

Antimonit minerallerinde bükülme ve ikizlenme

Kinking and twinning in stibnite

SALDIRAY İLERİ *Yer Bilimleri Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara*

ÖZ: Deneysel ve doğal deformasyona uğramış antimonit minerallerinin X-ışınları ve mikroskop incelemelerinden gidilerek, antimonit minerallerinde oluşan bükülme bantlarının (kink-bands) işlevi açıklanabilir. Doğal olarak deformasyona uğramış antimonit mineralleri çoğu kez iç değişim (annealing) geçirirler. Bunun sonucu, ikizlenmeler, küçük açılı komşu taneler ve duraysız ikincil taneler gelişebilir. Mikroskop altında incelenen bu özellikler, deformasyona uğramış antimonit minerallerinin jeolojik geçmişi ile ilgili bilgiler verebilirler.

ABSTRACT: The mechanism of kink-bands, developed in experimentally and naturally deformed stibnite, could be explained by studying them under the microscope and obtaining their X-ray pole figures. Naturally deformed stibnite is usually subjected annealing. Thus, twins, grains with low angle boundaries and elongated subgrains may be developed. When these features studied under microscope, some information is obtained about the deformation history of deformed stibnite.

GİRİŞ

Cevher mikroskopisi ile uğraşanlar metalik sülfid minerallerinde mekanik ikizlenme (deformasyon ikizlenmesi) ile sık sık karşılaşılır. Fakat aynı minerallerde bükülme (kinking) daha az bilinir. Son yıllarda galen, sfalerit, kalkopirit, pirotin ve antimonit gibi sülfid mineralleri Graff ve Skinner (1970), Schull (1971), Wang (1973), İleri (1973) tarafından deneysel olarak deforme edilmiş ve çalışılmışlardır. Bu deneysel olarak deforme edilmiş minerallerin çoğunda, mekanik ikizlenme en çok gözlenen özellik olmuştur. Yalnız antimonitte, deneysel deformasyonun sonuçlarının yorumlanması, mikroskop altında gözlenen mekanik ikizlenmeye benzeyen özelliklerin, ikizlenme olamayacağını, ancak bükülme bantları olması gerektiğini ortaya koymuştur (ileri, 1973).

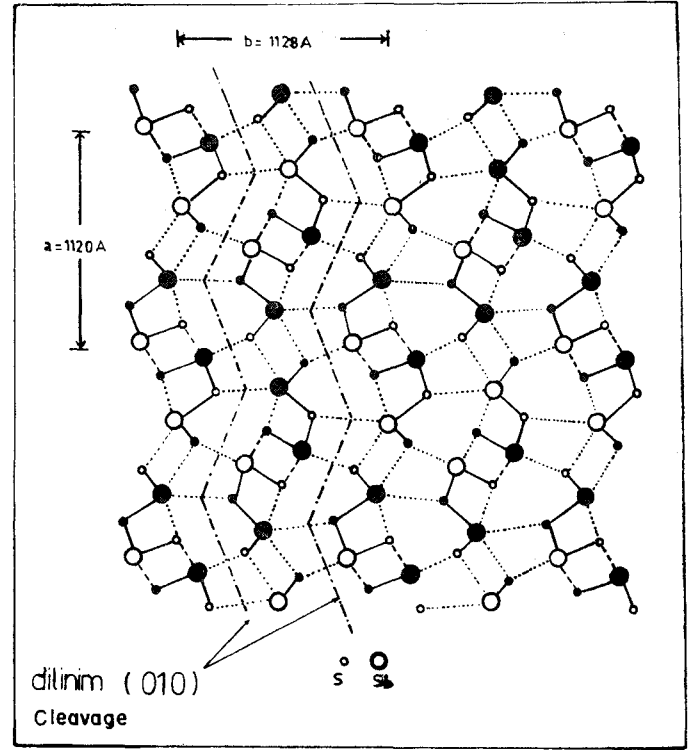
ANTİMONİTİN KRİSTAL YAPISI

Antimonitin kristal yapısı bazı araştırmacılar tarafından çalışılmış ve atomik yapısı ayrıntıları ile belirtilmiştir (Hoffmann, 1933; Scavnicar, 1960). Şekil 1'de antimonit içindeki Sb ve S atomlarının a-b düzlemine izdüşümleri, şekil 2'de ise (010) düzlemi boyunca uzanan Sb ve S atomlarının oluşturduğu bir zincirin izdüşümü görülmektedir. Antimonitte bilinen tek kayma düzlemi (glide plane), (010) düzlemidir. Gerçekten, atomik aralıklar b-ekseni yönünde en fazla ve dolayısı ile atomik bağlar en zayıftır. Antimonitin kristal yapısı dikkatlice incelendiğinde, Sb_2S_3 zincirlerinin birbirlerine bağlandığı kayma düzleminin zig-zag özelliği kolaylıkla görülebilir. Bu da (010) düzlemi içinde tek bir kayma yönünün, $\langle 010 \rangle$, olabileceğini ortaya koyar. Sonuç olarak antimonitin tek bir kayma sistemine sahip olduğu ve bunun tek bir kayma düzlemi ile bu düzlem içindeki tek bir kayma yönünden oluştuğu söylenebilir.

ANTİMONİTTE BÜKÜLME VE İKİZLENMENİN İŞLEVİ

Yapılan deneylerde*, yalnız c-ekseni maksimum gerilim yönüne paralel olan antimonitlerde bükülme bantlarının oluştuğu görülmüştür (levha I, şekil 1,2). Antimonitte olduğu gibi yalnız bir kayma sistemi olan minerallerde, bükülme ve kaymanın işlevi kolaylıkla canlandırılabilir. Bu amaçla hazırlanan şekil 3'de bükülme ve kaymanın evreleri görülmektedir. Şekil 3 (a)'da bükülmenin başlaması, (b)'de daha ileri derecede birbirlerine yaklaşmış bükülme bantları, (c)'de maksimum gerilim yönüne dik denecek duruma gelmiş bükülme bantları izlenebilir.

Bükülmenin deformasyonla ilerlemesi sonucu, kristal yapısı içindeki dislokasyonlar çoğalacak buna bağlı olarak itici güç (driving force) artacaktır. Bu nedenle bükülmenin ilerlemiş olduğu evrelerde sıcaklık aynı olsa bile, ısıya bağlı iç değişim (annealing), farklı olacaktır. İç değişim, yenilenme (recovery) ve ikincil tane gelişimi (subgrain development = poligonization) ile başlar, ikincil tanelerin birleşimi (subgrain coalescence), tane büyümesi (grain growth) ve ikincil yeniden kristalleşme (secondary recrystallization) ile devam eder (Stanton, 1972). Bükülmenin almış olduğu son duruma ve sıcaklığa bağlı olarak, antimonit bu durumları yansıtan iç ya-



Şekil 1; Antimonitin kristal yapısı. (001) düzlemine izdüşüm, c/4 düzlemindeki atomlar boş, S/4c düzlemindeki atomlar dolu yuvarlaklarla belirlenmiştir (Hoffmann, 1933 ten).

Figure 1: Crystal structure of stibnite. Projection on (001) plane. Atoms at heights c/4 are plain and 3/4c are shaded (after Hoffmann, 1933).

ayı koruyabilir, (levha I, şekil 3, 4)'de korunmuş bükülme bantları (levha I, şekil 5 ve levha II, şekil 1)'de değişimin değişik süreçleri görülmektedir.

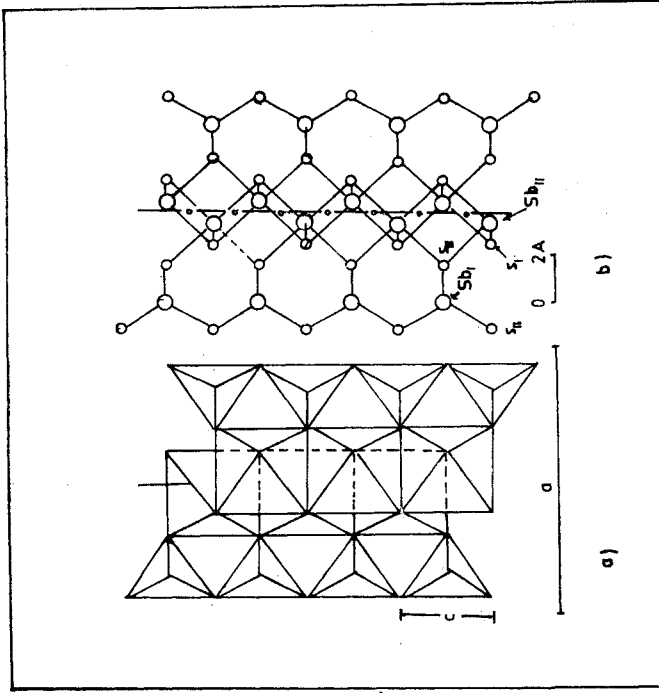
Bükülme bantları şekil 3'de belirlenen en son evreye eriştiğinde antimonitin iç yapısı karmaşık bir durum alır. Çünkü artan dislokasyonların yanı sıra diğer bir etken, (c-eksenlerinin bitişik bantlardaki yönelimi), iç değişim hızını etkiler. Bükülme bantlarının oluşum süreci sırasında c-eksenleri, bükülme bantları içinde maksimum gerilim yönü ile ilkel konumları arasındaki ilişkiye bağlı olarak, minimum gerilim yönüne doğru dönerler. Son evreye erişildiğinde artık bantlar arasındaki açılar oldukça küçülmüştür. Böylece iki bant arasında gelişmekte olan sınır, c-eksenlerinin bantlar içindeki konumlarına bağlı olarak, bir karşıt-faz (anti-phase) sınırını özelliği kazanabilir.

Böyle durumlarda iki seçenek ortaya çıkar:

a) Deformasyon sonucu, iki bitişik bükülme bantları içindeki c-eksenlerinin yönelimi, c-eksenlerinin ilkel konumları ile maksimum gerilim yönü arasındaki ilişkiye ve komşu tanelerin (veya yabancı tanelerin) etkisine bağlı olarak düzen-

(1) Deformasyon deneyleri oda sıcaklığında ve 10-s Cm/Sn birim deformasyon hızı ile yapılmış, %10 kısalma elde edilinceye kadar sürdürülmüştür. Deneylerden önce ve sonra örnekler X-isimleri mikroskop ile çalışılmıştır.

(2) Deformasyon sırasında veya deformasyondan sonra, bir mineralin atom dizilimleri farklı olan iki yüzeyi karşı karşıya gelebilirler; bu durumlarda aradaki sınır karşıt-faz sınırı olarak tanımlanır.



Şekil 2: Sb ve S atomlarının (010) düzlemine izdüşümü; (a) atomların oluşturduğu zincirin görünümü, (b) aynı zincirdeki (atomların kimyasal bağlanım şekli (Scavnicar, 1960 tan).

Figure 2: Projection of Sb and S atoms on (010) plane: (a) joining of coordination polyhedra, (b) chemical bonding of atoms (after Scavnicar, 1960).

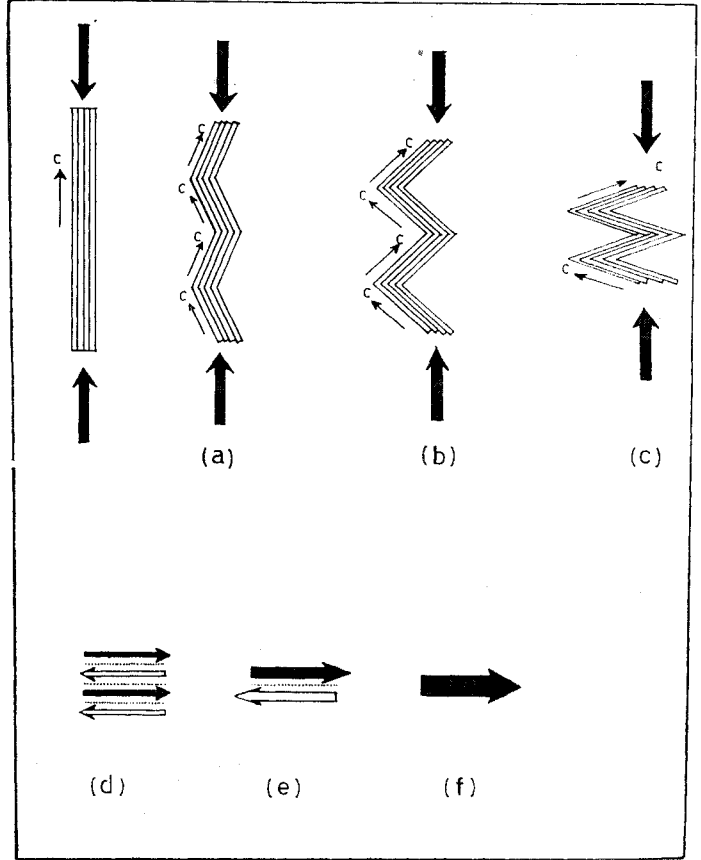
siz bir konum almış olabilirler. Sonuç olarak bükülme bantlarının yerinde iç değişim sonucu düzensiz ikizcil taneler görülür (levha II, Şekil 2).

b) iki komşu bandın deüormasyonla birbirlerinin aynadaki yansımış şeklini alması, diğer bir deyişle, bir simetri durumunun ortaya çıkması beklenebilir. Bu eksiksiz bir karşı-faz durumudur; ve deformasyondan sonra en az duraylı kalabilme özelliğine sahiptir. Bu özellikteki tanelerin iç değişim sonucu birleşimleri dört yeni sınır durumu ortaya çıkarır:

- 1 — Yeni karşı faz sınırı
- 2 — Kusursuz uyuşum
- 3 — İkiz sınırı
- i — Küçük açılı tane sınırı

Birleşim, yeterli itici güç verildiğinde, bütün karşı faz sınırlarının ortadan kalkmasına kadar sürer (şekil 3 d, e, f).

Eğer sözü edilen tane sınırı iç değişim süreci sırasında ikiz düzlemlerinden biri ile, (310) veya (130), çakışır, ikizlenmenin az enerji gereksinimi nedeniyle duraylı olması beklenebilir (levha n, şekil 3). Küçük açılı tane sınırları gelişecek olursa bunlarda aynı nedenlerle duraylı olacaktır (levha n, şekil 4). Böylece bütün bu süreçler sonucu uzun eksenleri aynı yönde dizilmiş taneler veya /aynı yöne paralel ikizler ortaya çıkacaktır.



Şekil 3: Antimonit mineralinde bükülme evreleri. Oklar c-eksenlerinin yönünü, noktalı çizgiler karşı-faz sınırlarını belirler.

Figure 3: Stages of kinking in stibnite. Arrows indicate direction of c-axes. Dashed lines correspond to the anti-phase boundaries.

SONTIÇ

Deformasyon ve iç değişim geçirmiş antimonitte gözlenen bükülme bantları, ikizlenmeler ve küçük açı ile birbirlerine komşu taneler değişik görünümündedirler. Fakat ayrıntılara dikkat edilmediğinde karıştırılabilirler. Yukarıda da tartışıldığı gibi, bu özelliklerin oluşum süreçleri farklıdır. Bu farklılık iç yapıda da görülür. Son evreye ulaşmış bükülme bantlarında, ikizlerde ve küçük açı ile komşu olmuş tanelerde, antimonit kristallerinin c-eksenleri, tanelerin uzun eksenlerine paralel bir yönelim almışlardır. Bu yönelim, daha geniş boyutlu yapılar göz önüne alınır, deformasyon ortamındaki en az gerilim yönüne, (deformasyona uğramış kütlelerin en fazla uzanım yönüne), paraleldir. Böyle bir ortamda antimonitten oluşmuş bir kütle, çoğunlukla bağıl olarak yan kayaktan daha sünümlü olduğundan, uzun eksenleri en az gerilim yönüne paralel mercerler oluşturabilir. Bu özellikler göz önüne alınır, deformasyona uğramış antimonit yataklarında, antimonitten oluşmuş mercerlerin uzanımları, alınan yönlenmiş örneklerdeki antimonitlerin c-eksenlerinin çalışılması ile saptanabilir.

Tayına verildiği tarih: Nisan 1975

(1) Taneler arasındaki sınır açısı, iki komşu tane arasındaki uyumsuzluk açısıdır. İki komşu taneyi aynı yönelime getirmek için tanelerden birinin döndürülmesi gereken açı.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Graff, J.L., ve Skinner, B.J., 1970, Strength and deformation of pyrite and pyrrhotite: Econ. Geol., 65, 206-215.
- Hoffmann, W., 1933, Die structur der minerale der Antimonitgruppe: Z. Kristallogy, 86, 225-245.
- İleri, S., 1973, Genesis and fabric study of stibnite ores at the Murchison Range, S.A.: Ph. D. thesis, Columbia university, New York.

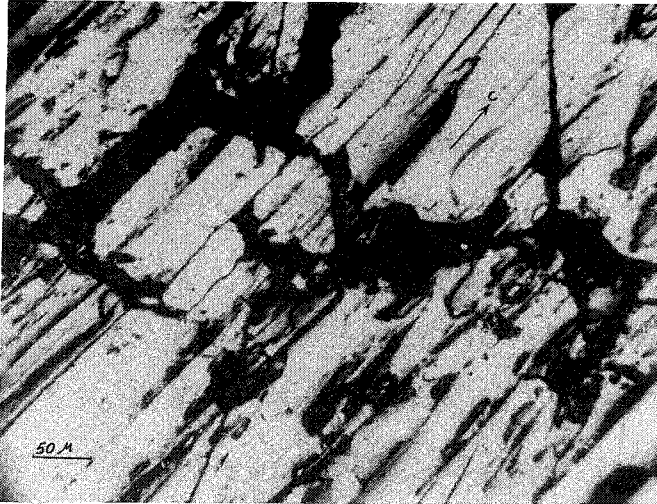
- Scavnicar, S., 1960, The crystal structure of stibnite, a redetermination of atomic positions: Z. Kristallogy, 114, 85-97.
- Schull, H.W., 1971, X-ray pole figures of pyrrhotite: Ph. D. thesis, Columbia University, New York.
- Stanton, R.L., 1972, Ore Petrology: Mc Graw-Hill, New York, 668 s.
- Wang, S., 1973, Sphalerite pole figure analysis and microscopic textures, Matagami Lake Mine, Quebec: Ph. D. thesis, Columbia University, New York.

LEVHA I

- Şekil 1: Deformasyondan önce antimonit mineralleri. Tane uzanımları c-eksenine paraleldir.
- Şekil 2: Deformasyondan sonra antimonit mineralleri. Bükülme bantları c-eksenine dik olarak gelişmiştir, şekil 3 (a) da işlev açıklanmıştır.
- Şekil 3: Doğal olarak deforme olmuş antimonitte bükülme bantları. Deneysel olarak deforme olmuş antimonitte gelişen bükülme bantları ile benzerlik açıktır.
- Şekil 4: Doğal olarak deforme olmuş, antimonit. Bükülme bantları tane sınırlarına erişmiş, bantlar arasındaki sınır daha belirgin bir durum almış.
- Şekil 5: Tanelerin büyüme süreci. Açık renkli antimonit koyu renkli antimonitin yenmesi ile büyüyor. Açık renkli mineral içindeki koyu renkli antimonit minerallerinin oluşturduğu zincir, büyük bir olasılıkla, daha önceki bükülme bantlarının kalıntılarıdır.

PLATE I

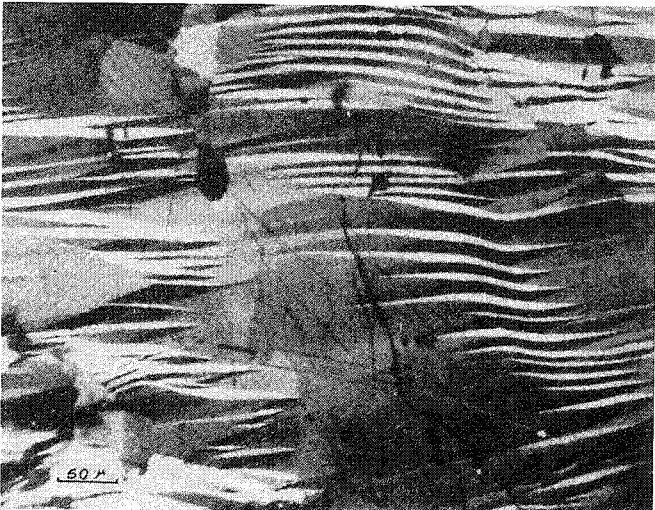
- Figure 1: Stibnite before deformation. Grain elongation is parallel to the c-axis.
- Figure 2: Stibnite after deformation. Kink-bands developed perpendicular to the c-axis. Mechanism is explained in Figure 3 (a).
- Figure 3: Kink-bands in naturally deformed stibnite. Similarity to the experimentally deformed stibnite is clear.
- Figure 4: Naturally deformed stibnite. Kink-bands reached to the grain boundaries and the contacts between them became sharper.
- Figure 5: Grain growth is in progress. Light colored stibnite is growing with the expense of dark colored one. The chains of dark colored stibnite grains in the light colored grain are probably the relicts of former kink-bands.



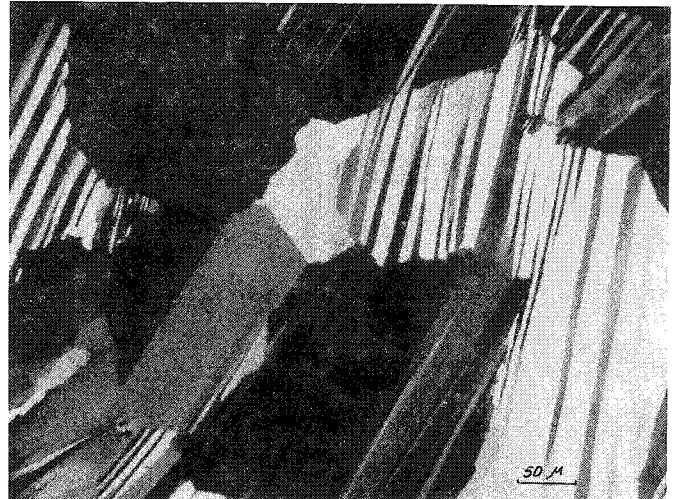
1



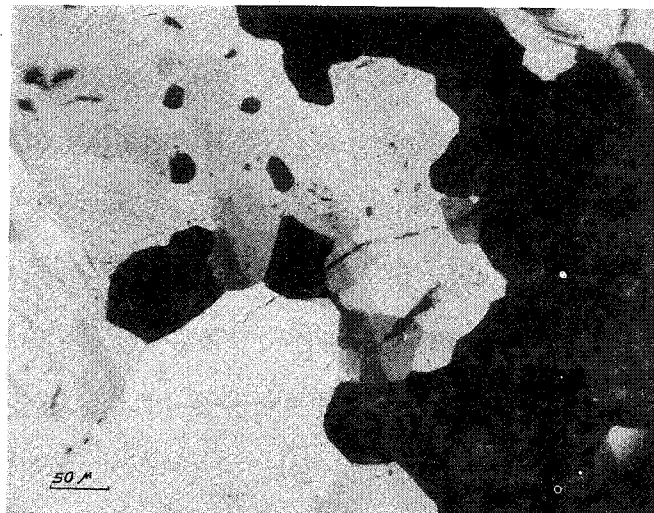
2



3



4



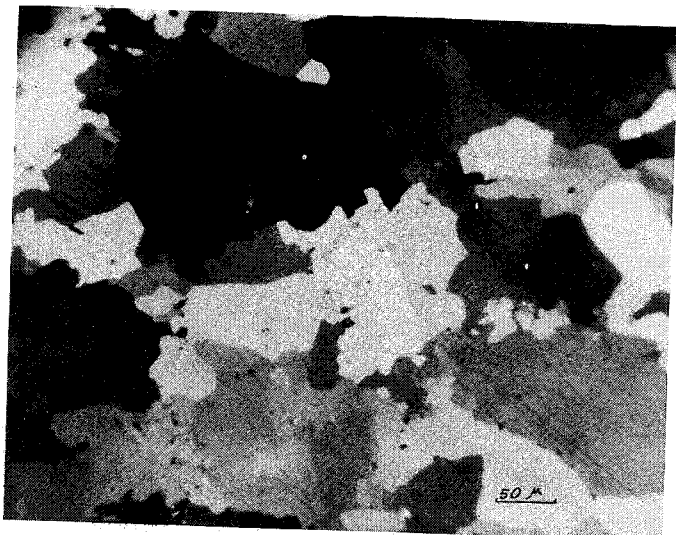
5

LEVHA H

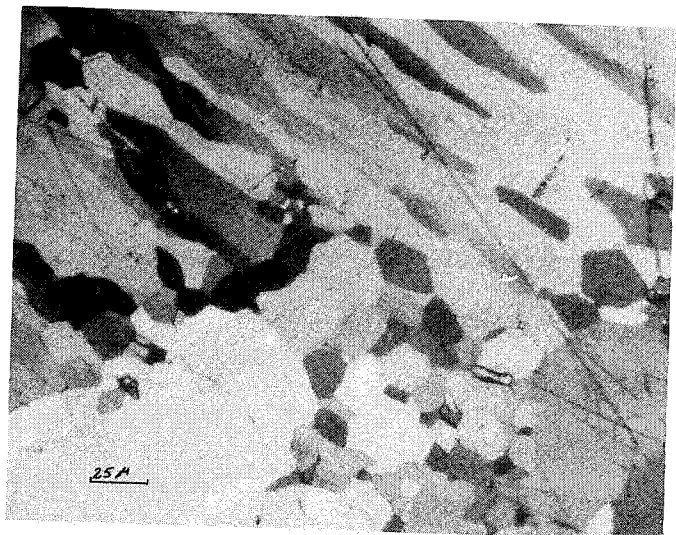
- gekil 1: İkincil yeniden kristallenme süreci. Karmaşık tane sınırları duraylı sınır koşullarına henüz erişilmediğini belirler.
- Şekil 2: Daha önceki bükülme bantları içinde düzensiz gelişen ikincil taneler.
- Şekil 3: Isı ile ic değişim hemen hemen tamamlanmış. Çoğu tanelerin ticlü birlegim noktalarında acılar 120°'ye yaklaşmış. Yalnız bir antimonit tanesi (açık renkli) büyümeye devam ediyor. Bütün bükülme bantları kaybolmuş, yalnız duraylı olan ikizler görülüyor.
- gekil 4: Küçük açılı tane sınırları düzensiz oluşları ve komşu tanelerin anizotropilerindeki farklılık ile ayırtedilebilirler ki bu ikizlenmelerdekilerden çok değişiktir, Şekil 3'deki ikizlerle karşılaştırıldığında bu özellikler açıkça görülebilir.

PLATE II

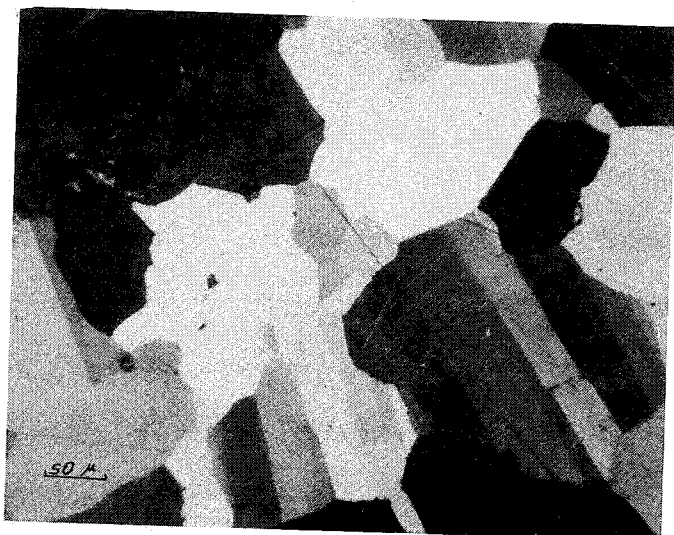
- Figure 1: Secondary recrystallization is in progress. Complicated grain boundaries indicate that stable grain boundary conditions are not reached yet.
- Figure 2: Development of randomly oriented subgrains within the former kink-bands.
- Figure 3; Annealing is almost completed. Most grains joined at 120° triple junctions. Only one grain (lightest reflection) is still in progress of growing. All kink-bands were annihilated but twins; are stable.
- Figure 4: Low angle grain boundaries are recognized with uneven contacts and slight differences of anisotropy in adjacent grains which were distinctly different than the twins. Compare these with figure 3.



1



2



3



4

