

## 1. 금속조직학의 소개

금속조직학은 과학과 예술이라는 양 측면에서 표현되어왔다. 일반적으로 금속조직학은 광학현미경, 전자현미경 및 기타 표면 분석장치를 사용하여 금속과 합금의 미세조직을 연구하는 학문이다. 더욱이 최근에, 다양한 재료의 개발에 따라, 금속조직학은 전자제품에서 스포츠용 복합재료에 이르는 재료를 섭렵할 만큼 그 분야가 확장되었다. 재료의 미세조직을 분석함으로써 재료의 성능과 신뢰성을 점 더 정확하게 이해할 수 있게 되었다. 이와 같이 금속조직학은 재료 개발, 검사, 생산, 제조품질조절, 파손분석 및 재료의 신뢰성 분야에 다양한 용도로 활용되고 있다.

금속조직학 및 미세조직 분석은 다음용도로 제한된 것은 아니지만 대부분 다음과 같은 형식의 분석을 포함하고 있다.

- Grain size
- Twinning
- Porosity and voids
- Cracks and other defects
- Phase analysis
- Dendritic growth
- Corrosion analysis
- Intergranular attack (IGA)
- Coating thickness and integrity
- Inclusion size, shape and distribution
- Weld and heat-affected zones (HAZ)
- Solder joint evaluation
- Distribution and orientation of composite fillers
- Graphite nodularity
- Recast
- Carburizing thickness
- Decarburization
- Nitriding thickness
- Intergranular fracturing
- HAZ Weld Sensitization
- Flow-line Stress

### 결정립 크기

금속과 세라믹의 경우, 결정립 크기는 가장 중요한 금속조직학적 특징이 될 수 밖에 없는데 그 이유는 재료의 기계적 성질과 직접적인 연관성이 있기 때문이다. 사실상 결정립 크기는 재료의 3 차원적 특성에 해당하지만 재료의 단면에 해당하는 2 차원 개념에서 측정되는 단점이 있다. 일반적인 결정립 크기 측정은 단위 영역 및

체적당 입자들, 평균 직경 및 입자크기 번호를 포함한다. 결정립자크기 번호의 결정은 계산되거나 표준 결정립크기 차트와 비교하여 측정된다. 최근 이미지 분석 알고리즘은 결정립크기 측정에 매우 편리하다.

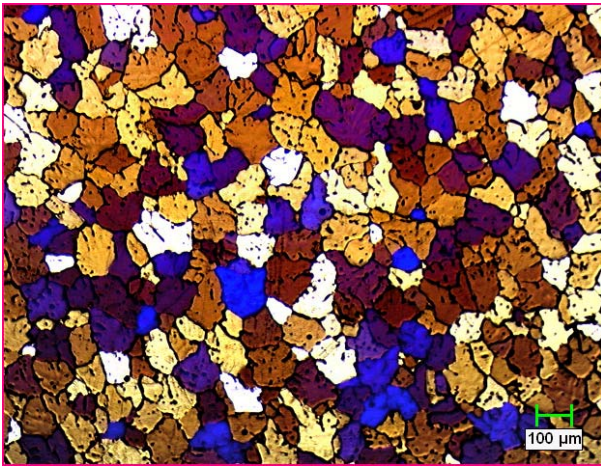


Figure 1-1 Grain size- anodized aluminum.

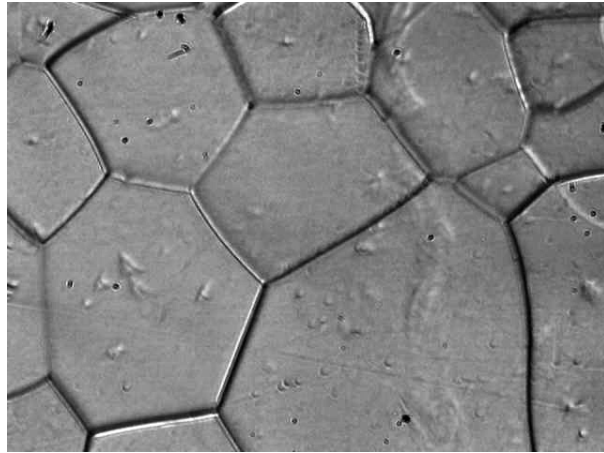


Figure 1-2 Rhenium grain size.

### Twin Boundaries

쌍정립계는 두 개의 결정이 서로 충돌할 때 발생한다. 어떤 재료는 저온에서 가공경화에 의해 쌍정이 발생하기도 한다. 이와 같은 형식의 재료에서 결정립 크기를 정확히 측정하기 위해, 쌍정립계는 계산에서 제외되어야 할 필요가 있다.

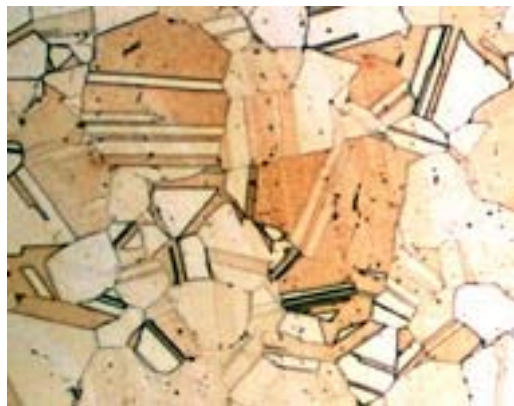
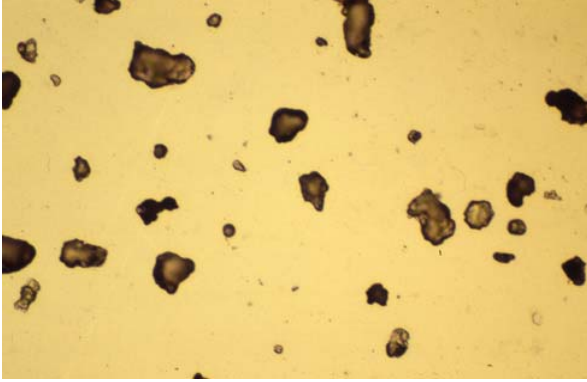


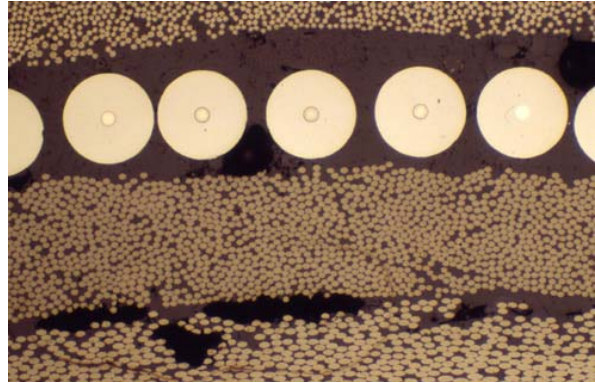
Figure 1-3 Twin boundaries in brass.

### Porosity and Voids

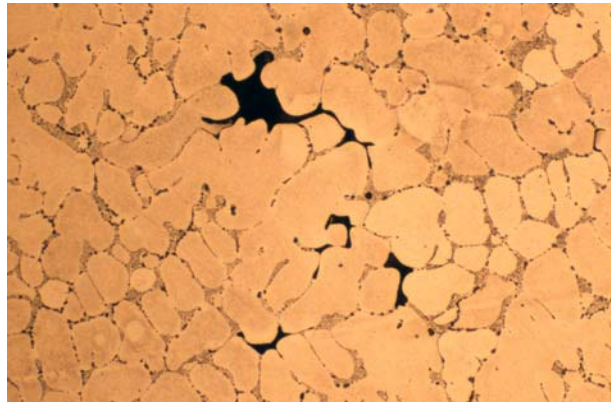
재료의 구멍과 틈은 일반적으로 Porosity 및 Void 로 구분되어 왔다. Porosity 는 일반적으로 금속과 세라믹 분말의 신터링 공정에 의해 생성된 Hole 과 연관성이 있거나 주조공정의 수축에 의해 발생한다. Void 는 일반적으로 포획된 공기에 의해 생성되며 폴리머 매트릭스 복합재(PMC's)와 같이 포장 및 분사식 몰딩 재료에서 일반적으로 생성된다.



**Figure 1-4 Porosity in a BaCl ceramic.**



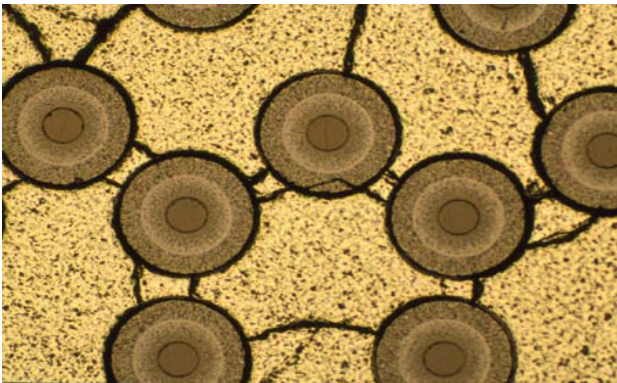
**Figure 1-5 Voids (black features) due to entrapped air in a B4C-graphite composite.**



**Figure 1-6 Casting porosity in copper.**

### Cracks

균열과 같은 결함은 재료의 갑작스런 파단에 의해 야기된다. 금속조직학은 재료가 왜 파단 되었는지 파손분석을 하기 위해 사용된다. 또한 파단면 분석 역시 결함의 원인이 되는 제조 결함을 평가하는데 매우 유용한 기술임에 확실하다.



**Figure 1-7 Stress cracks in a ceramic.**



**Figure 1-8 Welding crack in a copper-matrix composite. stainless steel weld.**

## Phases

금속합금은 성분과 냉각속도에 따라 다른 상 영역을 나타낼 수 있다. 금속조직학 관련 인력은 이와 같은 상의 분포, 크기에 관심이 발생할 수 있다. 복합재료의 경우, 충전재의 내용과 특성 역시 연구대상이 될 수 있다.

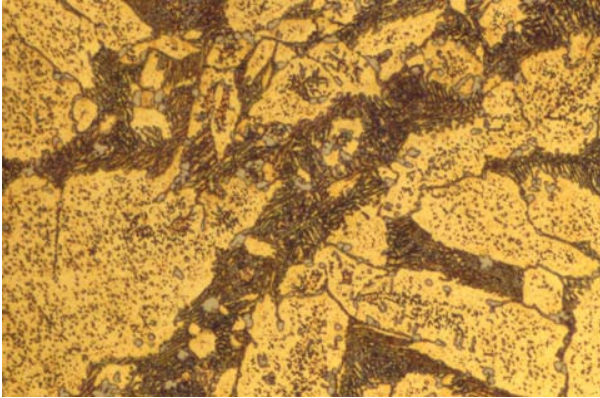


Figure 1-9 Ni-Fe-Al bronze phases.

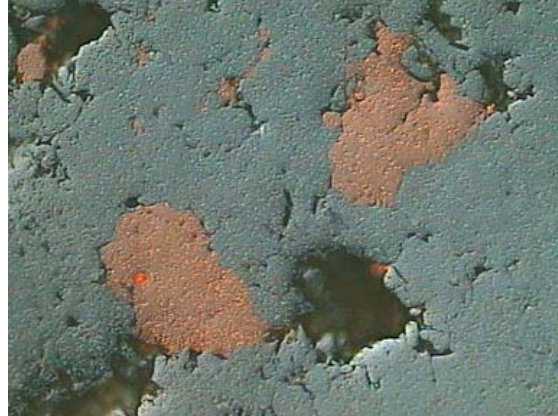


Figure 1-10 Copper and iron phases in a cold pressed metal.

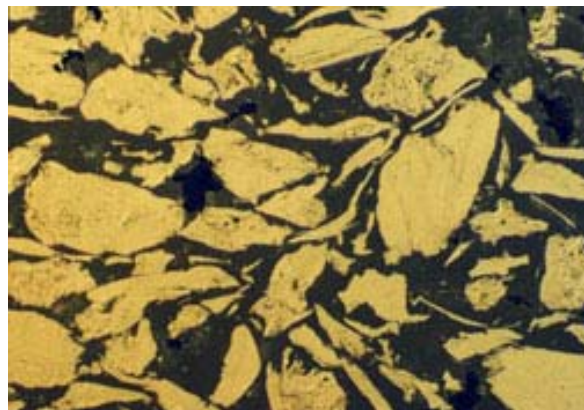
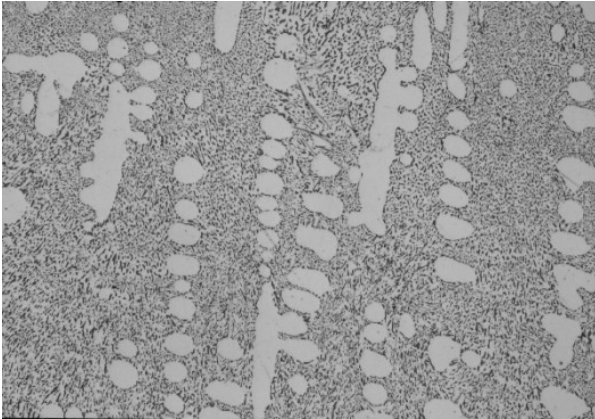


Figure 1-11 Graphite-polymer composite.

## Dendrites

주조 합금을 천천히 응고시킴으로써, 나무와 같은 Dendritic 구조를 생성할 수 있다. Dendrite 는 초기에 냉각속도와 조성, 교반에 따라 Primary arm 으로 성장하며, Secondary arm 은 Primary arm 에서부터 바깥 쪽으로 성장해간다. 이와 같이 Tertiary arm 은 Secondary arm 에서부터 바깥쪽으로 성장한다. 이 구조의 금속조직학적 분석은 Dendrite 간격에 대한 특징으로 구성된다.



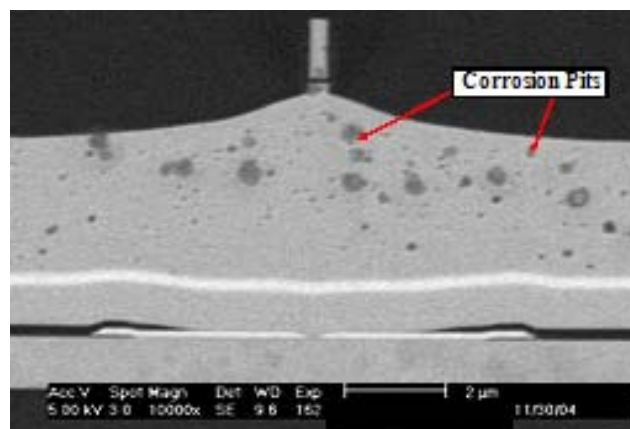
**Figure 1-12 Dendrite in Al-Si alloy.**



**Figure 1-13 Dendrite treelike structure.**

## Corrosion

부식의 영향은 근본적인 원인 뿐만 아니라 잠재적 요인을 확인하기 위해 금속조직학적 분석방법에 의해 평가될 수 있다.



**Figure 1-14 Corrosion analysis of a magnetic read-rite hard-drive component.**

## Intergranular Attack

입계부식(IGC), 또는 입계 침투(IGA)는 균일하지 않은 부식의 한가지 형태이다. 부식은 금속의 불균일성에 의해 시작되며 부식 저항성 물질이 감소될 때 결정립에서 더 가속화된다. 예를들어, 크롬은 니켈합금과 오스테나이트계 스테인레스에 부식저항성을 위해 첨가된다. 만약 크롬이 결정립에서 크롬카바이드의 생성에 의해 감소된다면(이 공정을 예민화라 일컫는다), 입계부식이 발생할 수 있다.



**Figure 1-15 Intergranular alloy depletion in nickel.**



**Figure 1-16 Intergranular attack in nickel.**



**Figure 1-17 Intergranular cracking in aluminum.**

## Coating Thickness

코팅 층은 재료의 표면특성을 향상시키기 위해 사용된다. 코팅 층은 온도저항성(플라즈마 코팅), 경도 개선(아노다이징), 부식저항성 증가(갈바닉 코팅), 마모저항성 증가, 그리고 절연체와 금속경계면에 개선된 열 팽창 부착특성을 제공한다. 금속조직학 분석은 코팅 두께, 밀도, 균일성 그리고 결함의 출현에 관한 유용한 정보를 제공해줄 수 있다.

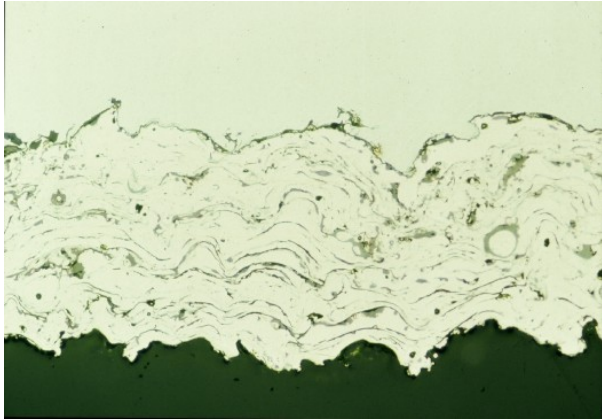


Figure 1-18 Plasma spray coating.



Figure 1-19 AlN dielectric with metallized coating.

## Inclusions

게재 물은 압연 및 다른 제조과정 동안 금속표면을 오염시키는 외부 입자를 의미한다. 일반적인 게재 물 입자에는 산화물, 황화물, 규산염 등이 포함된다. 게재 물들은 형상과 크기, 그리고 분포에 따라 그 특징이 구분된다.

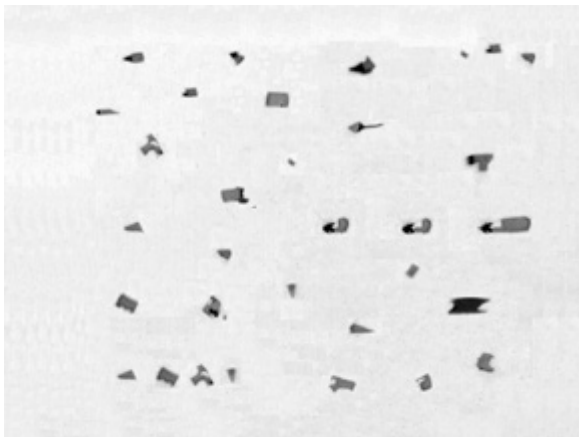


Figure 1-20 Oxide inclusions in steels.

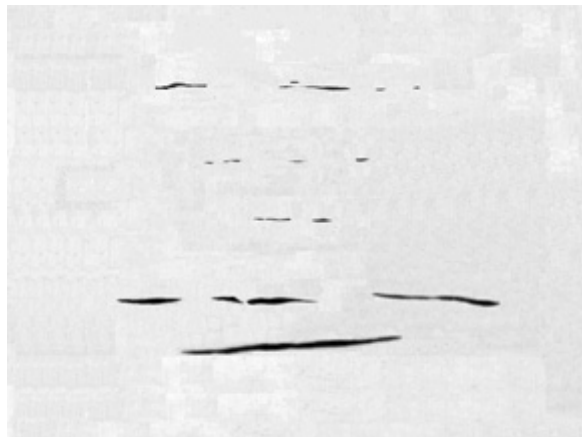


Figure 1-21 Sulfide inclusions in steels.

## Weld Analysis

용접은 두 종의 금속조각을 결합시키는 공정이다. 가장 일반적인 용접공정은 결합될 부분을 국부적으로 용융시키는 방법이며, 용융된 이 부분은 비드가 되며 주조조직과 같은 조직을 가지게 된다. 비드와 접하는 영역은 역시 영향을 받으며 HAZ(열 영향부)영역이라고 한다. 일반적으로 용접된 영역은 다른 미세구조를 가지게 되며 그에 따라 초기 금속조직과 비교해서 다른 물리적 그리고 기계적 특성을 가지게 된다. 분석에는 균열, 용접부 내에서 베이스 금속의 내부 확산에 대한 평가가 포함되게 된다.

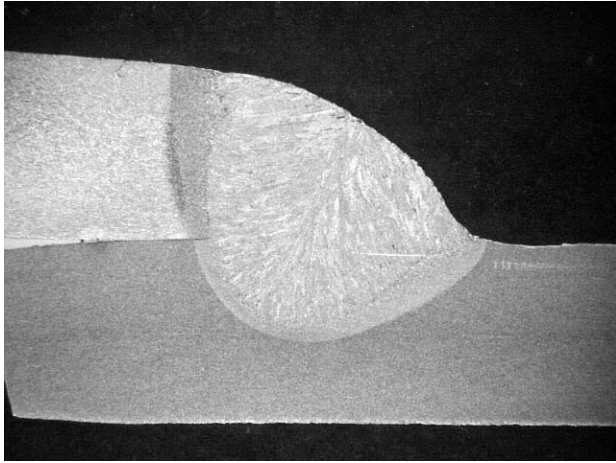


Figure 1-22 Steel fillet weld.

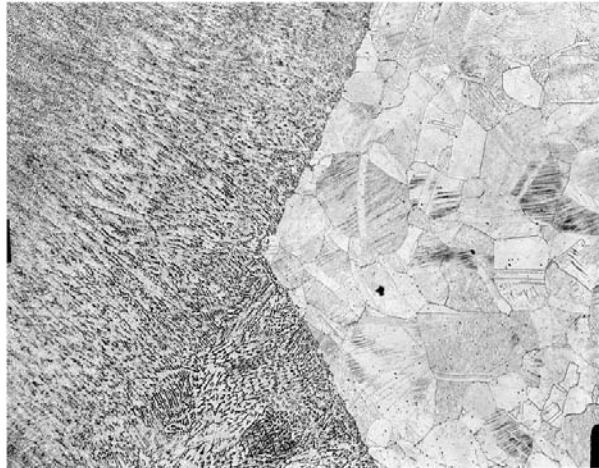


Figure 1-23 Steel Joint Weld.

### Solder Joint Integrity

전자부품의 경우, 솔더 접합부의 무결성은 전자부품의 신뢰성을 결정짓는 매우 중요한 부분이다.

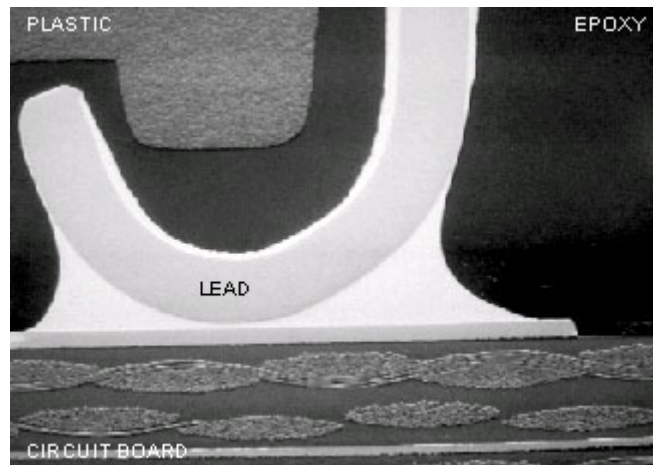


Figure 1-24 Electronic circuit board solder joint.

### 복합재료

복합재료는 기지재료에 충전제를 포함하는 공학용 재료이다. 일반적인 충전제에는 세라믹, 흑연 가루, 카본, 및 세라믹 섬유 등이 포함된다. 이와 같은 충전제는 공간에 채워넣거나 혹은 폴리머, 금속 및 세라믹 기지로 주조된다. 복합재료의 금속조직학적 분석에는 이와 같은 충전제, Void, 그리고 다른 결함의 방위와 분포에 대해 분석하는 것이 포함된다.

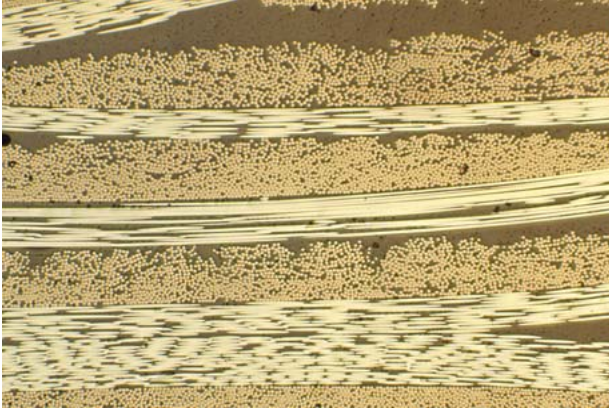


Figure 1-25 Carbon fiber composite.

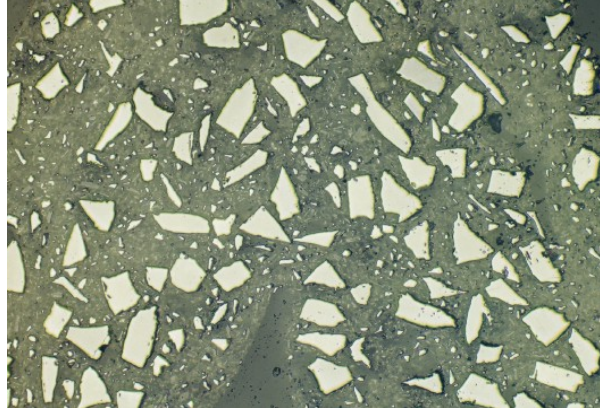


Figure 1-26 SiC particles in a metal matrix.

### Graphite Nodularity

주철은 일반적으로 구상(연성 주철) 및 흑연조직(회 주철)로 구분된다. 회 주철이 취성 파괴 특성에 의해 파단되는 성질 때문에, 연성의 구상흑연 주철을 선호한다. 연 주철을 생산하기 위해서는, 마그네슘 및 세리움이 용해된 철이 응고되기 전에 첨가되어야 한다. 단면 분석은 전체 Batch 를 넣기 전에 용융상태를 확인하는데 사용된다.

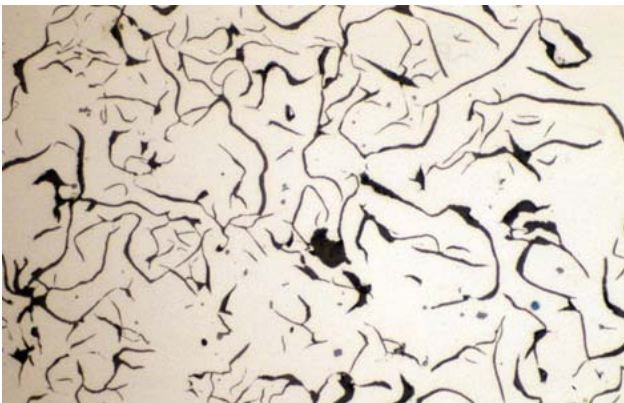


Figure 1-27a Gray cast iron (graphite flakes), as polished.

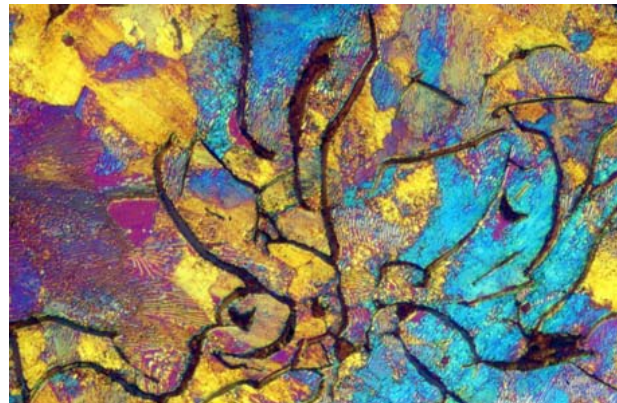


Figure 1-27b Gray cast iron (graphite flakes), etched.

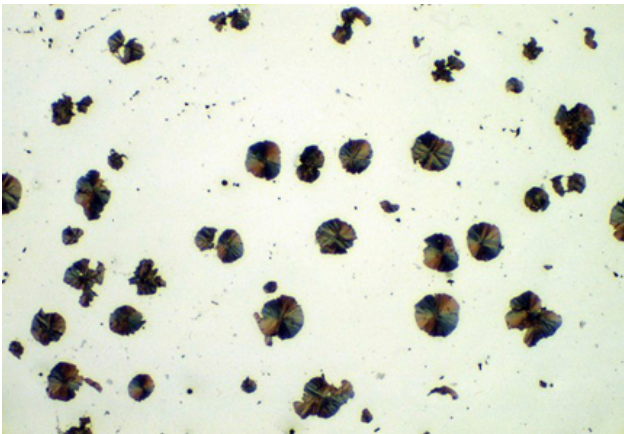


Figure 1-28a Nodular cast iron as polished.

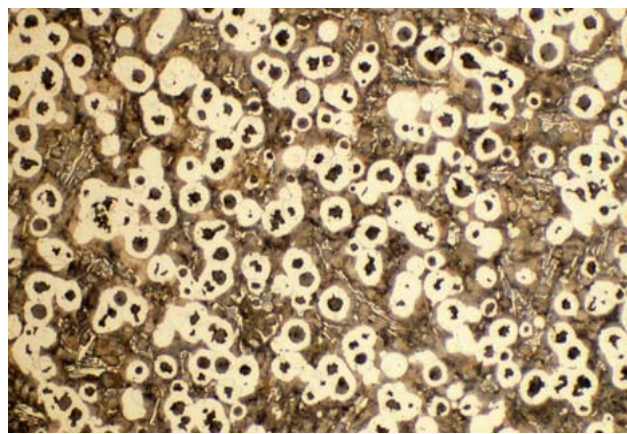


Figure 1-28b Nodular cast iron, etched.

## Recast

재 주조 층은 가공품 표면에 침전된 용해된 금속조각으로 생성된다. HAZ(열 영향부)와 재 주조 층은 구성요소에서 응력파단을 일으킬 수 있는 미세균열을 역시 포함하고 있다.

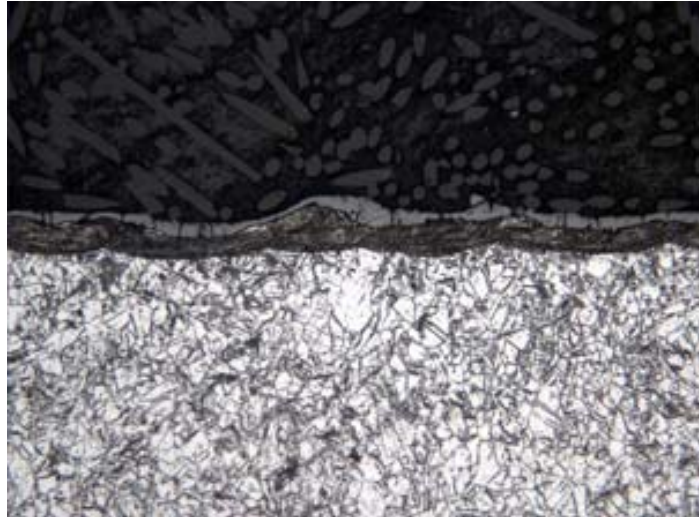
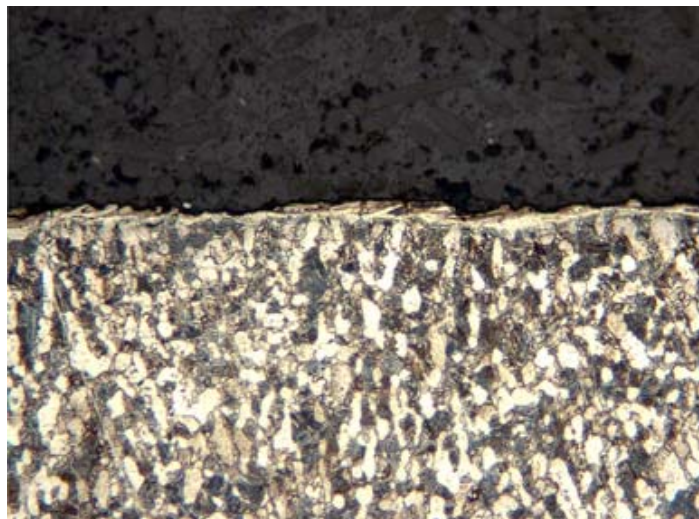


Figure 1-29 Continuous recast layer.

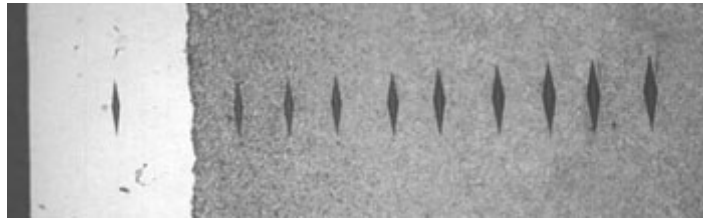
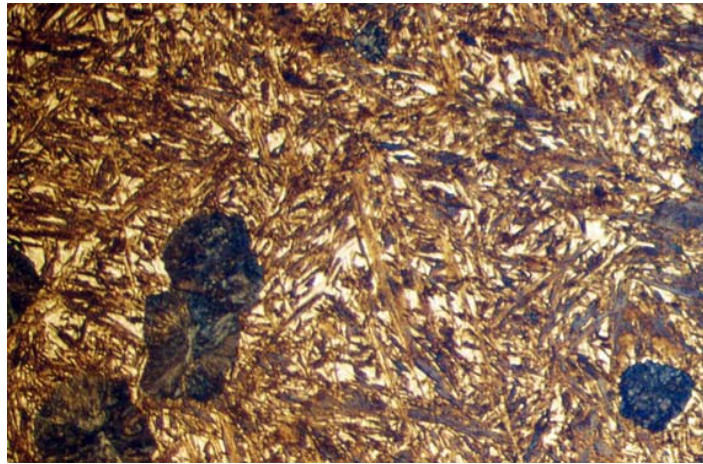
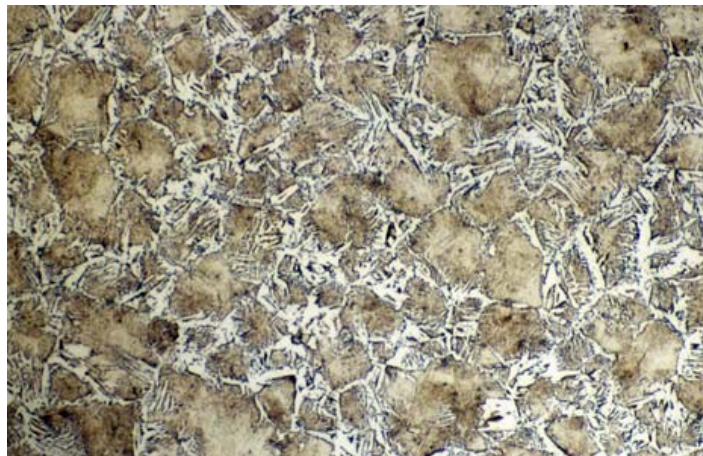


Figure 1-30 Localized recast layer.



**Figure 1-31 Cracks in recast layer.****Carburizing**

담금질 철 합금용의 가장 일반적인 열처리 공정은 침탄 처리로 알려져 있다. 침탄 공정은 고온에서 철 합금으로 탄소가 확산하는 공정이다. 침탄 후 금속을 즉시 냉각시킴으로써 표면 층은 단단해지게 된다. 미세경도시험을 수반한 금속조직학적 분석은 해당 경도와 두께에 대한 세부사항을 나타낼 수 있다.

**Figure 1-32 Knoop case depth hardness.****Figure 1-33 High carbon steel, quenched.****Figure 1-34 Low carbon steel, quenched.****Decarburization**

탈탄현상은 철강이 고온으로 특히 수소분위기에서 가열될 때 철강의 표면에서 탄소가 손실될 때 발생할 수

있는 결함이다. 이와 같은 탄소의 손실은 철강의 연성과 강도를 감소시킬 수 있다. 또한 철강의 수소취성의 결과를 유발할 수 있다.

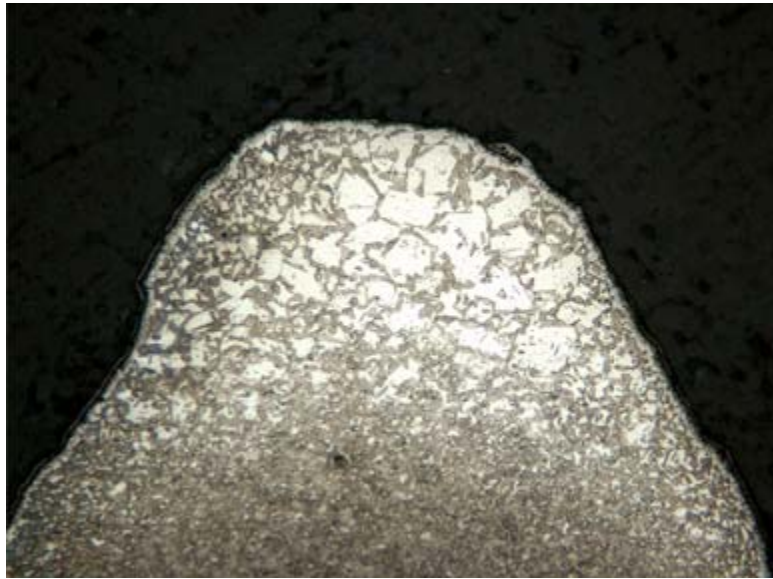


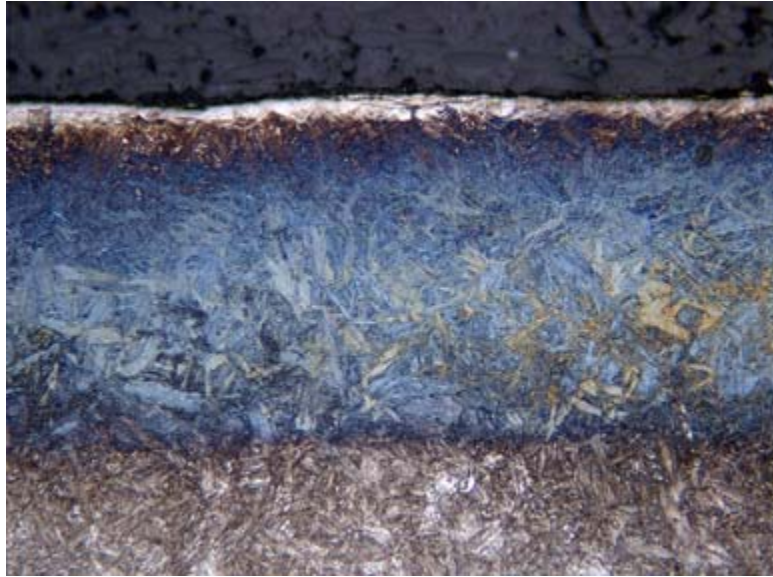
Figure 1-35 Gross decarburization in a steel fastener.



Figure 1-36 Steel decarburization.

### Nitriding

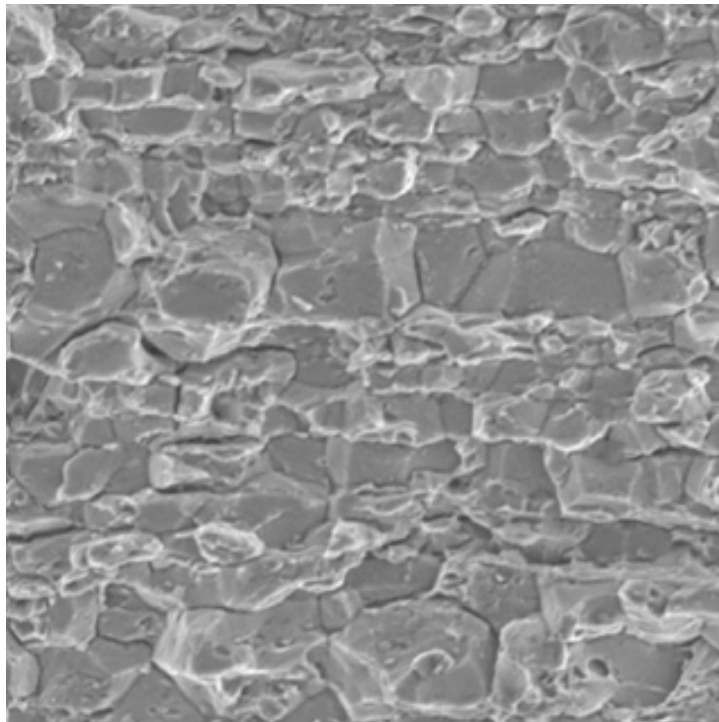
질화공정은 강하고 질긴 철강에 매우 강한 표면을 제공하는 공정이다. 이 공정은 약 50 분 동안의 암모니아 분위기에서 500-540°C (930-1000°F) 철강을 가열하는 공정이다. 추가적인 냉각이나 열처리는 요구되지 않는다. 비커스 경도는 약 1100 이고 표면의 두께는 0.4mm 가 된다. 질화처리는 또한 철강의 부식저항성을 향상시킬 수 있다.



**Figure 1-37 Nitrided steel.**

### **Inter granular Fracture**

입계균열 및 파괴는 재료의 입계를 따라 발생하는 파괴의 한 종류이다. 입계파괴는 부적절한 열처리, 입계에 위치한 개재물 및 2 차상 입자, 그리고 고 주기 하중에 의해 발생할 수 있다.

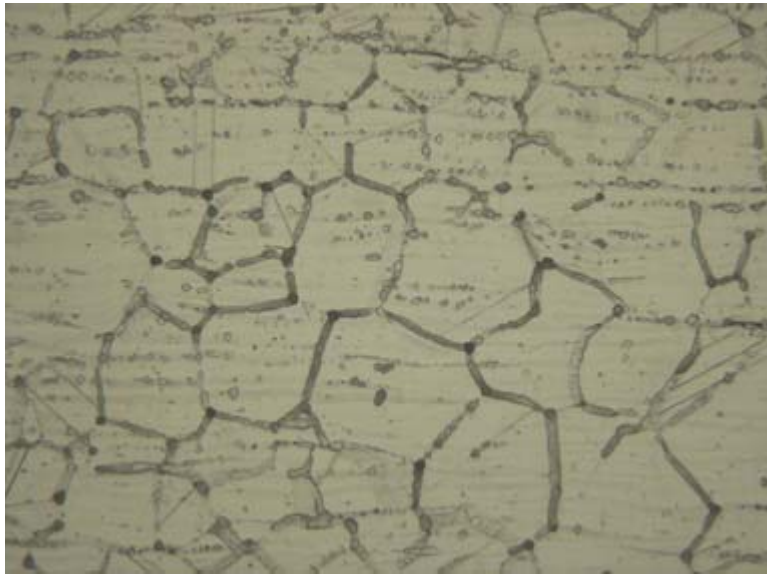


**Figure 1-38 Intergranular fracturing for improperly heat treated 17-7PH, 1000X.**

### **Weld Sensitization**

예민화는 합금원소로서 크롬이 입계에서 크롬 카바이드의 생성에 의해 고갈되는 경우에 발생하는 현상이다.

용접의 경우 예민화는 합금이 용접되는 특정 온도범위를 통해 너무 느린 가열 및 냉각에 의해 발생한다. 예를들어 300 계열 스테인레스는 425-475°C 의 범위에서 입계에서 크롬 카바이드 침전물을 생성하게 된다.



**Figure 1-39 Sensitization of welded 304L Stainless Steel, Mag. 500X.**

#### **Flow Line Stress**

유선응력은 금속 유동 및 변형을 유지 시키기 위해 요구되는 응력이다. 유동의 방향은 매우 중요하다.



**Figure 1-40 Improper flow line direction normal to maximum stress, Etchant HCl+H2O2.**