

# Fe-Cu ve Fe-Cu-C MALZEMELERİN SERTLİĞİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

H.UZUN<sup>1</sup>, C.O. ÖLMEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ozanlar, Adapazarı

<sup>2</sup>Sapanca Endüstri Meslek Lisesi, Sakarya.

## ÖZET

Demir-Bakır ve Demir-Bakır-Grafit karışımları olmak üzere iki farklı demir esaslı malzeme toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Üretim işlemi ise, tozların karıştırılması, soğuk presleme, 1125°C'de ve parçalanmış amonyak atmosferi altında sinterleme ve fırında soğutma kademelerini içermektedir. Demir-Bakır karışımlarında bakır yüzdeleri %2 'den, %3.5' a kadar 0.5 adımlarla arttırılmıştır. Demir-Bakır-Grafit karışımlarında ise, bakır miktarı sabit (%3) tutulurken, grafit miktarı %0'dan %1.25'e 0.25 adımlarla arttırılmıştır. Sinterlenen numunelerin özelliklerini geliştirmek için, 800°C'de 120 dakika bekleyip sonra havada soğutma ısıl işlemine tabi tutulmuşlardır. Üretilen demir esaslı yapısal parçaların ısıl işlemi yapıldıktan sonra meydana gelen mikroyapısal değişikliklerin neler olduğu ve malzeme sertliğine nasıl etki yaptığı incelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonunda numunelerin havada soğutulmasıyla oluşan ince taneli yapı ve numune yoğunluğunun artmasından dolayı demir-bakır alaşımı numunelerin sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. Demir-Bakır-Grafit numunelerinde ise, grafit miktarının artması ile perlitik yapının oluşması gerçekleşmekte ve sertlik artışı meydana gelmektedir. Ayrıca ince taneli bir yapının oluşması da sertliği arttıran diğer bir faktördür.

## I. GİRİŞ

Demir esaslı toz metalurjisi (T/M) ürünleri, endüstrinin birçok dalında büyük bir oranda kullanılmaktadır. Otomotiv parçaları, el aletleri, tarım aletleri, büro malzemeleri, havacılık ve askeri alanlarda demir esaslı T/M parçaları vazgeçilmez malzemelerdir. Demir tozlarının diğer tozlarla birlikte kullanılması (nikel, fosfor, bakır, polimerler) bu parçaları daha da stratejik duruma getirmektedir.

Demir-Bakır-Grafit toz karışımları, özellikle otomotiv paçaları (motor, yağ pompası dişlisi, motor hareket

kolu kılavuz topu, yağ plakası basınç plakası, düz vites senkronize dişlisi ve anahtarları, debriyaj baskı plakası ve sürücü dişlisi), askeri mühimmat parçaları (roket bilezikleri), fotokopi makineleri, yüksek hızda çalışan yazıcılar, çamaşır makinesi eksantrik dişlisi gibi alanlarda, malzemelerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin üstün olmalarından dolayı kullanılmaktadırlar [1, 2,3].

Bu çalışmada, toz metalurjisiyle üretilmiş olan demir-bakır ve demir-bakır-grafit malzemelerin sertliği üzerinde, değişik toz oranlarının ve ısıl işlemin ne gibi etkilere sahip oldukları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu malzemelerin ısıl işlem öncesi ve sonrasında sertlik ölçümleri yapılmış ve mikroyapısal karakterizasyon incelenmiştir.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deney malzemelerinin tümünde, Högenas firmasının atomizasyon yöntemiyle ürettiği ticari saflıktaki ASC-100-29 demir tozu kullanılmıştır. Bu tozun ortalama karbon oranı % 0.002 olup, maximum %0.10 karbon içermektedir. Toz çapları ortalama 45-75 µm arasında değişmektedir. Toz çapları 30-50 µm arasında değişen ve %99.36 saflıktaki Sintek Toz Metalurji tarafından su atomizasyonu yöntemiyle üretilen bakır tozu kullanılmıştır. Grafit tozu (%97 C, %0.08 S, %2.83 kül) olarak Högenas firması tarafından üretilen UF4 sertleştirici grafit tozu kullanılmıştır. Yağlayıcı olarak da çinko streat kullanılmıştır.

İlk aşama olarak tozlar (demir tozu, grafit, bakır ve yağlayıcı), belirlenen oranlarda hassas terazide ayrı ayrı tartılmıştır. Tartılan tozlar ayrı ayrı yatık konili karıştırıcı içerisinde homojen karışım elde edinceye kadar (yaklaşık 8 dakika) karıştırılmıştır. Hazırlanan toz karışımlarına ait kodlama işaretleri ve toz miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Toz karışımlarına ait kodlamalar ve karışım oranları.

Numune kodu	Demir (% Ağırlık)	Bakır (% Ağırlık)	Grafit (% Ağırlık)	% Yağlayıcı
A1	98	2	-	0.6
A2	97.5	2.5	-	0.6
A3	97	3	-	0.6
A4	96.5	3.5	-	0.6
B1	97	3	0	0.6
B2	96.75	3	0.25	0.6
B3	96.5	3	0.5	0.6
B4	96.25	3	0.75	0.6
B5	96	3	1	0.6
B6	95.75	3	1.25	0.6

Hazırlanan toz karışımları, 80 tonluk bir pres yardımıyla 1050 MPa basınçta, bütün numuneler (10x10x76 mm ebadında) preslenmiştir. Presleme sonrası kompaktlar karışımlarda kullanılan kodlamalar esas alınarak işaretlenmiştir.

Tüm numuneler, parçalanmış amonyak gazı atmosferi altında çalışan sinter fırınında, 1125 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletilerek sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterlenecek kompaktların fırın içerisinde bağ oluşumu esnasında birbirine yapışmaması ve ısının kompakt bünyesinde homojen olarak dağılması amacıyla, kompaktlar amyant ile sarılarak farklı tavalara konulmuş ve bu şekilde fırına sürülmüştür. Ön ısıtma bölgesinde 20 dakika bırakılmış ve bu bölgede ısıtma esnasında yağlayıcıların bünyeden uzaklaşması ve mevcut oksit tabakalarının giderilmesi sağlanmıştır. Esas sinter bölgesinde 30 dakika kalınmış ve bu esnada sinterleme işlemleri gerçekleşmiştir. Soğuma bölgesinde ise yaklaşık 60 dakika beklenmiştir.

Sinterleme yapılmış kompaktlar, ısıl işlem fırınında 800°C sıcaklıkta, 2 saat bekletilerek ve daha sonra havada soğutularak ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Homojen bir ısıtma yapabilmek ve oksitlenmesini önlemek için saç kutu içerisine dökme demir talaşı konularak numuneler birbirine değmeyecek şekilde dizilmiştir.

Sinterlenmiş ve ısıl işlem görmüş numunelerin, mikroyapısal karakterizasyonu optik bir mikroskopla yapılmıştır. Parlatılmış olan numuneler, fazlar arası kontrast farkının oluşturulması için nitrik asit ve metil alkolden oluşan %2'lik nital dağlama reaktifleri kullanılarak dağlanmıştır.

Kompaktların sinterleme sonrası ve sinterleme sonrası ısıl işlemden sonra, her numune üzerinden 3 farklı

noktadan sertlik ölçümü alınarak, ortalama brinell sertlik değerleri bulunmuştur. Brinell sertlik değeri tespit edilirken, 5 mm çapındaki sert bilye, 62.5 kgf'lik bir kuvvet ile numune yüzeyine 30 saniyelik bir süre ile tutulmuş ve yüzeyde oluşan izin çapı ölçülmüştür.

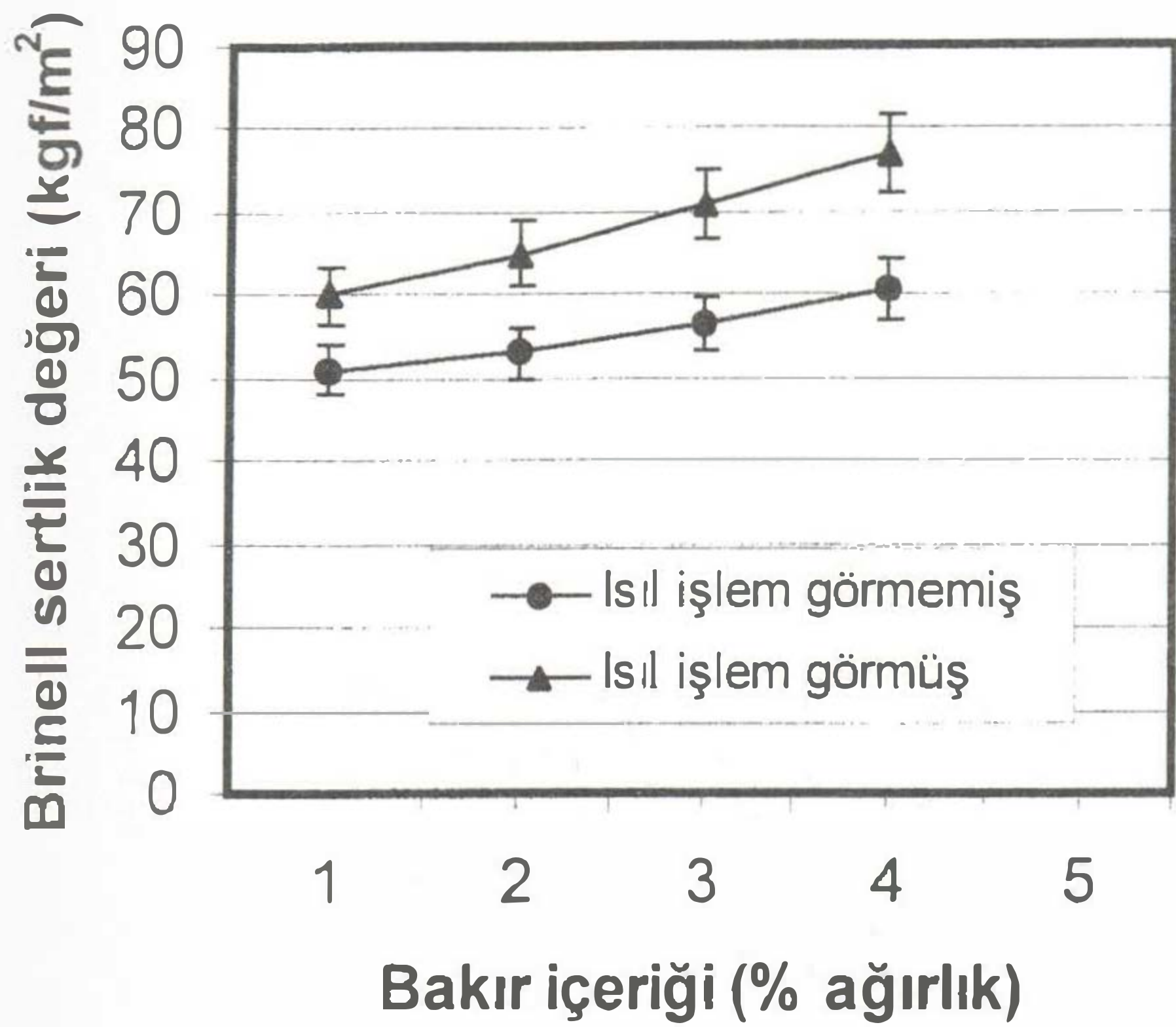
### III. DENEYSEL SONUÇLAR

#### III. 1. Fe-Cu Kompaktlarında Bakır Miktarının ve Isıl İşlemin Sertliğe Etkileri

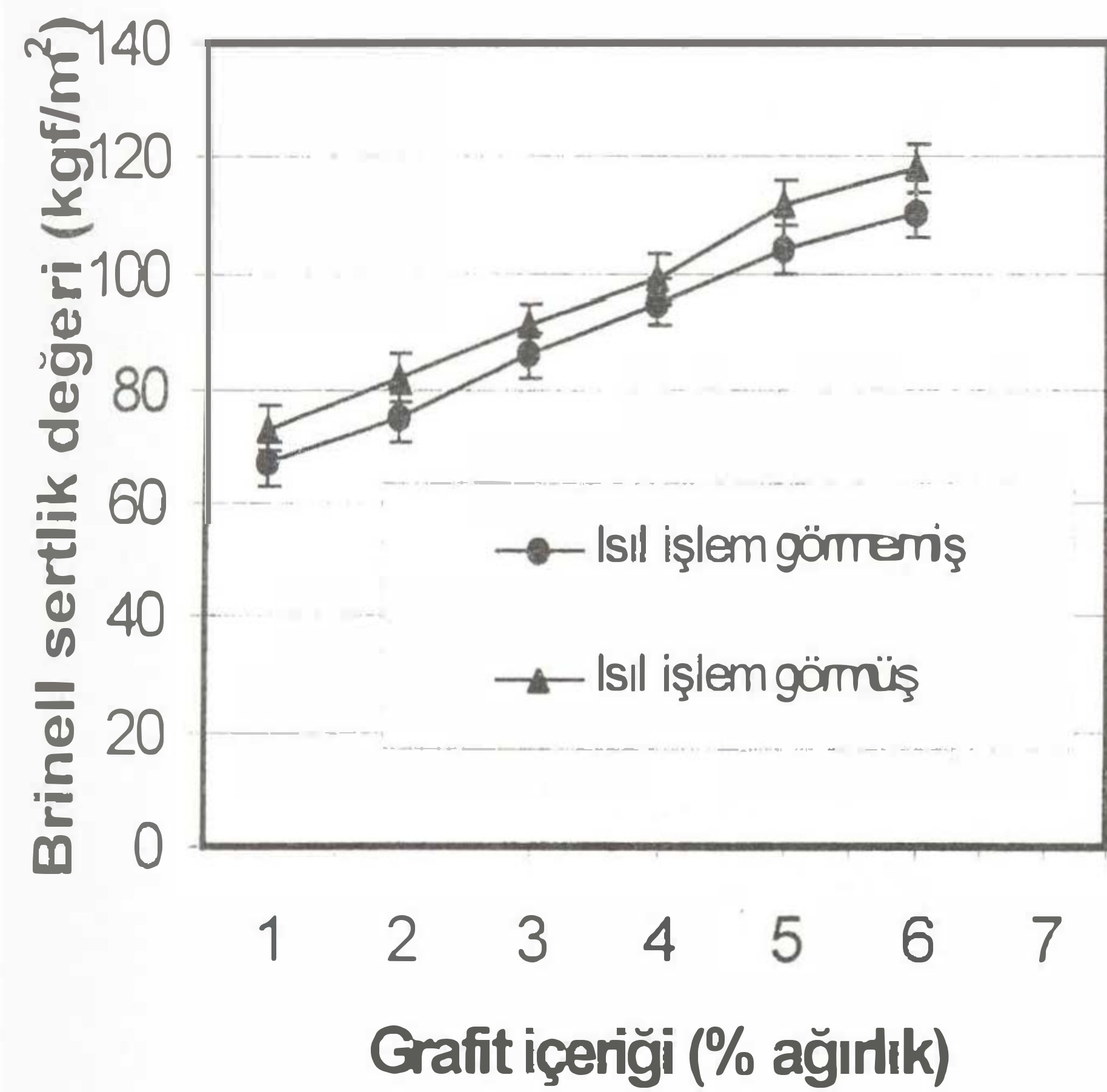
Isıl işlem görmüş ve ısıl işlem görmemiş A grubu numunelerinde (Tablo 1) bakır miktarının artmasıyla elde edilen sertlik değerleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, gerek ısıl işlem görmüş ve gerekse ısıl işlem görmemiş numunelerde, bakır miktarının artmasıyla numunelerin sertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca ısıl işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri, ısıl işlem görmemiş numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek oldukları tespit edilmiştir.

#### III.2. Fe-Cu-Grafit Kompaktlarında Grafit Miktarının ve Isıl İşlemin Sertliğe Etkileri

Isıl işlem görmüş ve ısıl işlem görmemiş B grubu Fe-Cu-Grafit esaslı numunelerde (Tablo 1), bakır miktarı sabit tutularak (ağırlık olarak %3), grafit miktarının artmasıyla tespit edilen brinell sertlik eğrileri Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekildeki eğrilerde görüleceği gibi, hem ısıl işlem görmüş hem de ısıl işlem görmemiş B grubu numunelerde, grafit miktarının artmasıyla numunelerin sertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca ısıl işlem görmüş B grubu numunelerin sertlik değerleri, ısıl işlem görmemiş B grubu numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Fe-Cu kompaktlarında ilave bakır miktarına göre sertlik değerlerinin değişimi.



Şekil 2. Fe-Cu-Grafit kompaktlarında ilave grafit miktarına bağlı olarak sertlik değerinin değişimi.

### III.3. Fe-Cu Kompaktların Mikroyapısal Karakterizasyonu

Isıl işlem görmüş A grubu Fe-Cu esaslı numunelerin optik mikroskopla çekilmiş mikroyapı fotoğrafları Şekil 3'de görülmektedir. Mikroyapılarda gözükten siyah bölgeler gözenekleri, beyaz bölgeler demiri ve gri bölgeler ise bakır ifade etmektedir. A1

numunesinin gözenek miktarı ile A2 numunesinin gözenek miktarı karşılaştırıldığında, A2 numunesinde gözeneklerin çok daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca gri bölgelerin yani bakır miktarının arttığı da görülmektedir. Kısacası bakır miktarı arttıkça gözenek miktarının azaldığı numuneler birbirleri ile karşılaştırıldığında tespit edilmektedir.

### III. 4. Fe-Cu-Grafit Kompaktların Mikroyapısal Karakterizasyonu

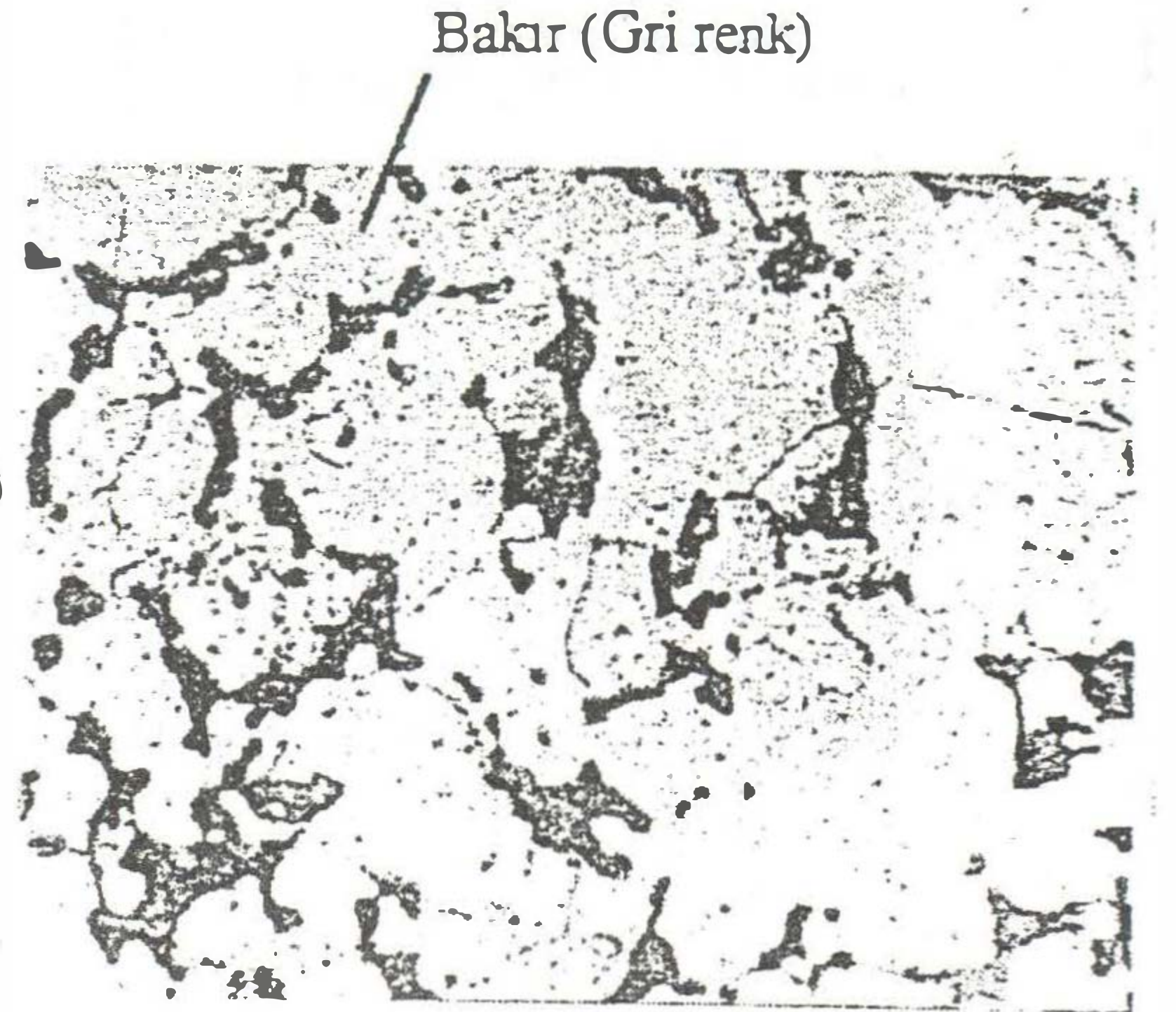
Fe-Cu-Grafit esaslı B grubuna ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 4'de görülmektedir. Mikroyapıda gözükten siyah bölgeler gözenekleri, beyaz bölgeler demiri, gri bölgeler bakır ve koyu gri bölgeler de grafiti göstermektedir. Grafit miktarı arttıkça, koyu gri bölge miktarının da arttığı görülmektedir. Beyaz bölgelerin yani demir miktarının ise azaldığı mikroyapıda fark edilmektedir.

### IV. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

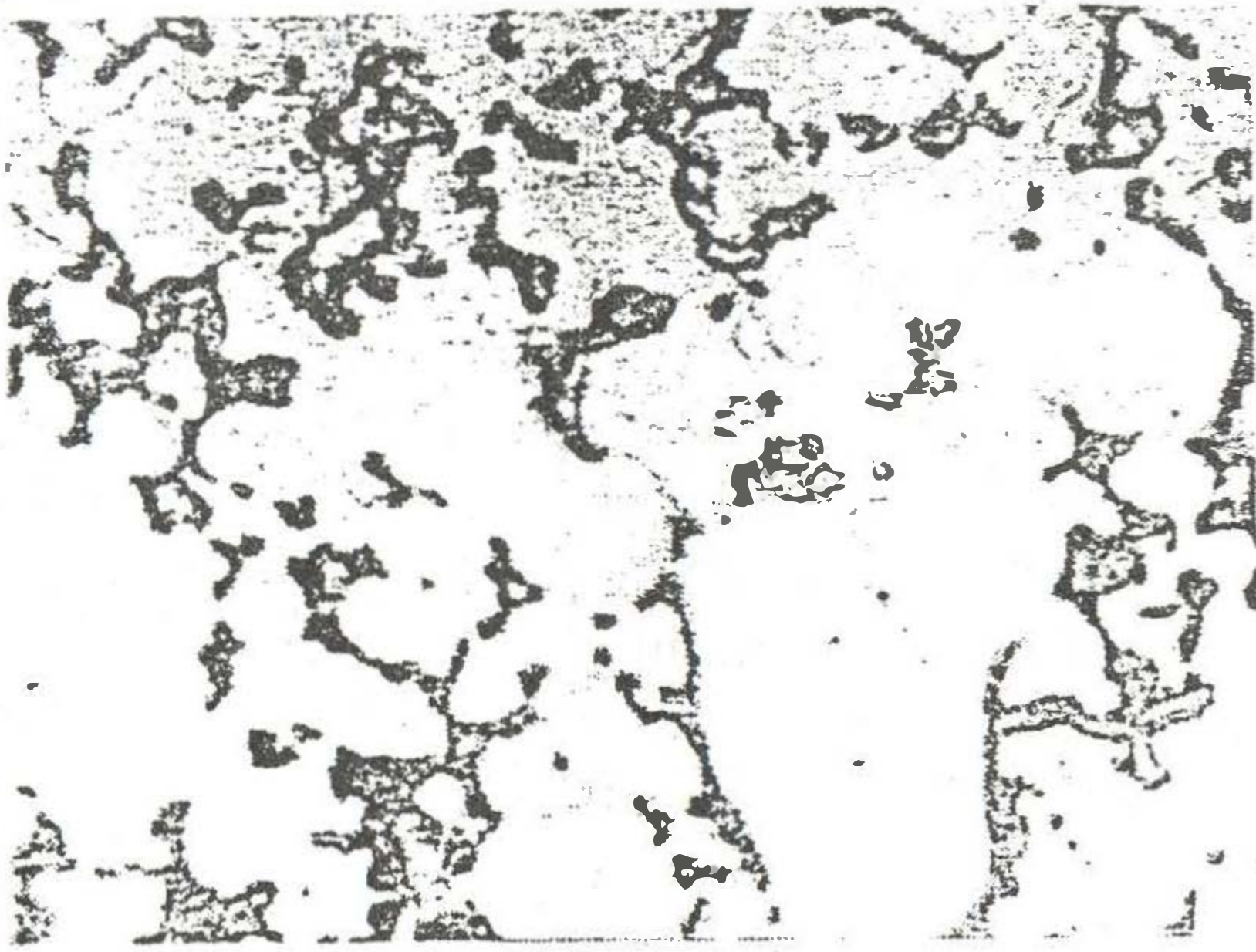
Isıl işlem görmemiş Fe-Cu esaslı A grubu numunelerinde bakır ilavesine bağlı olarak meydana gelen sertlik artışı (Şekil 1), bakır miktarının artmasıyla numune içerisindeki gözenek miktarının azalmasına dayandırılabilir (Şekil 3). Isıl işlem görmemiş A grubu numunelerdeki sinterleme sıcaklığının (1125°C), bakırın ergime sıcaklığının (1083°C) üzerinde olması, tüm numunelerin sıvı faz sinterlemesiyle sinterlenmesine ve gözeneklerin en aza indirilmesine yol açmıştır. Sinterleme sıcaklığında numune içerisindeki bakır ergiyerek, partiküller arasına ve tane sınırlarına sızmış, dolayısıyla ergiyen bakır tüm yapı içerisine yayınma yolu ile taşınmıştır. Buda gözeneklerin azalmasına sebep olmuştur ve böylece numune yoğunluğu da artmıştır. Dolayısıyla yüksek miktarda bakır içeren numuneler, düşük miktardaki bakırlı numunelere göre, sertliğinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



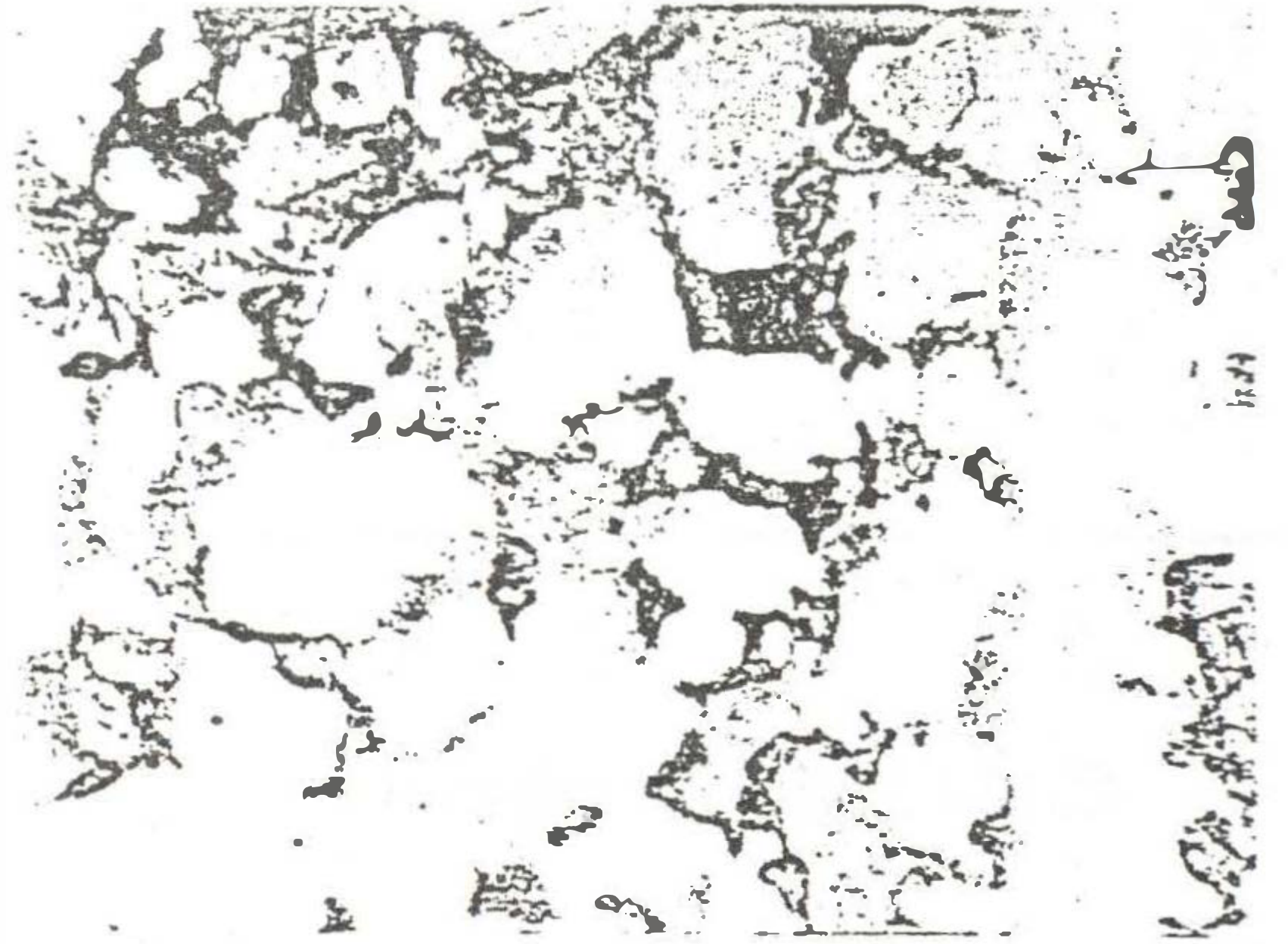
(a) Isıl işlem görmüş A1 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)



(b) Isıl işlem görmüş A2 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)



(c) Isıl işlem görmüş A3 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)



(d) Isıl işlem görmüş A4 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)

Şekil 3. A grubu Fe-Cu esaslı numunelere ait mikroyapı fotoğrafları

Beyaz (demir)

Siyah

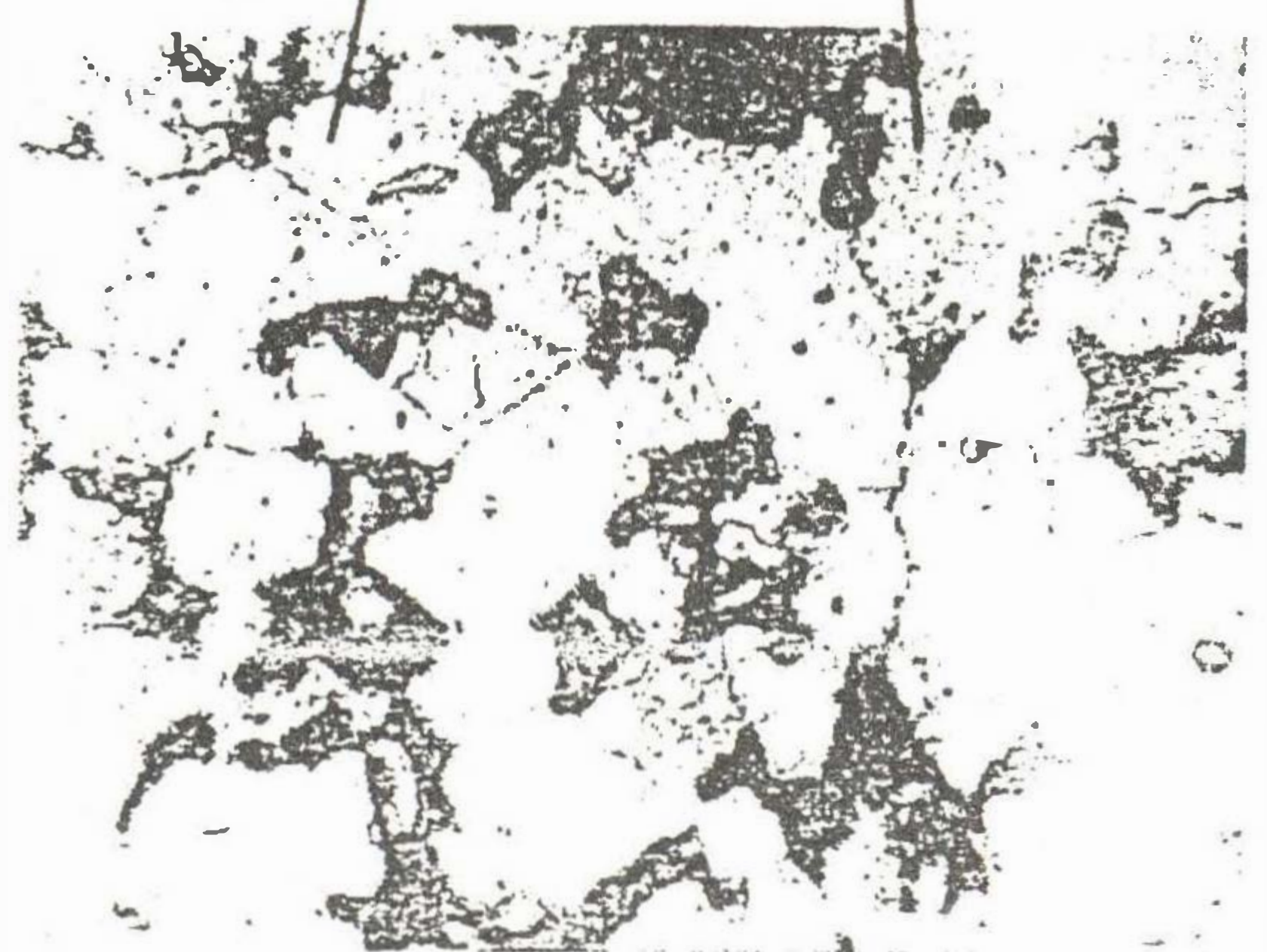
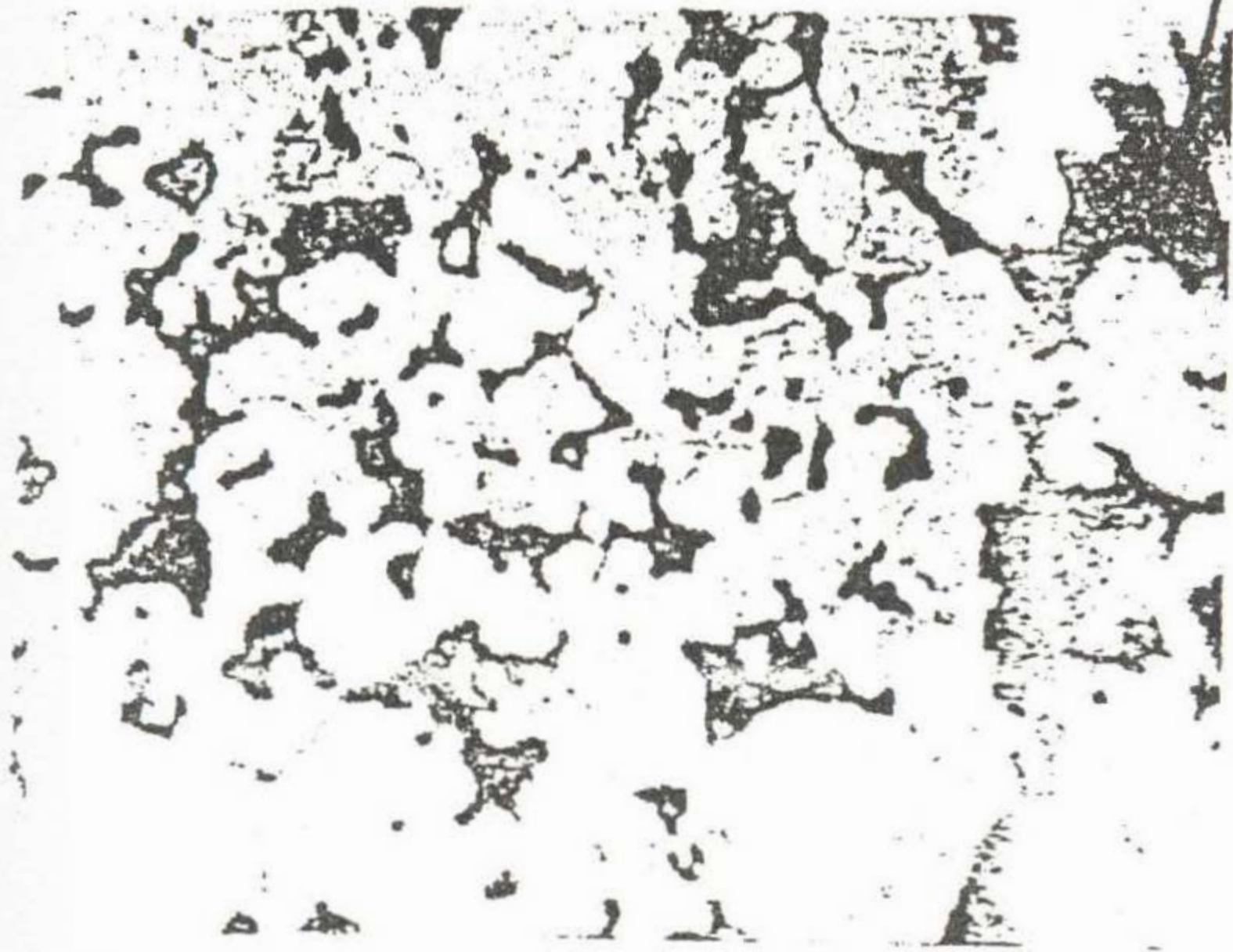
Bakır

Grafit

(Gözenek)

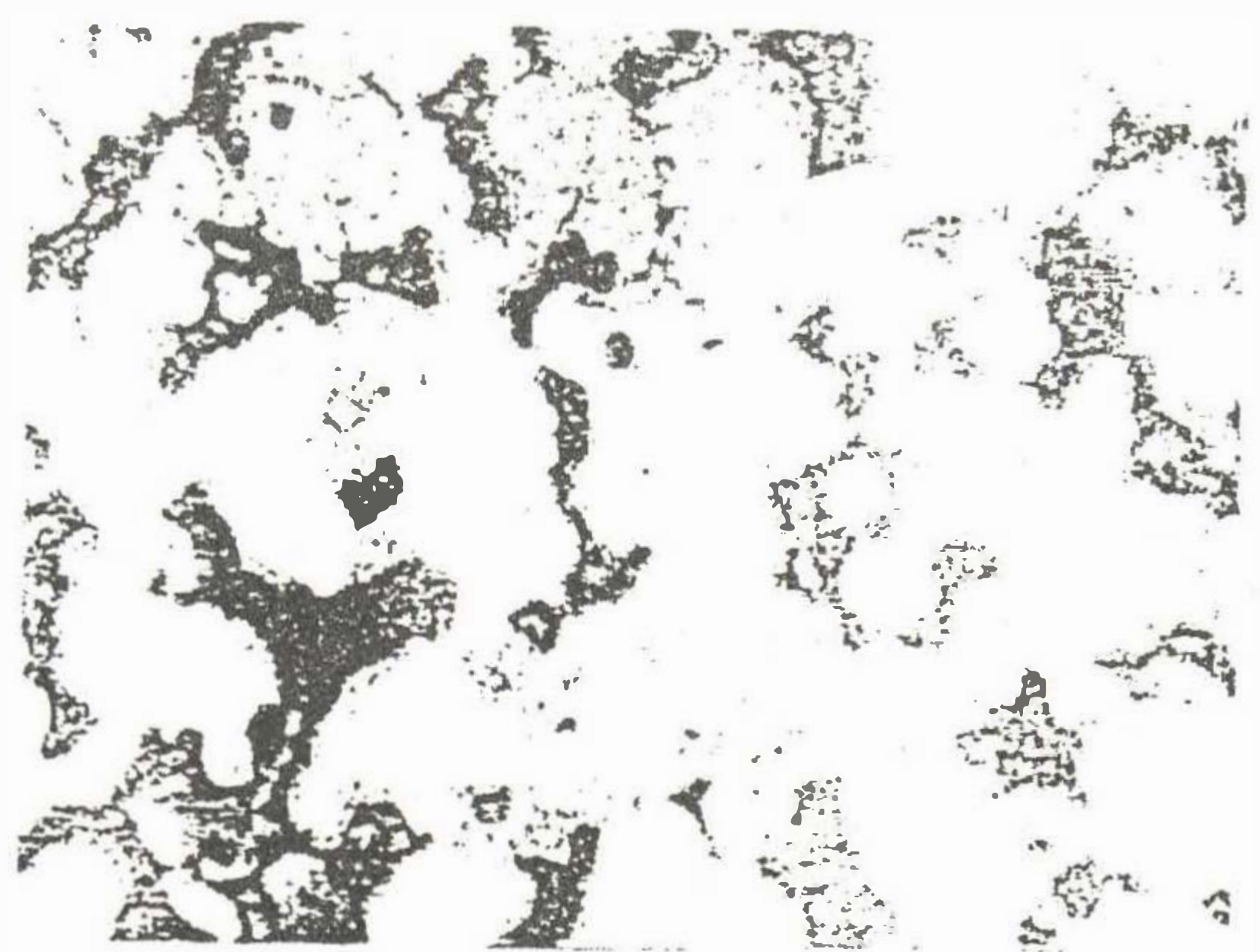
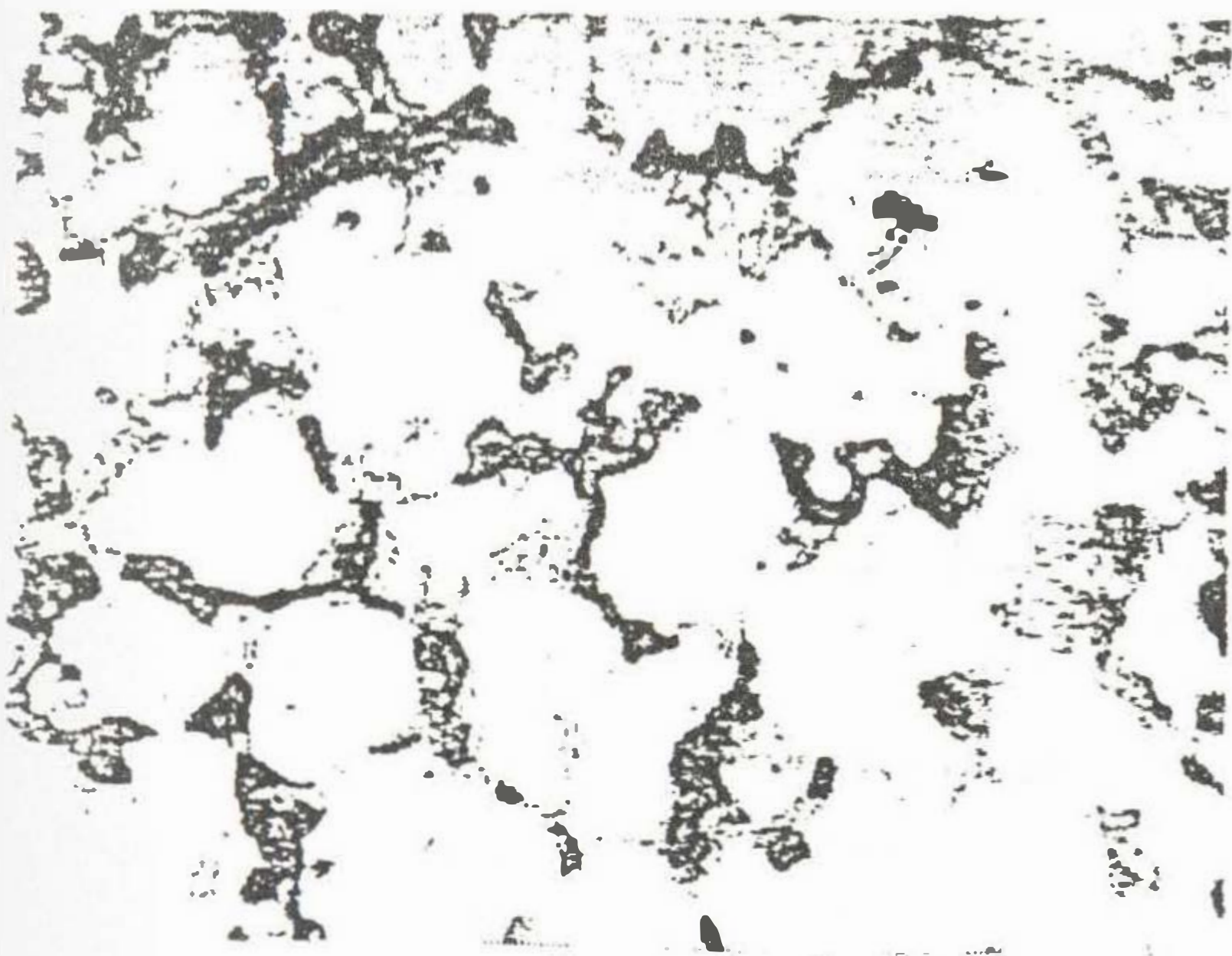
(Gri renk)

(Koyu gri)



(a) Isıl işlem görmüş B1 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)

(b) Isıl işlem görmüş B2 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)



(c) Isıl işlem görmüş B3 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)

(d) Isıl işlem görmüş B4 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (500×)

Şekil 4. B grubu Fe-Cu-Grafit esaslı numunelere ait mikroyapı fotoğrafları.

Isıl işleme tabi tutulan Fe-Cu esaslı A grubu numunelerde ise, ısıl işlem sayesinde sinterlemeye katı hal sinterlemesi olarak devam edilmiş ve gözeneklerin daha da azalmasına neden olunmuştur. Böylece ısıl işlem görmüş Fe-Cu esaslı numunelerin sertlik değerleri, ısıl işlem görmemiş yani katı hal sinterlemesi uygulanmamış numunelere göre fazla olmuştur.

Ayrıca ısıl işlem görmüş Fe-Cu esaslı numunelerin sertlik artışı, sadece katı hal sinterlemesine bağlı olmayıp, tanelerin incilmesiyle de ilişkilidir. Isıl işlem görmemiş numuneler sinterleme sıcaklığında bekletildikten sonra fırında yavaşça soğumaya terk edilmişlerdir. Bu işlem malzemenin kaba taneli bir yapıya sahip olmasını sağlamıştır [4]. Isıl işlem tatbik edilmiş numunelerde ise, numune 800°C'de bekletildikten sonra havada soğumaya terk edilmiştir. Havada soğuma işlemi ise numunelerde ince taneli bir yapının oluşmasına neden olmuştur (Şekil 3). Genellikle tane incilmesi malzemelerin mekanik özelliklerinde bir iyileştirme meydana getirdiği literatürde belirtilmiştir [5]. Dolayısıyla ısıl işlem, ince taneli bir yapıya sahip olan Fe-Cu esaslı numunelerin sertlik miktarı, ısıl işlem görmemiş kaba taneli bir yapıya sahip olan numunelerden fazla olacaktır. Deneysel sonuçlar da bunu göstermektedir.

Isıl işlem görmemiş Fe-Cu-Grafit esaslı B grubu numunelerin sertlik artışı, numune içerisindeki grafit miktarının artışı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür

(Şekil 2). Bu numunelerde sinterleme sırasında grafit, ostenit taneleri içerisinde yayılır ve soğuma sırasında ostenit taneleri perlitte dönüşür. Perlit teşekkülü ostenit tane sınırında sementit çekirdeği ile başlar ve bu çekirdeğin büyümesi ile dönüşüm devam eder (Şekil 4). Perlit, sementit (Fe<sub>3</sub>C) ve ferrit (α) fazlarından meydana geldiğinden, yapıdaki sementit sertlik artışına sebep olacaktır. Çünkü sementit sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir.

Isıl işlem görmüş Fe-Cu-Grafit esaslı B grubu numunelerin, 800°C'de ısıl işleme tabi olduktan sonra havada soğutulmuşlardır. Bu durum sertlik artışına sebep olmuştur. Çünkü yavaş soğuma şartlarında (fırında) kaba perlit, hızlı soğuma şartlarında (havada) ise ince perlit oluşur. Isıl işlem sayesinde yapı hem homojen hale gelir hem de ince lamelli perlit oluşur. Böylece sertlik artışı meydana gelir.

Isıl işlem görmüş ve görmemiş Fe-Cu esaslı numunelerde, %3 Cu ilaveli numunelerde brinell sertlik değerleri sırasıyla 56.5 kgf/mm<sup>2</sup> ve 71 kgf/mm<sup>2</sup>'dir. %3 bakır miktarı sabit olan ısıl işlem görmüş ve görmemiş Fe-Cu-Grafit esaslı numunelerin sertlik değerleri ise, Tablo 2'de de görüleceği gibi Fe-%3Cu'nun sertlik değerinden oldukça fazladır. Bu sertlik artışı ise demir ile grafitin reaksiyonu sonucunda teşekkül eden perlitik yapının varlığına bağlanabilir. Fe-%3Cu numunelerinde perlitik bir yapının varlığı söz konusu değildir. Dolayısıyla sertlik de düşük olacaktır

Tablo 2. Fe-%3Cu ve Fe-%3Cu-%0.5Grafit numunelerin sertliklerinin karşılaştırılması.

Malzeme	Brinell Sertlik Değerleri (kgf/mm <sup>2</sup> )	
	Isıl işlem görmemiş	Isıl işlem Görmüş
Fe-%3Cu	56.5±3.5	71±4
Fe - %3 Cu - %0.5 Grafit	86±3	91±

## V. GENEL SONUÇLAR

1. Isıl işlem görmemiş Fe-Cu esaslı malzemelerde, bakır miktarının artmasıyla gözenek miktarı azalmış ve sertlik artışı meydana gelmiştir.
2. Isıl işlem görmüş Fe-Cu esaslı malzemelerde bakır ilavesine bağlı olarak meydana gelen sertlik artışı, katı hal sinterlemesiyle yoğunluğun artması ve havada soğutmadan dolayı ince tane yapısının meydana gelmesinden dolayıdır.
3. Isıl işlem görmemiş Fe-%3 Cu-Grafit esaslı malzemelerde, grafit ilavesinin artmasıyla sertlik değerleri de artmaktadır. Sertlik artışı, grafit ilavesi nedeniyle oluşan perlitik yapının

varlığından dolayıdır. Perlit miktarının artması ile sertlikte artmaktadır.

4. Isıl işlem görmüş Fe-%3 Cu-Grafit esaslı malzemelerde sertlik artışı, ısıl işlem esnasında havada soğutmadan dolayı perlitik yapının incelmelerinden dolayıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] WHITTAKER, D. "Ferrous P/M Components - Where From Here", Powder Metallurgy, Volume 38, Number 2, 1993.

[2] CRAWSON, A., "P/M Ferrous Materials", Metal Handbook, Volume 7, p. 623, 1993, USA.

[3] JAMES, B.A., "Liquid Phase Sintering in Ferrous Powder Metallurgy", Powder Metallurgy, Volume 28, Number 3, 1985.

[4] GÜLSOY, Ö., "Toz Metalurjisi Süreçleriyle Üretilen Demir Esaslı Yapısal Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 1996.

[5] TOPBAŞ, A., "Isıl İşlemler", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1993.

