

ETIAL 171-SiC-GRAFİT HİBRİT METAL MATRİKSİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MİKROYAPISI

Ahmet M. AZAKLI, Serdar ASLAN, Hatem AKBULUT, Cuma BİNDAL,

Özet - Bu çalışma, ETIAL 171 - SiC - Grafit hibrit metal matrisli kompozitlerin (MMK) üretim ve mikroyapısını rapor etmektedir. ETIAL 171 matris malzemesi olarak seçilen ötektik altı alüminyum - silisyum alaşımına önce hacimce % 10 SiC ilave edilmiştir. Takiben bu kompozite, ağırlıkça % 2,5 - 5 - 7.5 ve 10 oranlarında Cu kaplanmış grafit partikülleri ilave edilmiştir. SiC partikül ve grafit ağırlık oranının değişimine bağlı olarak mikroyapı ve sertlik değişimleri incelenmiştir. İlave edilen SiC ve grafit partiküllerinin mikroyapı için bir nevi modifiye elemanı olarak davrandıkları tespit edilmiştir. Artan grafit partikülleri mikrosertlik değerlerinin neredeyse lineer olarak artışına yol açarken Brinell sertlik değerlerinin düşüşüne neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler - MMK, hibrit, SiC, grafit, sertlik, mikroyapı.

Abstract - This study reports on the production and microstructures of ETIAL 171 - SiC - Graphite hybrid metal matrix composites (MMCs). SiC particles in vol. % 10 were initially added to the chosen ETIAL 171 matrix material. Subsequently Cu coated graphite particles were introduced into this composite in the ratio of 2.5 wt. % - 5 wt % - 7.5 wt % and 10 wt. %. Depending on the change of SiC and graphite particles ratio, the microstructural and hardness were investigated. It was determined that added SiC and graphite particles are acting as a some kind of modifier for microstructure. Increasing graphite particle ratio increases micro hardness almost linearly, whereas Brinell hardness decreases.

Keywords - MMCs, Hybrid, SiC, graphite, hardness, microstructure,

A. M. Azaklı; AL-Form Alüminyum Otomotiv Komponentleri ev Ziraat Makinaları LTD. İMES Sanayi Sitesi, B206 Sok. No: 4, Y. Dudullu/İstanbul

S. Aslan, H. Akbulut, C. Bindal;SAÜ Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Esentepe/Sakarya

I. GİRİŞ

Partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler, (MMK), özellikle de alüminyum alaşım matrisli olanlar üzerindeki araştırmalar son yıllarda büyük ilgi çekmiştir. Alüminyum alaşımaları, yüksek özlük dayanım, düşük yoğunluk, işlenebilirlik, kolay üretilebilirlik, yüksek sıcaklıkta uzun süre mukavemetlerini koruyabilme ve maliyet açısından ileri uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunun yanında, bu özellikler alüminyum matrisli kompozit malzemeler kullanılarak geliştirilebilir.

Bu malzemelerin kompozit sayılması için [1,2];

- İnsan yapımı olmalıdır.
- Ara yüzeyleri ayırt edilebilen, en azından iki kimyasal olarak farklı malzemenin kombinasyonu olması gerekmektedir.
- Malzemeler üç boyutlu olarak birleşmeleri gereklidir.
- Yeni malzemenin özellikleri, ayrı ayrı bileşenlerinde bulunmayan özelliklere sahip olmalıdır.

Bu tanımlamalar alüminyum matrisli kompozitleri alüminyum alaşımından ayırırlar. Alüminyum matrisli kompozitler, takviyesiz alüminyum alaşımaları, polimer matrisli kompozitler ve seramik matrisli kompozitlerle karşılaştırıldıklarında, bir takım özgün avantajlar ve dezavantajlar sunar.

Metal matrisli kompozitler takviyelerin geometrisine göre sınıflandırılabilirler [3];

- Sürekli fiber takviyeli kompozitler
- Kısa fiberler, viskerler ya da partiküller ile süreksiz takviyeli kompozitler
- Dispersiyonla sertleştirilen süreksiz takviyeli kompozit malzemeler

Bunlardan başka, lamelli kompozitler, kompozit kaplamalar, sermetler ve dispersiyon sertleştirilmiş alaşımlar vardır.

Ortak bir metal matris içerisinde iki veya daha fazla tip fiber içeren kompozit malzemeler hibrit MMK malzemeler olarak isimlendirilirler [4]. Başka bir deyişle hidrid MMK malzemeler, en az iki veya daha fazla farklı tip metal matris veya takviye fazı içeren tabakalı kompozitlerdir. Her bir matris veya takviye fazı çeşidi

- i) fiziksel ve/veya mekaniksel özellikleri,
- ii) malzeme yapısı ve
- iii) kimyasal kompozitleri

nedeniyle birbirinden farklı olabilirler [5].

Hibrit kompozit malzemeler iki fonksiyonlu kompozitler olarak da adlandırılabilirler. Malzemelerin servise sunulmasında özelliklerinin optimize edilmesi kaçınılmazdır. Örneğin, yüksek sıcaklıkta kullanılacak bir malzemenin hem yüksek sıcaklıkta kullanım esnasında yük taşıma kabiliyetinin iyi olması ve hem de uzun süre kullanılabilmesi gerekir. Bu amaçla önce malzemenin yüksek mukavemet kazanması gerekir, daha sonra da bu mukavemetini kaybetmemesi istenir. Bunun için mikroyapısı iki fonksiyonlu olarak üretilmelidir. Farklı malzemelerin herhangi bir kombinasyonu (bileşimi) aslında bir hibrit olarak düşünülebilir. Hibritleşmenin amacı, istenilen tasarıma uygun olarak malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için bir bileşenin olumsuz etkisini diğer bir bileşen ilavesiyle dengelemektir. Aşınma ortamında çalışan ve aynı zamanda yüksek ısı iletimi istenen bir alanda bir MMK malzeme kullanılmak istendiğinde malzemenin yüzey ısınmasını ve buna paralel olarak oksitlenmesini engellemek için ve bunun yanında yük taşıma kabiliyetinin kaybolmasını engellemek için en iyi yollardan birisi bir metal içine hem sürtünmeyi azaltacak bir bileşen ilave etmek ve hem de yük taşıma kabiliyetini artırıcı bir takviye fazı ilave etmektir. Bu açıdan bakıldığında bir Al alaşımına hem SiC partikülleri ve hem de grafit partikülleri ilavesi optimum bir malzeme özelliği ve mikroyapısı ortaya çıkaracaktır. Bu çalışmanın amacı ETIAL 171 alaşımına farklı oranlarda grafit partikülleri ve sabit oranda SiC partikülleri ilave ederek bu malzemelerin üretiminin mümkün olup olmadığını araştırmak ve mikroyapı özellikleri ile sertlik arasında ilişki kurmak olacaktır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

II.1 Matris Alaşımı ve Takviye Elemanları

Hibrit kompozit malzeme üretim deneysel çalışmalarında, alüminyum matris alaşımı olarak ETIAL 171 alaşımı seçilmiştir. Bu alaşımın seçimindeki amaç, yük taşıma kabiliyetinin iyi olmasından, korozyona karşı dayanımının yüksek olmasından ve döküm kabiliyetinin iyi olmasından dolayı özellikle aşınma uygulamaları için önemli bir alaşım olarak kullanılmasıdır. Matris

alaşımın atomik absorpsiyon cihazında yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 1' de dir.

Tablo 1. Matris alaşımı ETIAL 171'in kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Ti	Zn	Ni	Al
9,6	0,36	0,43	0,07	0,044	0,002	0,035	0,01	Kalan

Takviye malzemesi olarak ETIAL 171 alaşımına ilave edilen grafit partikülleri ve SiC partiküllerinin boyutları sırasıyla ortalama 85 µm ve 62.5 µm dir. Grafit partikülleri, % 98.5 saflıkta olan 2 mm boyutundaki parçacıkların öğütülmesi ve daha sonra yapılan eleme ile 90-40 µm boyut aralığında tasnif edilen partiküllerdir. SiC partikülleri ise aşındırıcı olarak kullanılan ve % 99.5 saflıktaki partiküllerdir.

II.2 MMK Malzemelerin Üretimi

Grafit partiküllerinin alındıkları halde matris içine ilave edilmesi sırasında grafit ve Al arasındaki yüksek yüzey geriliminden dolayı sıvı alaşımın grafit partiküllerini ıslatması neredeyse imkansızdır. Kaplamanın amacı metal takviye fazı arayüzey yapısını grafit/metalden metal/metale dönüştürmektir. Bu çalışmadaki Grafit partiküllerinin matris alaşımında tutulmasını ve ilavesini kolaylaştırmak için boyut tasnifi yapılan grafit partikülleri CuSO₄ çözeltisi içine ilave edilerek bakırın sementasyonu prensibine göre partiküller üzerinde ince bakır kaplanması sağlanmıştır. CuSO₄ çözeltisi içine ilave edilen grafit partiküllerinin sıvıda asılı durmaları için çözelti 100-150 devir/ dakika hızla karıştırılmıştır. Çözelti içine 4-5 mm boyutlarında saf Zn ilave edilerek aşağıda verilen kimyasal reaksiyon gereğince açığa çıkan saf Cu grafit partikülleri üzerine kaplanmış ve kaplanan grafit parçacıkları kaplama yapılan tankın dibine çökmüştür.



$$(\Delta H_{298}^0 = -234.55 \text{ kcal/mol})$$

Tüm grafit partikülleri tankın dibinde biriktikten sonra yüzeyleri kaplanan partiküller saf su ile yıkanmış ve takiben tartarik asit + asetik asit banyosunda 15 dakika bekletilerek kaplanan Cu filminin grafit ile termodinamik olarak kararlılığı (fixing) sağlanmıştır. Bu işlemler ile grafit partikülleri üzerinde yaklaşık 10-15 µm kalınlığında bir kaplama tabakası elde edilmiştir.

ETIAL 171 alaşımı ve bu alaşımın kompozitleri laboratuvarında kurulan elektrikli bir fırın kullanılarak üretilmişlerdir. Takviyesiz alaşım ve kompozit malzemelerin üretimlerinin tümü kontrollü atmosfer altında gerçekleştirilmiştir. Kontrollü atmosferi sağlamak amacıyla ergitme ve takviye ilaveleri sırasında argon gazı

kullanılmıştır. Tüm malzemelerin üretimi sırasında fırın sıcaklığı 660 °C'ye çıkarıldıktan sonra hesaplanan oranlarda ET1Al-171 matris alaşımı 220 cm³ kapasiteli potaya şarj edilmiştir. Metal ergidikten sonra yaklaşık olarak 15 dakika beklenmiş ve fırın kapağı açılarak ergimiş matris metalinin üzerindeki curuf alınmış ve gaz giderme işlemi yapılmıştır.

Metal sıcaklığı 660 °C'de iken potanın içerisine karıştırıcı daldırılarak, 1000-1500 devir/dakika hızla döndürülmüş ve pota ortasında bir vorteks oluşumu sağlanmıştır. Bu yüksek hızla karıştırma sırasında vorteksin ortasına takviye elemanı olan SiC partikülleri ve Cu kaplı grafit partikülleri kontrollü olarak ilave edilmiştir. Takviye malzemeleri sıvı matrise ilave edilmeden önce etüvde 120 °C'de 1 saat bekletilmiş ve ilaveler takviye malzemeleri etüvden alınır alınmaz yapılmaya başlanmıştır. ET1Al-171 matris alaşımı öncelikler takviyesiz olarak üretilmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde ilave edilen SiC miktarı hacimce % 10 olacak şekilde sabit tutulmuş ve Al-Si-% 10 SiC kompozit malzemesine ağırlıkça % 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 oranlarında Cu kaplı grafit partikülleri takviyesi yapılmıştır. Böylece, bir tanesi takviyesiz ET1Al-171 olmak üzere 5 farklı malzeme üretilmiştir. SiC ve grafit takviye elemanlarının ilavesi bittikten sonra, karıştırma işlemine karışım tiksotropik zona gelinceye kadar devam edilmiş ve akışkanlık tamamen kaybolduktan sonra karıştırma işlemi sona erdirilmiştir. Takviye elemanlarının ilavesi tamamlandıktan sonra karışım, fırın 760°C'ye kadar ısıtılmış ardından sıkıştırma döküm makinasında dökümü gerçekleştirilmiştir. 760°C'ye ısıtılan sıvı karışım, 270°C'ye ön ısıtılan 100x10 mm boyutlarındaki çelik kalıba dökülmüş ve hemen sıvı karışım üzerine 50 MPa değerinde basınç uygulanmıştır. Katılaşma sona erinceye kadar basınç uygulamasına devam edilmiş ve 3 dakika sonra basınç kaldırılıp numuneler kalıptan alınmıştır.

II.3 Metalografik İnceleme

Üretilen kompozit malzemelerde takviye oranlarına bağlı fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimin nedenlerinin belirlenmesi partikül dağılımı, boyutu matris ile SiC ve Cu kaplı grafit arasındaki ara yüzeylerinin ve yapının incelenmesi amacı ile test numuneleri klasik metalografik işlemler ile hazırlandı. Mikroyapıdaki değişimleri belirlemek için optik mikroskopta (Olympus BH-3) kullanıldı.

II.4 Sertlik

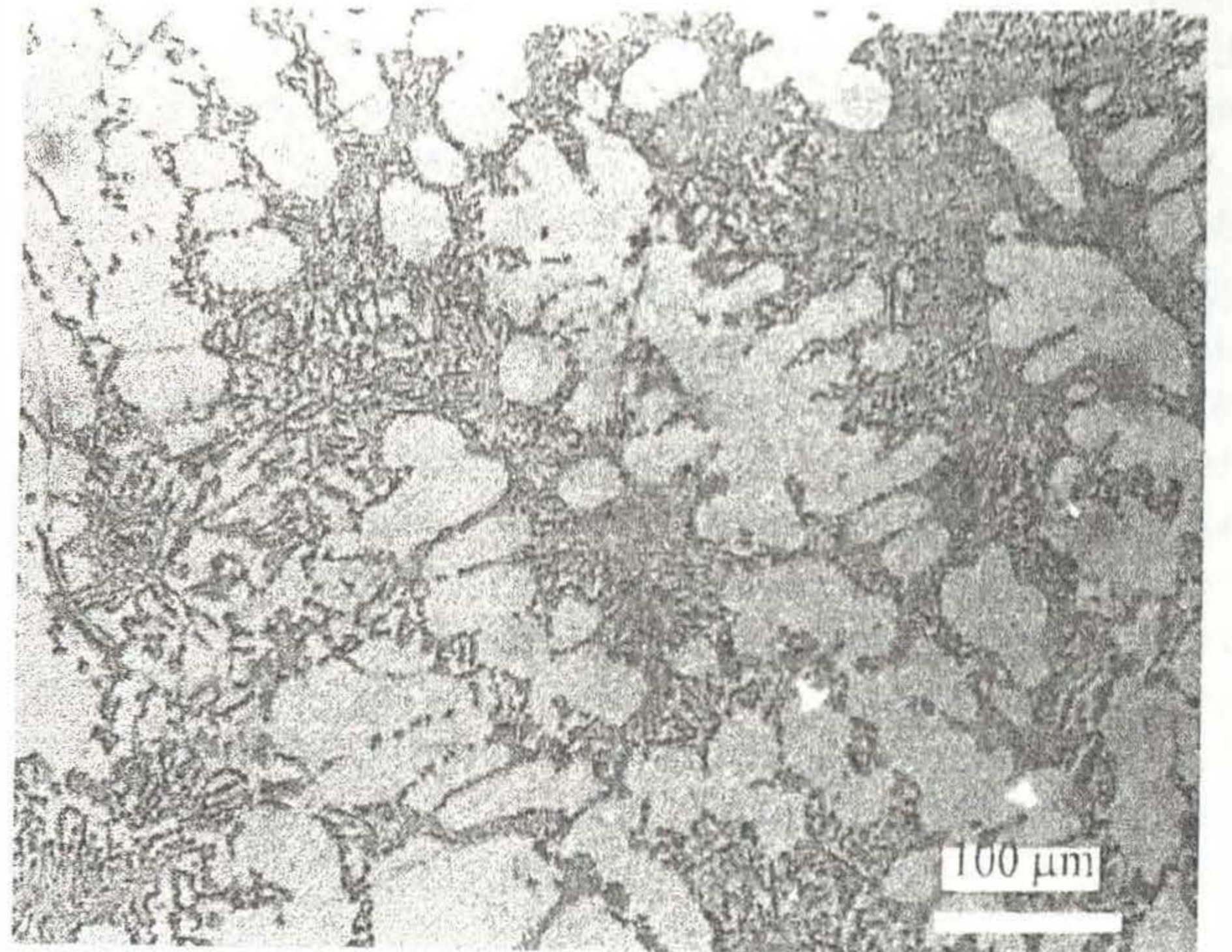
Takviyesiz alaşım ve kompozit malzemelerin iki farklı sertlik metodu ile sertlik değişimleri ölçülmüştür. Partikül ilavesi ile matrisin sertliğinde meydana gelen değişimler için mikrosertlik ölçümleri, malzemenin makro boyuttaki sertlik değişimleri için ise Brinell sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri 200 g yük malzemelere 20 sn süre ile uygulanarak yapılmış ve

sadece partiküllerden serbest matris fazının sertliği ölçülmüştür. Brinell sertlik ölçüm yönteminde ise numunelere 187.5 Kg yük yine 20 sn süre ile uygulanmıştır. Her bir malzemede 5 ayrı ölçüm yapıp bunların ortalama değerleri alınmıştır.

III. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

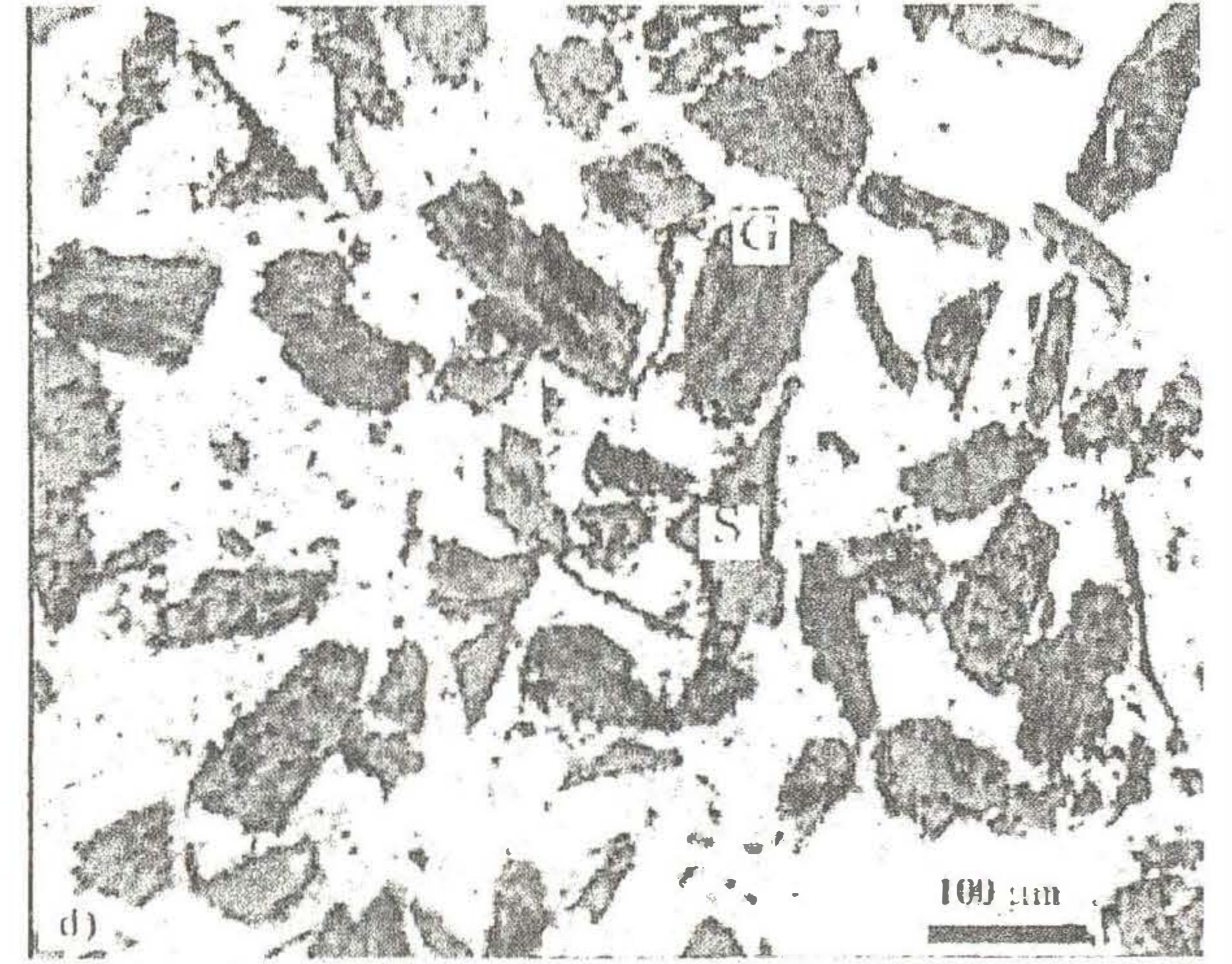
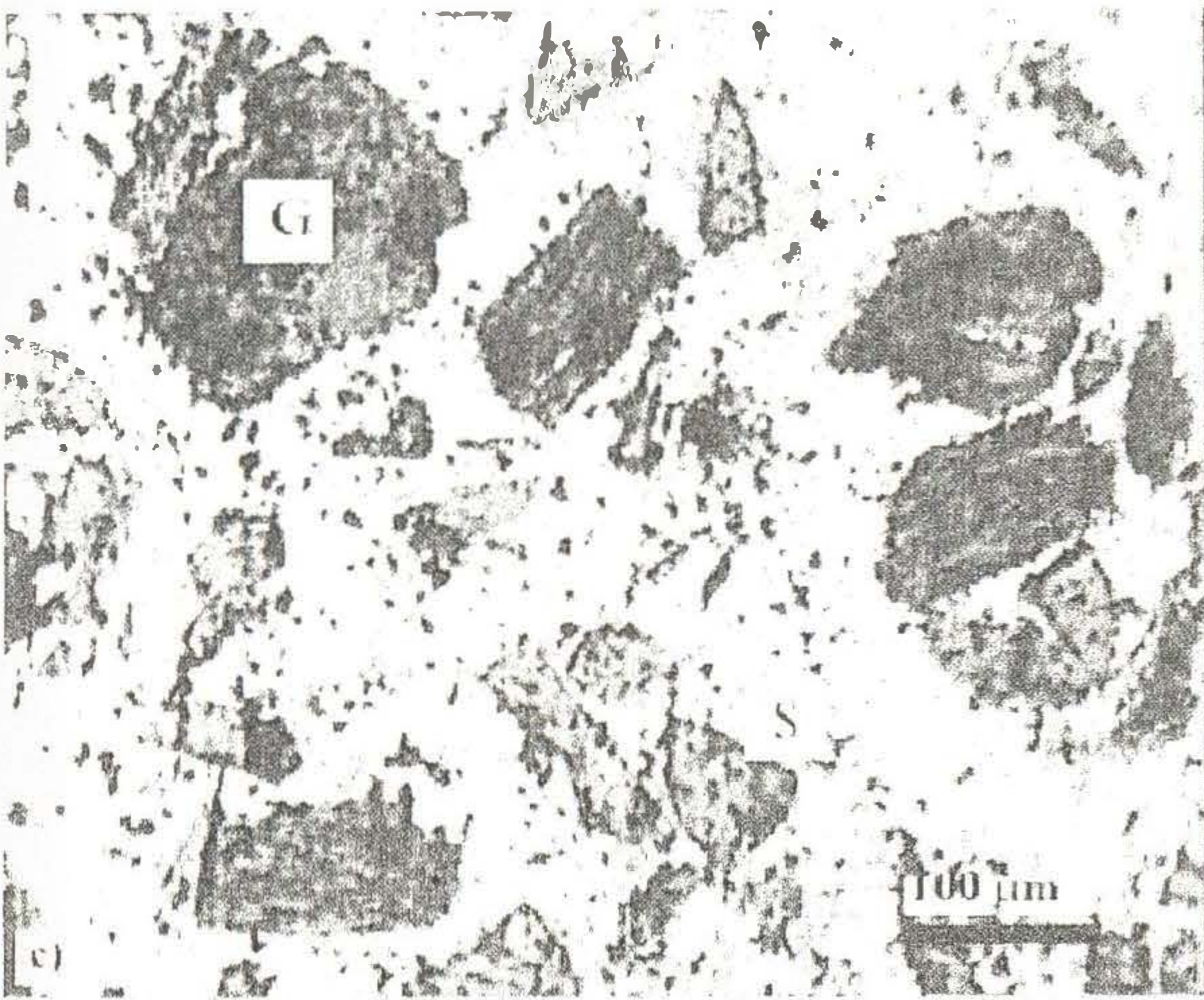
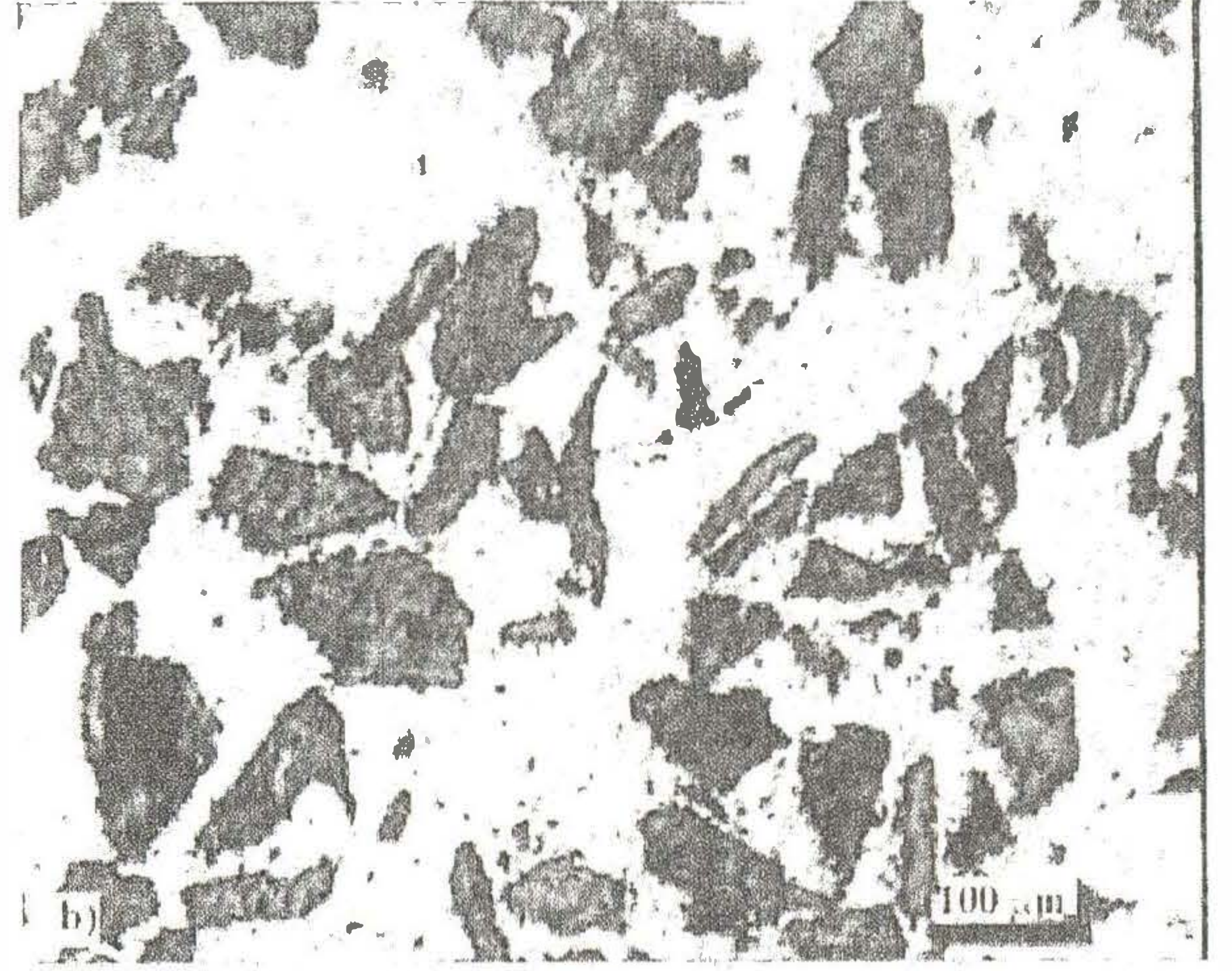
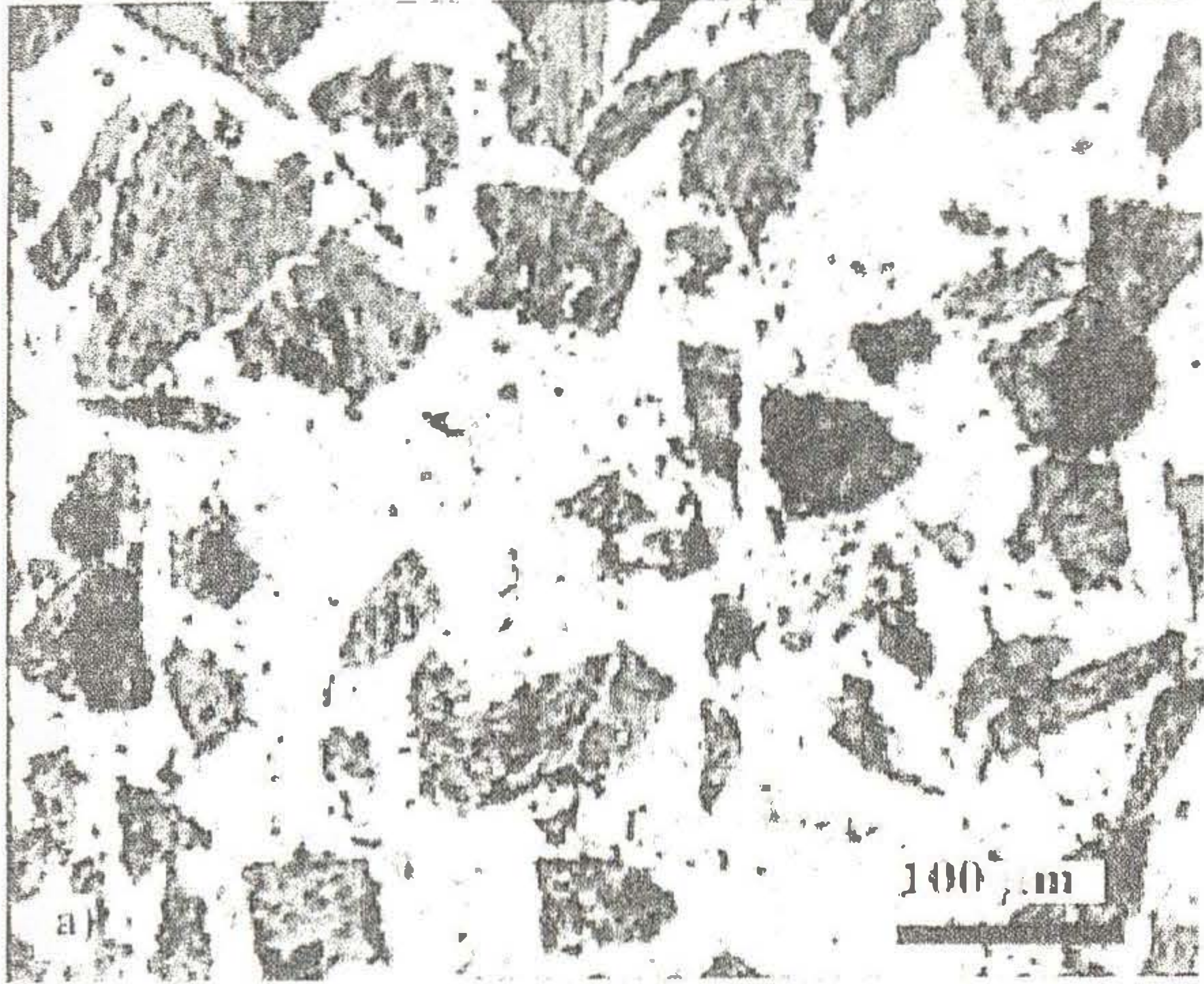
III.1 Mikroyapı

Şekil 1'de takviyesiz ET1Al-171 matris (Al-Si) alaşımının mikroyapısı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere takviyesiz alaşımın mikroyapısı ötektik altı kompozisyona sahiptir. Aydınlık alanlar primer α -Al dendritlerini temsil etmekte ve bu dendritlerin etrafı ötektik Si ile kaplanmaktadır. Katılaşma esnasında sıvı matris alaşımı üzerine uygulanan 50 MPa değerindeki basınç, ötektik Si kristallerinin oldukça ince boyutta elde edilmesine yol açmaktadır. Şekil 2'de % 2.5, 5, 7.5 ve 10 ağırlık oranlarında Cu kaplanmış grafit partikül takviyeli ET1Al-171 + hacimce % 10 SiC partikül takviyeli kompozitlerin optik mikroyapıları sergilenmektedir.



Şekil 1. Takviyesiz alaşımın sıkıştırma döküm sonrası ortaya çıkan mikroyapısı

Şekil 2'den anlaşılacağı üzere tüm kompozit malzemelerin üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapılarda SiC partikülleri pürüzsüz, grafit partikülleri ise deformasyon kabiliyetleri yüksek olduğu için nispeten pürüzlü ve dalgalı bir yüzey morfolojisine sahiptir. Bunun yanında grafit partikülleri koyu, SiC partikülleri ise daha açık (gri) tonlardadırlar. Şekil 2c ve 2d'de bazı grafit ve SiC partikülleri sırasıyla G ve S harfleri ile işaretlenmişlerdir. % 2.5 grafit takviyeli ET1Al-171 + SiC kompozitlerinde partikül dağılımı homojen gözükmektedir. Çok önemli oranda porozite gözlenmediği anlaşılmıştır. Bir kısım grafit partikülleri etrafında görülen ve porozite gibi bir görünüm veren bölgelerin, numunelerin parlatılması esnasında yüzeyden kopan grafitlerden kaynaklandığına inanılmaktadır.



Şekil 2. Etial 171 + hacimce % 10 SiC ve grafit partikül takviyeli kompozitlerin optik mikroyapıları; a) % 2.5 grafit, b) % 5 grafit, c) % 7.5 grafit ve d) % 10 grafit.

Nitekim bir çok araştırmada da benzer yapılar gözlemlendiği rapor edilmiştir [5].

Şekil 3 de kompozit malzemelerin optik mikroyapıları daha yüksek büyütmelemlerde verilmektedir. Matris yapıdaki ötektik Si kristallerinin değişimi ve partikül matris arayüzey ilişkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için yüksek büyütmele yapıların incelenmesine gerek duyulmuştur. Şekil 1, 2 ve 3 teki mikroyapılar incelendiğinde α -Al primer dendritlerinin inceliklerine oldukları anlaşılmaktadır. Benzer şekilde ötektik Si kristallerinin de kompozit malzemelerde daha ince oldukları görülmektedir. Bu durumu SiC ve grafit partiküllerinin Al-Si matrisini modifiye etmelerinden ileri gelmektedir. Benzer durumlar metal matrisli kompozit malzemelerin sıvı yöntemleri ile üretilmesi üzerine çalışan çok sayıda araştırmacı tarafından da belirtilmiştir [6]. Sıvı Al içerisinde asılı duran seramik takviye fazları katı haldedir ve bunlar katılma esnasında heterojen çekirdekleyici olarak davranıp sıvı Al-Si alaşımının katı partikülleri üzerinde daha düşük

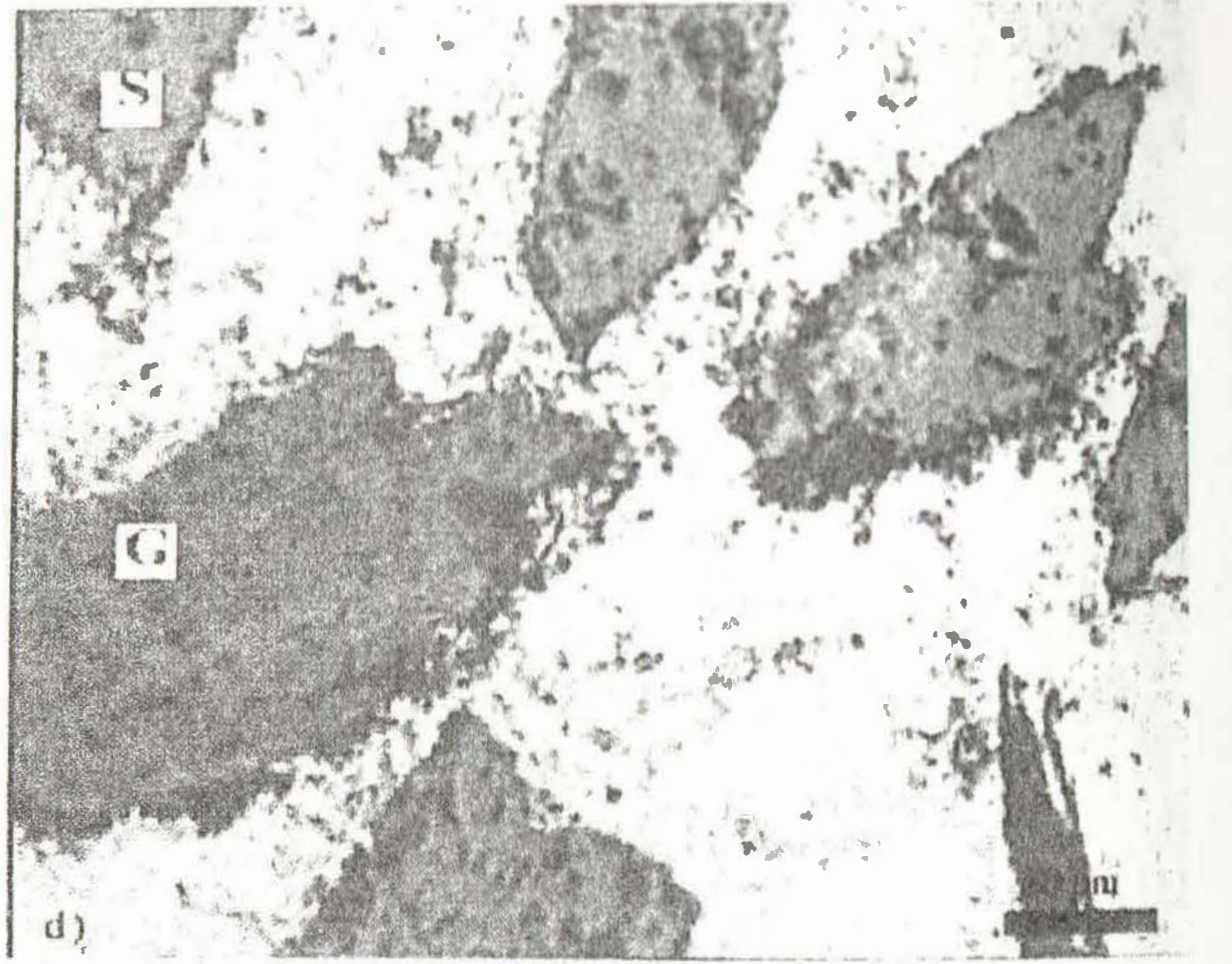
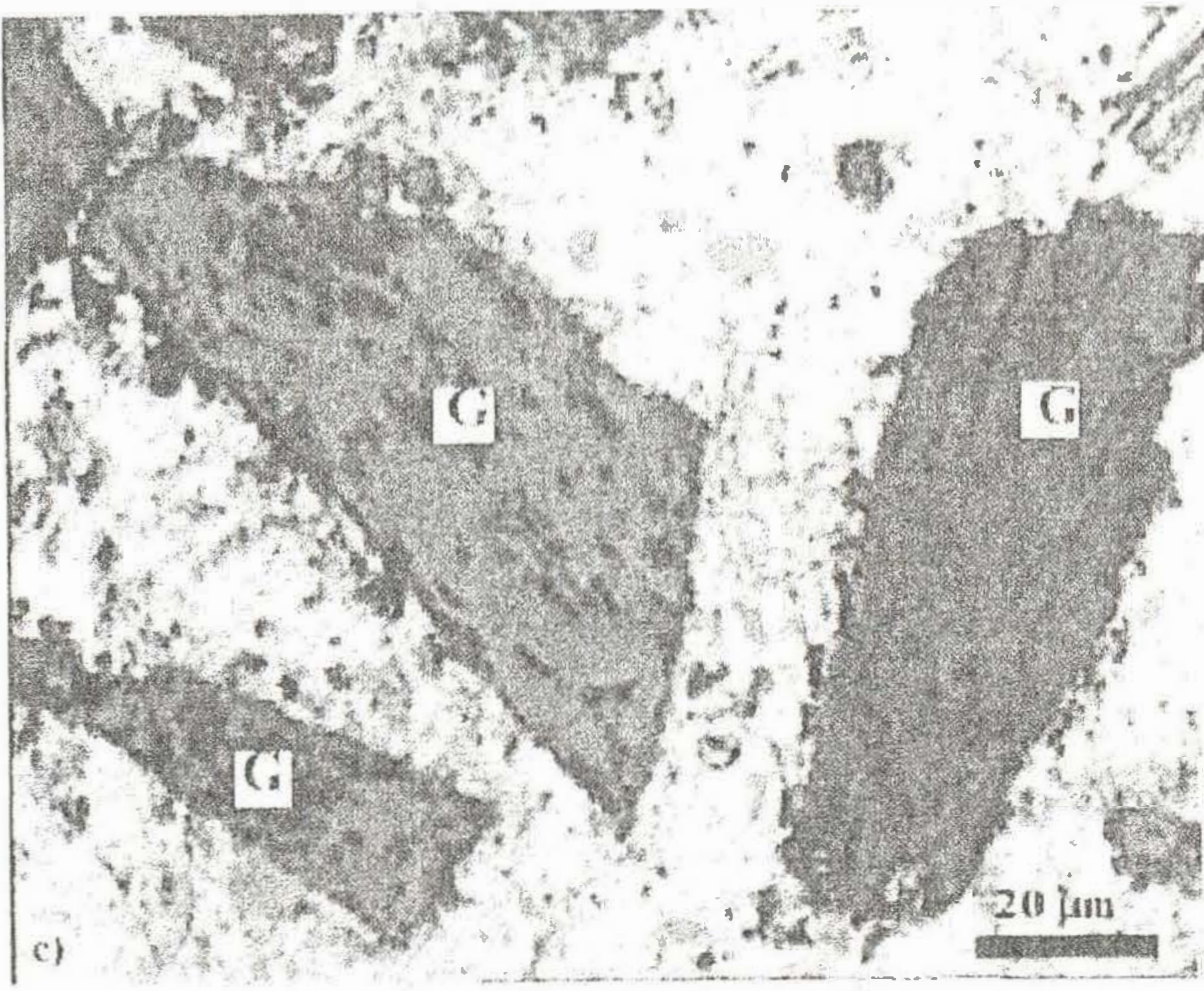
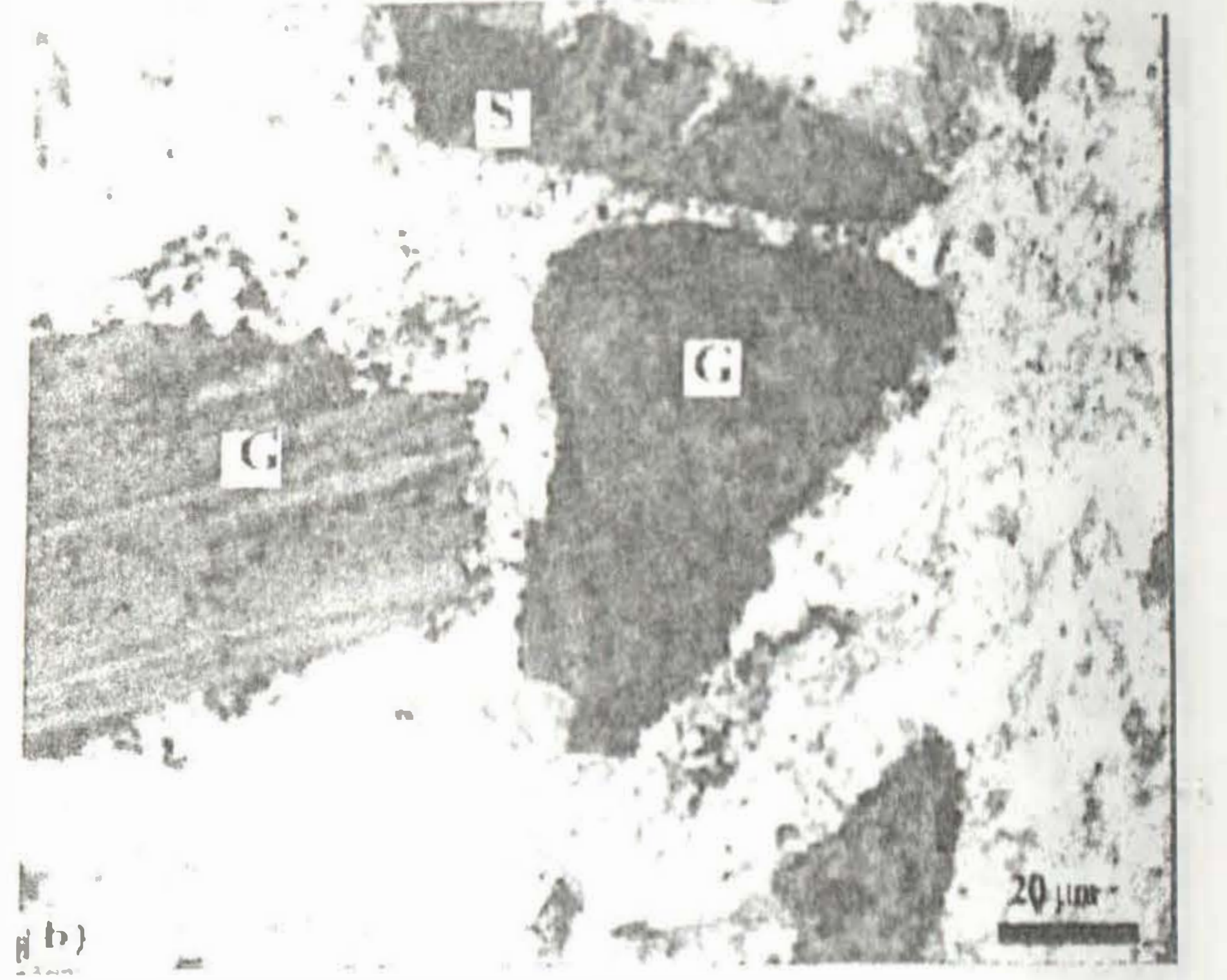
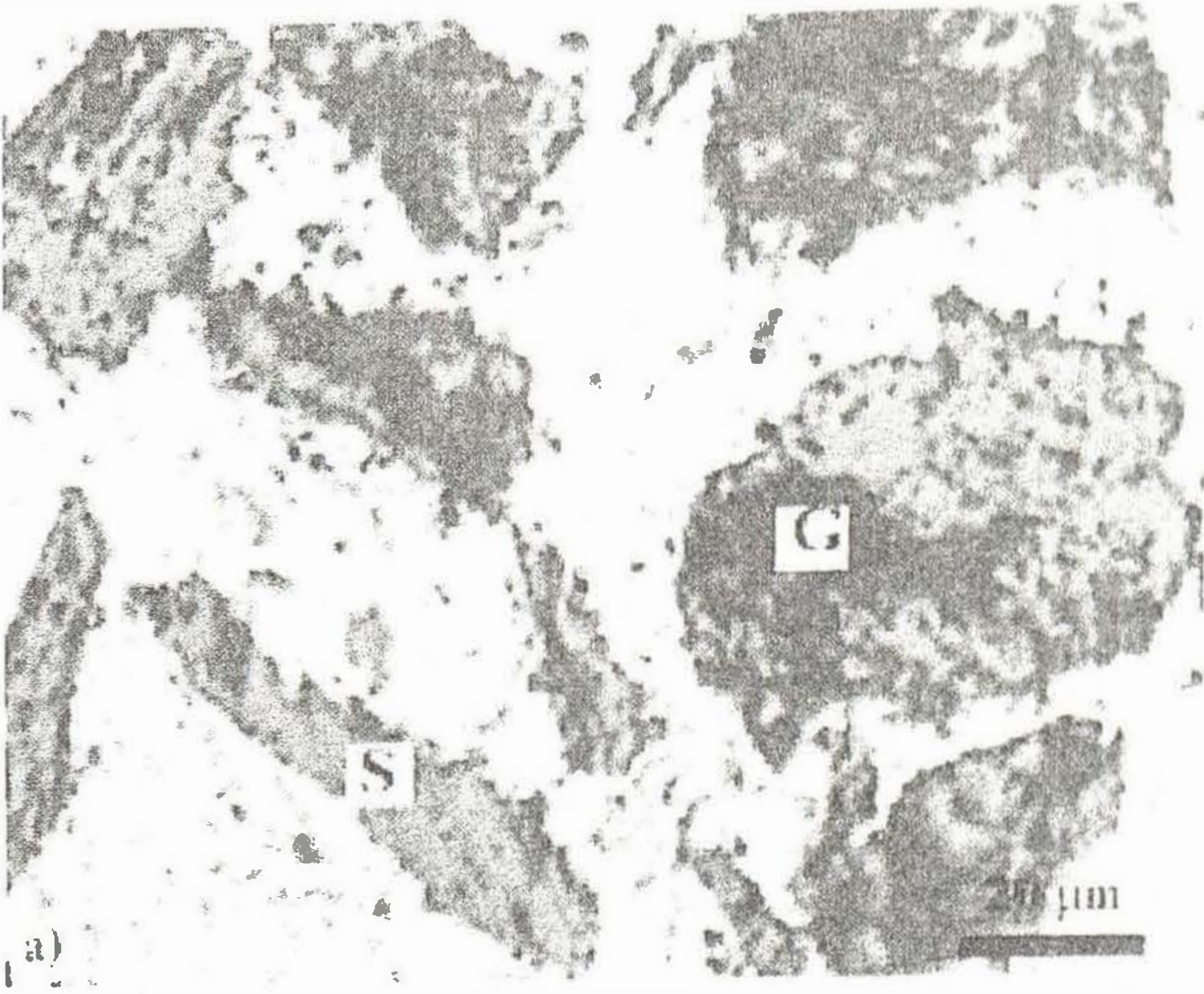
yüzey alanı ve daha düşük sıvı-katı yüzey gerilimi oluşturacak şekilde birikmesine yardımcı olmaktadır.

Katı-sıvı yüzey geriliminin düşmesinin çekirdeklenmeyi kolaylaştıracağı çok iyi bilinen temel bir malzeme bilgisidir [7].

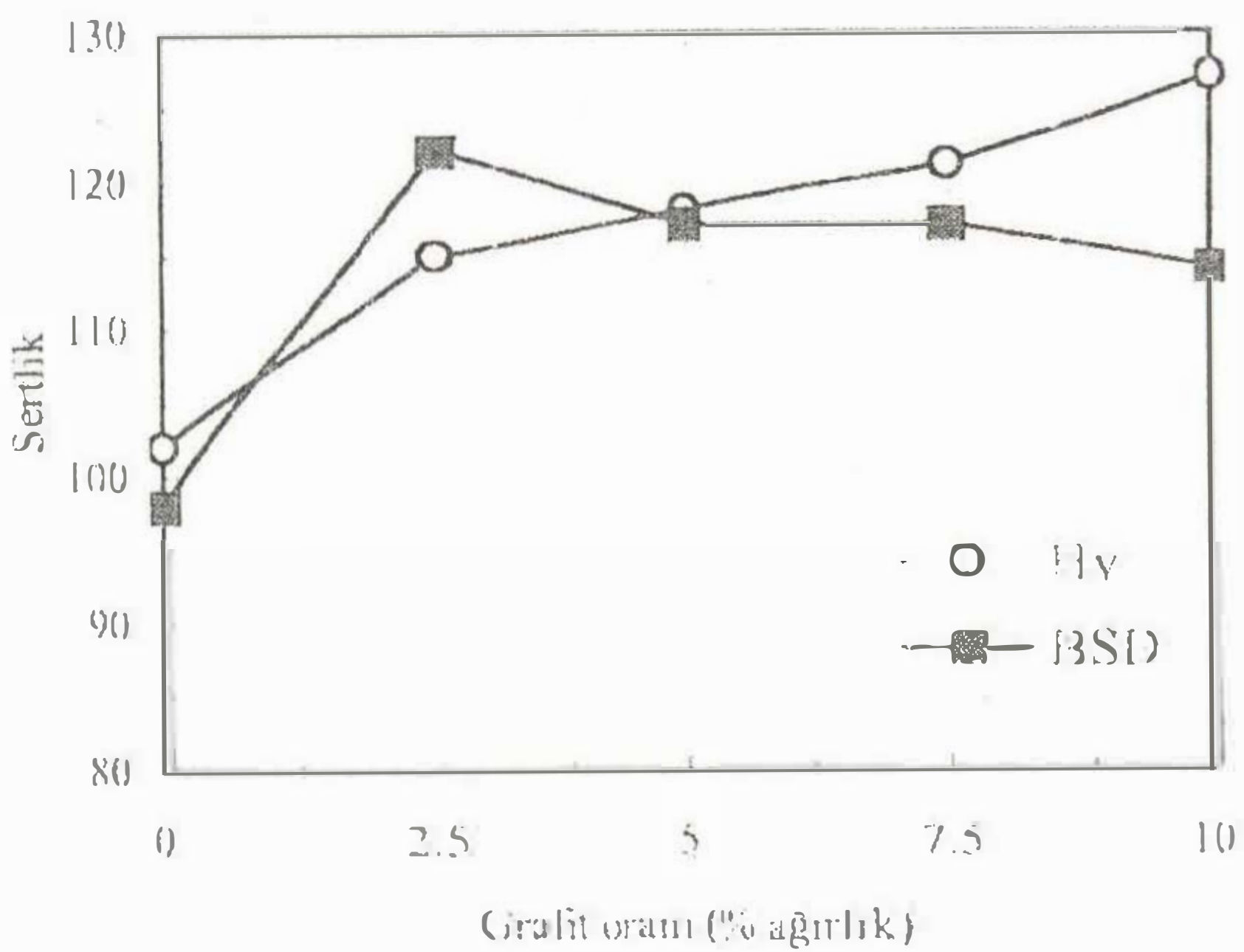
Şekil 3 de de grafit ve SiC partikülleri sırasıyla G ve S harfleri ile belirtilmişlerdir. Grafit ağırlık oranının % 2.5 den sırasıyla % 5 7.5 ve 10 a çıkması ile mikroyapıda çok önemli değişimlerin meydana gelmediği anlaşılmaktadır.

III.2 Sertlik

Matris alaşımı ve kompozit malzemelere uygulanan Brinell sertlik ve mikrosertlik ölçüm sonuçları Şekil 4 de sunulmaktadır. Şekil 4 de matris alaşımına ilave edilen SiC partiküllerinin sertliği önemli derecede artırdığı görülmektedir. Mikrosertlik yöntemi ile 102 Hv olarak ölçülen matris alaşımının sertliği % 10 SiC takviyesi ile önemli derecede artmaktadır. Artan grafit ağırlık oranı



Şekil 3. ETİAl-171 + hacimce % 10 SiC ve grafit partikül takviyeli kompozitlerin yüksek büyütmedeki optik mikroyapıları; a) % 2.5 grafit, b) % 5 grafit, c) % 7.5 grafit ve d) % 10 grafit



Şekil 4. Matrisin alaşımı ve kompozitlerin mikrosertlik ve Brinell sertlik değerlerinin grafitin ağırlık oranının bir fonksiyonu olarak değişimi.

ile mikrosertlik değerleri sürekli bir artış trendi göstermektedir. Ancak benzer duruma Brinell sertlik ölçümlerinde rastlanılmamaktadır. Grafit ağırlık oranının % 2.5 üzerine çıkması ile Brinell sertlik değerlerinde az miktar da olsa düşme gözlenmektedir.

Dökme demirlerdeki grafitin etkisine benzer şekilde, muhtemelen grafitler birer boşluk gibi davrandıklarından, Brinell sertliğin düşmesine yol açmaktadırlar. Diğer taraftan Al-SiC kompozitlerinde termal genleşme katsayıları arasındaki farkın yüksek dislokasyon yoğunluğuna neden olduğu birçok araştırmada kanıtlanmıştır [8,9]. Grafit ve alüminyumun termal genleşme katsayıları da farklı olduklarından bu iki bileşenin de ilave dislokasyon oluşumuna yol açacakları aşikardır. Bu çalışmada Al-Si-SiC-grafit üçlü bileşeni söz konusu olduğundan, bu bileşenler arasındaki termal genleşme katsayıları farkı, tane boyutu inceliği ve muhtemelen tekstür oluşumu yüksek matris sertliğine yol açmaktadır.

IV. SONUÇLAR

- a) Hacimce % 10 SiC partikülleri ilave edilmiş ETIAL 171 alaşımına ilave olarak sırasıyla, ağırlıkça % 2.5 – 5 – 7.5 ve 10 oranında Cu kaplanmış grafit partikülleri eklenmiş ve üretimler başarı ile gerçekleştirilmiştir.
- b) SiC ve grafit partikülleri ETIAL 171 matriks alaşımında homojen olarak dağılmış ve malzemeler makro porozitesiz olarak elde edilmişlerdir. Matriks alaşımına ilave edilen partiküller α -alüminyum dendritlerini ve ötektik Si kristallerini modifiye edip inceltmişlerdir.
- c) Mikro yapıdaki SiC ve grafitin deformasyon kabiliyetine bağlı olarak SiC lerin daha pürüzsüz bir yüzeye ve grafitlerin ise pürüzlü bir karakter sergilediği gözlenmiştir.
- d) SiC ve grafit ilavesi ile mikrosertlik değerleri sürekli artar iken, Brinell sertlik değeri % 2,5 grafit oranına kadar artış, artan grafit oranlarında ise düşme göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. FROYEN, L., VERLINDEN, B., Aluminium Matrix Composites Materials, TALAT Lectures, 1402, www.google.com.
2. KAMAT, S.V., HIRTH J.P. ve MEHRABIAN R. Mechanical Properties of Particulate Reinforced Aluminum Matrix Composites”, Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 37, 2395-2402, 1989.
3. ASLAN, S., AKBULUT, H., Metal Matriksli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri, Metal Dünyası, Vol. 68, 50-57, 1999.
4. IP, S W., SRIDAR, R., TOGURI, J. M., STEPHENSON, T. F., WARNER, E. M., Wettability of Nickel Coated Graphite by Aluminum, Materials Science and Engineering A, Vol. 244, 31-38, 1998.
5. ASTHANA, A., Review, Reinforced Cast Metals: Part I: Solidification Microstructure, J. Materials Science, Vol. 33, 1679-1698, 1998.
6. ROHATGI, P.K., GUO R.Q., KESHAVARAN B.N., “Cast Aluminium Alloy Fly Ash Composites”, Trans. Tech. Publications, 1995.
7. ABBASIAN, R., HILL, R.E.R., Physical Metallurgy Principles, Mc. Graw Hill., London, 188, 1991.
8. BECK, T., LANG, K. H., LOHE, D., Thermal-mechanical fatigue behaviour of cast aluminium alloys for cylinder heads reinforced with 15 vol.% discontinuous Al₂O₃ (Saffil) fibers, Materials Science and Engineering Vol. A319–321, 662–666, 2001.
9. WU, S.Q., WEI, Z.S., TJONG, S.C., The mechanical and thermal expansion behavior of an Al-Si alloy composite reinforced with potassium titanate whisker, Composites Science and Technology, Vol. 60, 2873-2880, 2000.