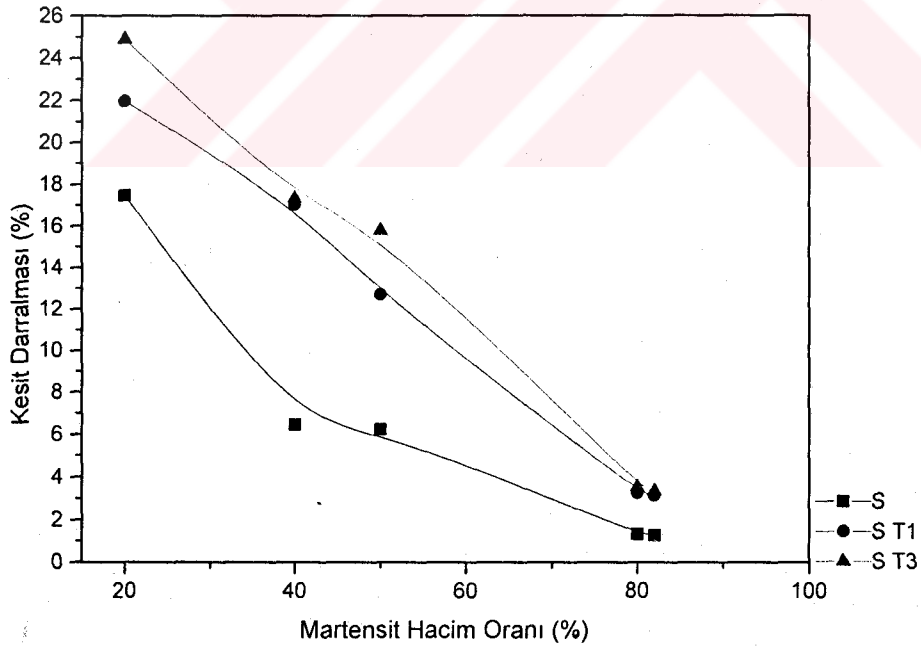
5.4.5. % Martensit hacim oranının % kesit daralmasına etkisi

Kaba ve ince morfolojili S ve SS numunelerinde % MHO arttıkça % kesit daralmasını azalttığı Çizelge 5.12-13, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de görülmektedir. Sert faz olan martensitin hacim oranı arttıkça numunelerin plastik deformasyon kabiliyeti azalmakta ve dolayısıyla % kesit daralması azalmaktadır. Kesit daralmasındaki bu

azalış temperlenmiş numunelere yansımış ve % 50 kaba morfolojili martensit hacim oranına sahip numunede tempersi haldeki kesit daralması % 6,23'den 1 saat temperleme ile % 12,68'lere ve 3 saat temperleme ile % 15,782'lere yükseltilmiştir.

Çizelge 5.12. Kaba morfolojili MHO'nın % kesit daralmasına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	% kesit daralması					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	17,48	21,97	24,89	-	-	-
805	40	6,45	17,01	17,32	-	-	-
815	50	6,23	12,68	15,78	-	-	-
900	80	1,32	3,24	3,51	-	-	-
900	82	-	-	-	1,28	3,13	3,34



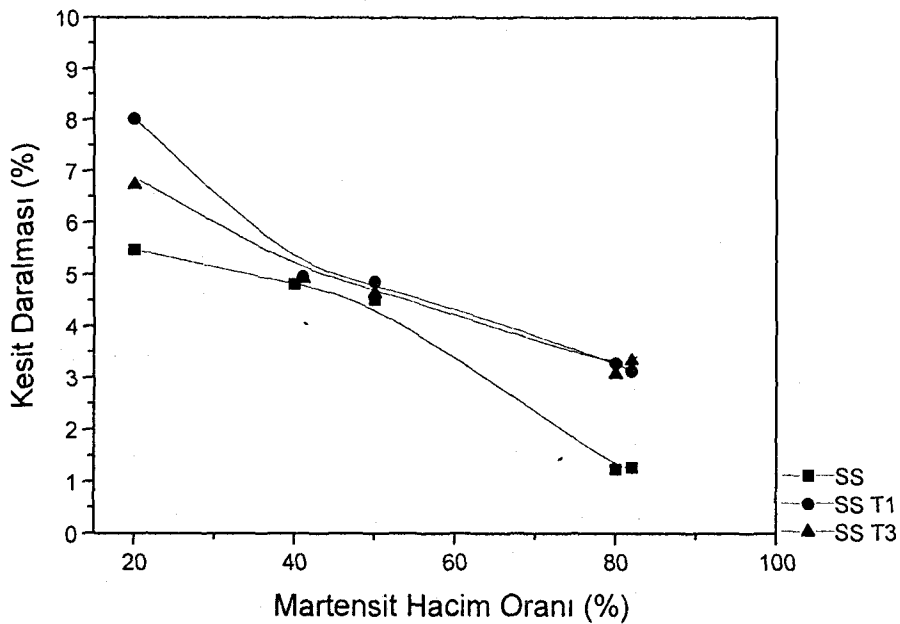
Şekil 5.11. Kaba morfolojili martensit hacim oranına bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi

% 40 ve % 50 ince morfolojili martensit hacim oranına sahip numune ise, tempersiz haldeki % 4,52 olan kesit daralması temperleme süreleri ile dikkate değer bir değişim

göstermemiştir. Ancak % 20 ve % 80 martensit hacim oranına sahip numunelerde kesit daralmasında temperleme sürelerinin artmasıyla birlikte belirgin bir artma gözlenmiştir, Çizelge 5.13 ve Şekil 5.12. SS numunelerinde temperleme süresinin artmasıyla (3 saat temperleme süresinde) kesit alanındaki bu düşüş, akma ve çekme dayanımının artmasının sonucudur. Akma ve çekme dayanımının artması ise daha önce belirtildiği gibi uzun temperleme süresi sonucu oluşan karbürlere ve ikincil grafitleşmeye bağlanmaktadır (33, 48).

Çizelge 5.13. İnce morfolojili MHO'nun % kesit daralmasına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	% kesit daralması					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	5,48	8,03	6,73	-	-	-
805	40	4,81	5,07	4,97	-	-	-
815	50	4,52	4,87	4,63	-	-	-
900	80	1,24	3,29	3,07	-	-	-
900	82	-	-	-	1,28	3,13	3,34



Şekil 5.12. İnce morfolojili sahip martensit hacim oranına bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi

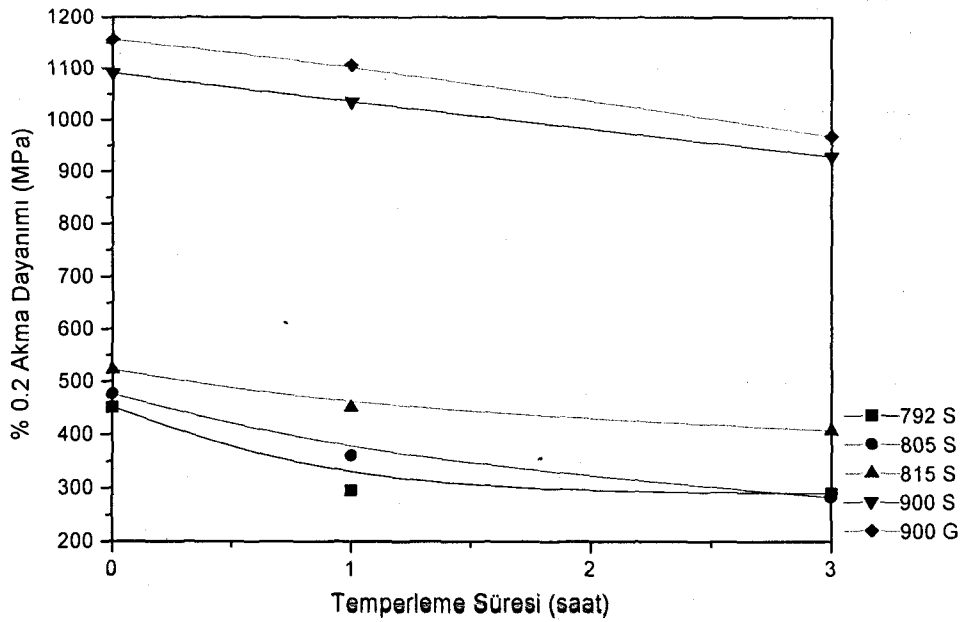
5.5. Temperleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi

5.5.1. Temperleme süresinin akma dayanımına etkisi

Kaba martensit morfolojisine sahip (S) numunelerde temperleme süresi arttıkça % 0,2 akma dayanımında azalma görülmüştür, Çizelge 5.14, Şekil 5.13.

Çizelge 5.14. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin akma dayanımına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östenitleme % MHO	Akma Dayanımı (MPa)					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	451,5	295	290,5	-	-	-
805	40	476	360,5	282,5	-	-	-
815	50	522	451	407	-	-	-
900	80	1090,50	1034,5	928,6	-	-	-
900	82	-	-	-	1156,2	1106	967,5

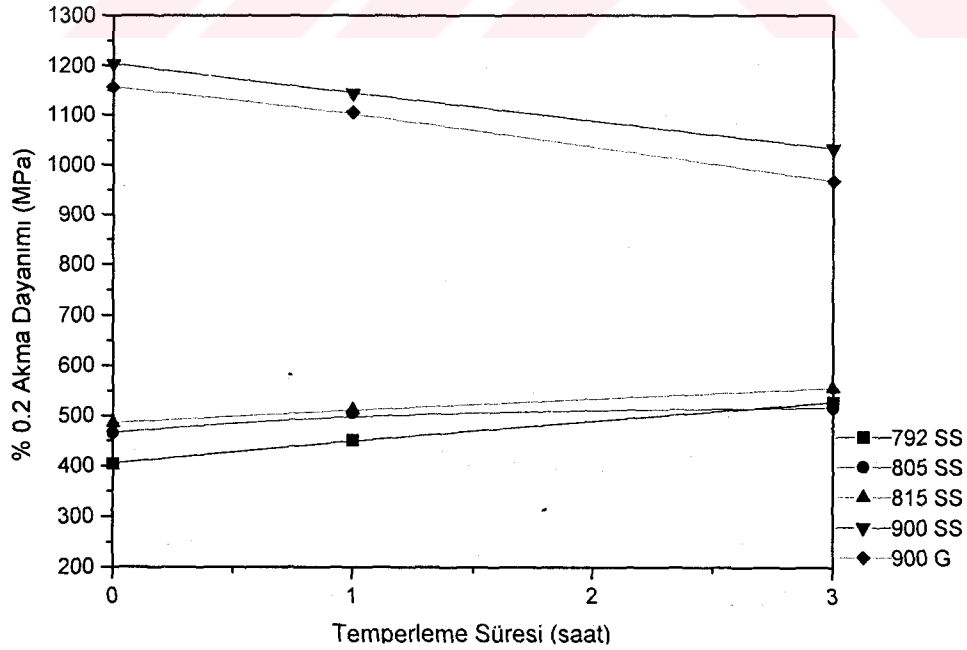


Şekil 5.13. Kaba martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresi ile akma dayanımının değişimi.

SS ısıtıl işlemi uygulanmış 792 SS, 805 SS, 815 SS kodlu deney numunelerinde artan temperleme sürelerinde S ısıtıl işlemi görmüş numunelerin tam tersine akma dayanımında artış gözlenmiştir. 900 SS ve 900 G numunelerinde ise temperleme süresinin artması ile akma dayanımında azalma gözlenmiştir, Çizelge 5.14, Şekil 5.14.

Çizelge 5.15. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin akma dayanımına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Akma Dayanımı (MPa)					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	404	451,3	527	-	-	-
805	40	465,5	506	516,5	-	-	-
815	50	485,5	512,5	555	-	-	-
900	80	1203,7	1143,5	1033	-	-	-
900	82	-	-	-	1156,2	1106	967,5



Şekil 5.14. İnce martensit morfolojisine sahip KGDD'de temperleme süresi ile akma dayanımının değişimi

SS numunelerinde artan temperleme süresi ile akma dayanımı sürekli artış göstermiştir. Rashidi ve arkadaşlarının (33) çalışmasında ise akma ve çekme dayanımı 120 dk'ya kadar düşerken 120 dk'dan sonra artış göstermiştir.

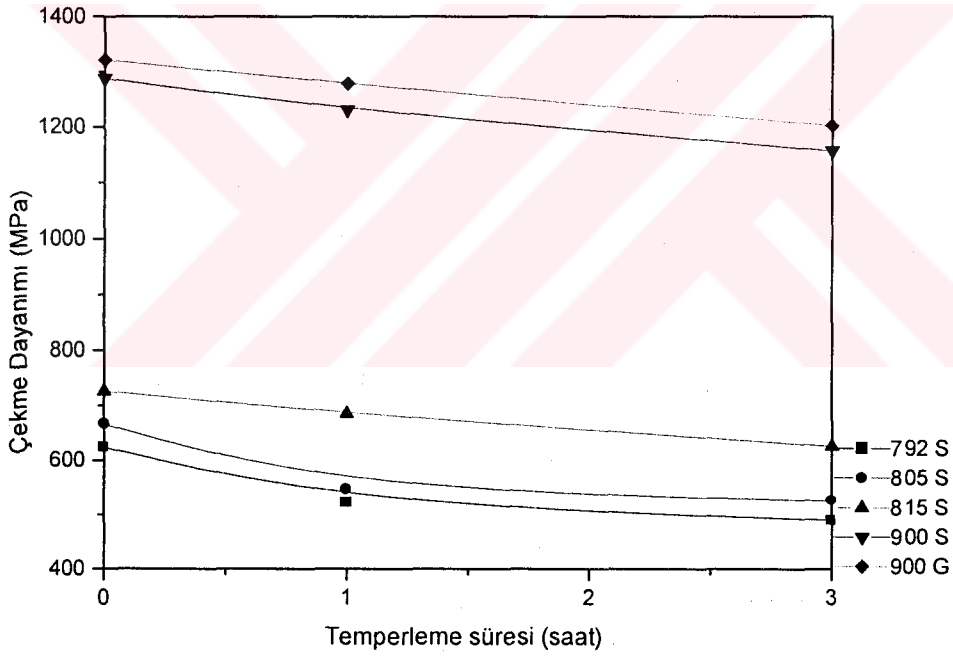
5.5.2. Temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi

Kaba martensit morfolojisine sahip S numunelerinde temperleme süresi arttıkça çekme dayanımında düşme gözlemiştir, Çizelge 5.16, Şekil 5.15.

792 SS, 805 SS, 815 SS kodlu numunelerin 1 saat temperleme ısı işlemi sonucunda çekme dayanımında azalma görülürken, 3 saat temperleme yapıldığında ise SS T1'e göre çekme dayanımında tekrar bir yükselme görülmüştür, Çizelge 5.17, Şekil 5.16. Bu durum Rashidi ve arkadaşlarının (33) çalışması ile benzerlik göstermektedir. Rashidi ve arkadaşlarının (33) çalışmasında 120 dk'ya kadar akma ve çekme dayanımı düşerken 120 dk'dan sonra artış gözlemişlerdir. Rashidi ve arkadaşları (33) bu durumu artan temperleme süresi ile oluşan çok ince dağılmış karbürlere bağlamaktadır.

Çizelge 5.16. Kaba morfolojili MHO'nun ve temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi

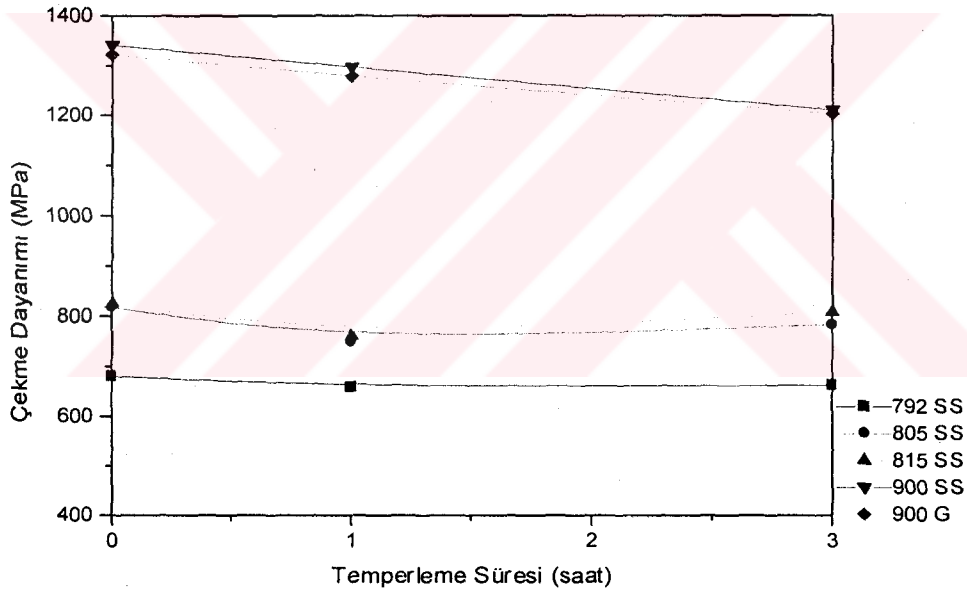
Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Çekme Dayanımı (MPa)					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	623,8	521,3	490,6	-	-	-
805	40	665	546,6	526	-	-	-
815	50	726,2	685,3	625,6	-	-	-
900	80	1287,8	1230,5	1157,2	-	-	-
900	82	-	-	-	1321,2	1278,2	1202



Şekil 5.15. Kaba martensit morfolojisine sahip S numunelerinde temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi

Çizelge 5.17. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	%	Çekme Dayanımı (MPa)					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	680,4	659,2	662	-	-	-
805	40	817	749,1	782,3	-	-	-
815	50	824,5	760	807,2	-	-	-
900	80	1341,4	1296,7	1210	-	-	-
900	82	-	-	-	1321,2	1278,2	1202



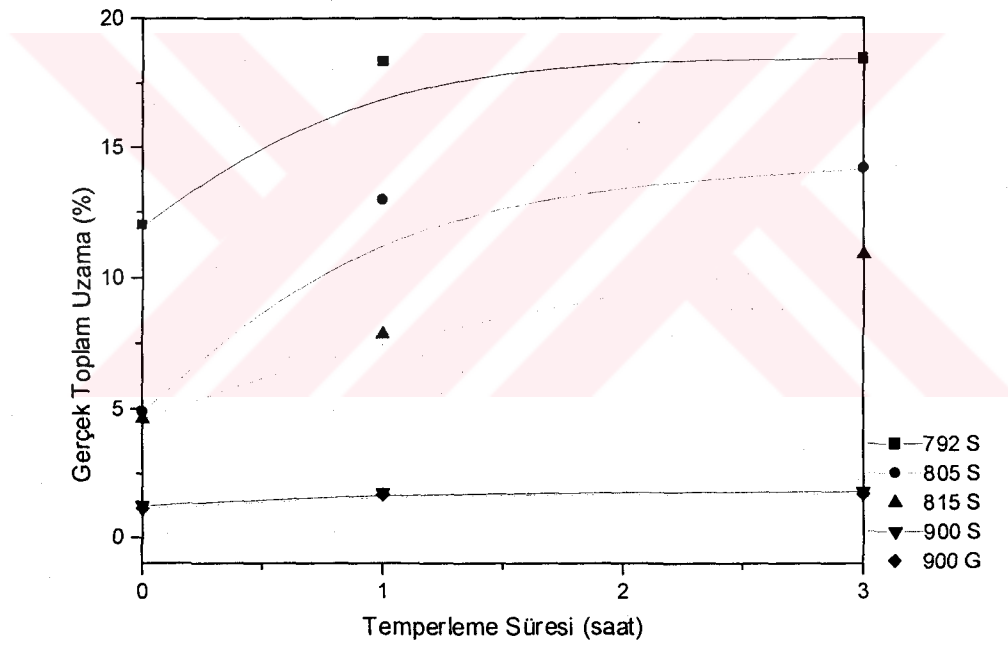
Şekil 5.16. İnce martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirde temperleme süresinin çekme dayanımına etkisi

5.5.3. Temperleme süresinin % toplam gerçek uzamaya etkisi

Temperleme süresi arttıkça % gerçek toplam uzama S kodlu numunelerde artış göstermiştir, Çizelge 5.18, Şekil 5.17. Ancak temperleme süresinin ilerlemesi ile artan % uzama değerinin çok da belirgin olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 5.18. Kaba morfolojili MHO'nun ve temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Östenitleme % MHO	Gerçek toplam % uzamaya					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	11,987	18,326	18,439	-	-	-
805	40	4,879	12,94	14,149	-	-	-
815	50	4,615	7,852	10,894	-	-	-
900	80	1,238	1,748	1,796	-	-	-
00	82	-	-	-	1,125	1,685	1,699



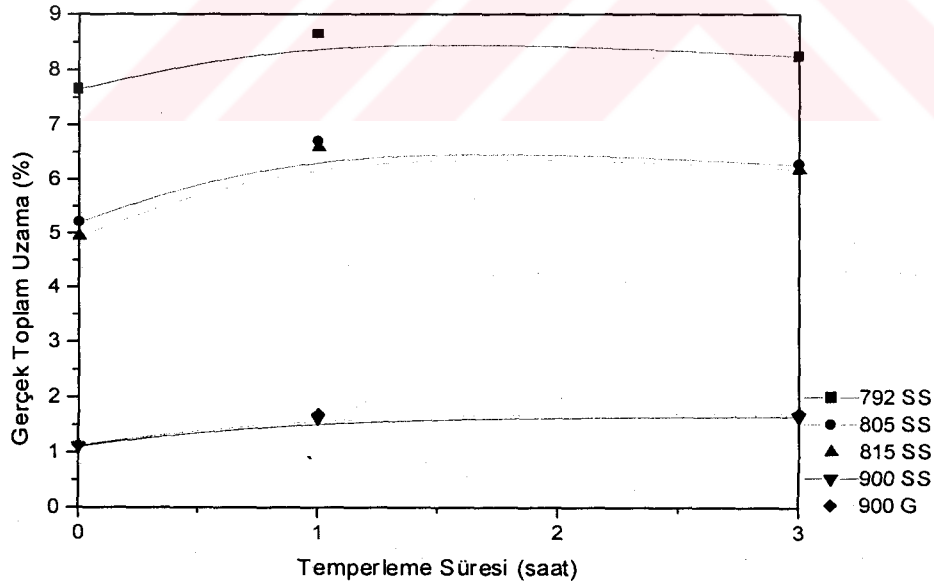
Şekil 5.17. Kaba martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirde temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi

SS deney numunelerine 1 saat temperleme ısı işlemi uygulandığında % gerçek toplam uzama değerinde temperlenmemiş haline kıyasla artma görülmüştür. Aynı SS kodlu deney numunelerine 3 saat temperleme ısı işlemi uygulandığında % gerçek toplam uzama değerinde SS T1 kodlu numunelerinkine göre azalma izlenmiştir. Toplam % uzamadaki bu azalmanın 3 saat temperleme sonucu artan akma ve çekme dayanımına bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu durum ikinci östenitleme sonrası

oluşan çok ince dağılmış karmaşık karbürlere bağlı olabilir. 900 G kodlu deney numunelerinde ise temperleme süresi ile % toplam gerçek uzama arasında yaklaşık doğrusal bir artış gözlenirken çok büyük bir fark oluşmadığı izlenmiştir, Çizelge 5.19, Şekil 5.18.

Çizelge 5.19. İnce morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin gerçek toplam % uzamaya etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Gerçek toplam % uzamaya					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	7,639	8,635	8,234	-	-	-
805	40	5,2	6,695	6,26	-	-	-
815	50	4,938	6,589	6,179	-	-	-
900	80	1,112	1,613	1,641	-	-	-
900	82	-	-	-	1,125	1,685	1,699



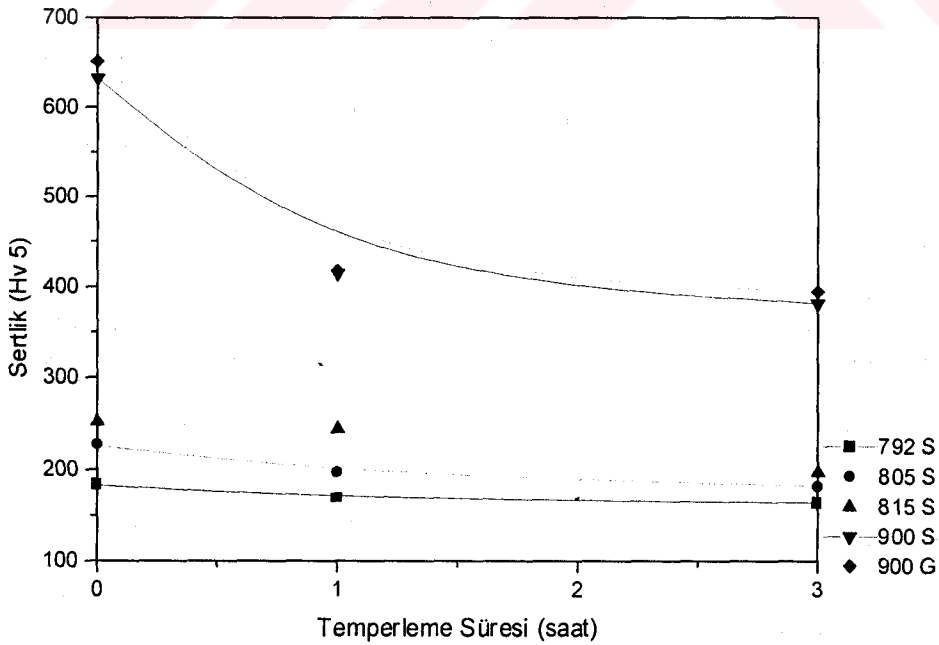
Şekil 5.18. İnce martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirde temperleme süresinin gerçek toplam uzamaya (%) etkisi

5.5.4. Temperleme süresinin sertliğe etkisi

Temperleme süresi attıkça S kodlu numunelerin sertlik değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu azalma 900 G ve 900 S kodlu numunelerde çok belirgin bir şekilde gözlenirken, S kodlu diğer numunelerde çok büyük bir azalma görülmemiştir, Çizelge 5.20, Şekil 5.19.

Çizelge 5.20. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin sertliğe etkisi

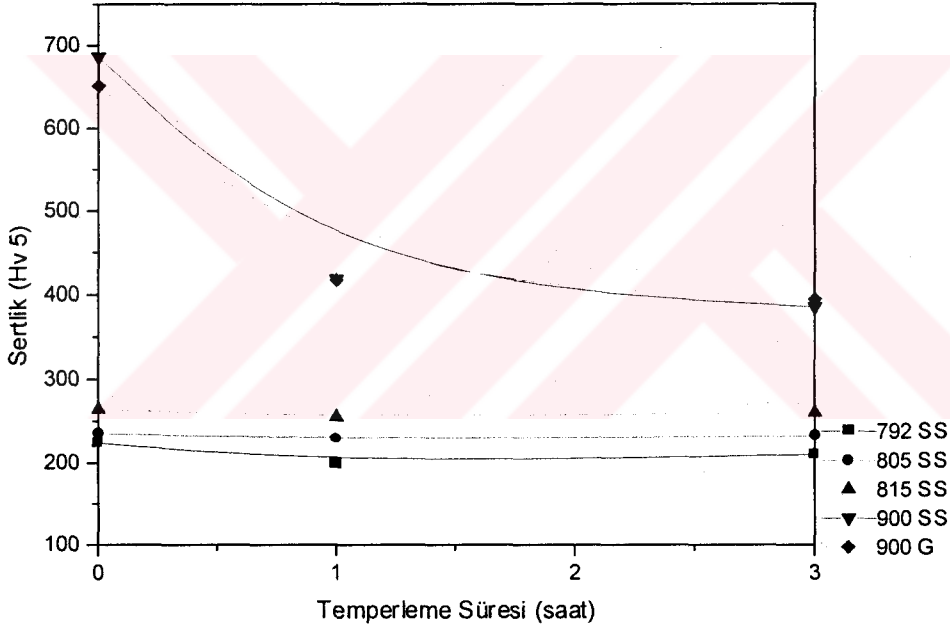
Östenitleme Sıcaklığı (°C)	%	Sertlik (Hv5)					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	183	169	164	-	-	-
805	40	226	196	182	-	-	-
815	50	252	244	197	-	-	-
900	80	632	414	381	-	-	-
900	82	-	-	-	651	417	394



Şekil 5.19. Kaba martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirlerde temperleme süresinin sertliğe etkisi

Çizelge 5.21. İnce morfolojili MHO'nun ve temperleme süresinin sertliğe etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	Sertlik (Hv5)					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	224	200	210	-	-	-
805	40	235	229	232	-	-	-
815	50	264	255	260	-	-	-
900	80	686	418	385	-	-	-
900	82	-	-	-	651	417	394



Şekil 5.20. İnce martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirlerde temperleme süresinin sertliğe etkisi

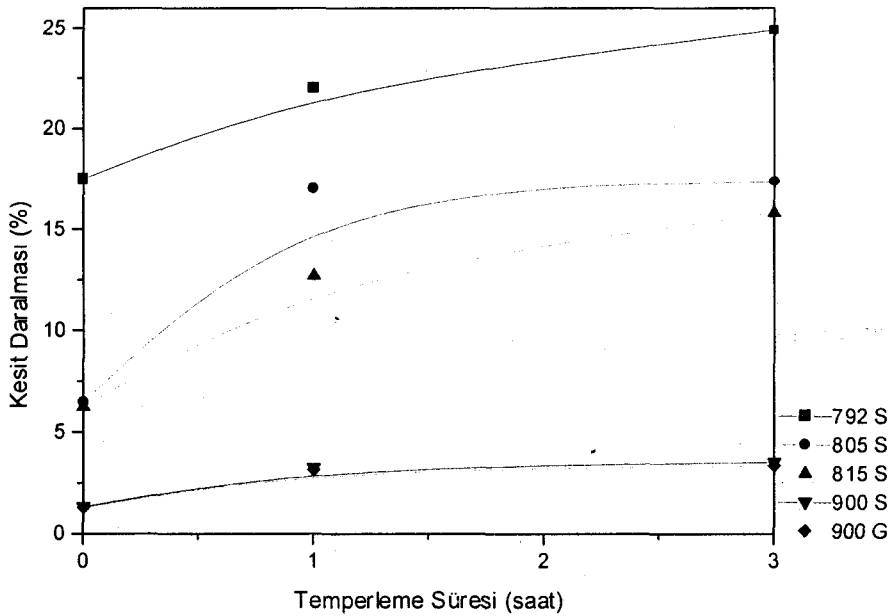
SS kodlu deney numunelerin 1 saat temperlenmesiyle sertlik değerinde azalma gözlenmiştir. Aynı numunelere 3 saat temperleme ısı işlemi uygulandığında ise 1 saat temperleme yapılmış numunelere göre sertliğin arttığı gözlenmiştir. Literatüre göre bunun nedeninin, oluşan karbür çökmesi ve ikincil grafitleşmenin olması düşünülmektedir (33). 900 SS ve 900 G kodlu numunelerin temperlenme süreleri arttıkça sertliğinde azaldığı gözlenmiştir, Çizelge 5.21, Şekil 5.20.

5.5.5. Temperleme süresinin % kesit daralmasına etkisi

Temperleme süresinin artması S kodlu deney numunelerinin % kesit daralmalarını arttırırken SS kodlu numunelerin 3 saat temperlenmesi ile % kesit daralmasında düşüş gözlenmiştir, Çizelge 5.22, Şekil 5.21. SS numunelerindeki bu durum ikinci östenitleme sonrası oluşan ince dağılmış kompleks karbürlere bağlanmaktadır (48) .

Çizelge 5.22. Kaba morfolojili MHO'nın ve temperleme süresinin % kesit daralmasına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	% kesit daralması					
		S	ST1	ST3	G	GT1	GT3
792	20	17,48	21,97	24,89	-	-	-
805	40	6,45	17,01	17,32	-	-	-
815	50	6,23	12,68	15,78	-	-	-
900	80	1,32	3,24	3,51	-	-	-
900	82	-	-	-	1,28	3,13	3,34

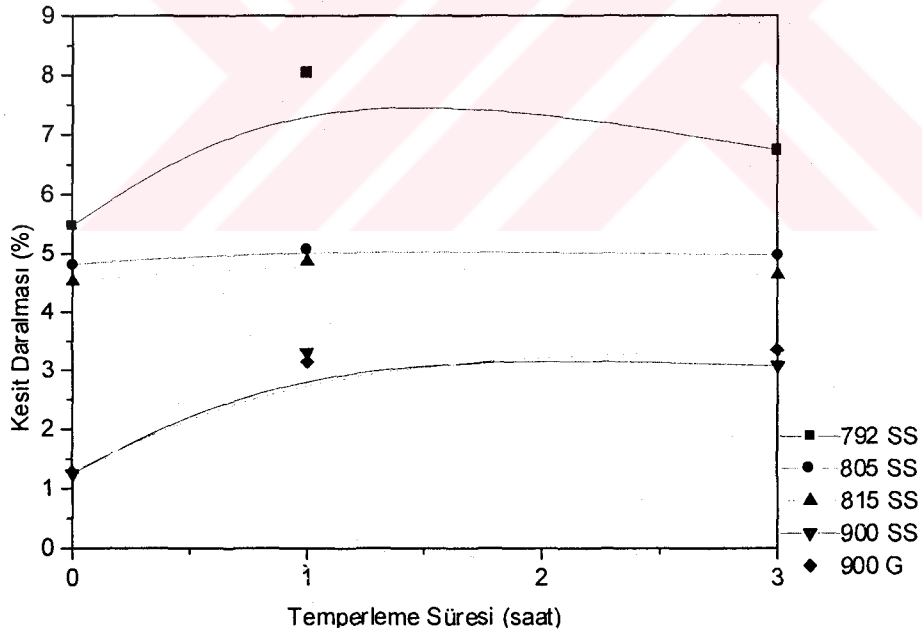


Şekil 5.21. Kaba martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirlerde temperleme süresinin kesit daralmasına etkisi

Geleneksel yöntem olan 900 G kodlu numunelerde temperleme süresinin artmasıyla birlikte % kesit daralmasındaki artış görülmüştür, Çizelge 5.23, Şekil 5.22.

Çizelge 5.23. İnce morfolojili MHO'nun % kesit daralmasına etkisi

Östenitleme Sıcaklığı (°C)	% MHO	% kesit daralması					
		SS	SST1	SST3	G	GT1	GT3
792	20	5,48	8,03	6,73	-	-	-
805	40	4,81	5,07	4,97	-	-	-
815	50	4,52	4,87	4,63	-	-	-
900	80	1,24	3,29	3,07	-	-	-
900	82	-	-	-	1,28	3,13	3,34



Şekil 5.22. İnce martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirlerde temperleme süresinin kesit daralmasına etkisi

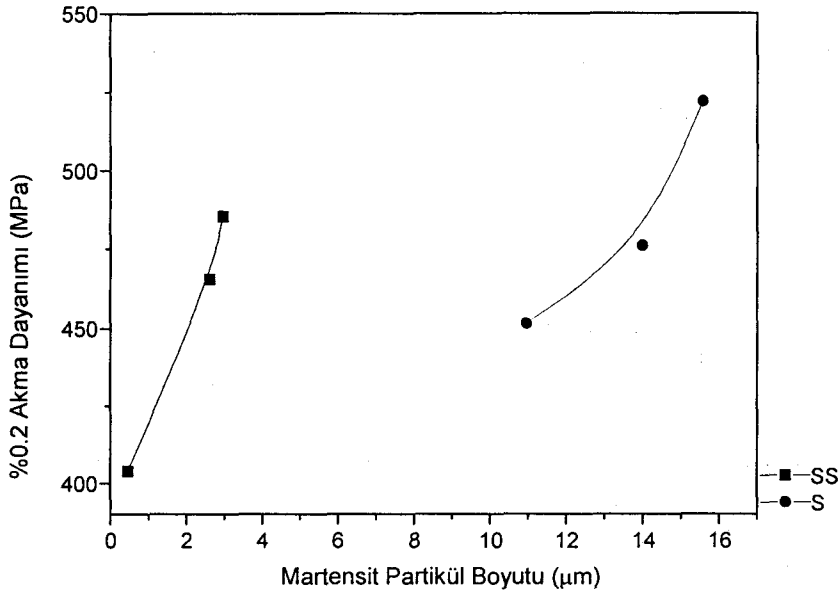
5.6. Martensit Partikül Boyutunun Mekanik Özelliklere Etkisi

5.6.1. Martensit partikül boyutunun % 0.2 akma dayanımına etkisi

Martensit partikül boyutuna bağlı olarak akma dayanımı değişim göstermiştir . S ve SS kodlu numunelerin martensit partikül boyutları arttıkça akma dayanımlarında artış gözlenmiştir, Çizelge 5.24, Şekil 5.23. Ancak S kodlu numunelerin akma dayanımları SS kodlu numunelerin akma dayanımından daha fazla çıkmıştır. Literatürde martensit partikül boyutunun mekanik özellikleri üzerine etkisi ile ilgili herhangi bir bilgi bulunamamıştır.

Çizelge 5.24. Martensit partikül boyutunun akma dayanımına etkisi

Numune kodu	Partikül Boyutu (μm)	Akma dayanımı (MPa)
792 SS	0,459	404
805 SS	2,61	465,5
815 SS	2,96	485,5
792 S	10,95	451,5
805 S	13,98	476
815 S	15,57	522



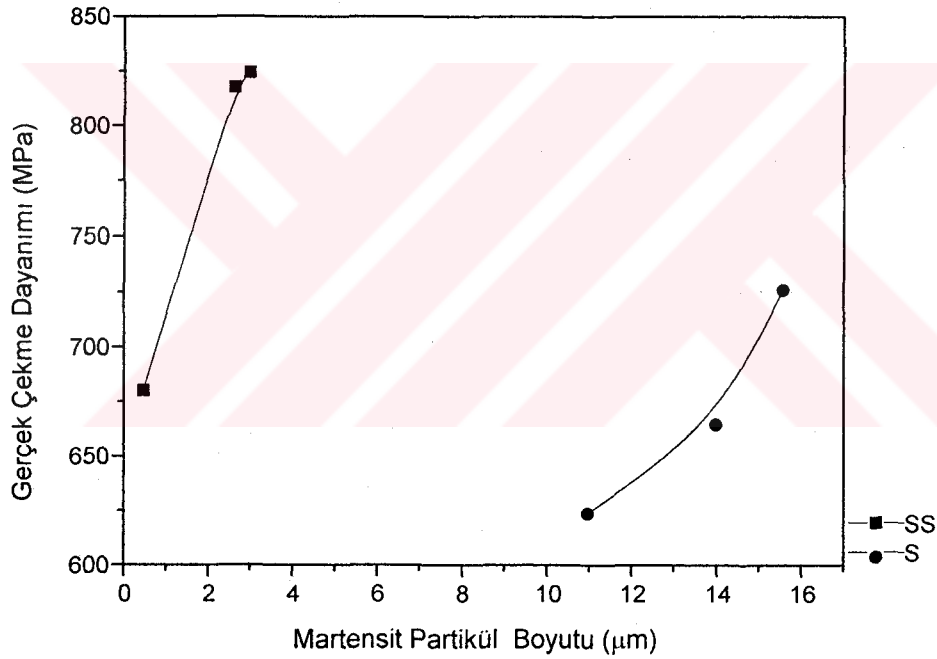
Şekil 5.23. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak akma dayanımının değişimi

5.6.2. Martensit partikül boyutunun gerçek çekme dayanımına etkisi

S ve SS kodlu numunelerin martensit partikül boyutları arttıkça çekme dayanımlarında artış gözlenmiştir, Çizelge 5.25, Şekil 5.24. Ancak SS kodlu numunelerin çekme dayanımları S kodlu numunelerin çekme dayanımından daha fazla çıkmıştır. Bu durumda SS kodlu numunelerin akma ve çekme dayanımları arasındaki fark S kodlu numunelerin çekme dayanımları arasındaki farktan daha fazladır. Bunun nedeni SS kodlu numunelerde daha fazla deformasyon sertleşmesi meydana geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.25. Martensit partikül boyutunun gerçek çekme dayanımına etkisi

Numune kodu	Partikül Boyutu (μm)	Çekme dayanımı (MPa)
792 SS	0,459	680,4
805 SS	2,61	817
815 SS	2,96	824,5
792 S	10,95	623,8
805 S	13,98	665
815 S	15,57	726,2



Şekil 5.24. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak gerçek çekme dayanımının değişimi

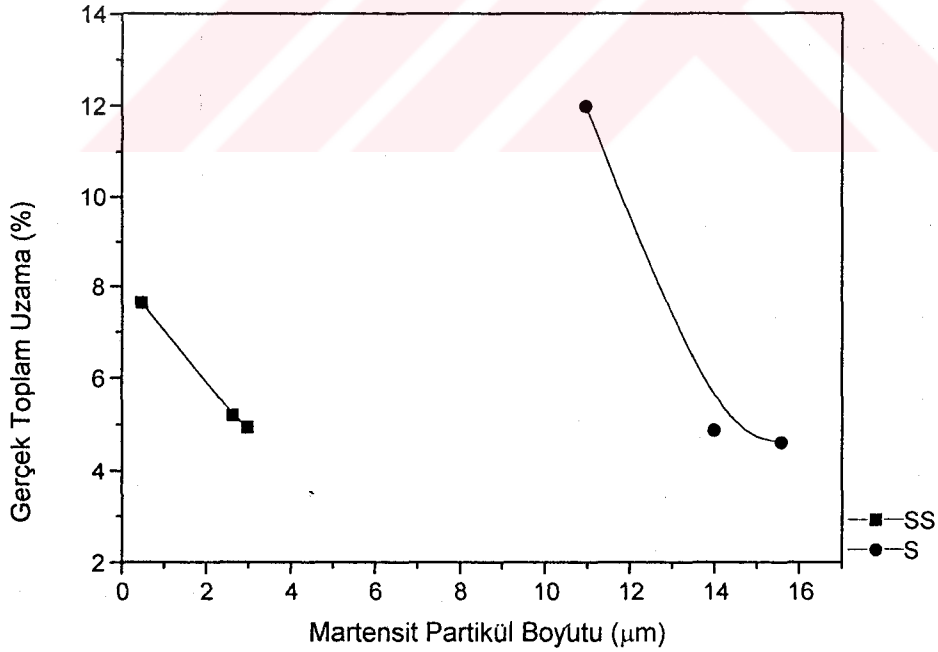
5.6.3. Martensit partikül boyutunun gerçek % toplam uzamaya etkisi

Küresel grafitli dökme demirde elde edilen martensit partikül boyutu arttıkça gerçek % toplam uzamanın azaldığı gözlenmiştir, Çizelge 5.26, Şekil 5.25. Ancak düşük martensit hacim oranına sahip S morfolojili numunelerin toplam % uzaması SS morfolojili numunelerden daha fazla çıkmıştır. Ancak, düşük martensit partikül

boyutuna sahip S morfolojili yapı daha yüksek gerçek toplam % uzama değeri üretmiştir. Martensit partikül boyutunun artması ile gerçek çekme dayanımında artış olması gerçek % toplam uzamayı düşürmesi beklenen bir sonuçtur. Çünkü martensit fazının dayanımı yüksek ve serttir.

Çizelge 5.26. Martensit partikül boyutunun toplam % uzamaya etkisi

Numune kodu	Partikül Boyutu (μm)	% uzama
792 SS	0,459	7,639
805 SS	2,61	5,2
815 SS	2,96	4,938
792 S	10,95	11,987
805 S	13,98	4,879
815 S	15,57	4,615



Şekil 5.25. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak toplam % uzamanın değişimi

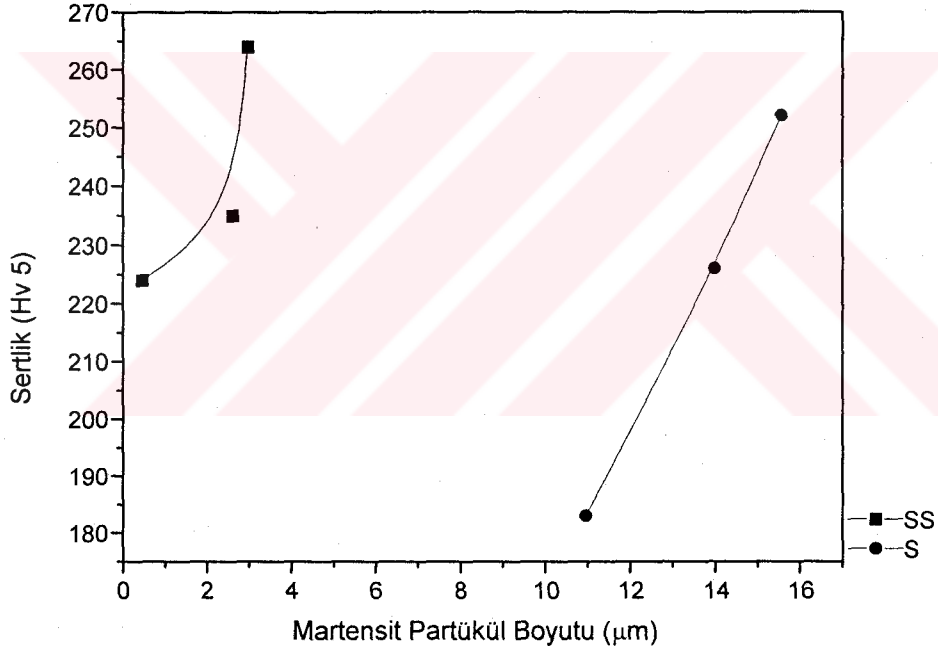
5.6.4. Martensit partikül boyutunun sertliğe etkisi

S ve SS kodlu numunelerin martensit partikül boyutları arttıkça S kodlu numunelerde yaklaşık lineer bir artış gözlenirken, SS kodlu numunelerin sertliğinde lineer olmayan bir artış gözlenmiştir, Çizelge 5.27, Şekil 5.26.

792 S kodlu 10,95 μm partikül boyutuna sahip numunede sertlik değeri 183 (Hv 5) elde edilirken partikül boyutu 13,98 μm 'ye çıktığında sertliğin 226 olduğu ve 15,57 μm partikül boyutuna sahip numunede ise sertlik 252 olarak tesbit edilmiştir. SS kodlu numunelerin sertlikleri ise S kodlu numunelere göre daha yüksek değer vermiştir. 792 S numunenin sertliği 183 iken 0,459 partikül boyutuna sahip 792 SS kodlu numunenin sertliği 224 elde edilmiştir. Bunun nedeni ise partikül boyutunun düşmesi olarak düşünülmektedir. Bu konuda literatürde hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çizelge 5.27. Martensit partikül boyutunun sertliğe etkisi

Numune kodu	Partikül Boyutu (μm)	Sertlik (Hv 5)
792 SS	0,459	224
805 SS	2,61	235
815 SS	2,96	264
792 S	10,95	183
805 S	13,98	226
815 S	15,57	252



Şekil 5.26. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak sertliğin değişimi

5.6.5. Martensit partikül boyutunun % kesit daralmasına etkisi

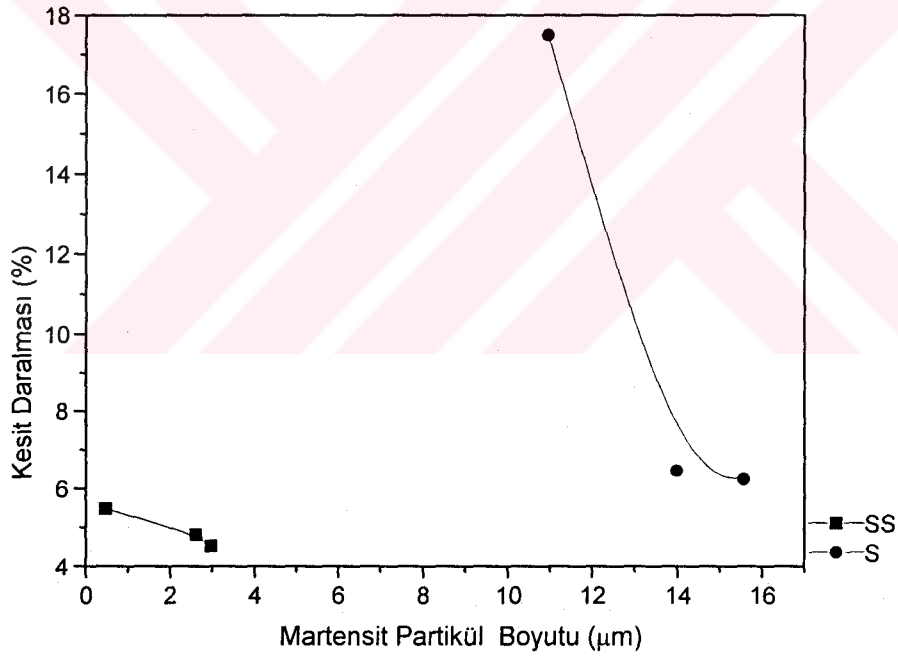
S ve SS kodlu numunelerde martensit partikül boyutu arttıkça % kesit daralması azalmıştır, Çizelge 5.28, Şekil 5.27. Bu azalış SS kodlu numunelerde daha da fazladır.

SS kodlu numunelerin partikül boyutu S kodlu numunelere göre daha küçük boyutlara sahip olduğu için % kesit daralması daha az olmuştur. Bunun nedeni SS kodlu deney numunelerinin sertliğinin daha fazla olmasıdır.

S kodlu numuneler içerisinde en düşük % kesit daralması, 815 S kodlu numunede % 6,23 olarak gözlenirken SS kodlu numunelerde ki numunelerde en az kesit daralması 815 SS kodlu numunede % 4,52 olarak tesbit edilmiştir. En büyük kesit daralması ise 792 S kodlu deney numunesinde % 17,48 olarak, 792 SS numunesinde de % 5,48 olarak tesbit edilmiştir.

Çizelge 5.28. Martensit partikül boyutunun kesit daralmasına (%) etkisi

Numune kodu	Partikül Boyutu (μm)	Kesit Daralması (%)
792 SS	0,459	5,48
805 SS	2,61	4,81
815 SS	2,96	4,52
792 S	10,95	17,48
805 S	13,98	6,45
815 S	15,57	6,23



Şekil 5.27. Martensit partikül boyutuna bağlı olarak % kesit daralmasının değişimi

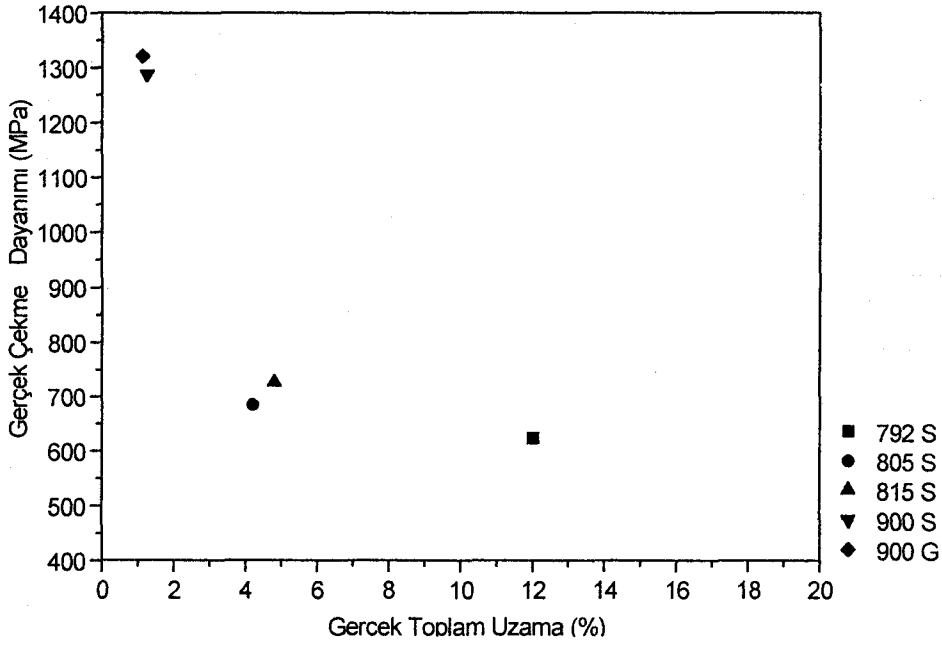
5.7. Gerçek % Toplam Uzama İle Gerçek Çekme Dayanımı (MPa) Arasındaki İlişki

5.7.1. Farklı hacim oranı ve martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı (MPa) arasındaki ilişki

Kaba martensit morfolojisine (S) sahip deney numunelerinde gerçek % toplam uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki verilmiştir. Bütün numunelerde gerçek çekme dayanımı arttıkça % gerçek toplam uzamanın azaldığı görülmüştür, Çizelge 5.29, Şekil 5.28.

Çizelge 5.29. Kaba martensit morfolojisine sahip deney numunelerin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Numune kodu	Gerçek % toplam uzama	Gerçek çekme dayanımı (MPa)
792 S	11,987	623,8
805 S	4,879	665
815 S	4,615	726,2
900 S	1,238	1287,8
900 G	1,125	1321,2



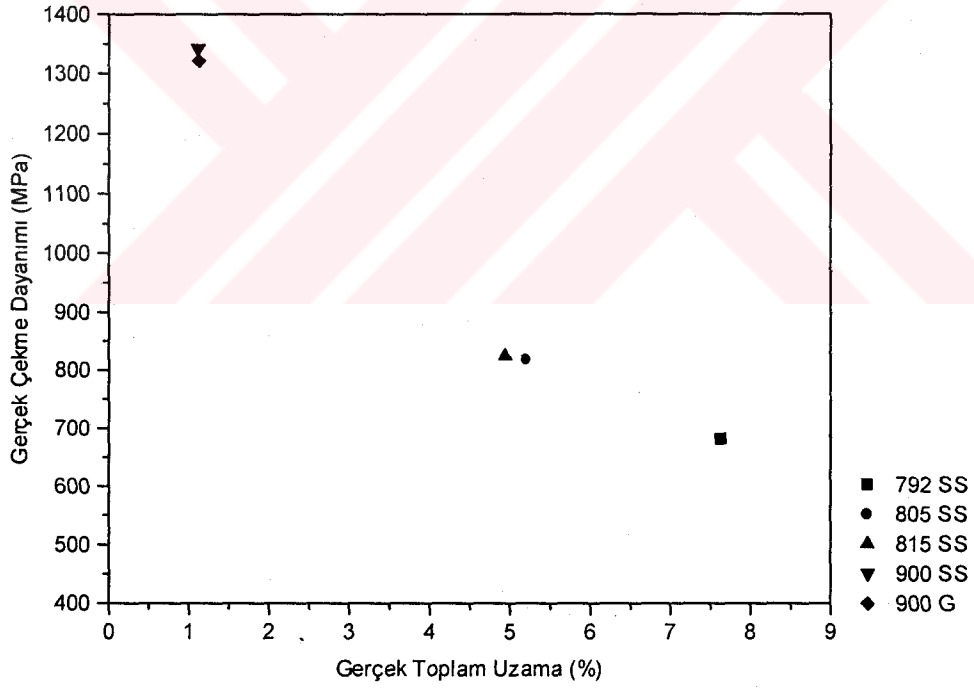
Şekil 5.28. Kaba martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

5.7.2. İnce martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Numunelere yapılan SS ısıt işlemleri sonucunda çekme dayanımı arttıkça % gerçek toplam uzama değerinin azaldığı gözlenmiştir, Çizelge 5.30, Şekil 5.29. Ancak bu azalış S kodlu numunelere göre daha fazladır. 792 S numunesi 623,8 MPa çekme dayanımı ile birlikte 11,613 toplam % uzama sergilerken 792 SS numunesi 680,4 MPa çekme dayanımı ile birlikte 7,95 toplam % uzama sergilemiştir. SS numunelerinin toplam % uzamasındaki bu azalış ise çekme dayanımlarının artmasına ve ikinci östenitleme sonrası oluşan çok ince karbürlere bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu konuda Rashidi ve Arkadaşlarının (33) yaptıkları çalışmada çekme dayanımında artış ve toplam % uzamadaki düşüşün aynı şekilde ince karbürlere kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Çizelge 5.30. İnce martensit morfolojisine sahip deney numunelerin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Numune kodu	Gerçek % toplam uzama	Gerçek çekme dayanımı (MPa)
792 SS	7,639	680,4
805 SS	5,2	817
815 SS	4,938	824,5
900 SS	1,112	1341,4
900 G	1,125	1321,2



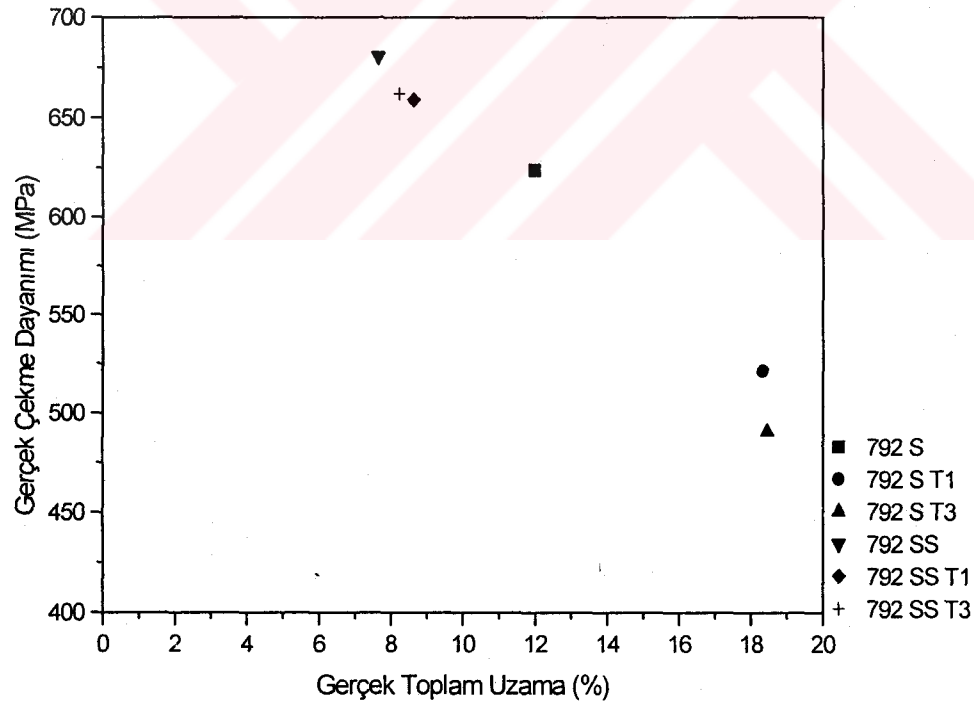
Şekil 5.29. İnce martensit morfolojisine sahip deney numunelerinde gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

5.7.3. Aynı % martensit hacim oranına sahip deney numunelerinin temperleme süresine bağlı olarak gerçek % toplam uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

SS kodlu ince martensit morfolojisine sahip numunelerde en yüksek gerçek çekme dayanımı elde edilirken, en yüksek gerçek toplam % uzama değeri ise kaba martensit morfolojili S T3 kodlu deney numuneleri ile üretilmiştir. SS numunelerindeki bu yüksek çekme dayanımı ve düşük % uzamanın nedeni ikinci östenitlemeden dolayı oluşan karbür çökmesine bağlanmaktadır (48). 792 S T3 kodlu numune 792 S kodlu numunenin kısmi östenitlenmesi ısıtma işlemi sonunda 3 saat temperlenmesi ile en yüksek gerçek % uzama değeri 18,439 olarak elde edilmiştir. 900 °C sıcaklıktan geleneksel su verme ısıtma işlemi sonrasında (20 dk tavlama + yağda su verme ısıtma işlemi) kritik sıcaklık arasında kısmi östenitleme yapılması ile (900 SS kodlu numune) en yüksek gerçek çekme değeri olan 1341,381 MPa elde edilmiştir, Çizelge 5.31-34, Şekil 5.30-33.

Çizelge 5.31. % 20 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

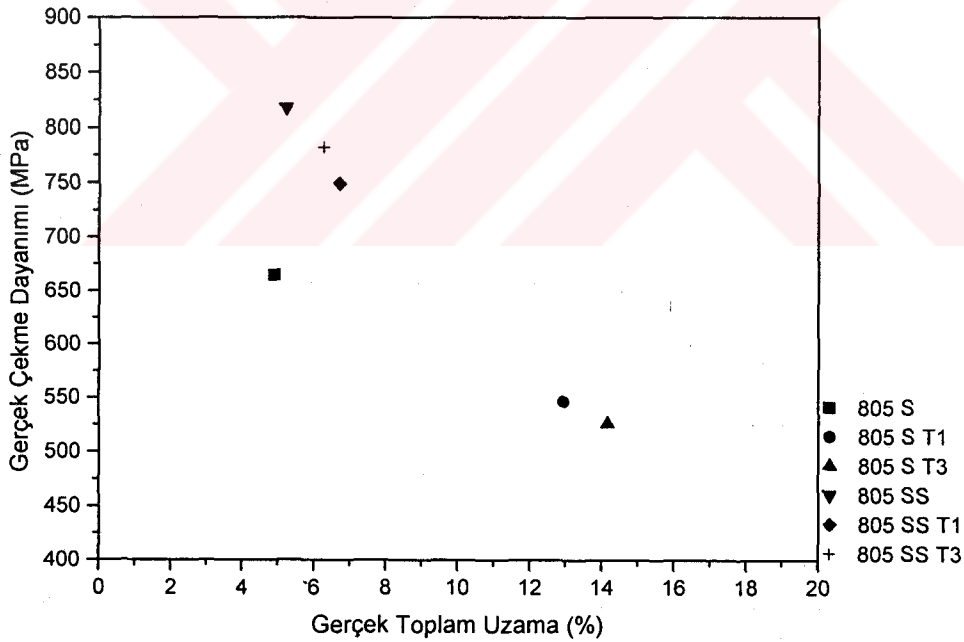
Numune kodu	Gerçek % toplam uzama	Gerçek çekme dayanımı (MPa)
792 S	11,987	623,8
792 S T1	18,326	521,3
792 S T3	18,439	490,6
792 SS	7,639	680,6
792 SS T1	8,635	659,2
792 SS T3	8,234	662



Şekil 5.30. % 20 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 5.32. % 40 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Numune kodu	Gerçek % toplam uzama	Gerçek çekme dayanımı (MPa)
805 S	4,879	665
805 S T1	12,94	546,6
805 S T3	14,149	526
805 SS	5,2	817
805 SS T1	6,695	749,1
805 SS T3	6,26	782,3



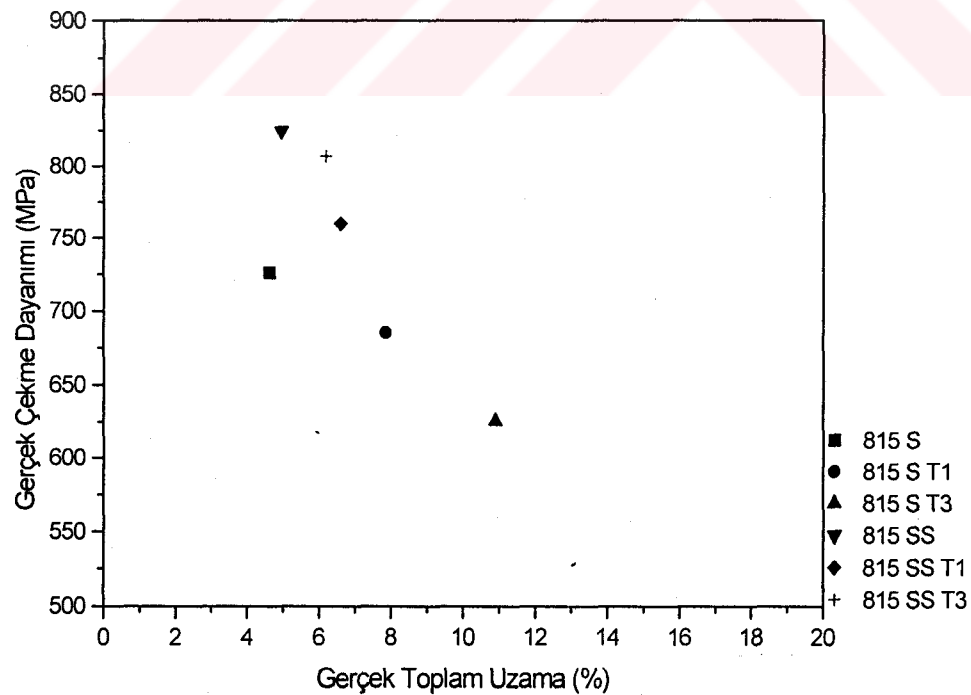
Şekil 5.31. % 40 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Bütün numunelerde temperleme ile birlikte toplam % uzamada artış gözlenirken, gerçek çekme dayanımında düşüş gözlenmiştir.

900 °C ‘den ısıtıl işlem yapılan numunelerin tamamı çok düşük toplam % uzama sergilemişlerdir. Bunun nedeni, bu numunelerdeki sert faz olan martensit hacim oranının çok yüksek olmasıdır.

Çizelge 5.33. % 50 MHO’na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

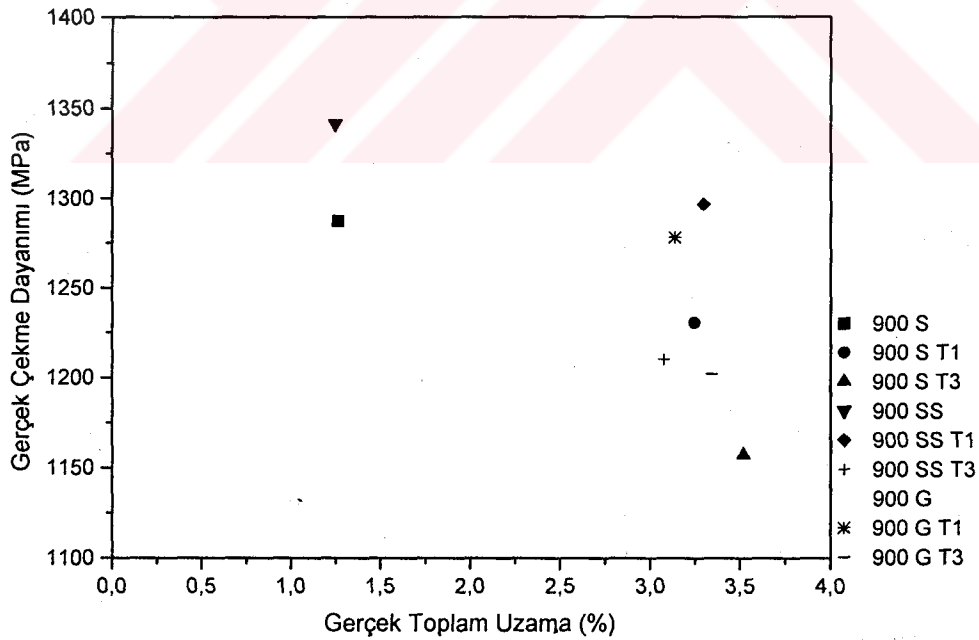
Numune kodu	Gerçek % toplam uzama	Gerçek çekme dayanımı (MPa)
815 S	4,615	726,2
815 S T1	7,852	685,3
815 S T3	10,894	625,6
815 SS	4,938	824,5
815 SS T1	6,589	760
815 SS T3	6,179	807,1



Şekil 5. 32. % 50 MHO’na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 5.34. % 80 ve % 82 MHO'na sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

Numune kodu	Gerçek % toplam uzama	Gerçek çekme dayanımı (MPa)
900 S	1,238	1287,8
900 S T1	1,748	1230,5
900 S T3	1,796	1157,2
900 SS	1,112	1341,4
900 SS T1	1,613	1296,7
900 SS T3	1,641	1210
900 G	1,125	1321,2
900 G T1	1,685	1278,2
900 G T3	1,699	1202



Şekil 5.33. % 80 MHO'na (900 S, 900 SS) ve % 82 MHO'na (900 G) sahip deney numunelerinin gerçek toplam % uzama ile gerçek çekme dayanımı arasındaki ilişki

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

1. Küresel grafitli dökme demirlerde uygun ısıtma işlemi ile martensit hacim oranı, partikül boyutu kontrol edilebilir.
2. Östenitleme sıcaklığı arttıkça % MHO artmıştır.
3. Kaba martensit morfolojisine sahip numunelerde % martensit hacim oranı arttıkça partikül boyutunda artmıştır.
4. İnce martensit morfolojisine sahip numunelerde % martensit hacim oranı arttıkça partikül boyutunda artmıştır.
5. % martensit hacim oranı arttıkça akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik artmıştır.
6. % martensit hacim oranı arttıkça toplam % uzama ve kesit daralması azalmıştır.
7. İnce martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demir numunelerde artan temperleme süreleriyle akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik artarken, %uzama azalmıştır.
8. Kaba martensit morfolojisine sahip küresel grafitli dökme demirlerde artan temperleme süresiyle %0.2 akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik düşerken, %uzama artmıştır.
9. İnce ve kaba martensit morfolojisine sahip numunelerde martensit partikül boyutu arttıkça %0.2 akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik artmıştır.

10. İnce ve kaba martensit morfolojisine sahip numunelerde toplam % uzama artarken gerçek çekme dayanımı azalmıştır.

11. Geleneksel su verme ısıl işlemine göre kısmi östenitleme su verme ısıl işleminde uzamada %76 iyileşme elde edilirken, akma ve çekme dayanımında %37,75 düşme elde edilmiştir.

6.2. Öneriler

1. Bu çalışmada alaşımsız küresel grafitli dökme demir kullanılmıştır. Daha iyi mekanik özellikleri elde etmek ve alaşım elementlerinin martensit hacim oranı üzerine etkisini incelemek amacıyla yeniden bir alaşım tasarlanıp alaşımlı küresel grafitde kısmi östenitleme ısıl işleminin çekme özellikleri üzerine etkisi araştırılabilir.

2. SS morfolojisine sahip numunelerde artan temperleme süreleriyle(özellikle 3 saatte) akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik artmış, % uzama azalmıştır. Bu durum literatürde olduğu gibi karbür çökmesi ve ikincil grafitleşmeye atfedilmiştir. Karbürlerin tespiti için EDAX ve X-RD çalışmalarına gerek vardır.

3. SS morfolojisine sahip numunelerde daha uzun temperleme sürelerinin çekme özellikleri üzerine etkisini incelemek için daha uzun temperleme süreleri(4,5,6,10 saat) çalışılabilir.

4. Östenitleme süresinin çekme özelliklerine etkisini incelemek amacıyla değişik östenitleme süresinde yapılp kısmi östenitleme süresinin etkisi incelenebilir (1dk,5dk,10dk,1saat) ısıl işlem uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- 1- İzgiz, S., "Küresel grafitli dökme demirler", *KOSGEB Yayınları*, Ankara 5(1988)
- 2- Çetin, M., "Karabük pikinden küresel grafitli dökme demir üretiminde etkili parametreler". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 1-9(1998)
- 3- Fidaner, S., Çelik, S., "Genel dökümcülük bilgisi", Cilt.2, *GÜTEF Matbaası*, Ankara 127(1991)
- 4- Savaşkan, T., "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Müh. Bölümü, *Derya Kitap Evi*, Trabzon(1998)
- 5- TS 1112, "Metal Malzemenin Isıl İşlemleri ile İlgili Terimler", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara(1982)
- 6- Askeland, R.D., "The Science and Engineering of Materials 3rd ed.", Cilt.1, Çeviri: Dr. M. Erdoğan, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara 332-338(1998)
- 7- Smith, W.F., "Structure and Properties of Engineering Alloys 2nd ed.", Cilt 1, Çeviri: Dr. M. Erdoğan, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara 239-243(2000)
- 8- Elliot, R., "Cast Iron Tecnology", *Butterworth*, London 130-150(1990)
- 9- Gural, A., "Çift fazlı çeliklerde martensit hacim oranı ve morfolojisinin işlenebilirlik üzerine etkisi". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-26(1999)
- 10- Bilge, D., "Çift-fazlı çelik üretimi çift-fazlı çeliklerde martensit hacim oranı ve morfolojisinin çekme özellikleri üzerine etkisi". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-22(1997)
- 11- Thompson, S.W., Fon, S., Howel, S.R., "Nucleation of austenite during intercritical annealing of a comerdal low alloy stell", *Proceedings of on Intunadional Conferance on J. LAIME*, New York 139(1984)
- 12- Speich, G.R., Szirme, A., "Formation of austenite from ferrite and ferrite-carbide aggregados", *Mtma, Alme*, 245,1063-1035(1969)
- 13- Young, D.Z., Brown, E.L., Matlock, D.K., Krauss, G., "The formation of austenite of low intercritical anealing temperatures in a normalize, %0,08 C, %1,4 Mn, %0,21 Si stell", *Met. Trans. A*, 12,1523-1526(1985)
- 14- Gorciz, C.I., Deardo, A., "Formation of austenite in 1,5 pct Mn steels", *Met. Tans. A*, 12(A), 521-530(1981)

- 15- Sousa, M.M., Guirraas, J.R.C., Chawlw, K.K., "Intercritical austenization of two Fe-Mn-C steels", *Met. Trans. A*, 13, 575-579(1982)
- 16- Speich, G.R., Demarest, S.A., Miller, R.L., "Formation of austenite during intercritical annealing of dual-phase steels", *Met. Trans. A*, 12(A), 1419-1428(1981)
- 17- Gerval, V., Lecaze, J., "Critical temperature range in spheroidal graphite cast irons", *1513 Interntional*, 40(4), 386-392(2000)
- 18- Chang, W.J., Kim, C.H., "Ferrite growth on cooling after intercritical annealing in a dual-phase steel", *Scripta Met.*, 25,1239-1243(1985)
- 19- Bevan, J.E., Schols, W., "Effect of Mo on transformation characterstics and propartions of high-strengt ductile irons", *AFS Transection*, 77(70), 271-276(1996)
- 20- Mallia, J., Grech, M., Smallman, R.E., "Effect of silicon content on transformation kinetics of austempered ductile iron", *The Institute of Materials* 184(1998)
- 21- Hafız, M., "Mecanichal properties of S6-Iron subjected to ariable and isothermal austempering temperatures heat treatment ", *Materials Science and Engineering*, A(340), 11-17(2003)
- 22- Hasırcı, H., "Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östemperleme süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri". Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-44 (2000)
- 23- Shih, T.S., Chav, S.Y., Chang, C.H., "Optimization of Austeniting Treatment of austempered ductile iron", *AFS Transections*, 94(72), 557-564
- 24- Yalçın, Y., Özel, A., "Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler", *Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, 23(119), 15-19(1999)
- 25- Anderson, J.C., Leave, K.D., Rawling, R.D., Alexander, J.M., "Materials Science 4th ed.", *Chaprrain 8 Hall. Impreal College of Science, Technology and Medicine*, UK 362(1951)
- 26- Woymon, C.M., "Phsical Metallurgy", Editors: R.W. Chan And P. Haasen, North, Holland 110(1983)
- 27- Hornbogen, E., "Phsical Metallurgy", Editors: R.W. Chan And P. Hasen, North Holland (1983)

- 28- Meyers, M.A., Ksishan, K.C., "Mechanical Behaviour of Materials", *Prentice Hall*, New Jersey 97(1988)
- 29- Davies, R., "The determination behaviour of vanadium strengthend dual-phase steel", *Met. Trans*, 9(A), 425 (1978)
- 30- Vander, A.S.J., "The production of GM 980X properties in HSLA stells", *Republic Steel Research Publication PR*, 12, 54-76 (1977)
- 31- Priestner, R., "Effect of austenite dispersion and plastic determination on phase transformation in dual-phase steel", *Department of Metalurgy and Materials Science University of Manchester*, Manchester 118(1987)
- 32- Crooks, M.J., Gornet, R.A.J., Vander S.J.B., Oven, W.S., *Metal Trans.*, 12(A), 1999 (1996)
- 33- Rashidi, A.M., Masrefi-Torbati, M., "Effect of tempering conditions on the mechanical properties of ductile iron with dual matrix structure (DMS)", *Materials Letters*, 45, 203-207 (2000)
- 34- Ductile Iron Data for Desing Engineers, Section VII Heat Teratment, Quench and Temper, www.ductileiron.org.(2003)
- 35- Rundman, B.K., "Hea treating of ductile irons", *Department of Metallurgical and Materials Engineering*, Michigan Tecnological University, Michigan 56(1996)
- 36- Okabayashi, K., Kawamoto, M., Ikegana, A., Tsujikawa, M., "Impact characteristics and fractography of spheroidal graphite cast iron steel with hard eye stucture, Trans", *Japan Foundrymen's Soc*, 37-41 (1982)
- 37- Rundman, B.K., Rouns, T.N., "On the effect of Moybdenum on the kinetics of secondary graphitization in quenched and tempered ductile irons", *AFS Transections*, 90, 487-497 (1982)
- 38- ASM Metals Handbook, volume 1, "Properties and selection: Irons, Steels and High Performance alloys", *Metals Park*, Ohio, 36 (1990)
- 39- TS 526 EN 1563 "Dökümler-Küresel grafitli dökme demirler", *Türk Standartlar Enstitüsü* (2000)
- 40- ASM Metals Handbook, volume 4, "Heat Treating", *Metals Park*, Ohio, 682 (1991)
- 41- Elliot, R., "Constitution and Properties of Stells", *Materials Science and Technology*, Edited By: R.W. Chan, P. Haasen, E.J. Kramer, Editör: F.B. Dickering, Weinheim, 7, 717 (1992)

- 42- Voight, R.C., Eldoky, L.M., Chiou, H.S., "Fracture of Ductile Irons with Dual Matrix Structure", *Transection of AFS*, 86(100), 645-656 (1996)
- 43- Hayrynen, K.L., Keough, J. R., Kavacs, B.V., "Determination of Mecanical Properties in Various Ductile Irons After Subjecting Them to Long Therm Elevated Temperatures", *Ductile Iron Society*, Resarch Project No, 28, (1999)
- 44- He, Z.R., Lin, G.X., Ji, S., "Deformation and Fracture of Cast Iron with Optimized Microstructure", *Materials Characterixation*, 38, 251-258 (1997)
- 45- Hafiz, M., "Tensile Properties and Fracture of Ferritic SG-Iron Having Different Grait-shell Structure", *Z. Metallkunde*, 92, 1258-1261 (2001)
- 46- Pickering, F.B., "The basis of quantitave metallography", *Institution of Metallurgists*, The Camelon Press Ltd., London, 3,17 (1975)
- 47- ASTM E8 M, "Standard test methods for tension testing of metallic materials[Metric]", *ASTM Press*, United States, 82 (2001)
- 48- Kobayashi, T., Yamada, S., "Effect of holding time in the ($\alpha+\gamma$) temperature range on toughness of specially austempered ductile iron", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 27A,1961-1971(1996)

ÖZGEÇMİŞ

01.10.1977 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gazi İlkokulu ve Gazi Çiftliği Lisesinde tamamladı. Lise Eğitimini Balgat Teknik Lisesi Kontrol ve Enstrumantasyon Teknolojisi bölümünde tamamladı. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Öğretmenliği Anabilim Dalından mezun oldu. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Öğretmenliği Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı ve hala aynı görevi devam ettirmektedir.

