

# متالوگرافی و کاربردهای آن

کامران خداپرستی

[kkhodaparasti@yahoo.com](mailto:kkhodaparasti@yahoo.com)

# مقدمه‌ای بر متالوگرافی

متالوگرافی، آماده‌سازی نمونه‌ها برای بررسی‌های میکروسکوپی و مطالعه ریزساختار به منظور تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی آن آلیاژ خاص می‌باشد. آماده‌سازی شامل تهیه قطعه‌ای از فلز، برش تکه‌ای کوچک از این فلز، قرار دادن آن در داخل مانت (به سبب کوچک بودن بیش از اندازه این قطعات، جابه‌جایی آنها سخت است)، سایش سطح فلز با انواع مختلفی از ساینده‌های ریز، پولیش قطعه تا زمان برطرف شدن کلیه خراشهای ناشی از سایش نهایی، قرار دادن نمونه در معرض یک محیط خورنده (معمولاً اسیدی) و در نهایت مشاهده آن زیر میکروسکوپ می‌باشد. استاندارد متالوگرافی را اینگونه تعریف می‌کند:

ASTM E 7:

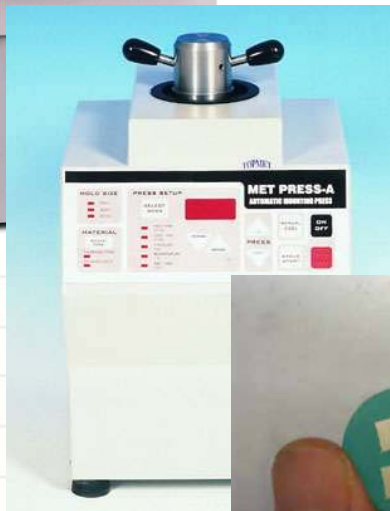
That branch of science which relates to the constitution and structure, and their relation to the properties of metals and alloys.



Henry Clifton Sorby پدر متالوگرافی است.

# تهیه نمونه‌های متالوگرافی

- برای تهیه نمونه‌های متالوگرافی سه فرآیند مختلف انجام می‌گیرد:
۱. آماده‌سازی (برش، مانت و سنباده‌زنی)
  ۲. پولیش و اچ
  ۳. بررسی‌های میکروسکوپی



# میکروسکوپ نوری

میکروسکوپهای نوری به لحاظ قیمت و توانایی بسیار متنوع هستند. از نور بازتابیده برای مطالعه فلزات استفاده می شود. میکروسکوپهای نوری عبوری برای مطالعه مواد معدنی و پلیمرها به کار برده می شود. از نور بازتابیده نیز می توان برای این مواد استفاده نمود. میکروسکوپهای نوری به دو دسته ایستاده یا معکوس طبقه بندی می شوند. این عبارات به جهت مسیر نور تا صفحه پولیش نمونه در هنگام مشاهده اشاره دارند. از آنجایی که هر وضعیت مزایا و معایب خاص خود را دارد، انتخاب میکروسکوپ مناسب عموماً براساس نیاز صورت می گیرد.

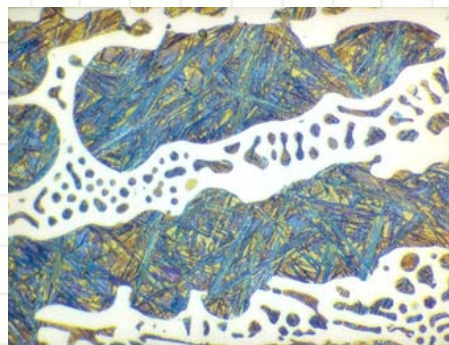
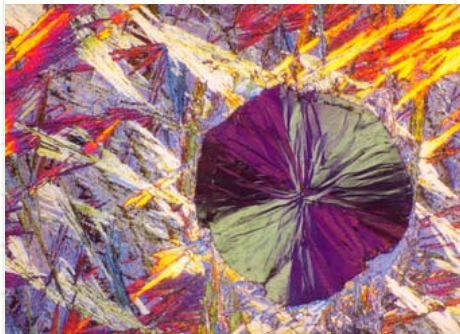
ساده ترین میکروسکوپ نوری از نوع رومیزی (عموماً ایستاده) می باشد. وسایل متالوگرافی متنوعی برای مشاهده چشمی، تصویربرداری میکروسکوپی و آنالیز تصویر نمونه های متالوگرافی موجود هستند. این وسایل از یک منبع روشنایی با شدت بالا، میکروسکوپ و اغلب توانایی بررسی سطوح نمونه ها با استفاده از نور پلاریزه، کنتراست فازی، روشنایی مایل، میدان تاریک و میدان روشنایی نور مرئی تشکیل می شوند.



# متالوگرافی رنگی

استفاده از رنگ در متالوگرافی سابقه‌ای طولانی داشته و به تصاویر رنگی منتشر شده در هشتاد و چند سال پیش برمی‌گردد. رنگ را می‌توان با استفاده از روش‌های نوری نظیر نور پلاریزه و اختلاف کنتراست تداخل ایجاد نمود. بررسی با نور پلاریزه برای مطالعه (بدون اچ) ساختار فلزات معین با ساختار غیرمکعبی نظیر برلیم، هافنیم،  $\alpha$ -تیتانیوم، اورانیوم و زیرکونیم بسیار مفید می‌باشد. در بسیاری از حالات می‌توان برای تولید رنگ، نور پلاریزه را با نمونه‌های اچ شده، صرف‌نظر از ساختار کریستالی آنها، به کار برد. اختلاف کنتراست تداخل، اختلاف ارتفاع میان اجزاء و زمینه را مشخص می‌سازد، ولی در اکثر حالات رنگ تولیدی فقط جنبه زیبایی دارد.

روش‌های اچ رنگی نیز به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. محلول‌های اچ رنگی برای تعداد محدودی از فلزات و آلیاژها توسعه یافته‌اند، ولی همیشه استفاده از آنها آسان نمی‌باشد. محلول‌های رنگی را می‌توان به صورت غوطه‌وری با الکترولیتی به کار برد. این محلول‌ها می‌توانند اجزاء آندی (زمینه) یا کاتدی را رنگ نمایند. محلول‌های الکترولیتی نیز وجود دارند که با عنوان محلول‌های آندایز شناخته می‌شوند. این محلول‌ها اغلب با آلومینیوم و آلیاژهای آن به کار برده می‌شوند. روش‌های دیگری نیز نظیر رسوب‌نشانی بخار و رنگ‌کاری حرارتی برای ایجاد لایه‌های تداخلی وجود دارند. رنگ را می‌توان در نور مرئی مشاهده و با استفاده از نور پلاریزه تشدید نمود.



# میکروسکوپ الکترونی

میکروسکوپ الکترونی نوعی از میکروسکوپ است که برای روشن ساختن نمونه و ایجاد تصویری بزرگتر، از الکترونها استفاده می‌کند. میکروسکوپهای الکترونی قدرت تفکیک بالاتری نسبت به میکروسکوپهای نوری داشته و می‌توانند به بزرگنمایی‌های بسیار بالاتر دست یابند. برخی از این میکروسکوپها توانایی بزرگ نمودن نمونه‌ها تا بیش از ۲ میلیون برابر را دارند، در حالی که بزرگنمایی بهترین میکروسکوپهای نوری به حداکثر ۲۰۰۰ برابر محدود می‌شود. هر دو نوع میکروسکوپ (نوری و الکترونی) با تابش الکترومغناطیسی، قدرت تفکیک آنها و بزرگنمایی محدود به طول موج این تابش، تصاویر را تولید می‌کنند. وضوح و بزرگنمایی بالاتر میکروسکوپ الکترونی به این دلیل است که طول موج الکترون خیلی کوچکتر از طول موج فوتون نور مرئی می‌باشد.

میکروسکوپهای الکترونی از عدسی‌های الکترواستاتیکی و الکترومغناطیسی در تشکیل تصویر با کنترل پرتو الکترونی جهت متمرکز نمودن آن در صفحه خاصی نسبت به نمونه (در روشی مشابه با نحوه به‌کارگیری عدسی‌های شیشه‌ای در میکروسکوپ نوری برای متمرکز نمودن نور روی نمونه جهت تشکیل تصویر) استفاده می‌کنند.

چهار نوع میکروسکوپ الکترونی وجود دارد:

SEM میکروسکوپ الکترونی روبشی

TEM میکروسکوپ الکترونی عبوری

REM میکروسکوپ الکترونی انعکاسی

STEM میکروسکوپ الکترونی روبشی - عبوری





# کاربردهای متالوگرافی

# بررسی های ریز ساختاری

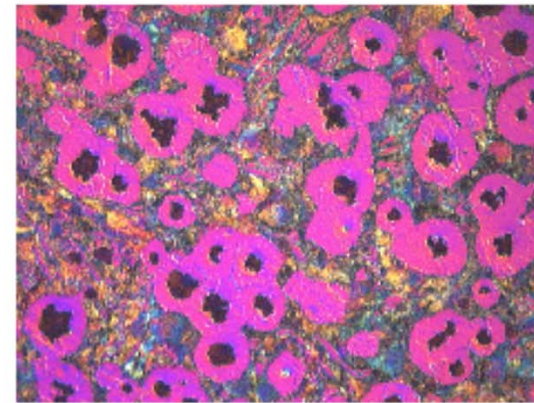
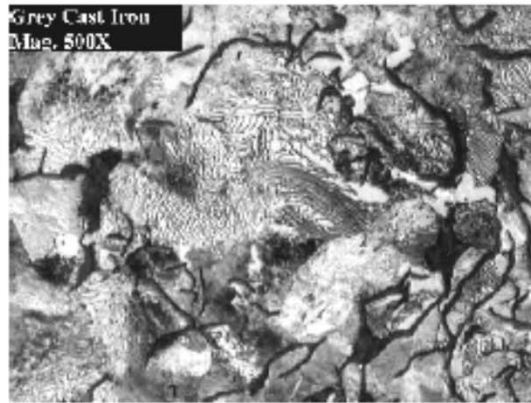


Figure 2. Cast Iron microstructures (a) graphite flakes (b) nodules

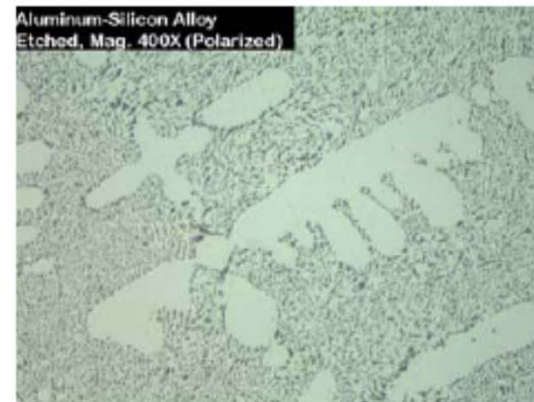
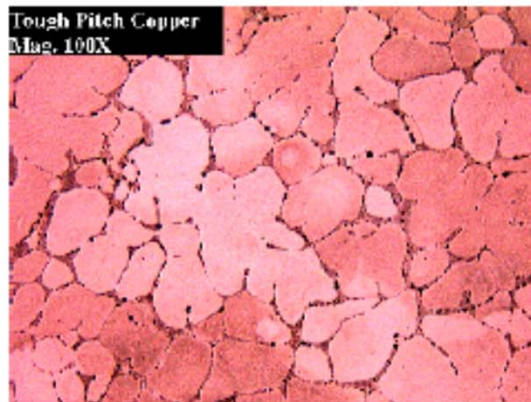
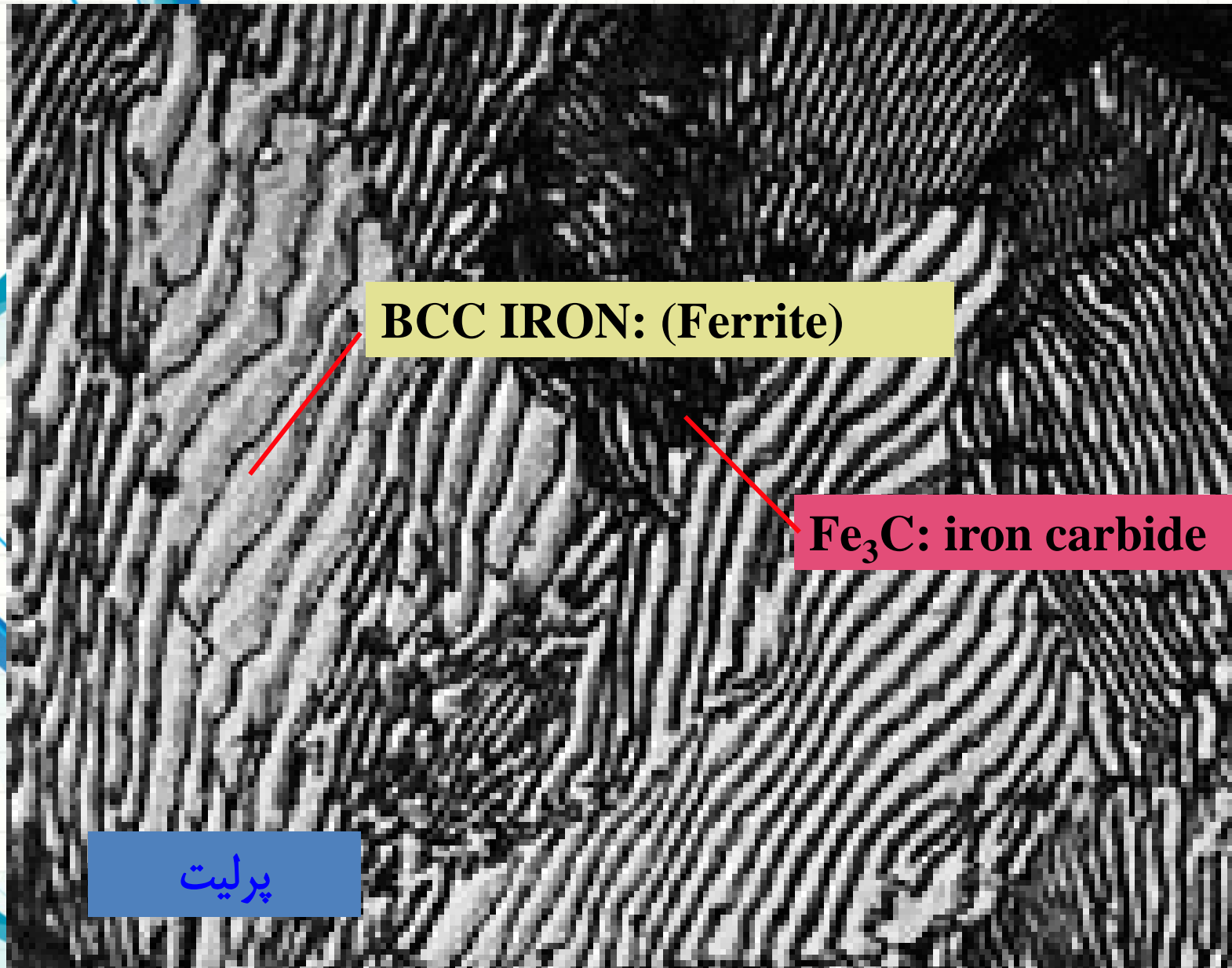


Figure 3. Tough Pitch Copper microstructure showing grain size

Figure 4. Aluminum-silicon alloy solidification microstructure

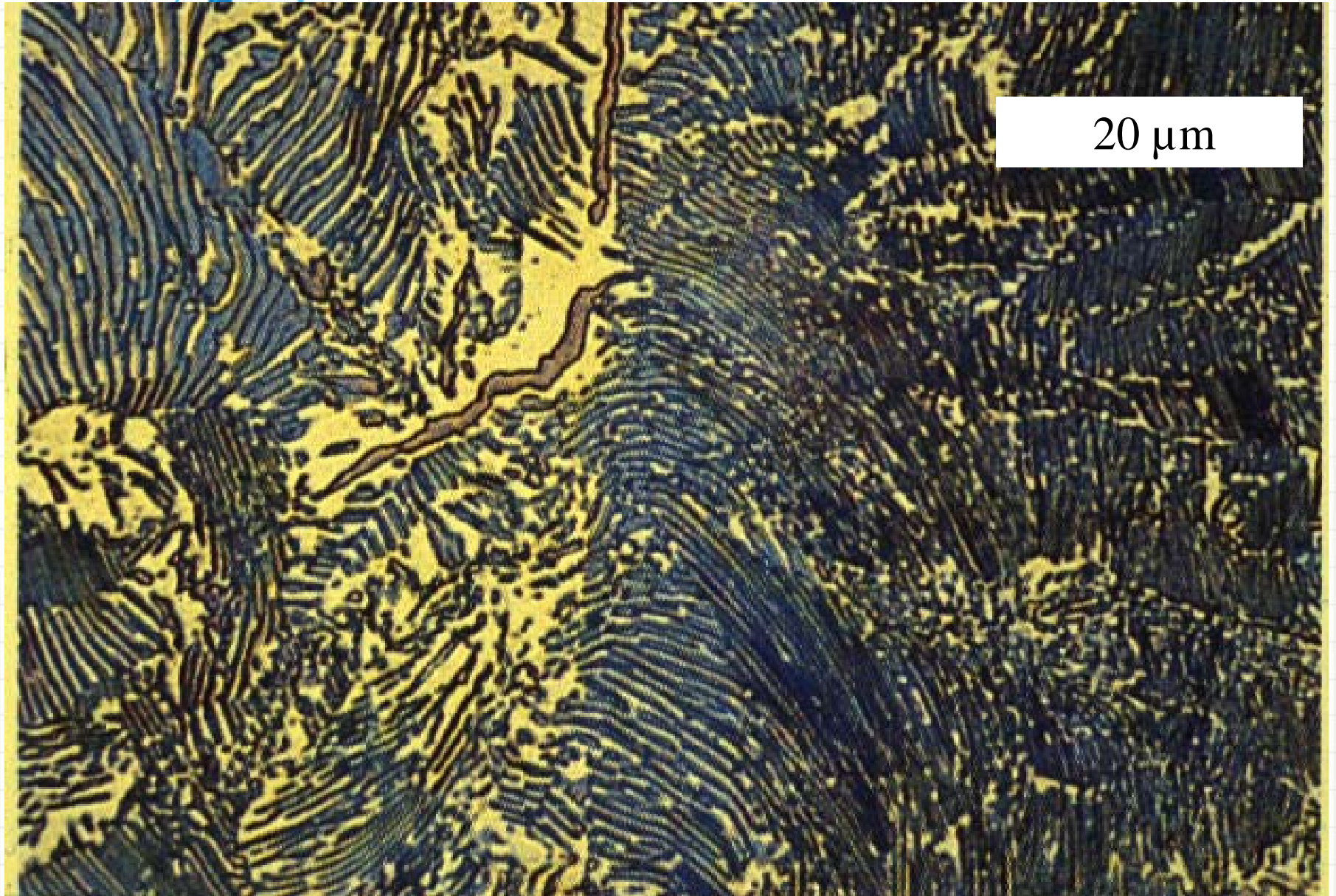


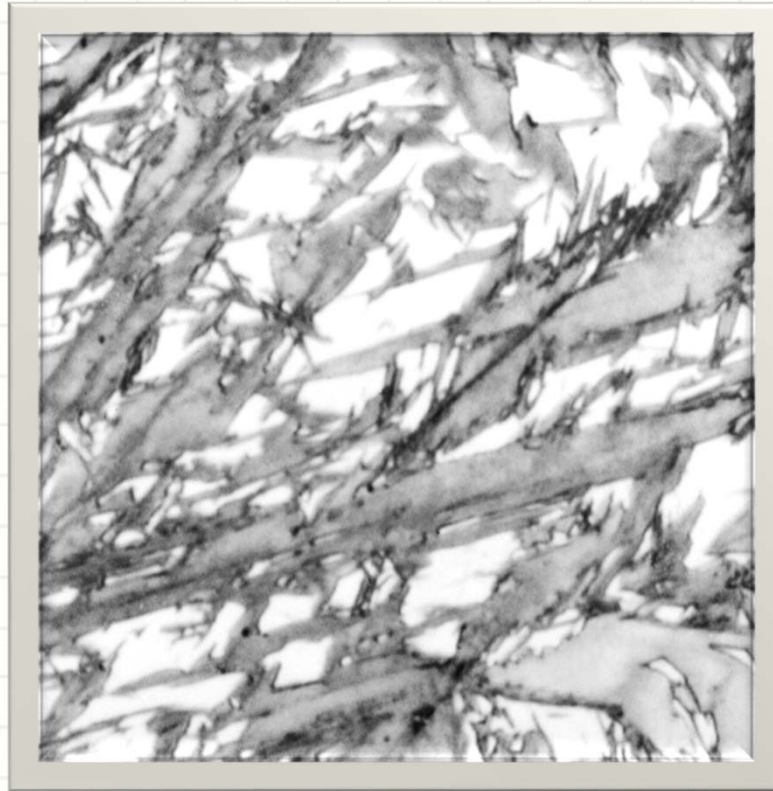


**BCC IRON: (Ferrite)**

**Fe<sub>3</sub>C: iron carbide**

پرلیت





1000X

## Martensite مارتنزیت

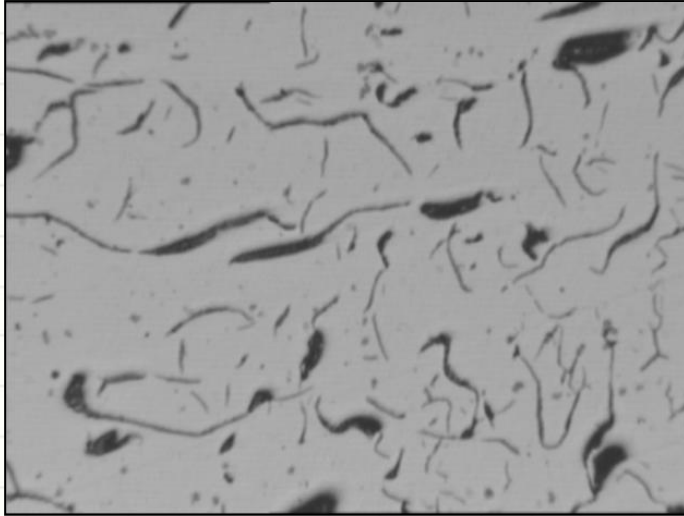


**50X**

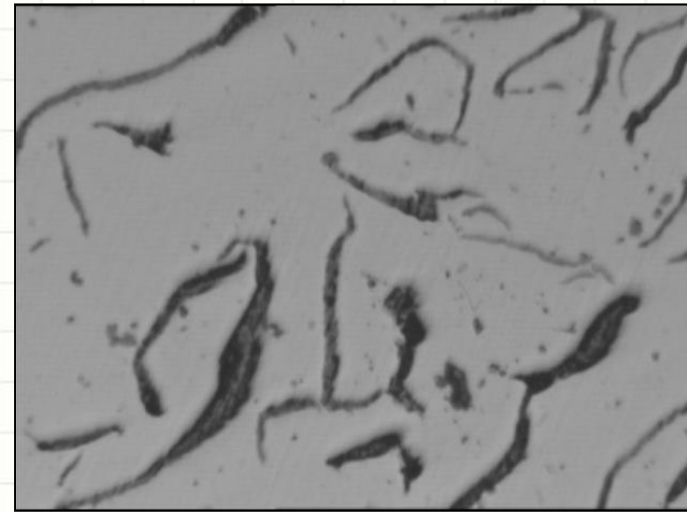


**100X**

فولاد زنگ نزن آستنیتی



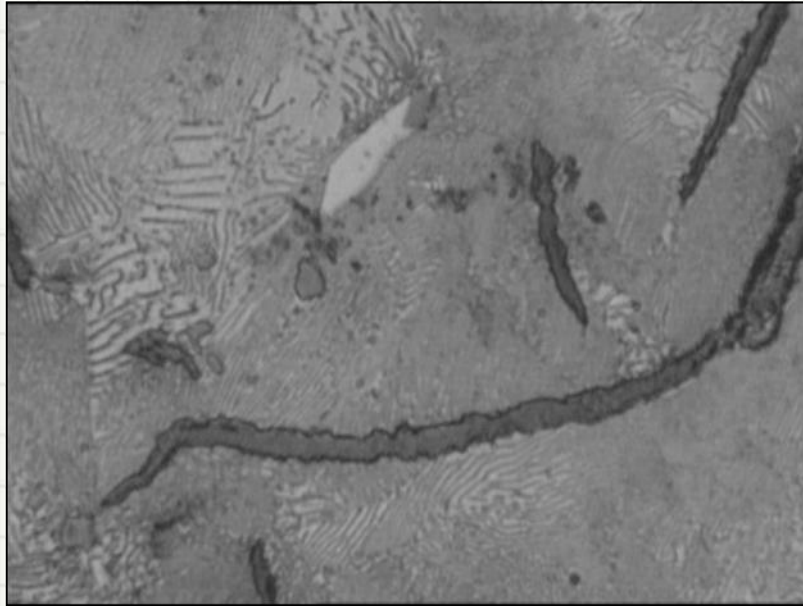
**Etchant** As - polished  
**Composition** -  
**Magnification** 50x



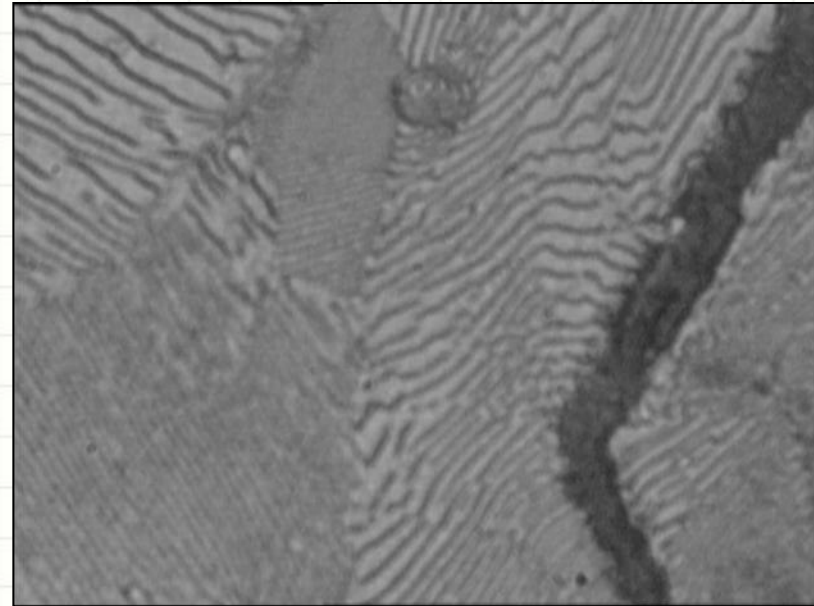
**Etchant** As - polished  
**Composition** -  
**Magnification** 100x

جنس: چدن خاکستری

**Gray cast iron**



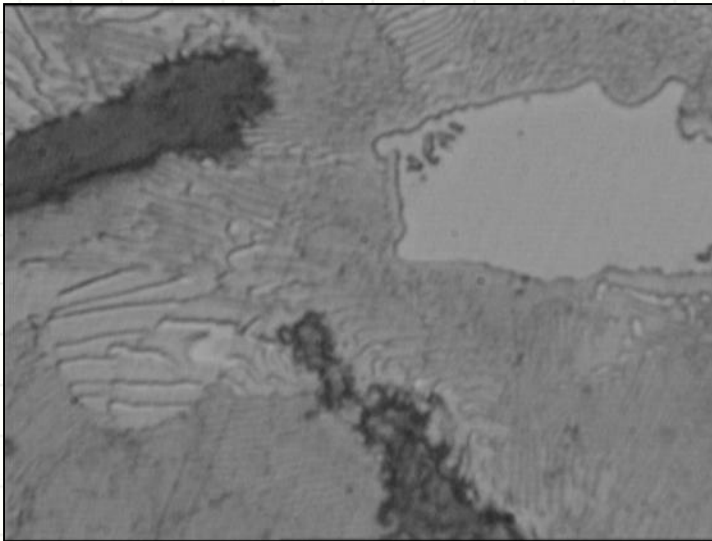
**Etchant Nital 2%**  
**Composition** HNO<sub>3</sub> , Ethanol  
**Magnification 200x**



**Etchant Nital 2%**  
**Composition** HNO<sub>3</sub> , Ethanol  
**Magnification 500x**

## بررسی ساختار میکروسکوپی :

نمونه از جنس چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای از نوع A می‌باشد.  
اندازه گرافیت‌های ورقه‌ای معادل با Size Class 4 می‌باشند.  
ساختار زمینه نمونه پرلیتی به همراه مقادیر اندکی فریت است.

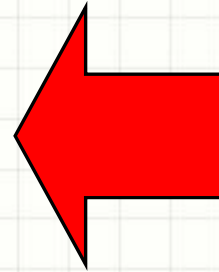


متالوگرافی (ASTM E 3)

نمونه: لوله چدنی فاضلاب

جنس: چدن خاکستری  
Gray cast iron

Test Items	واحد اندازه گیری	نتیجه آزمون
C	wt %	3.25
Si	wt %	2.35
Mn	wt %	0.28
P	wt %	0.234
S	wt %	0.131
Cr	wt %	0.10
Ni	wt %	0.07
Mo	wt %	0.01
Cu	wt %	0.08
V	wt %	0.01
W	wt %	0.02
Ti	wt %	0.02
Co	wt %	0.004
Al	wt %	0.005
Sn	wt %	0.02
Nb	wt %	Trace
Fe	wt %	Base

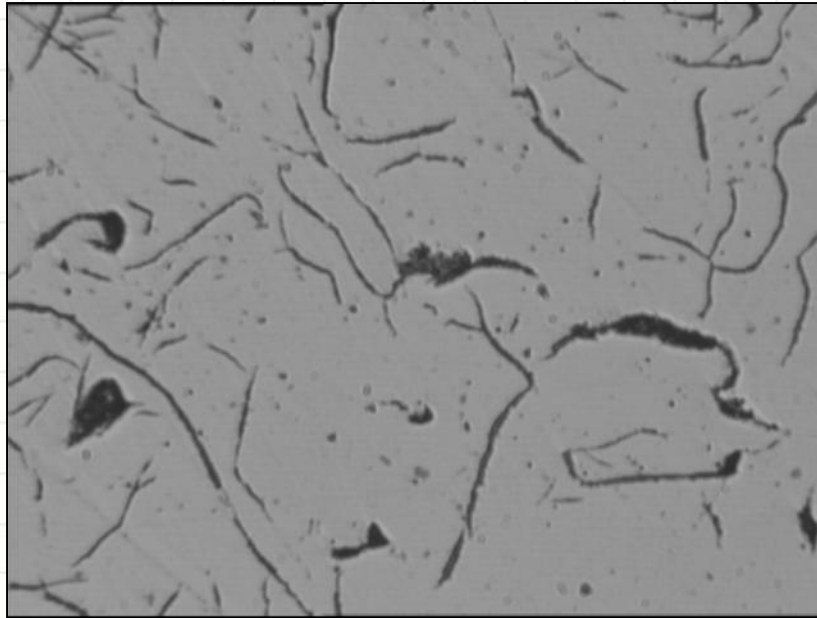


آنالیز شیمیایی (کوانتومتری)

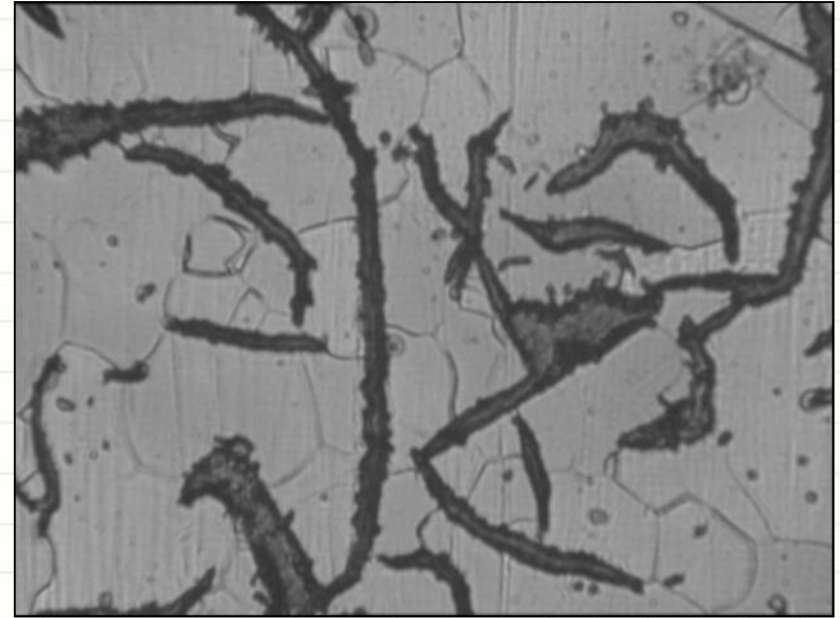
Optical Emission Spectroscopy





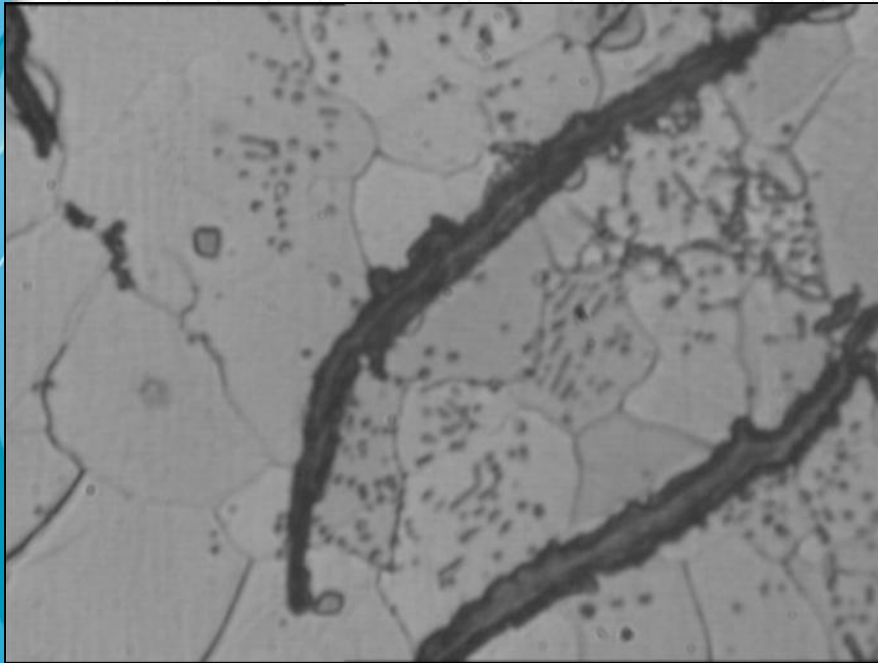


**Etchant As - polished**  
**Composition -**  
**Magnification 100x**

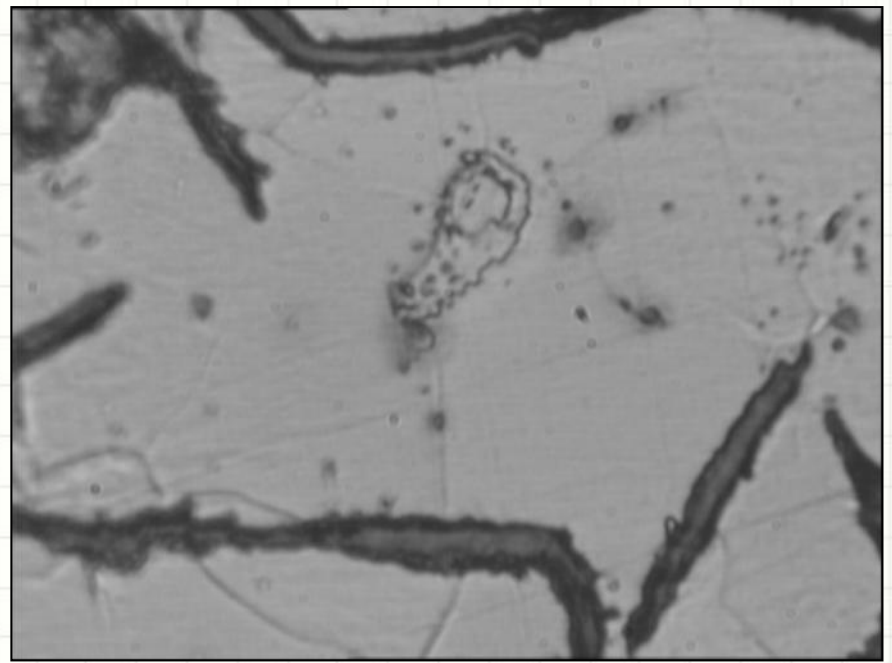


**Etchant Nital 2%**  
**Composition HNO<sub>3</sub>, Ethanol**  
**Magnification 200x**

**متالوگرافی (ASTM E 3)**



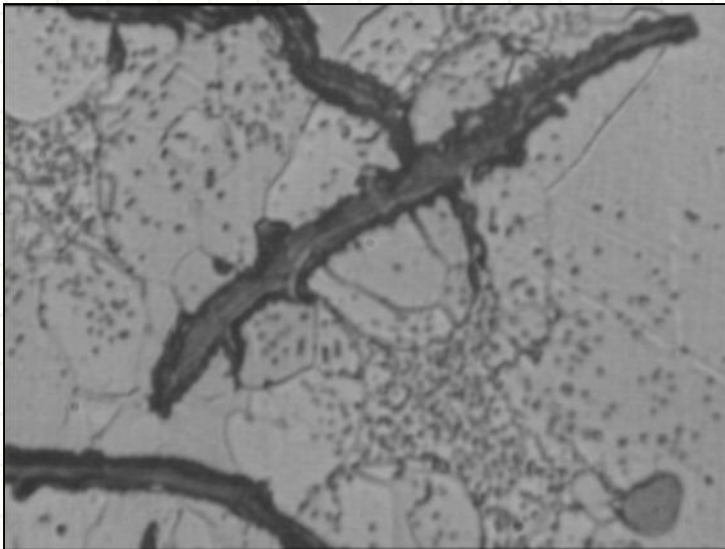
**Etchant** Nital 2%  
**Composition** HNO<sub>3</sub>, Ethanol  
**Magnification** 500x



**Etchant** Nital 2%  
**Composition** HNO<sub>3</sub>, Ethanol  
**Magnification** 500x

## بررسی ساختار میکروسکوپی :

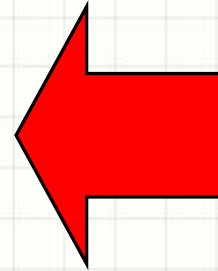
ساختار نمونه از جنس چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای از نوع A می‌باشد.  
اندازه گرافیت‌های ورقه‌ای معادل با Size Class 4 می‌باشند.  
ساختار زمینه نمونه فریتی است.



جنس: چدن نشکن (داکتیل)

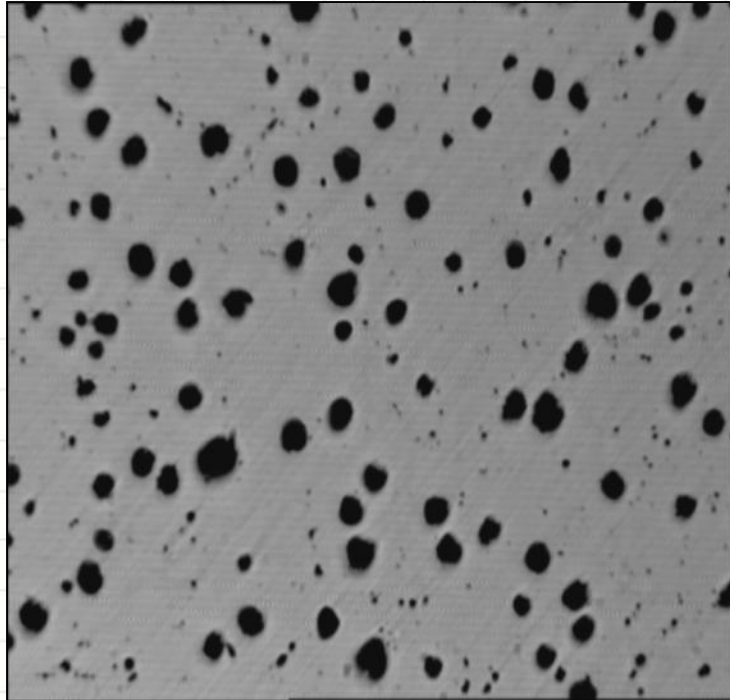
## Ductile cast iron

Test Items	واحد اندازه گیری	نتیجه آزمون
C	wt %	3.29
Si	wt %	2.64
Mn	wt %	0.14
P	wt %	0.050
S	wt %	0.009
Cr	wt %	0.06
Ni	wt %	0.04
Mo	wt %	0.004
Cu	wt %	0.04
V	wt %	0.001
W	wt %	0.002
Ti	wt %	0.008
Co	wt %	0.004
Al	wt %	0.01
Zn	wt %	0.12
Nb	wt %	Trace
Fe	wt %	Base

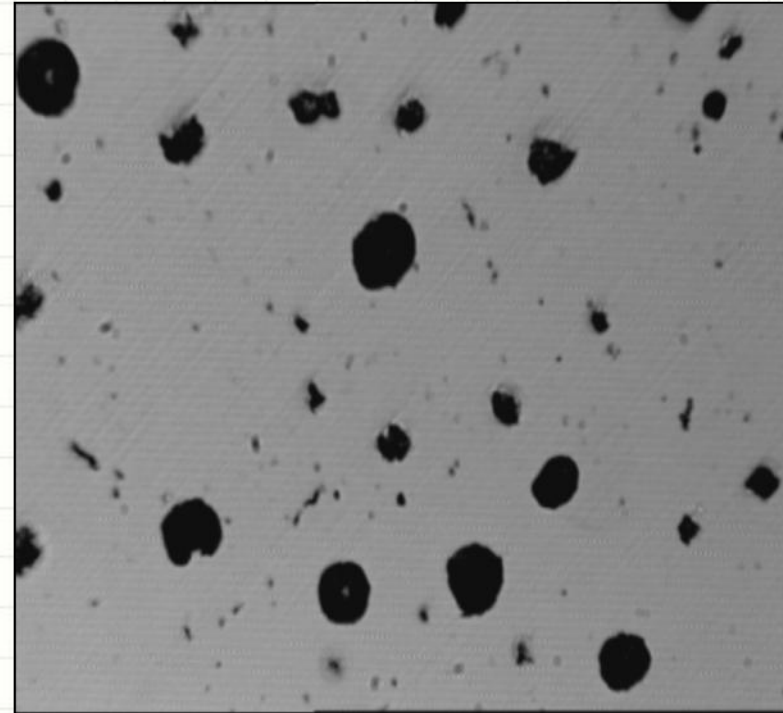


آنالیز شیمیایی (کوانتومتری)

The chemical composition of the ductile cast iron is similar to that of the grey cast iron but with 0.05 wt% of magnesium(Mg)

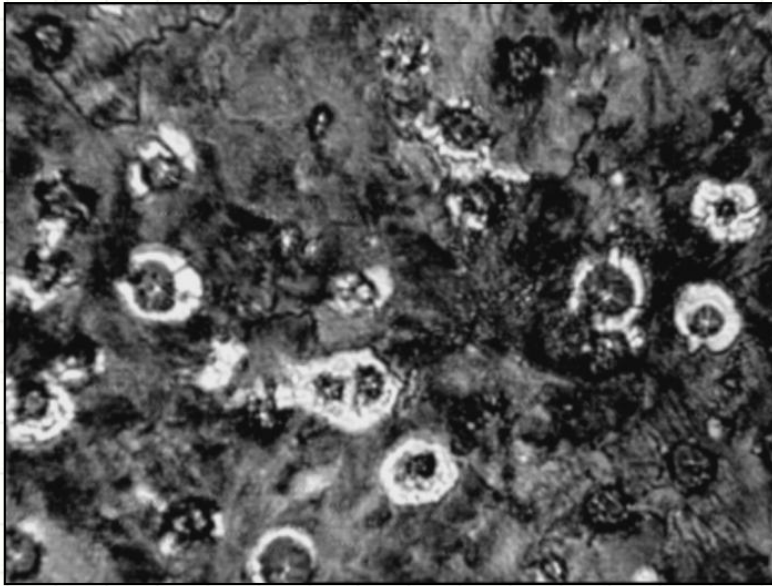


**Etchant As - polished**  
**Composition -**  
**Magnification 50×**

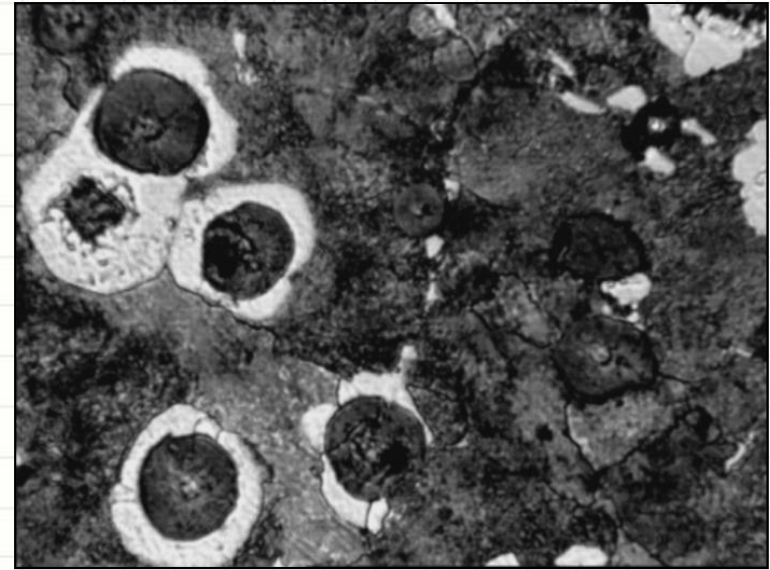


**Etchant As - polished**  
**Composition -**  
**Magnification 100×**

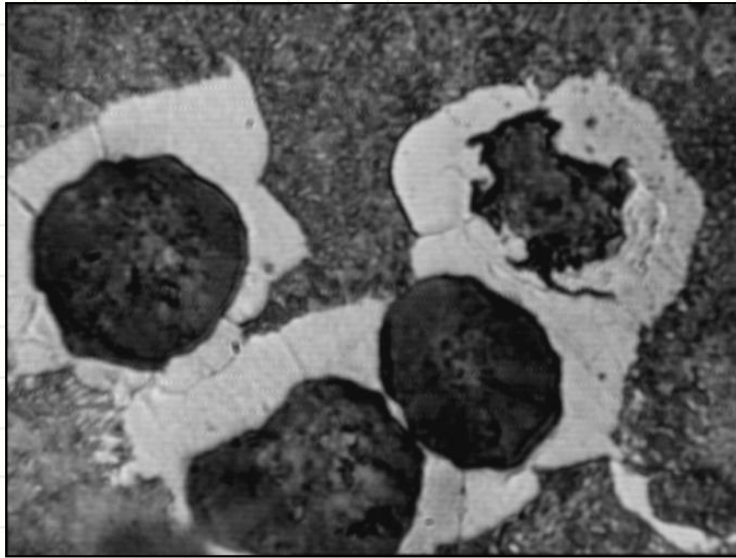
**متالوگرافی (ASTM E 3)**



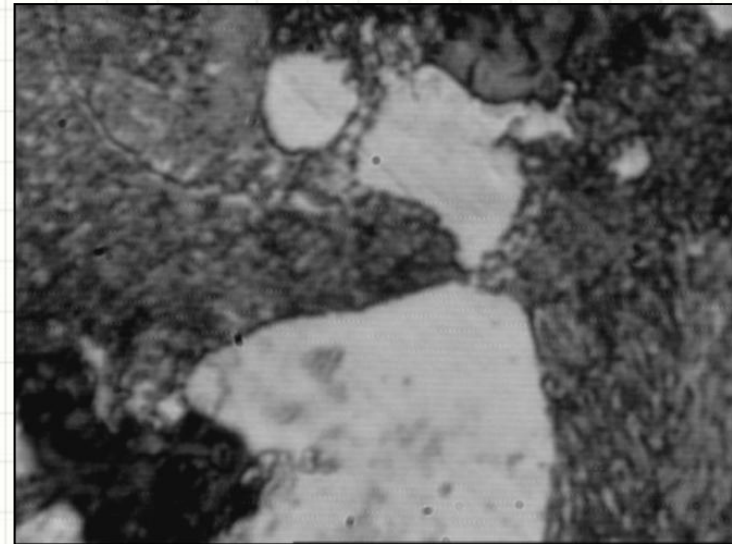
**Etchant Nital 2%**  
**Composition**HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 100x**



**Etchant Nital 2%**  
**Composition**HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 200x**



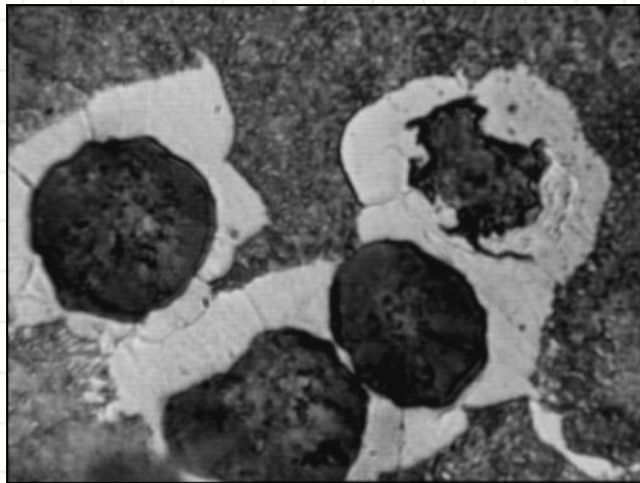
**Etchant Nital 2%**  
**Composition**HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 500x**



**Etchant Nital 2%**  
**Composition**HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 1000x**

## بررسی ساختار میکروسکوپی :

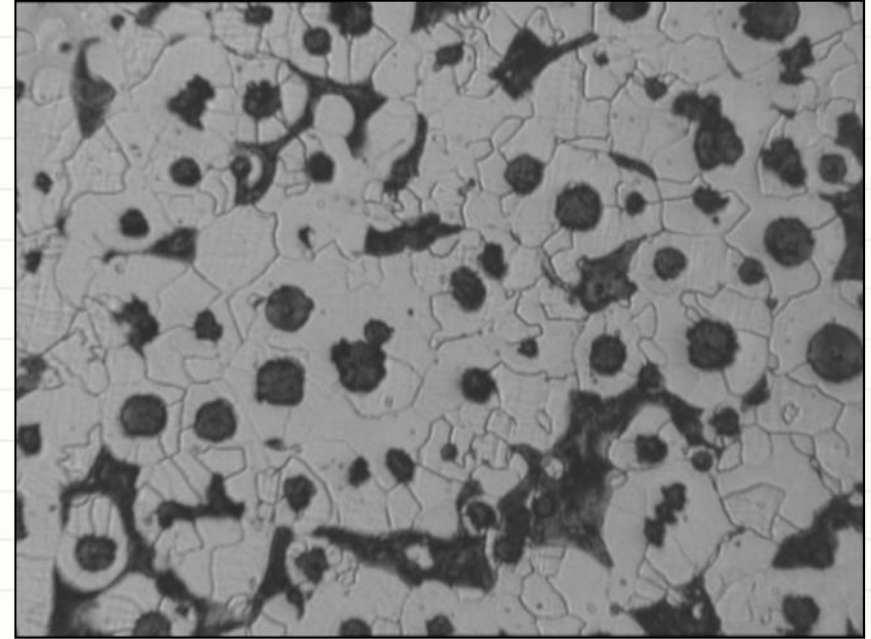
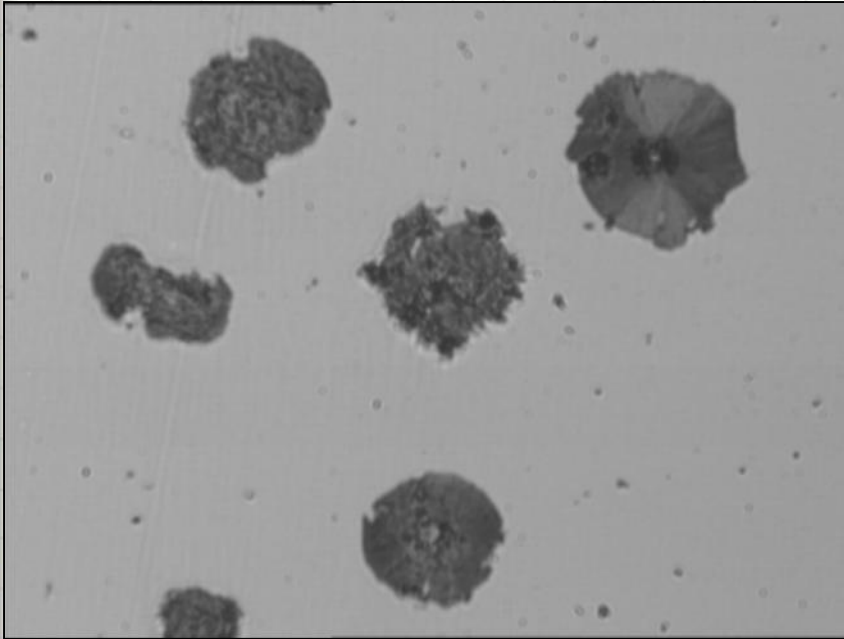
نمونه از جنس چدن با گرافیت کروی (داکتیل) می‌باشد.  
تعداد گرافیتها در هر میلیمتر مربع حدوداً بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ عدد ارزیابی می‌شود.  
قطر متوسط گرافیتهای کروی عمدتاً بین ۲۰ میکرون تا ۳۰ میکرون می‌باشد.  
گرافیتهای با قطر متوسط کوچکتر از ۲۰ میکرون نیز در نمونه مشاهده می‌شوند.  
میزان کروی شدن گرافیتها بیش از ۹۰ درصد است.  
توزیع گرافیتها در زمینه نسبتاً یکنواخت است.  
ساختار زمینه پرلیتی - فریتی است (حدود ۱۰ درصد فریت).  
پرلیت زمینه ظریف است.





**Ductile cast iron** جنس: چدن نشکن (داکتیل)

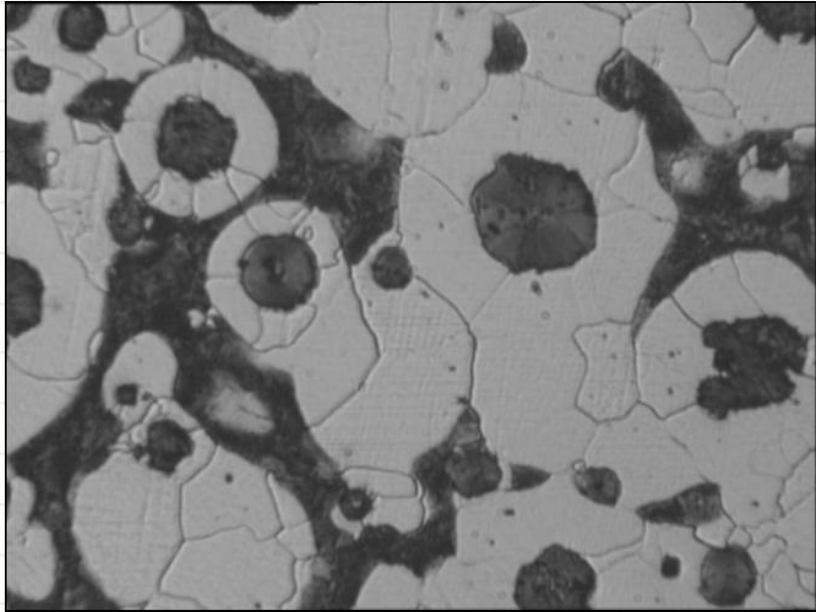
نمونه: قطعه فلنج اکسل جلو پراید



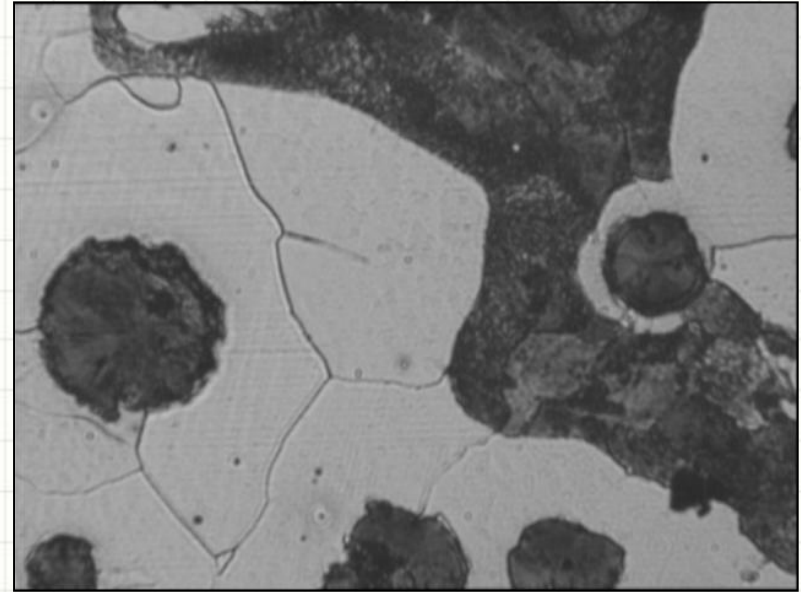
**Etchant** As - polished  
**Composition** -  
**Magnification** 200×

**Etchant** Nital 2%  
**Composition** HNO<sub>3</sub> , Ethanol  
**Magnification** 50×

متالوگرافی (ASTM E 3)



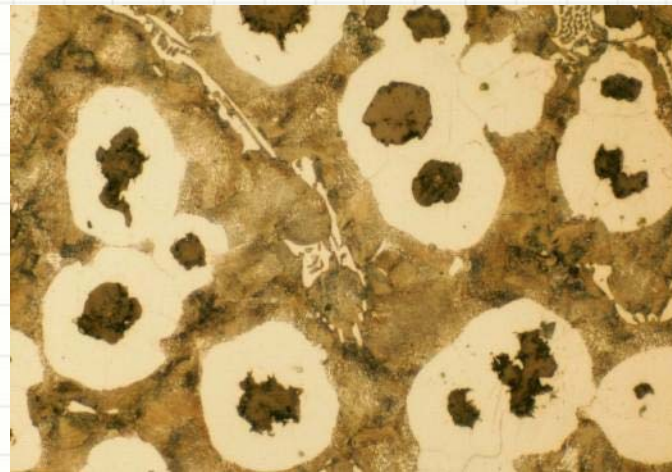
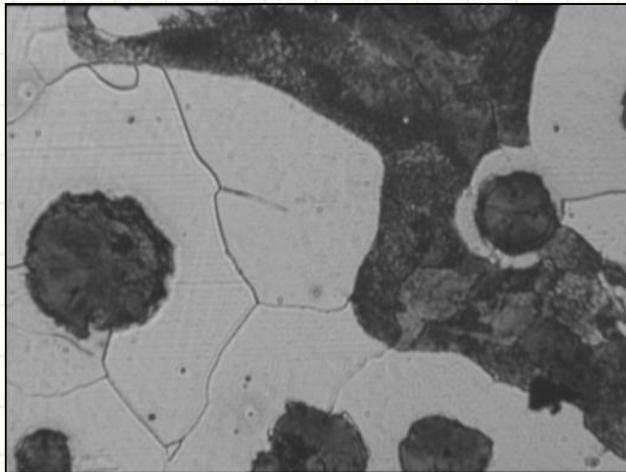
**Etchant Nital 2%**  
**Composition** HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 100X**

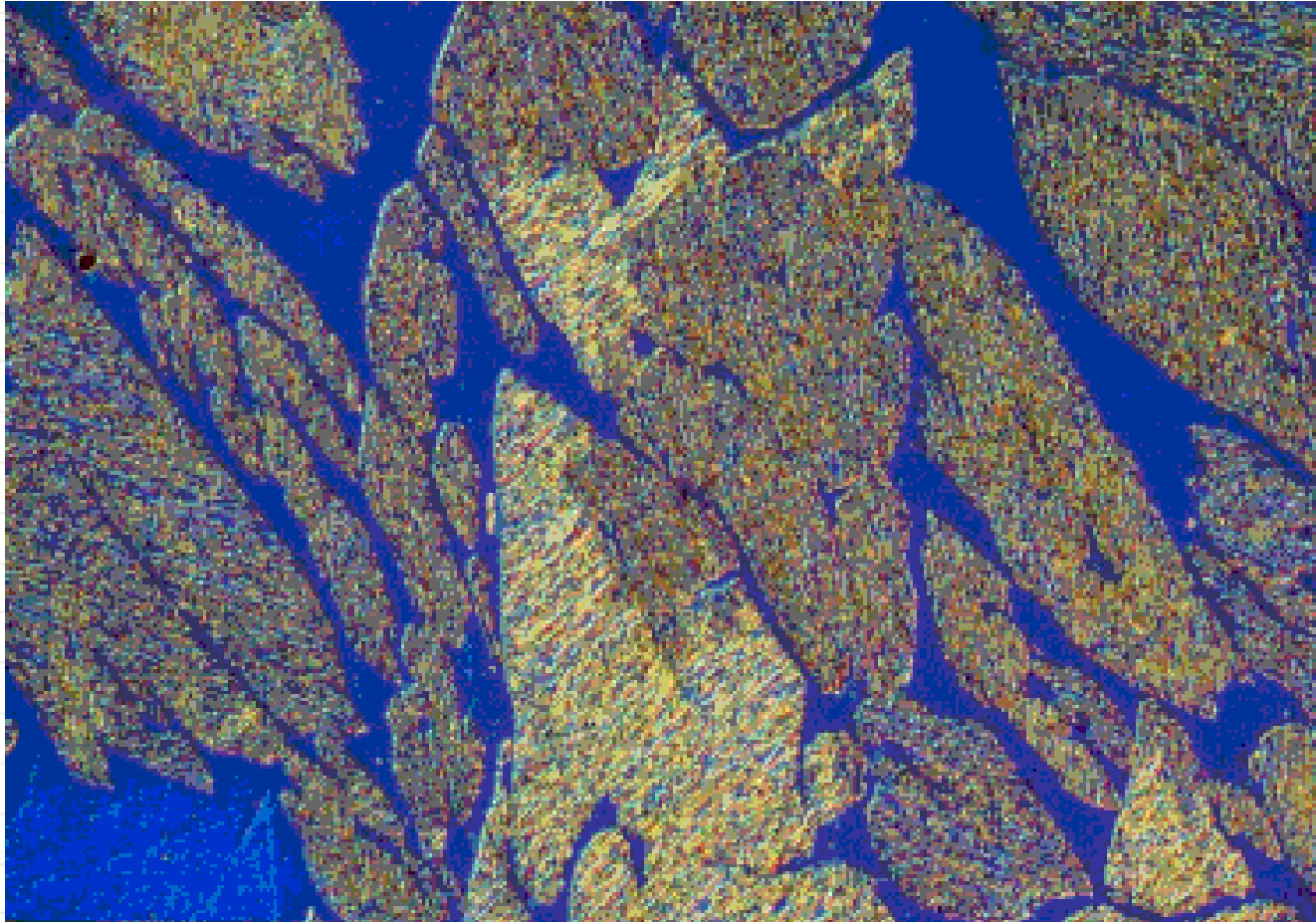


**Etchant Nital 2%**  
**Composition** HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 200X**

## بررسی ساختار میکروسکوپی :

نمونه از جنس چدن با گرافیت کروی ( داکتیل ) می باشد.  
تعداد گرافیتها در هر میلیمتر مربع حدودا بین ۲۰۰ - ۱۰۰ عدد ارزیابی می شود.  
قطر متوسط گرافیتهای کروی عمدتا بین ۲۵ - ۳۵ میکرون تخمین زده می شود.  
میزان کروی شدن گرافیتها بیش از ۹۰ درصد می باشد.  
گرافیت های نامنظم نیز در ساختار مشاهده می شوند.  
ساختار زمینه فریتی - پرلیتی (حدود ۷۵٪ فریت) می باشد.

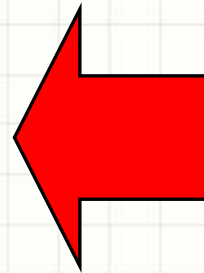




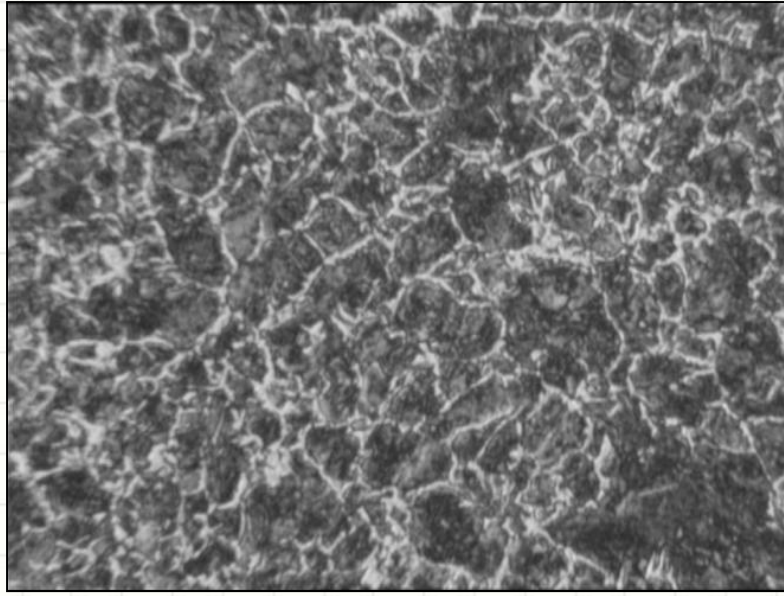
فولاد زنگ نزن مارتنزیتی

نمونه: فلنج رابط پراید

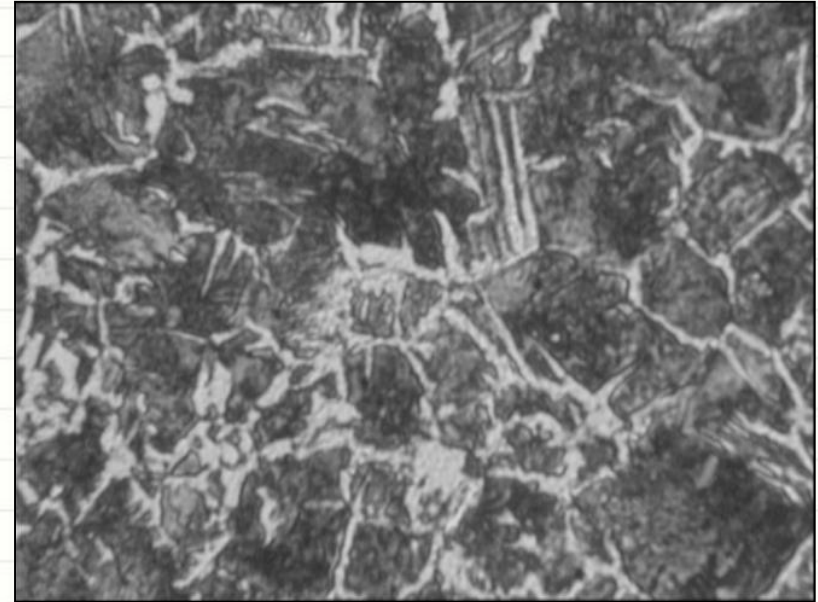
Test Items	واحد اندازه گیری	نتیجه آزمون
C	wt %	0.44
Si	wt %	0.26
Mn	wt %	0.67
P	wt %	0.007
S	wt %	0.024
Cr	wt %	0.07
Ni	wt %	0.08
Mo	wt %	<0.005
Cu	wt %	0.20
V	wt %	0.002
W	wt %	0.015
Ti	wt %	0.001
Co	wt %	0.01
Al	wt %	0.002
Sn	wt %	0.02
Nb	wt %	0.002
Fe	wt %	Base



آنالیز شیمیایی (کوانتومتری)

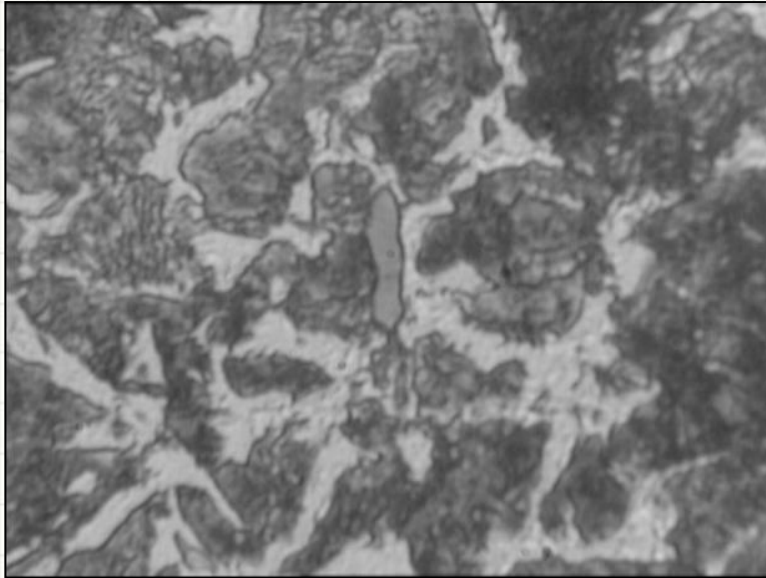


**Etchant Nital 2%**  
**Composition** HNO<sub>3</sub> , Ethanol  
**Magnification 100x**



**Etchant Nital 2%**  
**Composition** HNO<sub>3</sub> , Ethanol  
**Magnification 200x**

**متالوگرافی (ASTM E 3)**



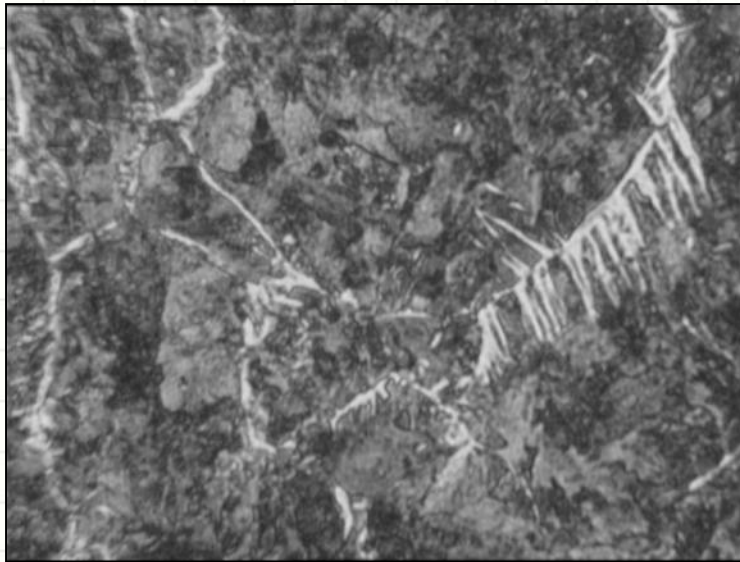
**Etchant Nital 2%**  
**Composition**HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 500x**



**Etchant Nital 2%**  
**Composition**HNO<sub>3</sub> ,Ethanol  
**Magnification 500x**

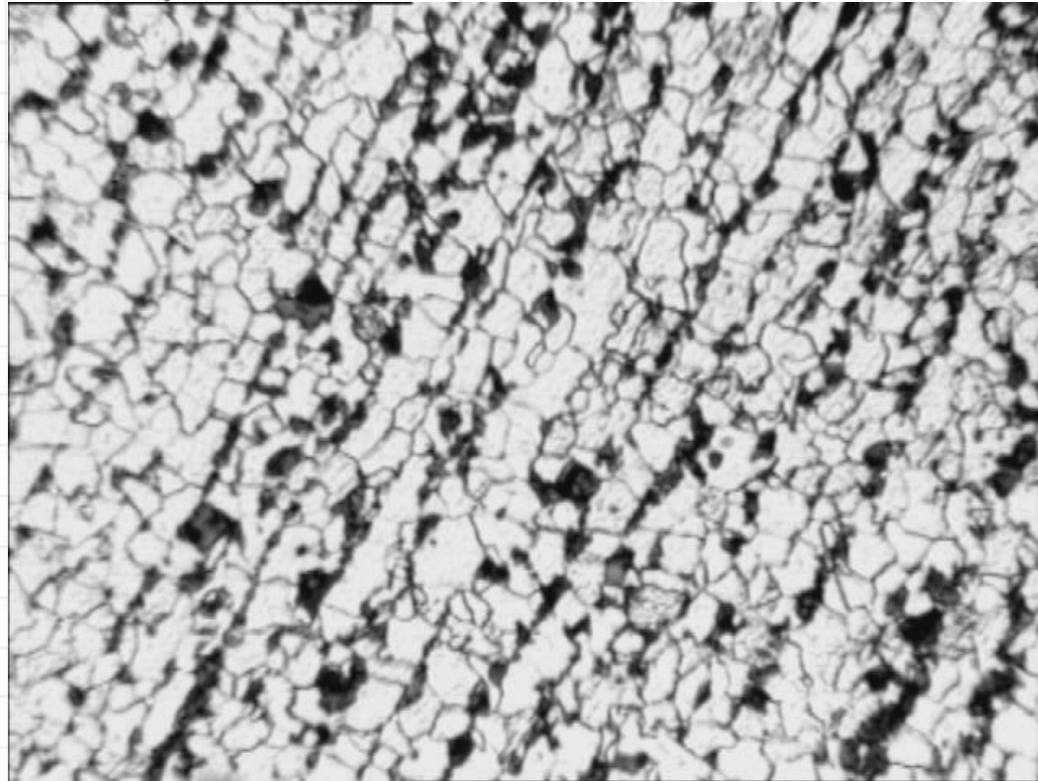
## بررسی ساختار میکروسکوپی :

ساختار هر دو نمونه پرلیتی (مناطق تیره رنگ) به همراه شبکه ای از فریت مرز دانه ای (نواحی سفید رنگ) است که این فریت ها در مرز دانه های آستنیت اولیه تشکیل شده اند.





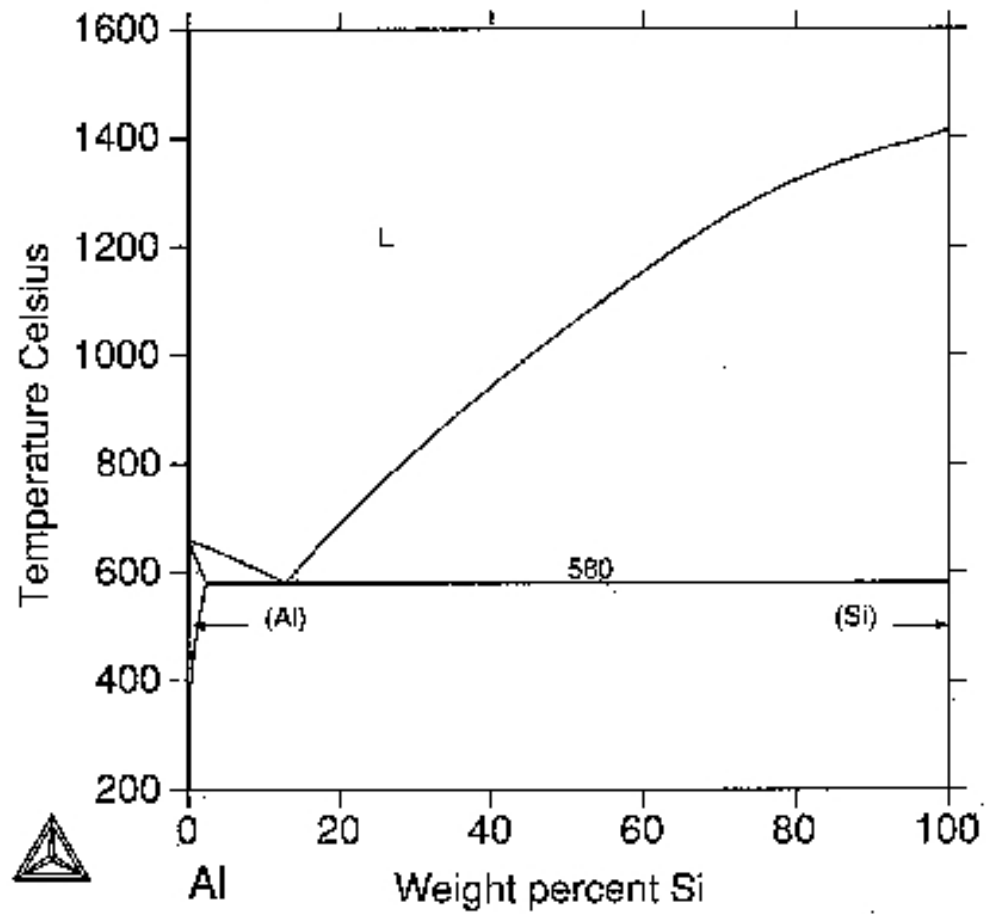
# تعیین روش ساخت



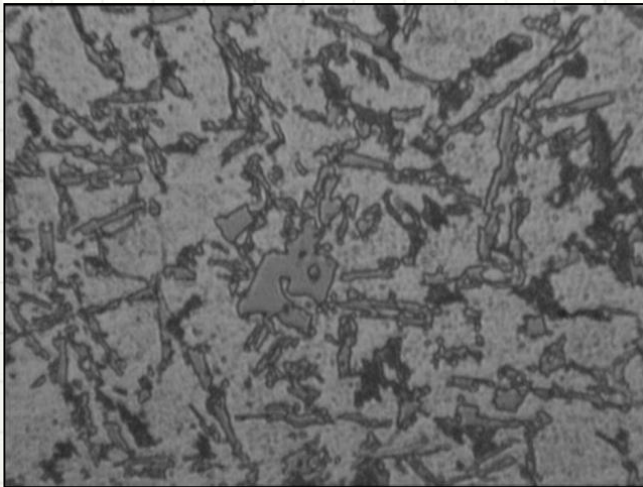
کار مکانیکی روی لوله

# آشنایی با ساختار فلزات غیر آهنی (فلزات رنگین)

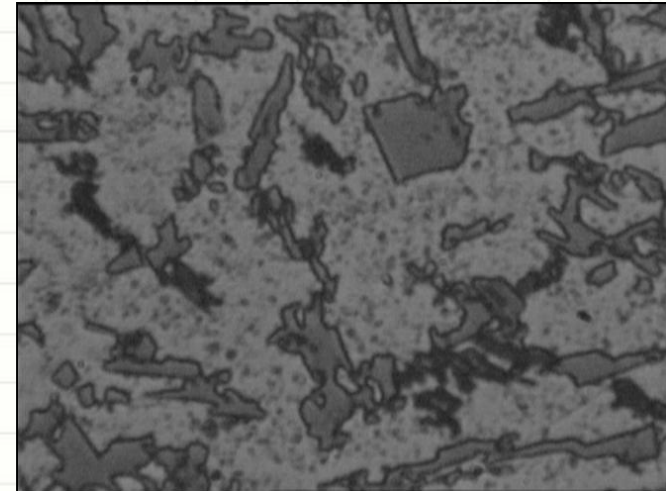
## آلومینیوم + سیلیسیوم



نمونه: پیستون آلومینیومی خودروی پیکان



**Etchant** Keller's reagent  
**Composition** HF, HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O  
**Magnification** 200X



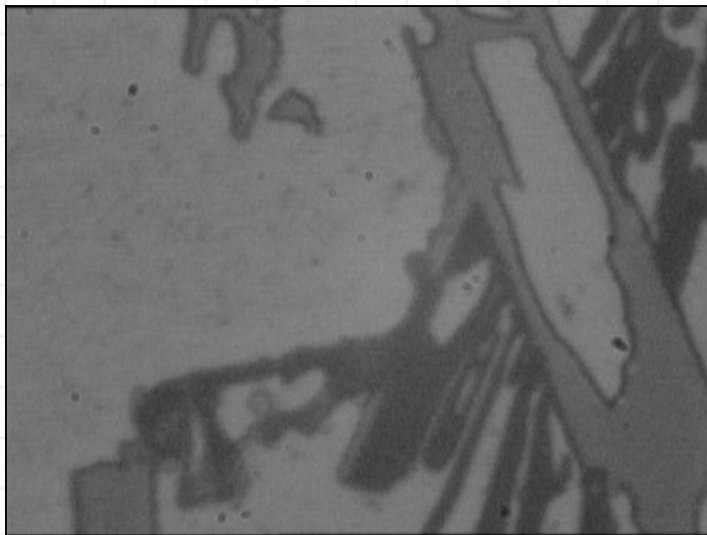
**Etchant** Keller's reagent  
**Composition** HF, HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O  
**Magnification** 500X

متالوگرافی (ASTM E 3)

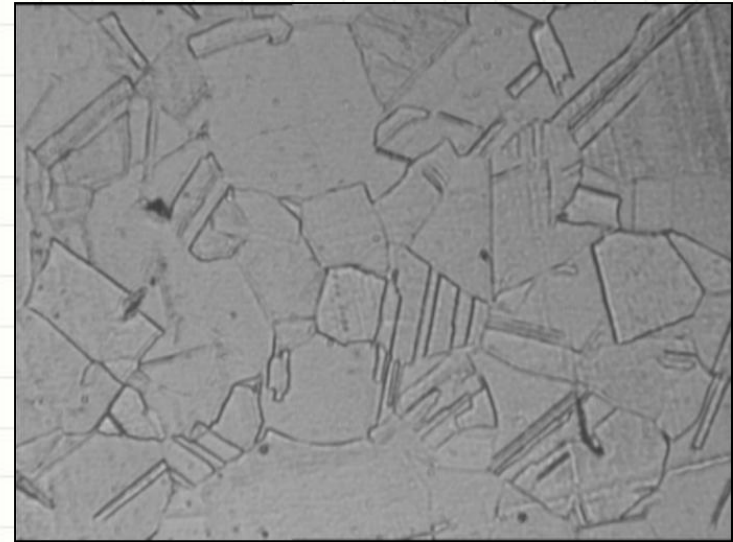
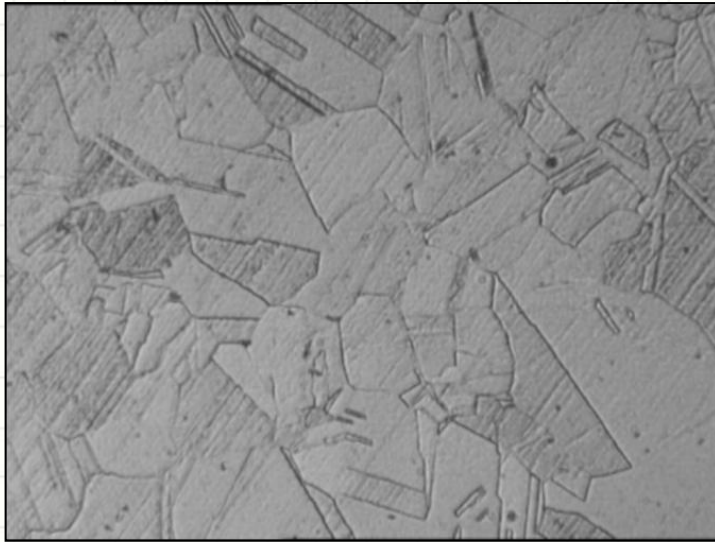
## بررسی ساختار میکروسکوپی :

نمونه‌ها ریختگی می‌باشند.

ساختار نمونه‌ها متشکل از شبکه بین دندریتی سیلیکون یوتکتیک (تیره رنگ) و نواحی خاکستری رنگ (احتمالا  $\text{Cu}_3\text{NiAl}_6$  یا  $\text{CuAl}_2$  یا  $\text{NiAl}_3$ ) در زمینه‌ای از محلول جامد آلومینیوم (Aluminum Solid Solution) می‌باشند .



نمونه: تیوب مسی



Etchant -

Composition  $K_2Cr_2O_7, H_2SO_4, NaCl, H_2O$

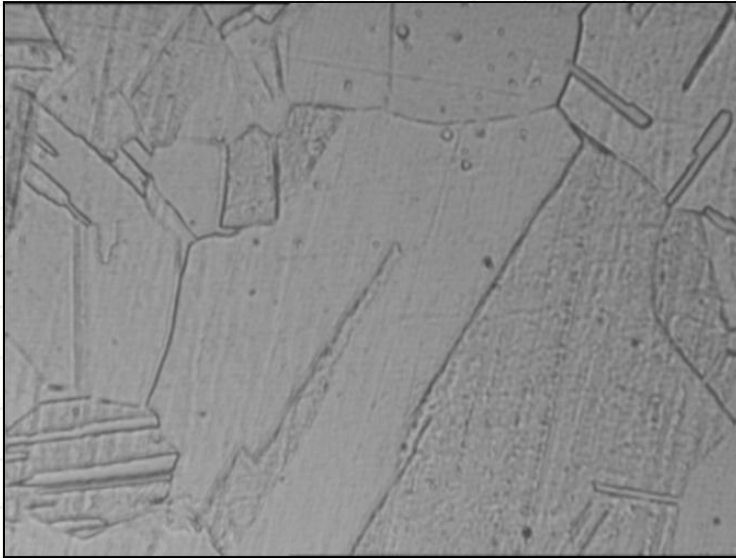
Magnification 100×

Etchant -

Composition  $K_2Cr_2O_7, H_2SO_4, NaCl, H_2O$

Magnification 100×

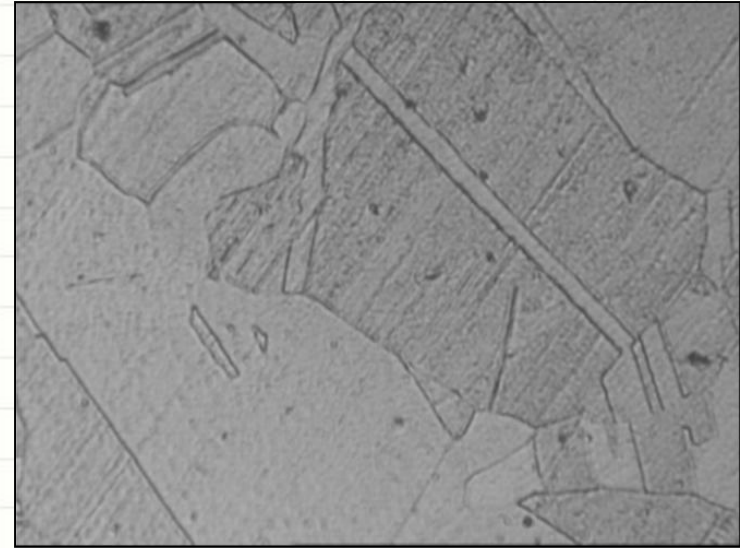
متالوگرافی (ASTM E 3)



**Etchant -**

**Composition**  $K_2Cr_2O_7, H_2SO_4, NaCl, H_2O$

**Magnification** 200x



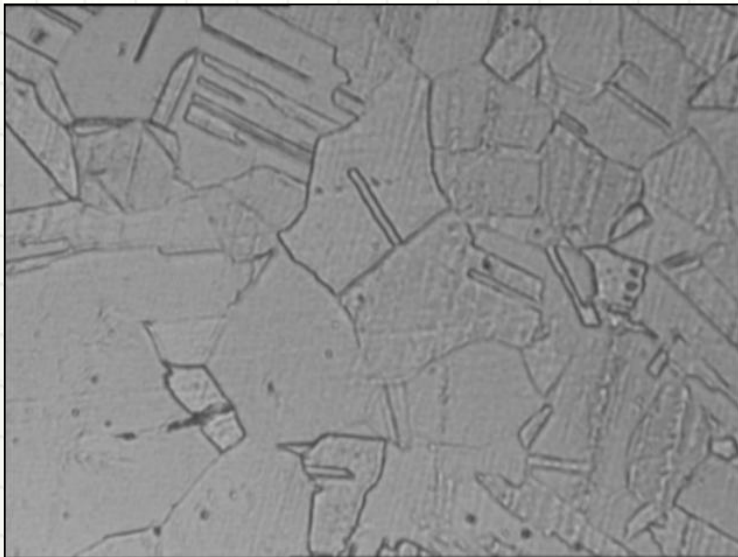
**Etchant -**

**Composition**  $K_2Cr_2O_7, H_2SO_4, NaCl, H_2O$

**Magnification** 200x

## بررسی ساختار میکروسکوپی :

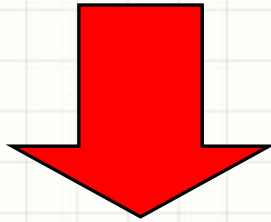
ساختار نمونه ها عموماً از دانه های هم محور که شامل مناطق دوقلویی ( twinned areas ) هستند، تشکیل شده اند.



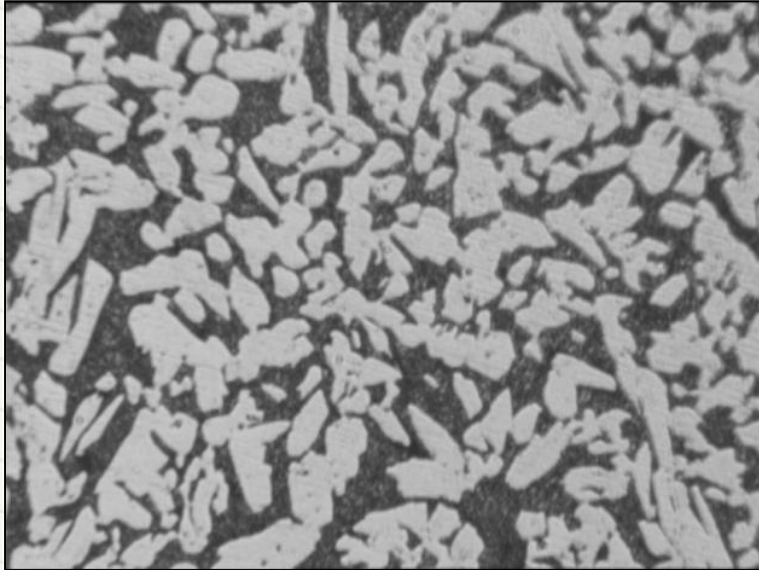


نمونه: تیوب مسی

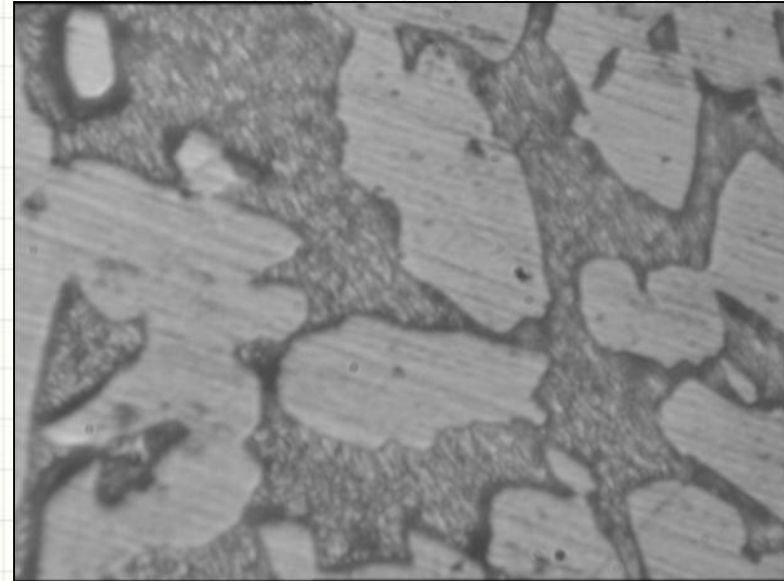
آنالیز شیمیایی (کوانتومتری)



Test Items	واحد اندازه گیری	نتیجه آزمون
Zn	wt %	39.63
Pb	wt %	2.07
Sn	wt %	0.10
P	wt %	<0.005
Mn	wt %	<0.001
Fe	wt %	0.10
Ni	wt %	0.05
Si	wt %	<0.005
Cr	wt %	<0.001
Al	wt %	0.01
S	wt %	0.003
Ag	wt %	0.004
Co	wt %	<0.01
Cu	wt %	Base



**Etchant -**  
**Composition** FeCl<sub>3</sub> , HCl, Water  
**Magnification** 100×

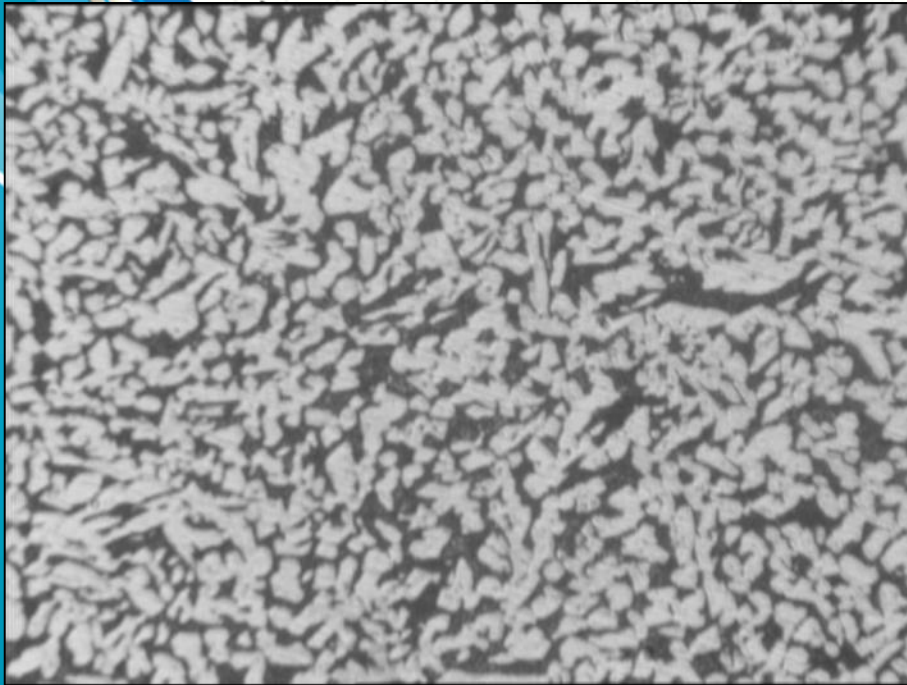


**Etchant -**  
**Composition** FeCl<sub>3</sub> , HCl, Water  
**Magnification** 500×

متالوگرافی (ASTM E 3)

## بررسی ساختار میکروسکوپی :

ساختار زمینه در هر دو نمونه متشکل از فاز  $\beta$  (تیره) و فاز  $\alpha$  (روشن) می باشد.



## رشد شاخه ای (دندریتی)

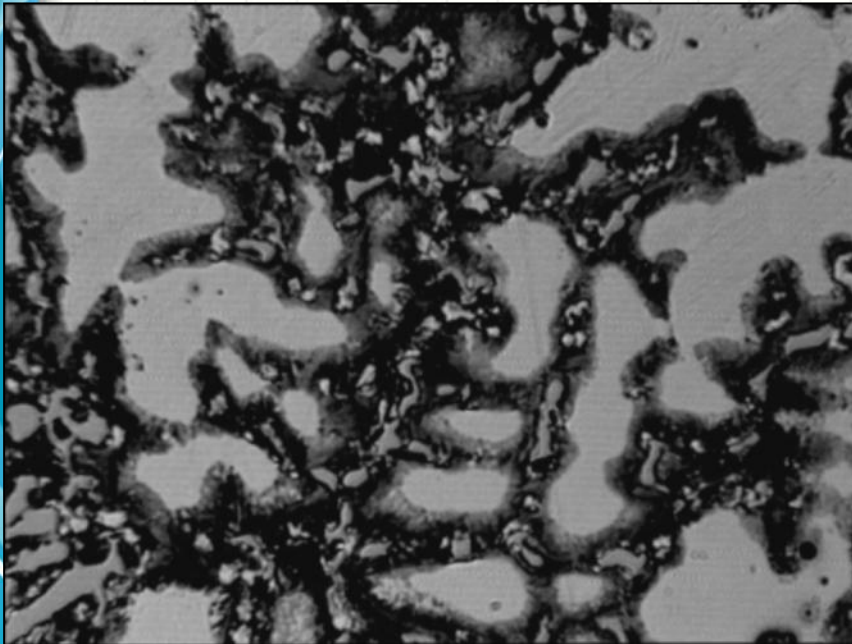


Ice dendrites



Dendrites of zinc rescued from partially solidified melt.

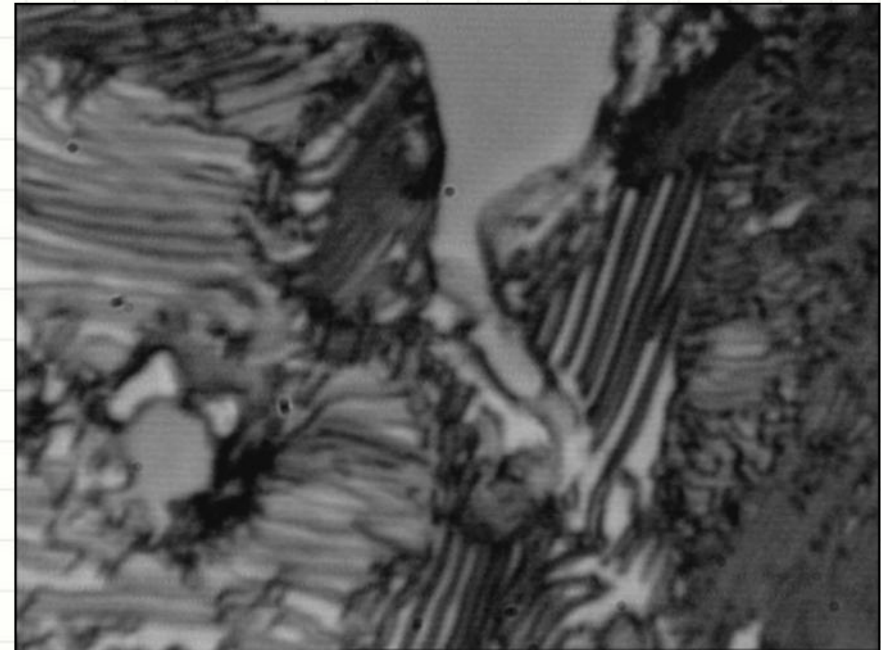
نمونه: پایه مس



**Etchant -**

**Composition**  $K_2Cr_2O_7, H_2SO_4, NaCl, H_2O$

**Magnification** 100x



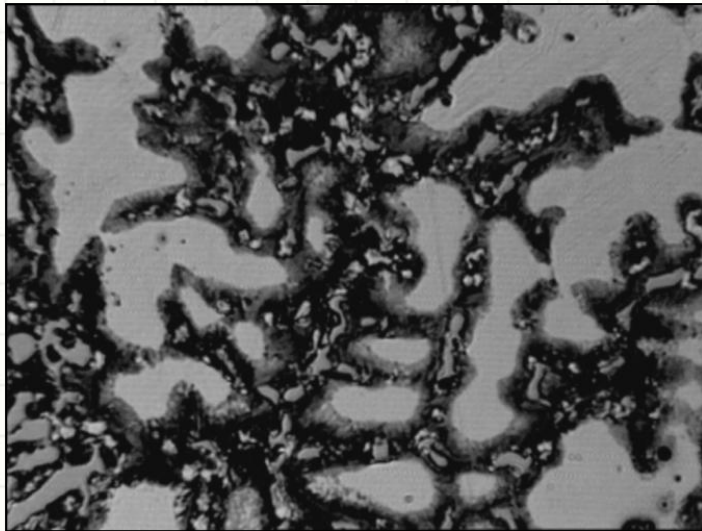
**Etchant -**

**Composition**  $K_2Cr_2O_7, H_2SO_4, NaCl, H_2O$

**Magnification** 1000x

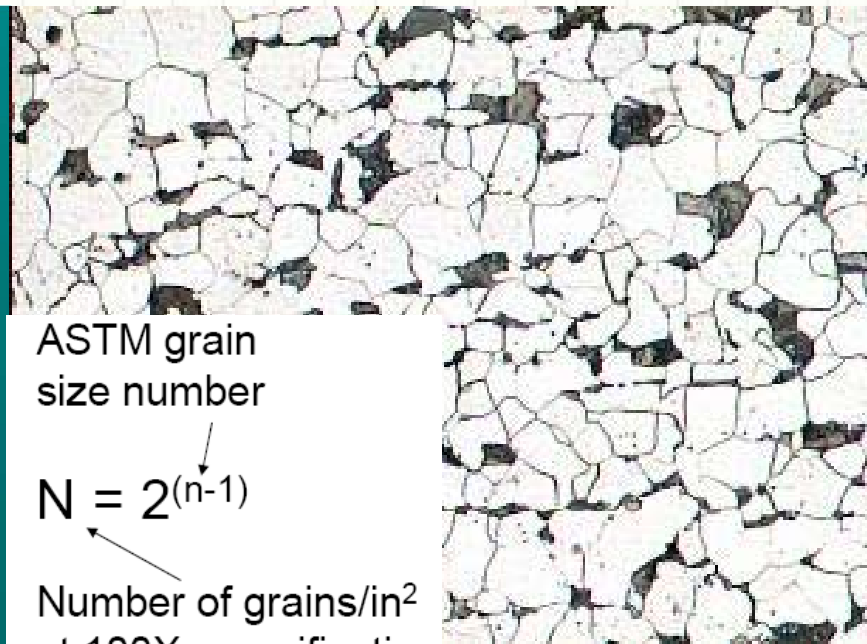
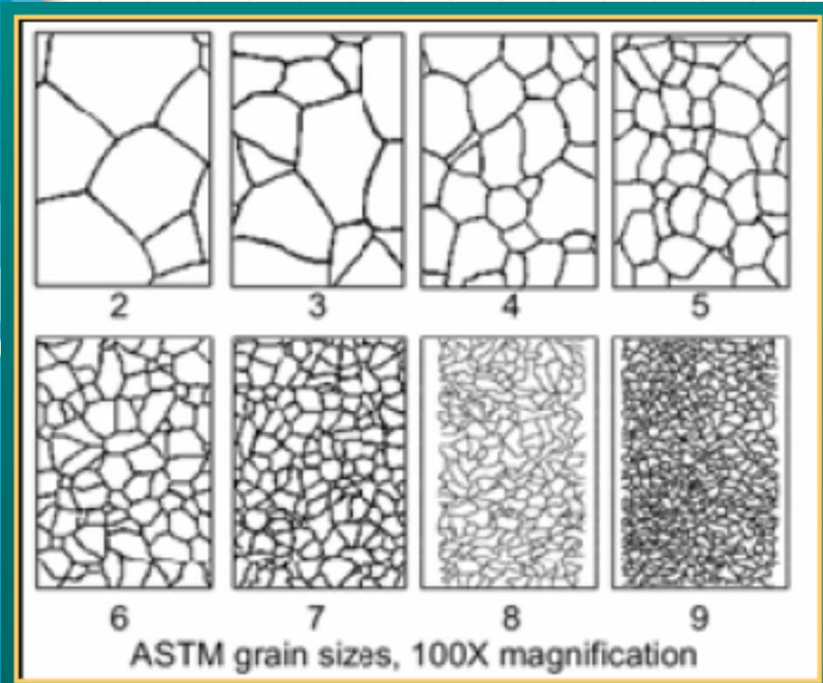
## بررسی ساختار میکروسکوپی :

ساختار دندریتی در نمونه بصورت یکنواخت مشاهده می‌گردد. ساختار زمینه متشکل از دندریتهای فاز  $\alpha$  و ذرات بین دندریتی فاز مس - نیکل - قلع (رنگ روشن) می‌باشد. مناطق خاکستری رنگ در نمونه قابل مشاهده است. این فاز (رسوب) می‌تواند به دلیل وجود عناصر آلیاژی موجود در نمونه مانند سرب، آهن و... تشکیل شود. ساختار نمونه ریختگی می‌باشد.



# تعیین اندازه دانه

- Grain size determination (ASTM E 112)

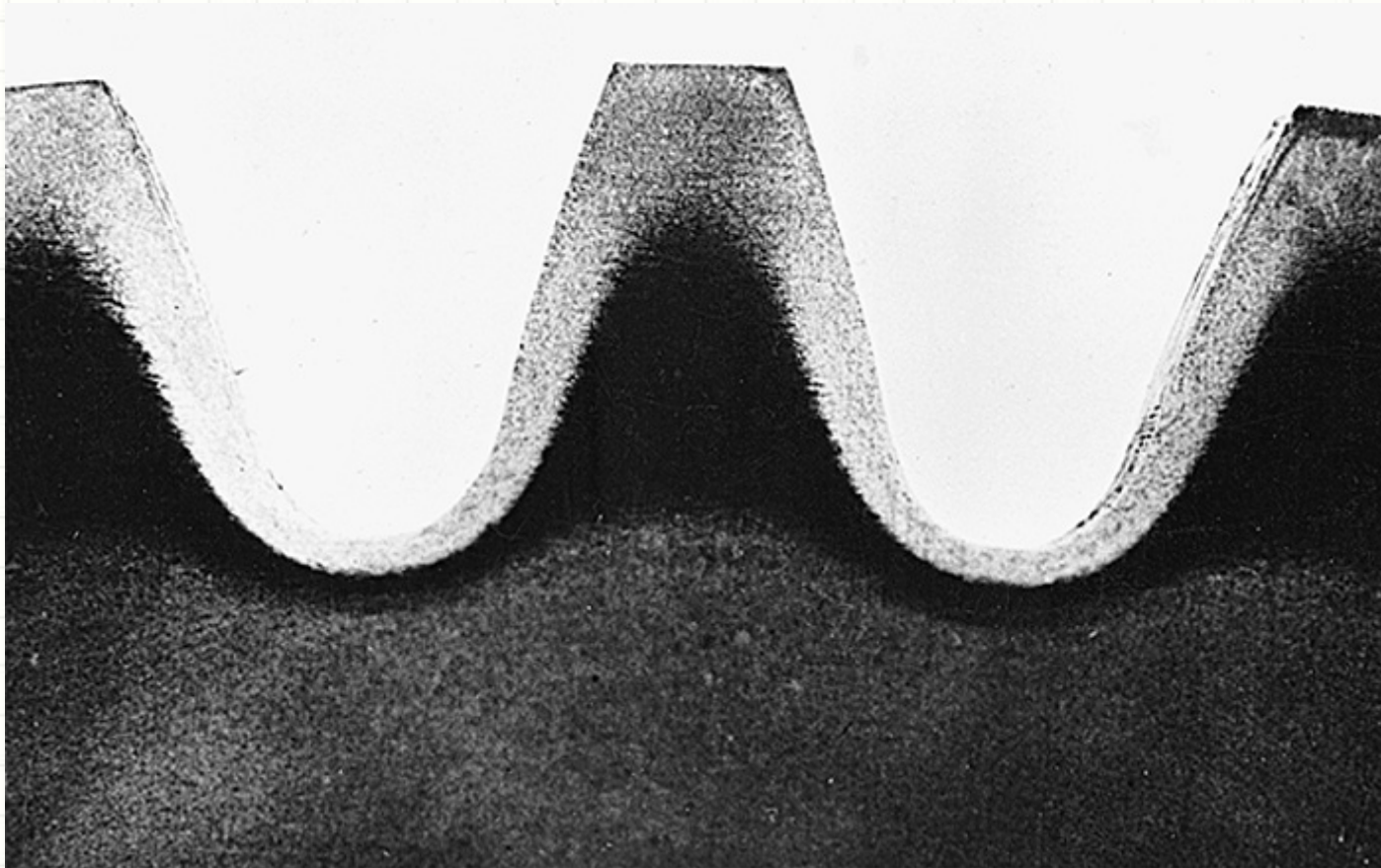


ASTM grain  
size number

$$N = 2^{(n-1)}$$

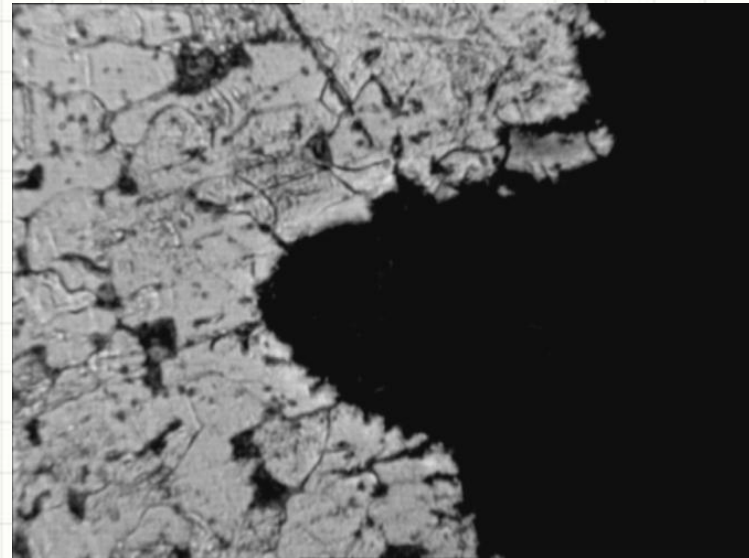
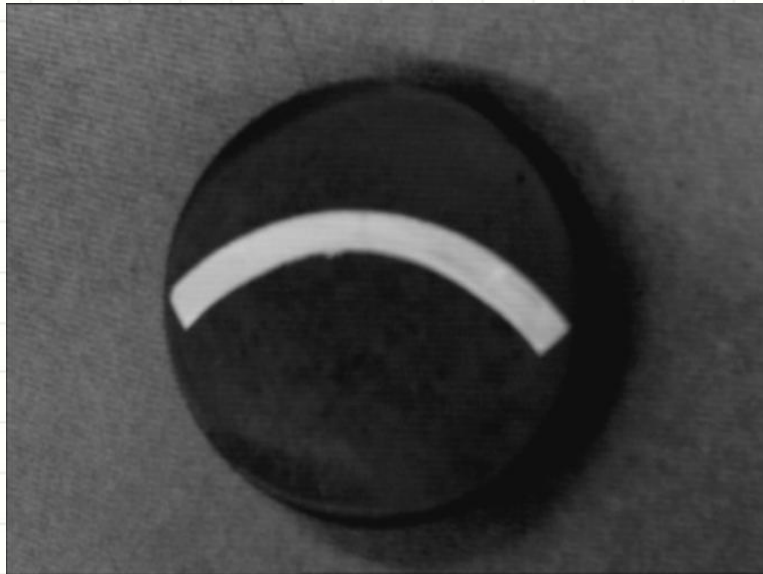
Number of grains/in<sup>2</sup>  
at 100X magnification

## تعیین عمق لایه سخت شده



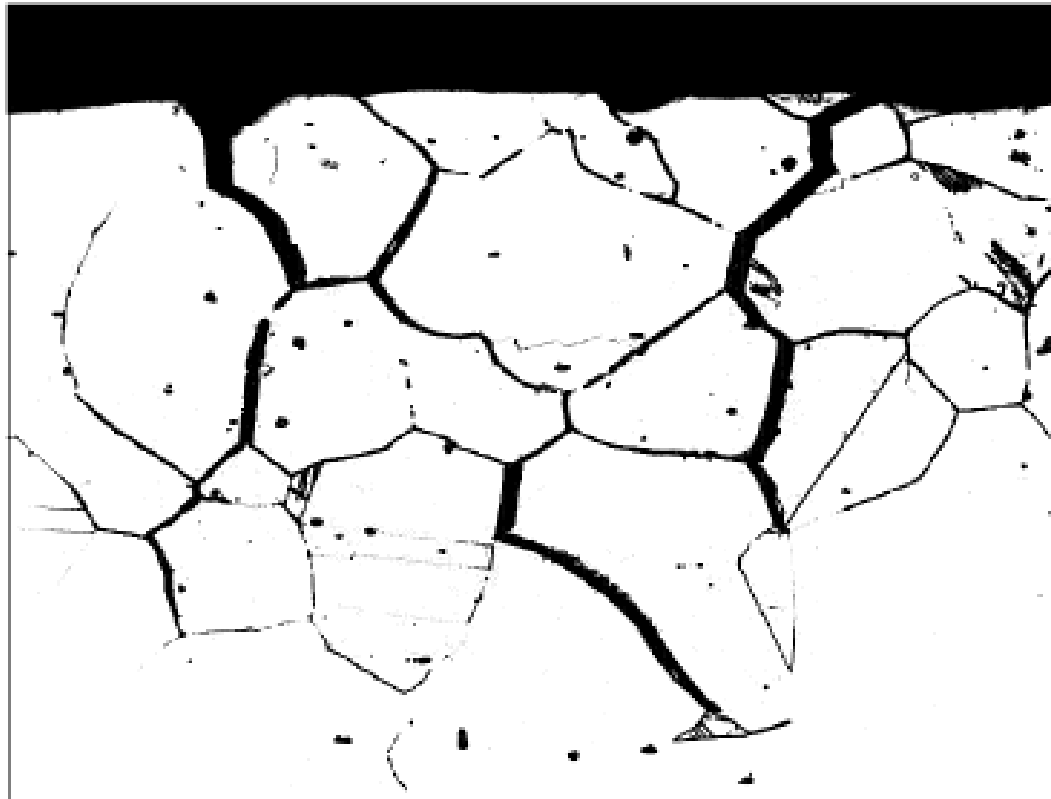


# بررسی خوردگی



200X

حفره دار شدن **Pitting**



Intercrystalline Corrosion of the steel X 5 CrNi 18 10 = 1.4301

# failure analysis بررسی علل تخریب



## - آزمایشها

به منظور تعیین دلیل یا دلایل تخریب آزمایشهای زیر صورت گرفته است .

- آنالیز شیمیایی

- اندازه گیری ابعادی

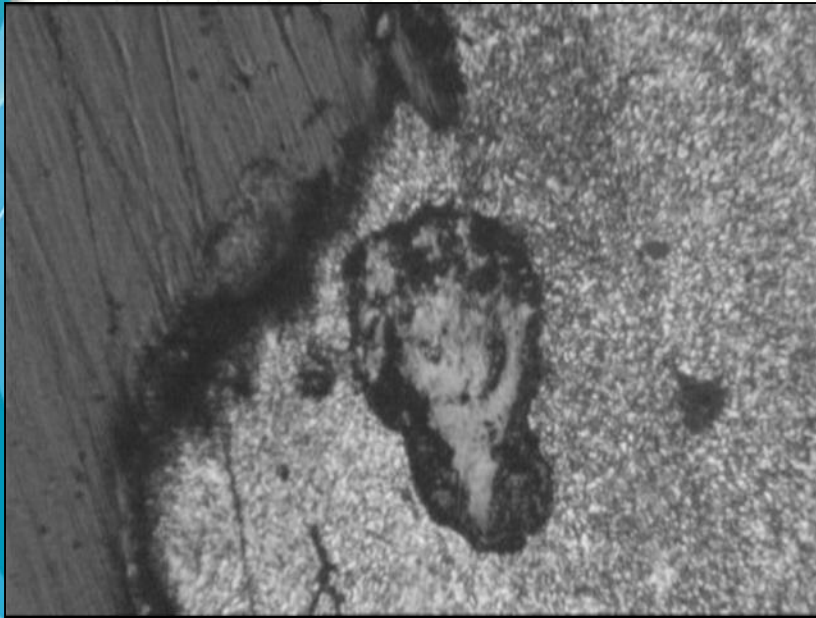
✓ - بررسی سطح شکست و ریز ساختار با میکروسکوپ های نوری و الکترونی

- سختی سنجی

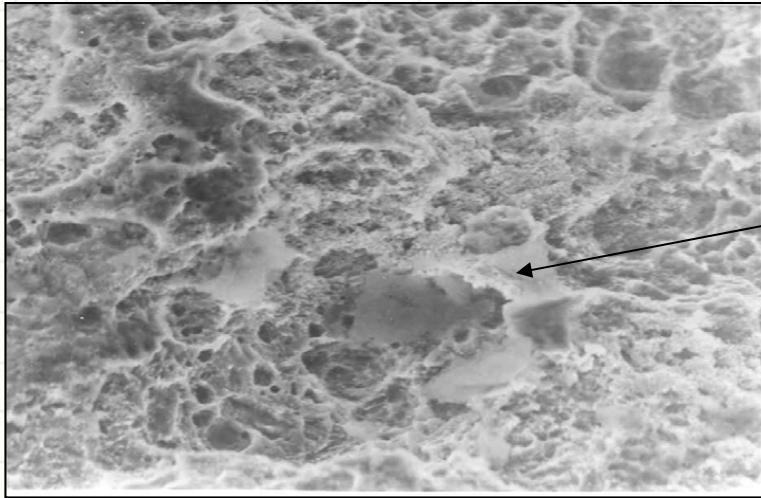
- آزمایش کشش

- محاسبه تنش





ساختار شامل مارتنزیت تمپر شده با دانه‌های فریت و مقداری کاربید است، محلول اچ: نایتال دو درصد مشاهده می‌شود که سطح داخلی سیلندر به شدت دچار خوردگی شده است و حتی در داخل بدنه سیلندر نیز محصولات خوردگی وجود دارد

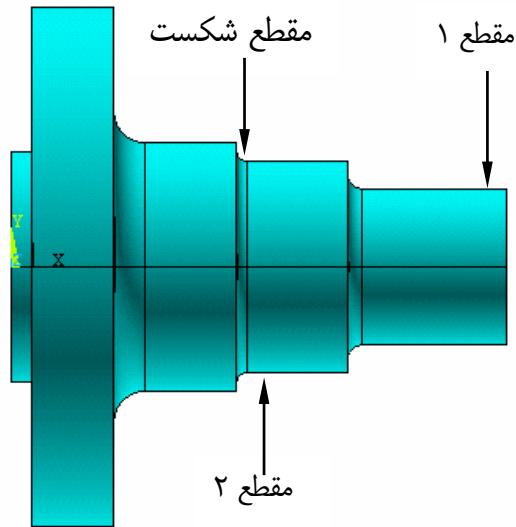


محصولات خوردگی

بر اساس نتایج آزمایشها دلیل تخریب سیلندر، خوردگی جداره و افزایش تنش وارده بر سیلندر است.

—

## بررسی شکست شفت ایرهیتتر یکی از واحدهای بخار نیروگاهی



نیروی اعمالی به شفت برابر با ۲۵ تن و تعداد دور شفت در هر دقیقه برابر با ۳ می باشد

جمع آوری اطلاعات

تعیین آلیاژ شفت

بررسی چشمی

تمیزکاری و فراکتوگرافی سطح شکست

انجام آزمون اولتراسونیک

✓ آماده سازی و بررسی مقاطع متالوگرافی

انجام آزمون سختی سنجی

آنالیز تنش

تعیین نوع شکست، مکانیزم زوال و نتیجه

گیری





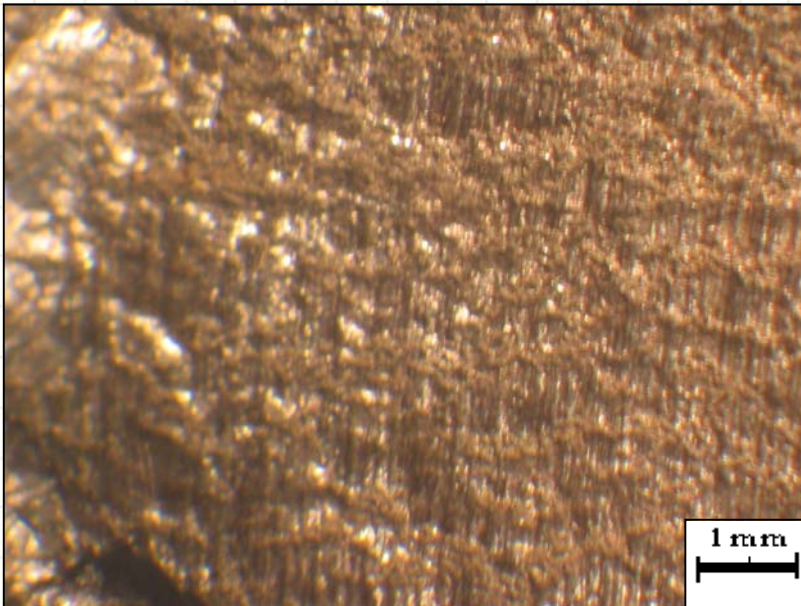


منطقه الف

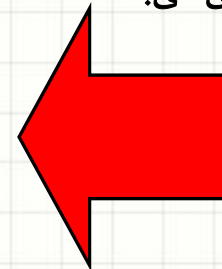
منطقه ب

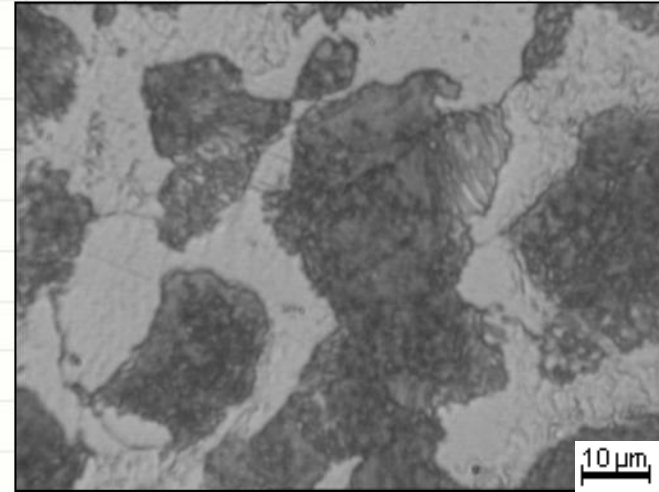
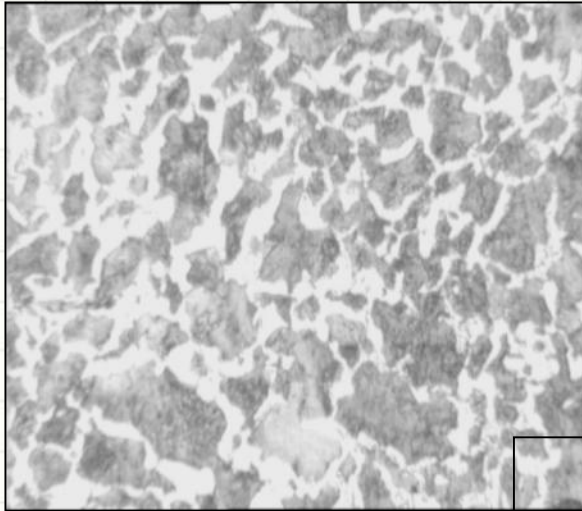
برخی از محلهای

آغاز ترک

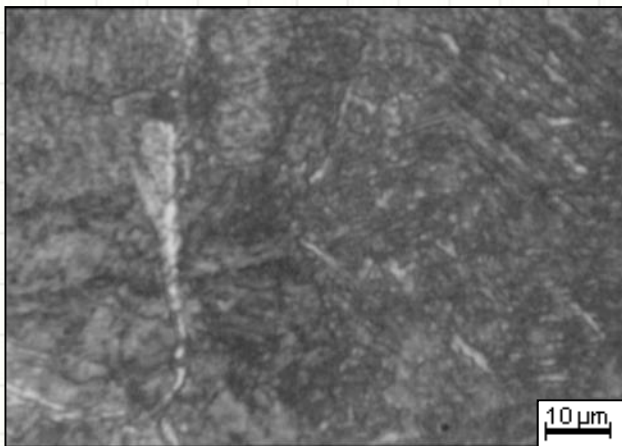


خطوط موازی در سطح شکست که نشان  
دهنده علائم خستگی می باشد.

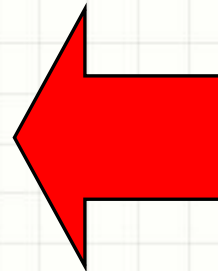


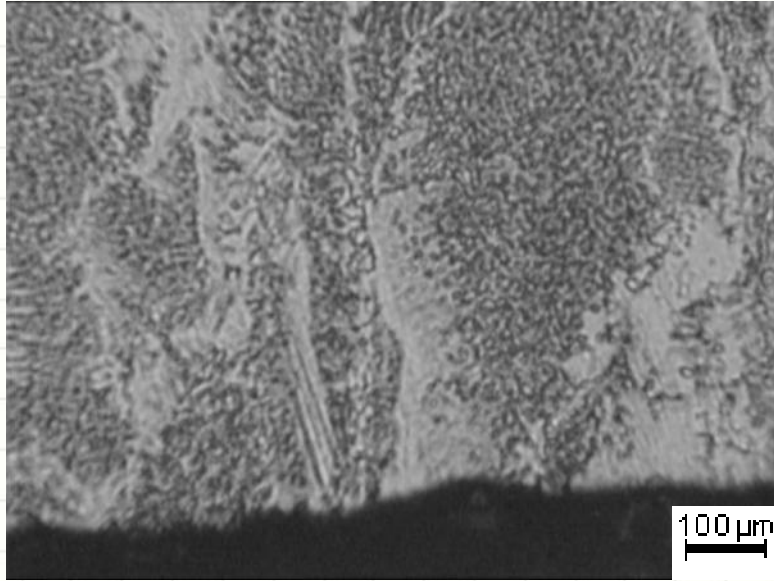


ریز ساختار مرکز شفت، ساختار حاوی پرلیت و فریت می باشد

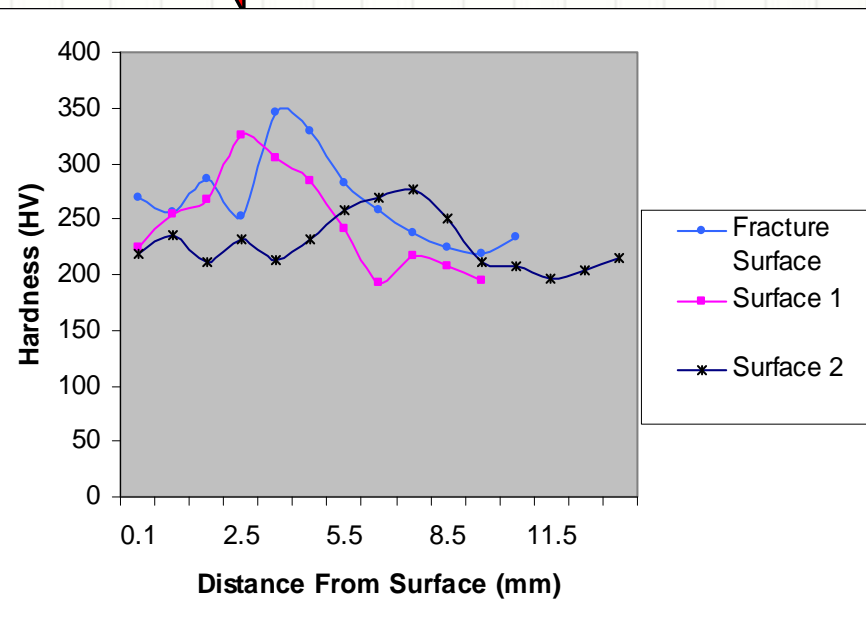
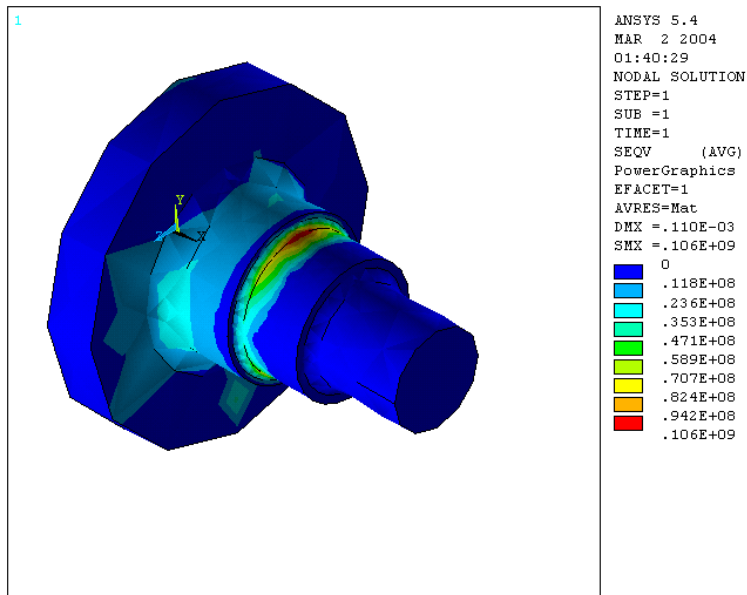
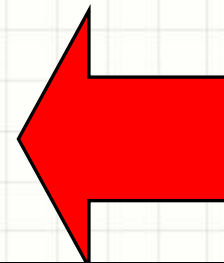


ریز ساختار مقطع شکست شفت در فاصله ۵/۳ میلیمتری از سطح خارجی شفت، ساختار شامل مارتنزیت تمپر شده می باشد





ریز ساختار سطح خارجی شفت در مناطقی که جوشکاری انجام شده است (سطح مقطع ۲)، ساختار شامل دانه‌های ستونی می‌باشد، محلول اچ نایتال ۲ %



## مورد آزمایش

زانوئیهای Lp Evaporator بویلر بازیاب ۳۲ ، نیروگاه

## شرایط بهره برداری لوله ها



سیال داخل لوله ها : آب و بخار

درجه حرارت بهره برداری :  $170^{\circ}\text{C}$

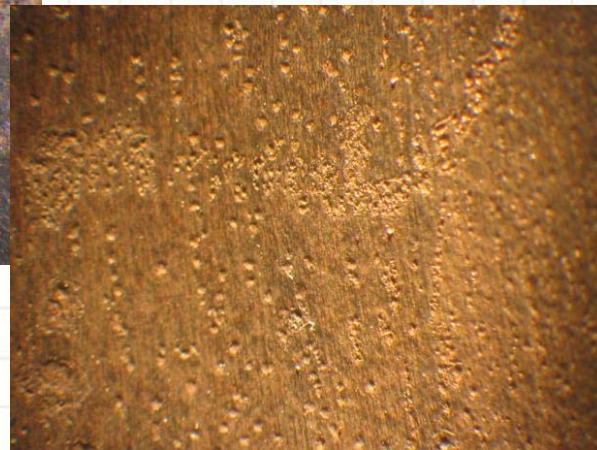
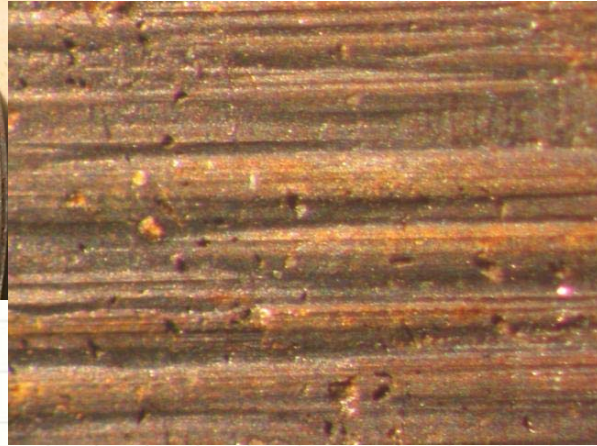
فشار : ۸ bar

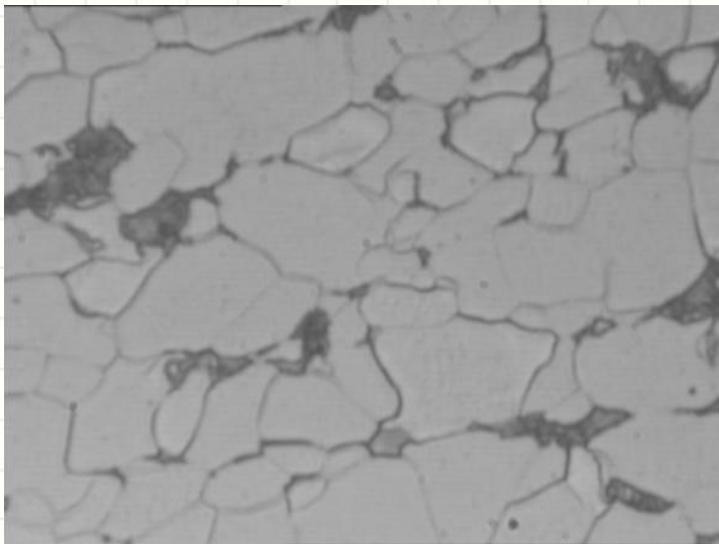
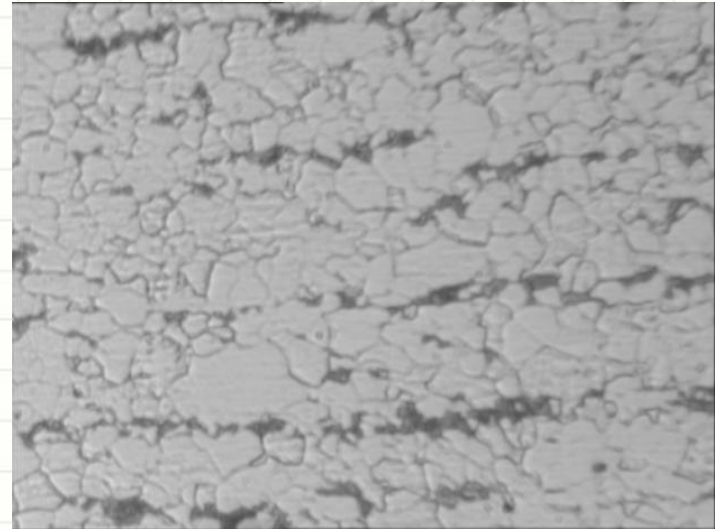
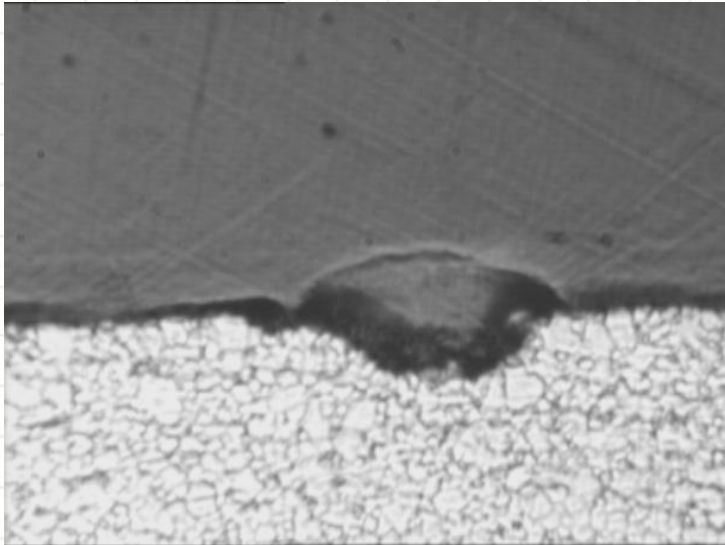
pH : ۵/۱۰

## آزمایش های انجام شده

- بررسیهای ظاهری
- اندازه گیری ابعادی
- بررسی با میکروسکوپ استریو 
- بررسی با میکروسکوپ نوری 
- متالوگرافی
- سختی سنجی









## مورد آزمایش

یک قطعه نمونه متعلق به لوله نیروگاه

## نوع آزمایش‌های انجام شده

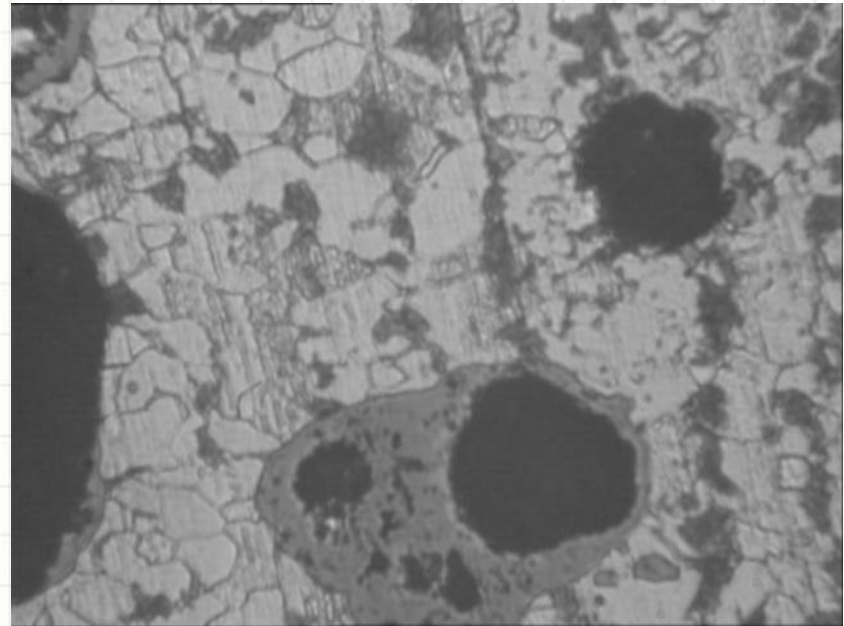
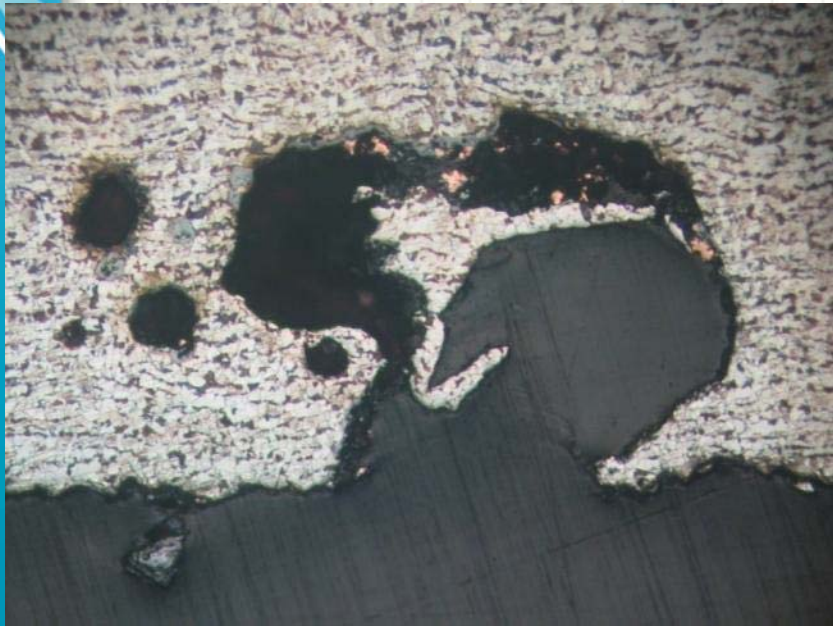
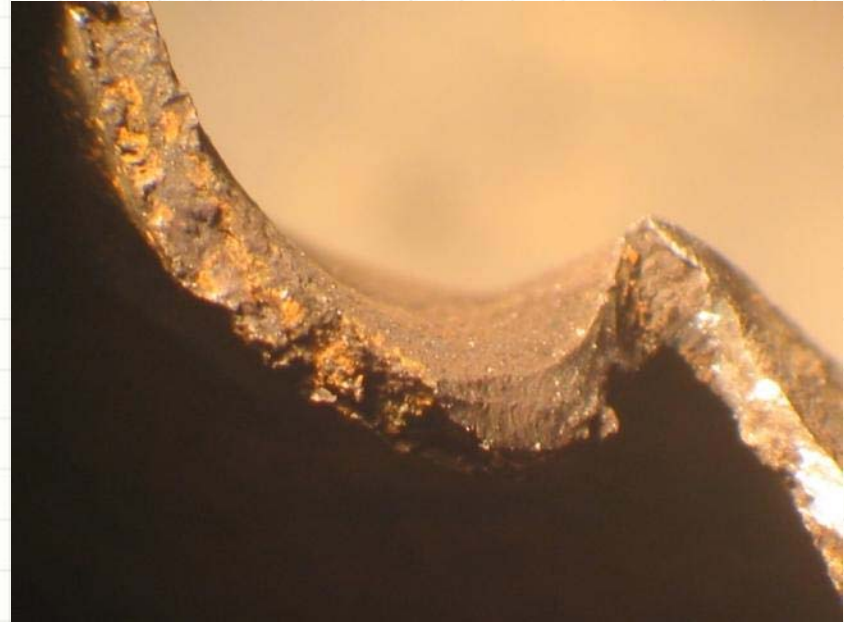
بررسی‌های ظاهری

اندازه‌گیری ابعادی

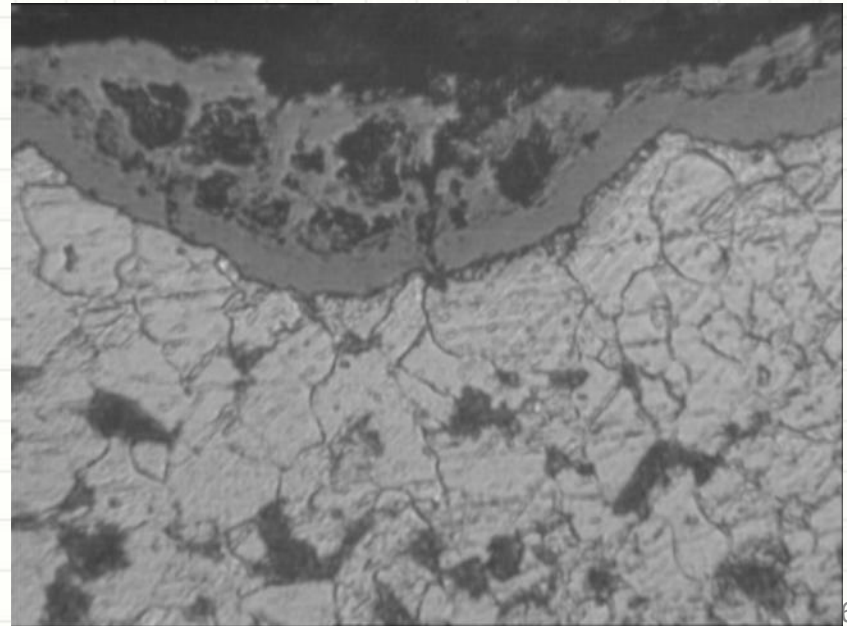
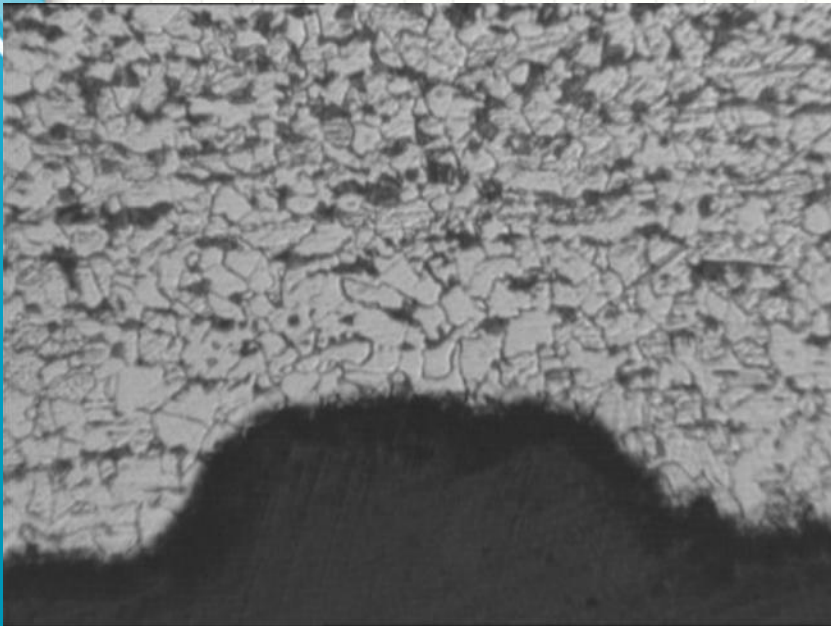
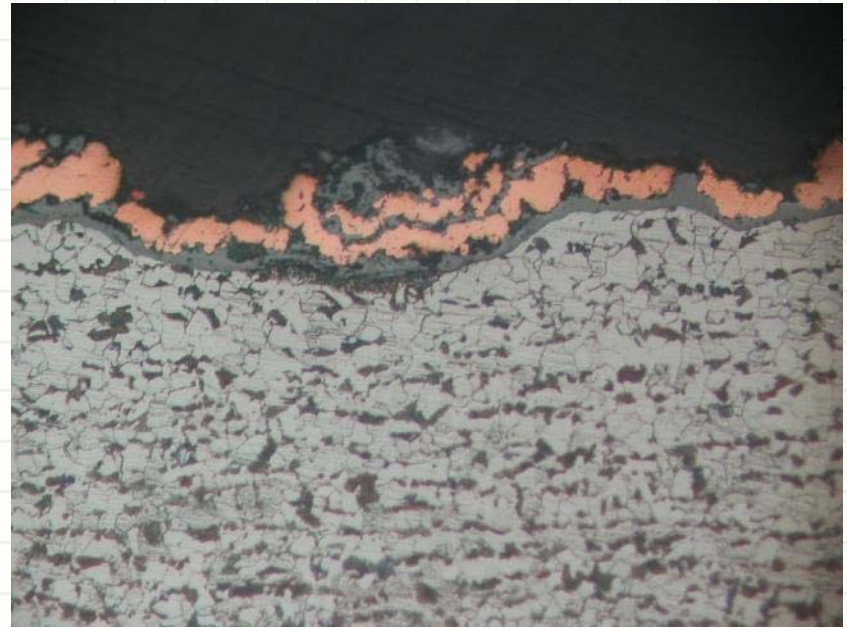
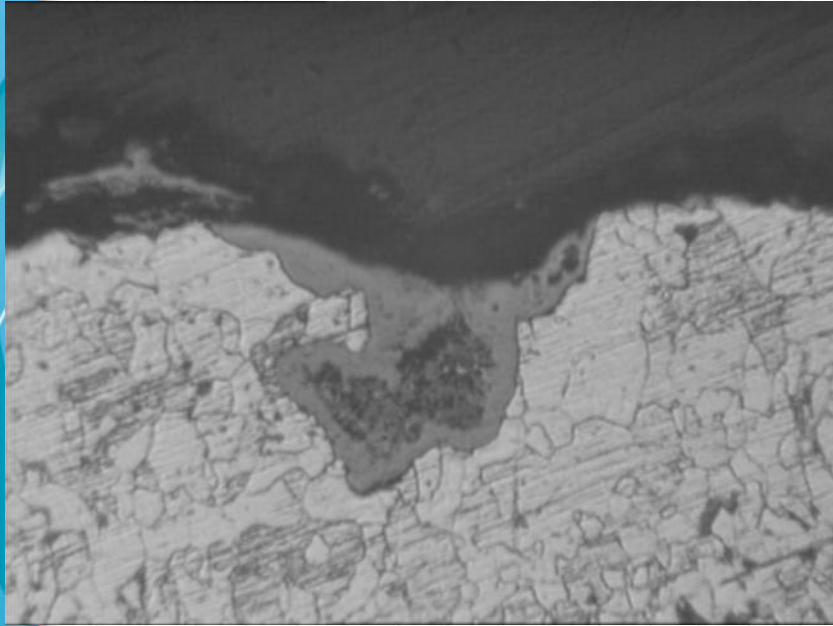
بررسی با میکروسکوپ استریو

متالوگرافی

سختی سنجی







مورد آزمایش

اگزوز توربین گازی نیروگاه از جنس CORTEN B



آنالیز شیمیایی (کوانتومتری)

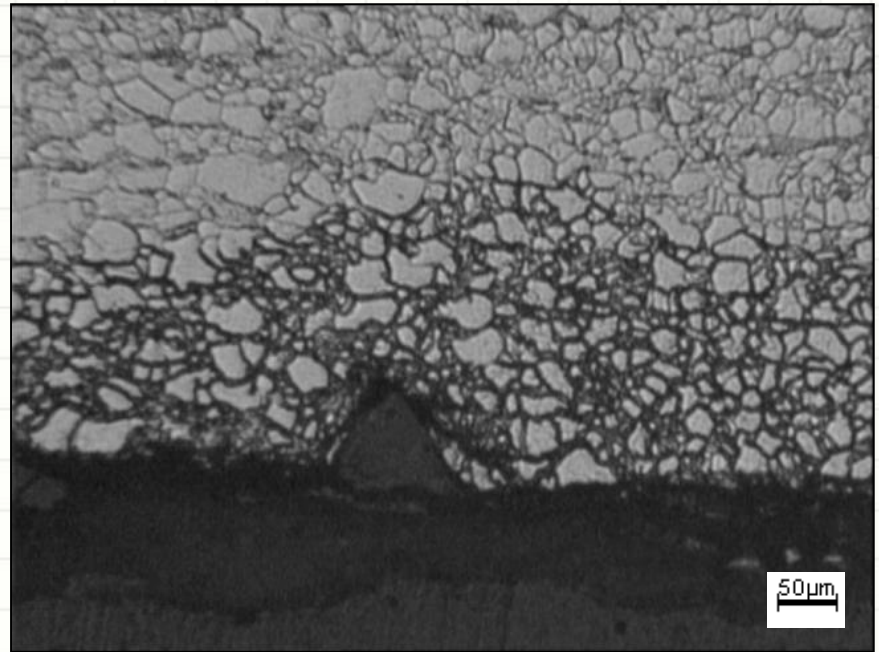


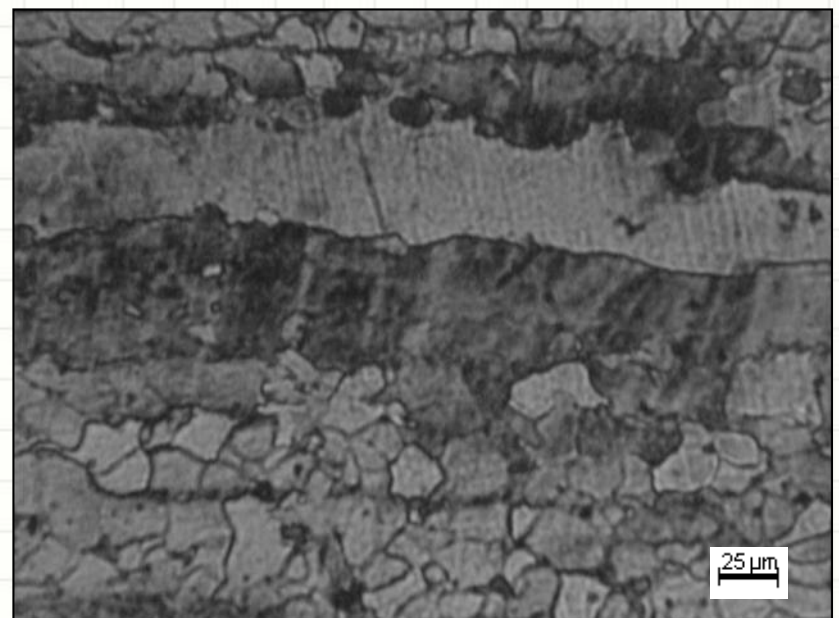
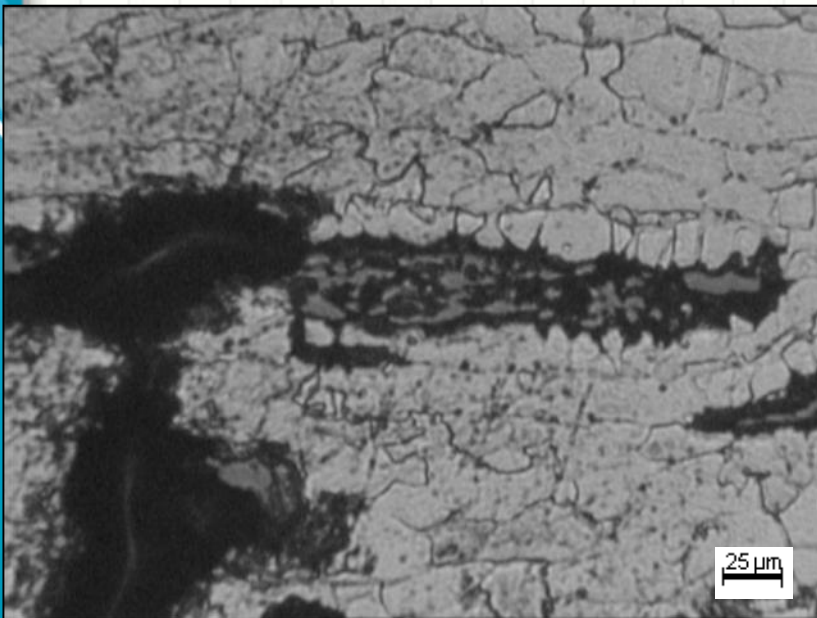
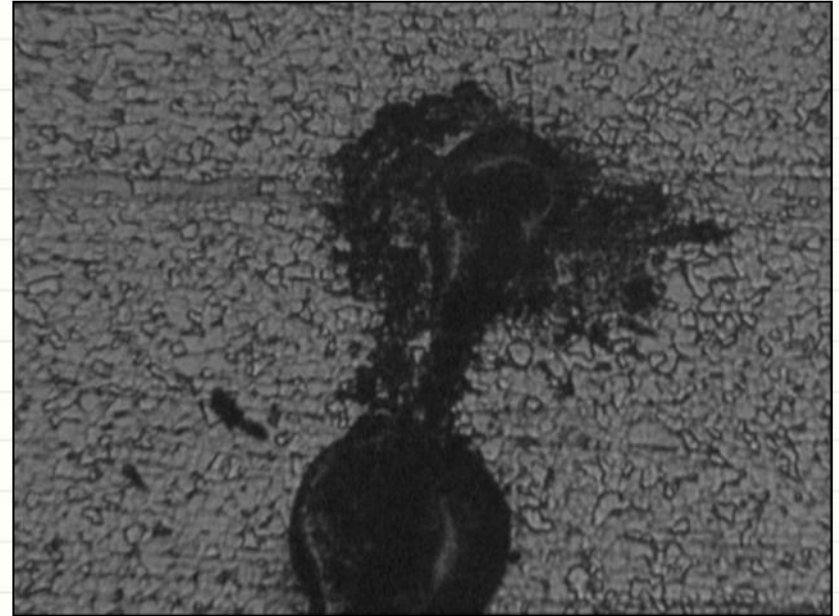
Test Items	واحد اندازه گیری	نتیجه آزمون
C	wt %	0.08
Si	wt %	0.43
Mn	wt %	0.45
P	wt %	0.077
S	wt %	0.006
Cr	wt %	0.87
Ni	wt %	0.35
Mo	wt %	0.02
Cu	wt %	0.37
V	wt %	0.004
W	wt %	0.015
Ti	wt %	0.003
Co	wt %	0.005
Al	wt %	0.03
Sn	wt %	0.002
Nb	wt %	None
Fe	wt %	Base

میکرو سختی سنجی (ویکرز)  
ASTM E 384

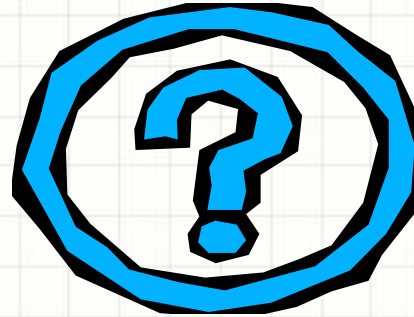


واحد اندازه گیری	نتیجه آزمون
HV	Base: 168 HV 0.2 Middle of section: 214 HV 0.2

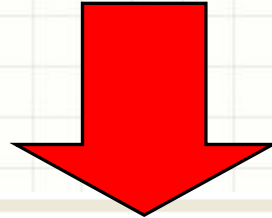




غرق شدن تایتانیک



## آنالیز شیمیایی



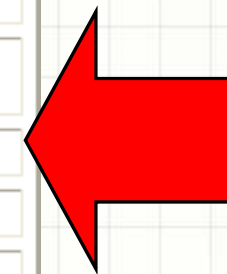
**Table II. The Composition of Steels from the *Titanic*, a Lock Gate, and ASTM A36 Steel**

	C	Mn	P	S	Si	Cu	O	N	MnS: Ratio
<i>Titanic</i> Hull Plate	0.21	0.47	0.045	0.069	0.017	0.024	0.013	0.0035	6.8:1
Lock Gate*	0.25	0.52	0.01	0.03	0.02	—	0.018	0.0035	17.3:1
ASTM A36	0.20	0.55	0.012	0.037	0.007	0.01	0.079	0.0032	14.9:1

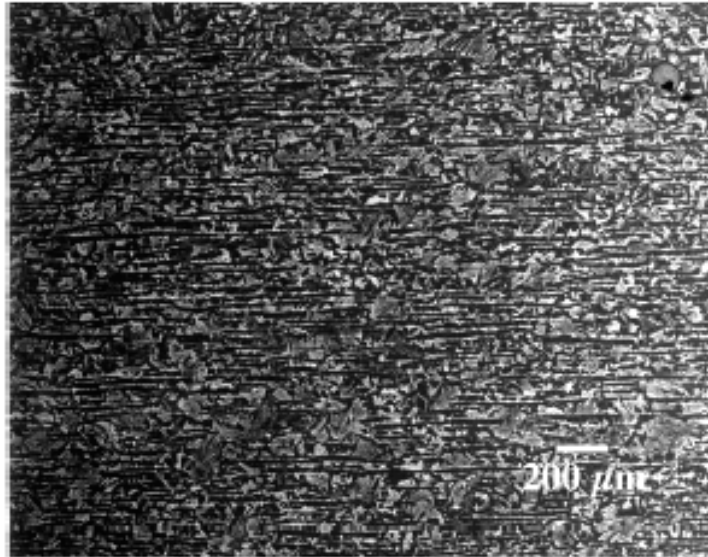
\*Steel from a lock gate at the Chittenden ship lock between Lake Washington and Puget Sound, Seattle, Washington.

**Table III. A Comparison of Tensile Testing of *Titanic* Steel and SAE 1020<sup>11</sup>**

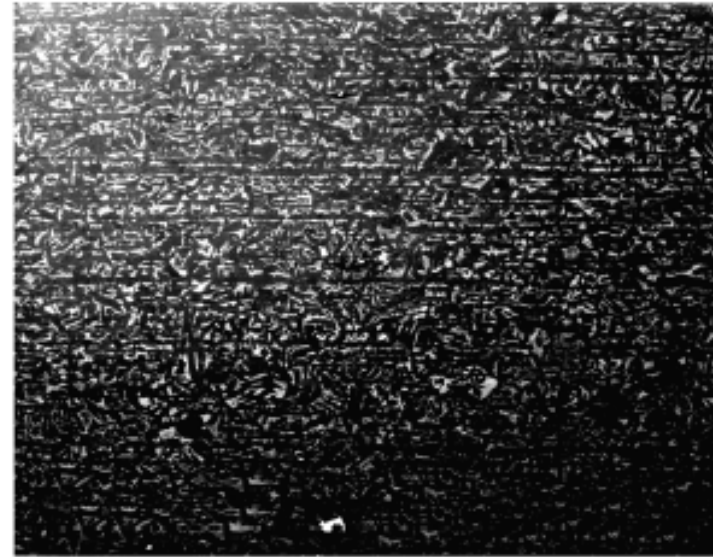
	<i>Titanic</i>	SAE 1020 <sup>11</sup>
Yield Strength	193.1 MPa	206.9 MPa
Tensile Strength	417.1 MPa	379.2 MPa
Elongation	29%	26%
Reduction in Area	57.1%	50%



آزمون کشش



**AISI 1018 25mm (1") Plate**



**Titanic Hull Plate**

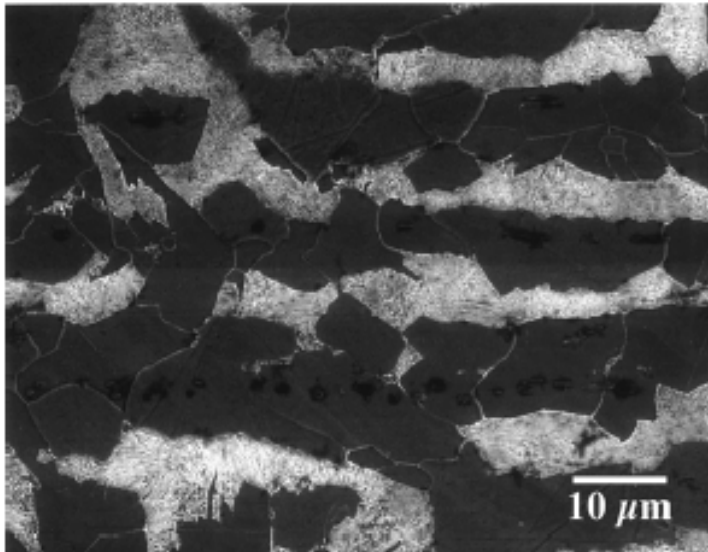


Figure 1: Scanning electron microscope image of the polished and etched longitudinal sections of steel from the hull of the *Titanic*, and for comparison a modern hot-rolled 25 mm (1") AISI 1018 plate. Note the differences in grain size, pearlite lamella spacing, and MnS particle sizes.



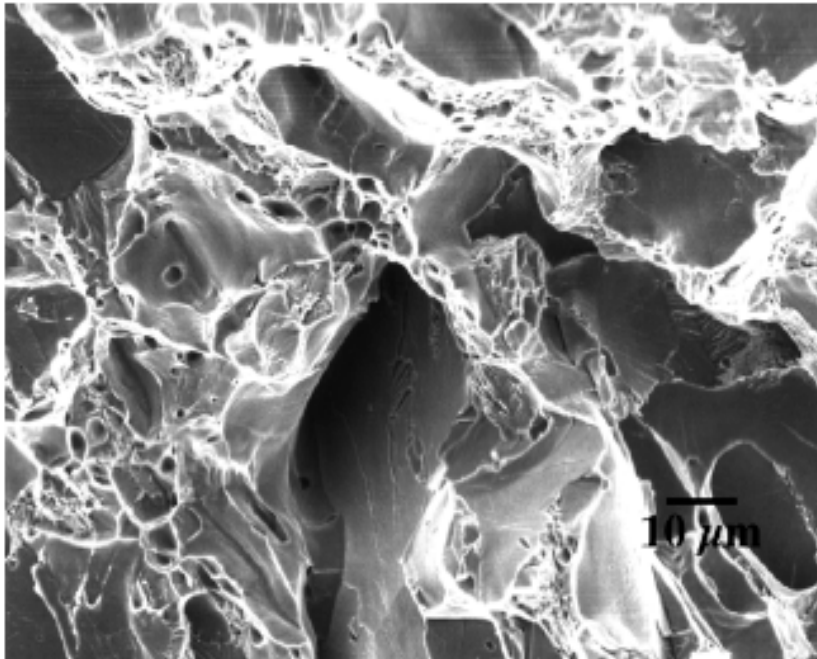


Figure 4: SEM fractograph of Charpy bar fracture surface from a sample fractured at 0° C. Note presence of ductility along ridges. This micrograph contains the largest amount of plasticity observable on the surface in one area of the fracture surface of this sample.

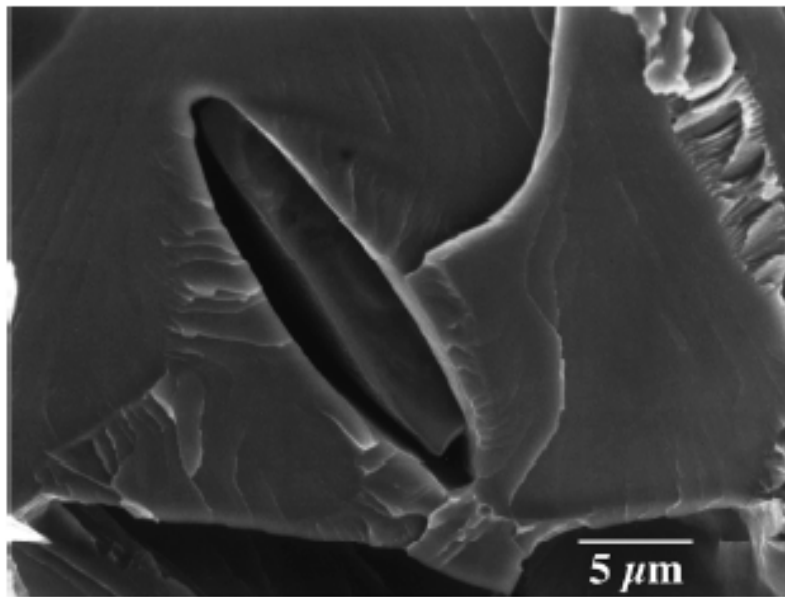
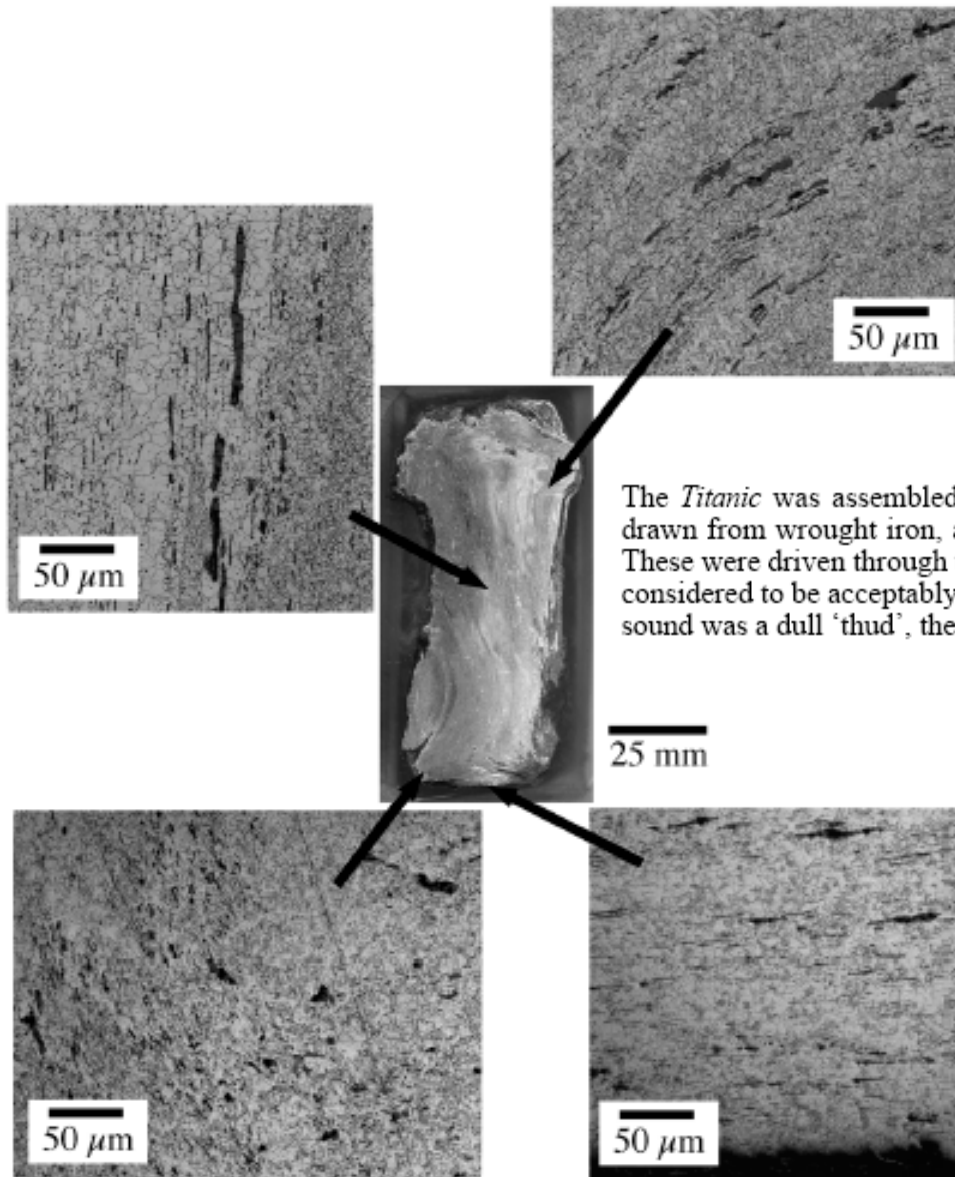


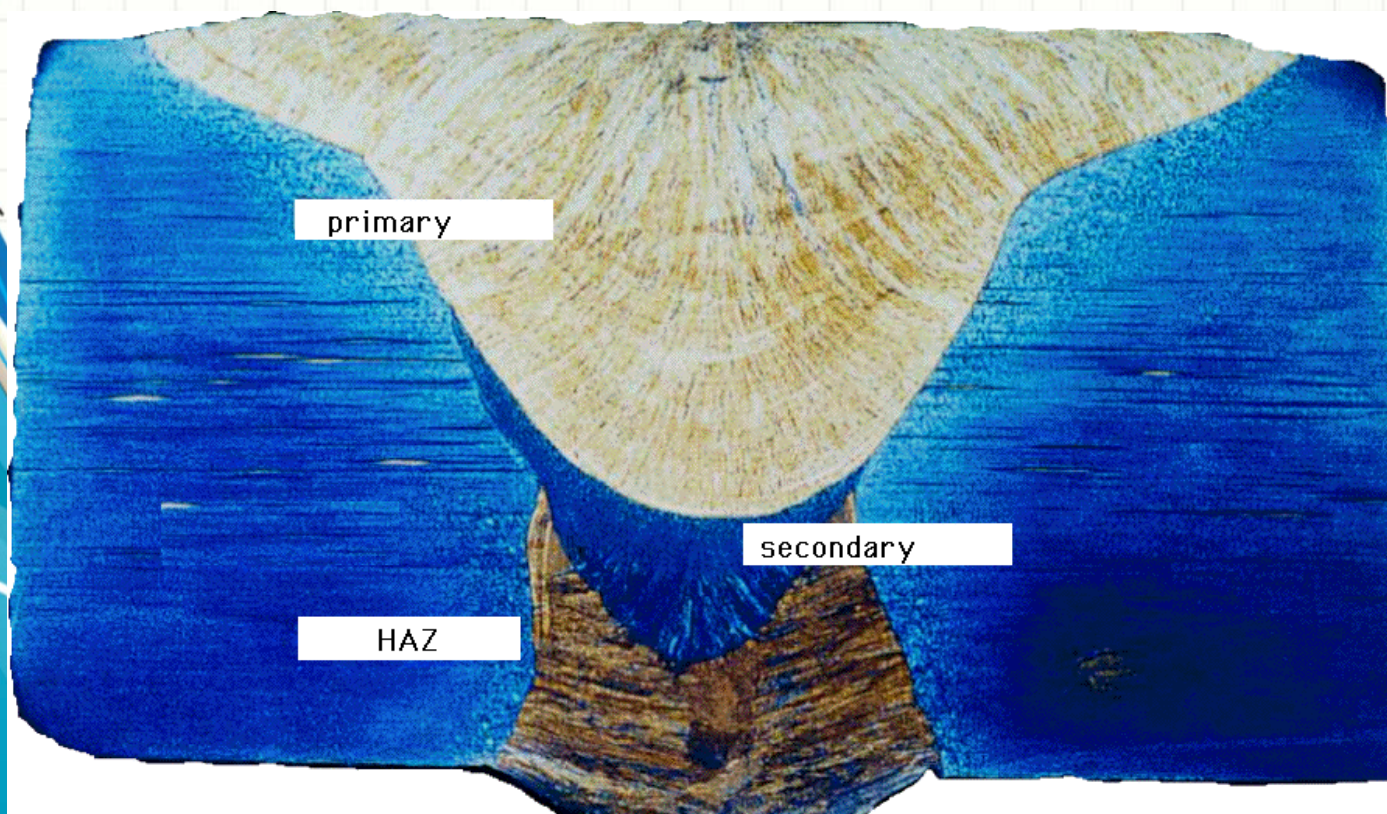
Figure 5: SEM fractograph showing the MnS particle that fractured and nucleated a patch of 15 cleaved grains. This was determined by tracing river lines within the patch. Note the lenticular shape of the particle, the cleavage river lines emanating from the particle, and the fractured course pearlite colony in the upper right corner.

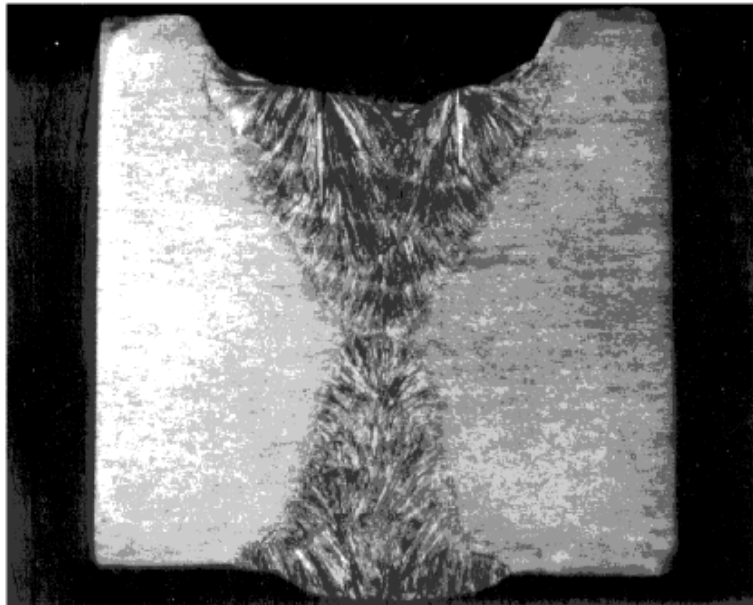


The *Titanic* was assembled using some 3,000,000 hydraulically-driven rivets [7]. These were drawn from wrought iron, a mass of iron and iron silicate that extruded into a layered structure. These were driven through the hull plate and the stringer, and flattened on the inside. Rivets were considered to be acceptably driven if when tapped with a hammer, one heard a clean 'ring'. If the sound was a dull 'thud', the rivet was drilled out and another driven in.

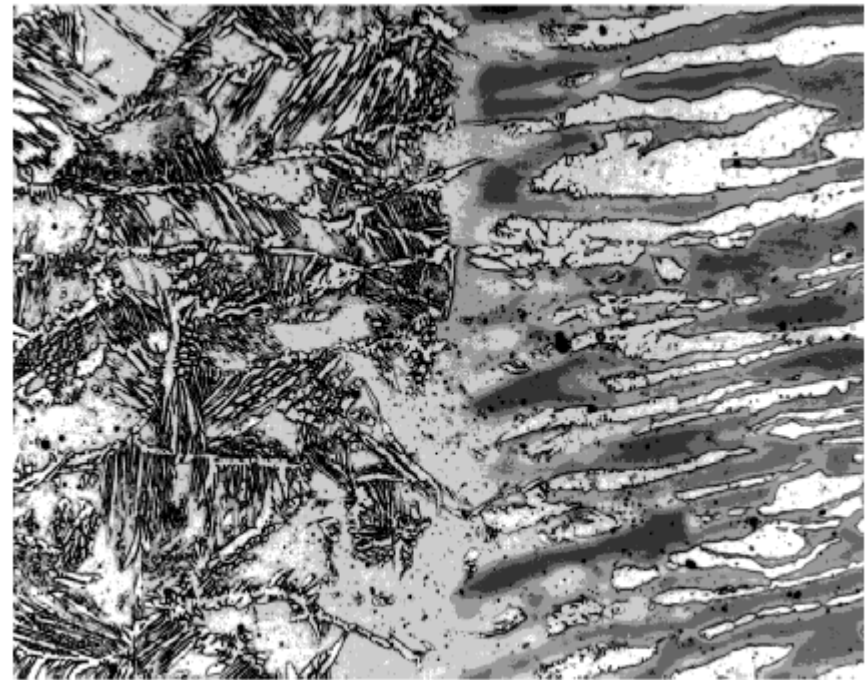
Figure 7: Montage of micrographs showing the orientation of silicate slag at various locations within a cross-section of a *Titanic* hull rivet. Note that in the upper pre-formed head (formed onto a hot rod of wrought iron prior to cutting the rivet to length), the slag spreads out evenly into the head like the branches of a tree. At the bottom, where the inner head popped off, very near the fracture surface the stringers are oriented perpendicular to the tensile axis. This occurred presumably when the inner head was formed.

# کاربرد متالوگرافی در بررسی ساختار جوش





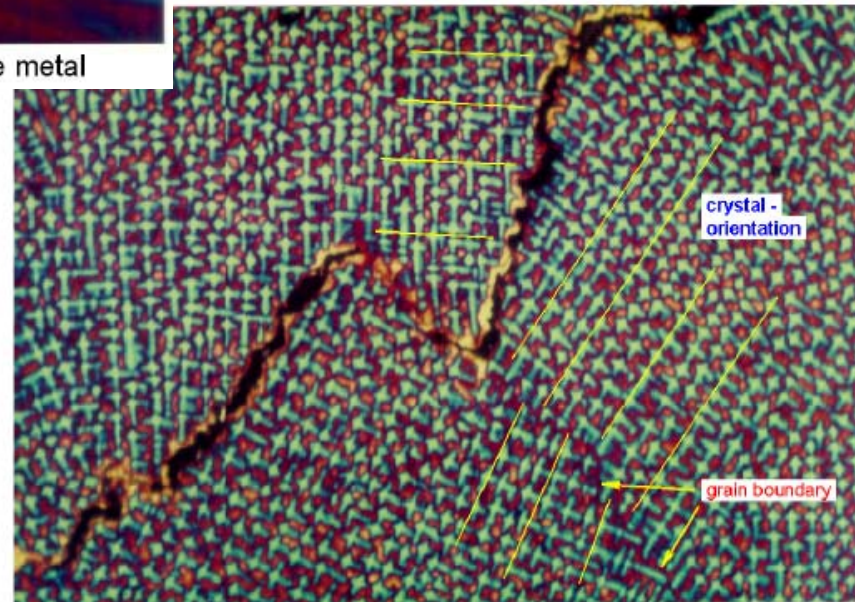
Submerged-arc weld of 40 mm thick 1.4462



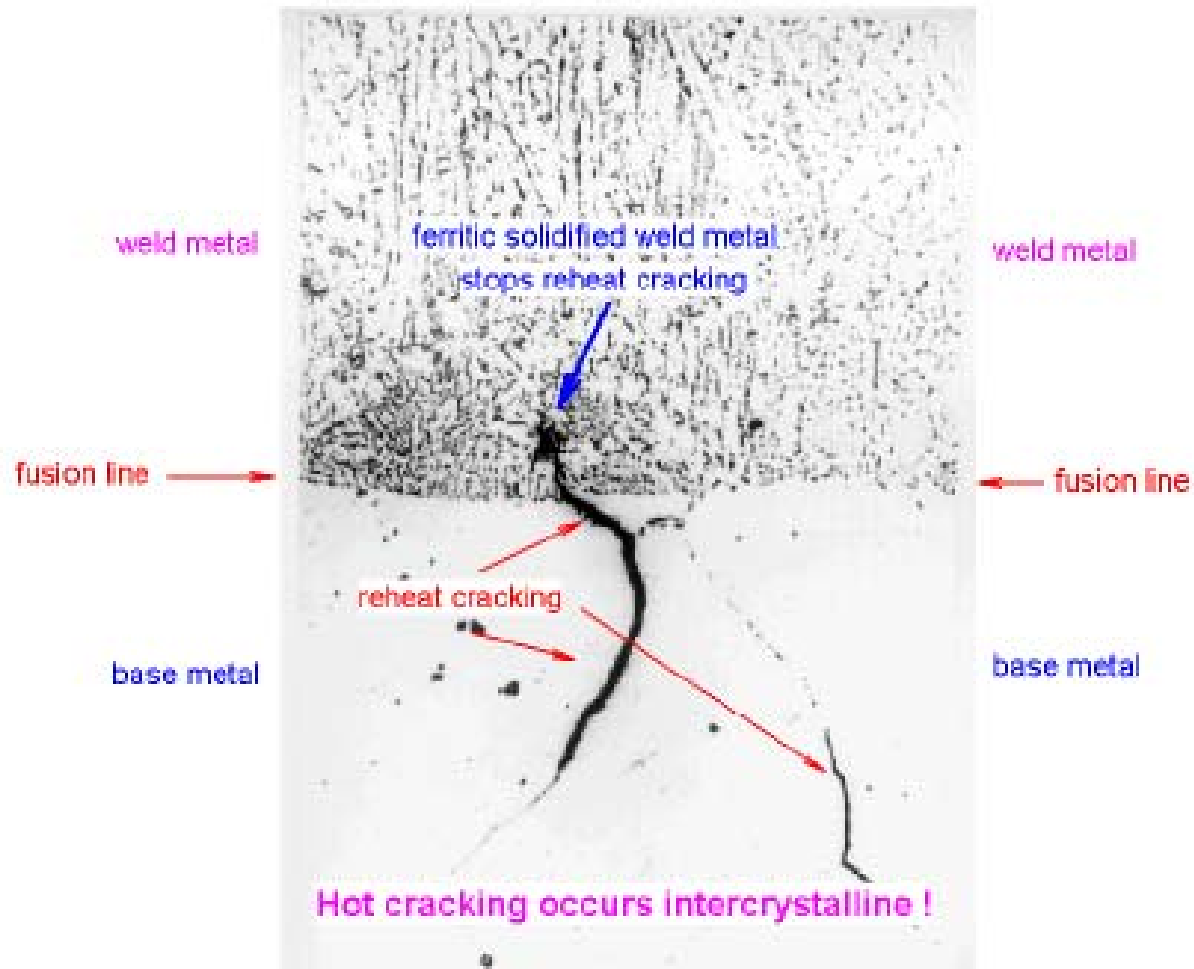
Submerged-arc weld of 1.4462, fusion line



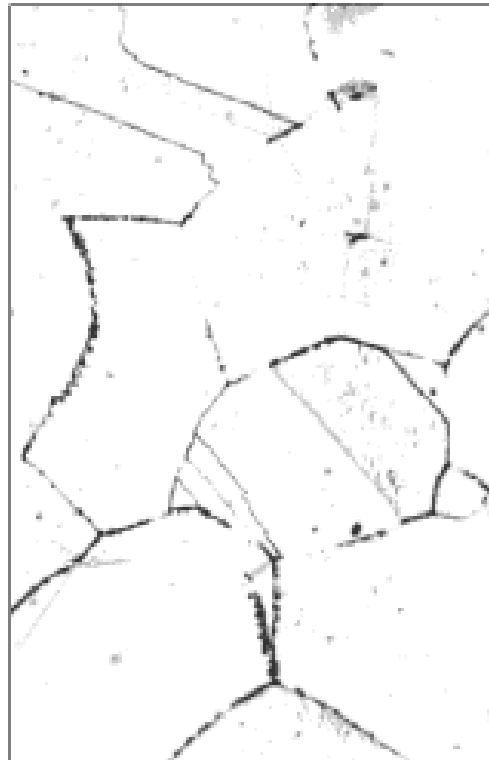
Crystallization of austenitic weld metal on the base metal



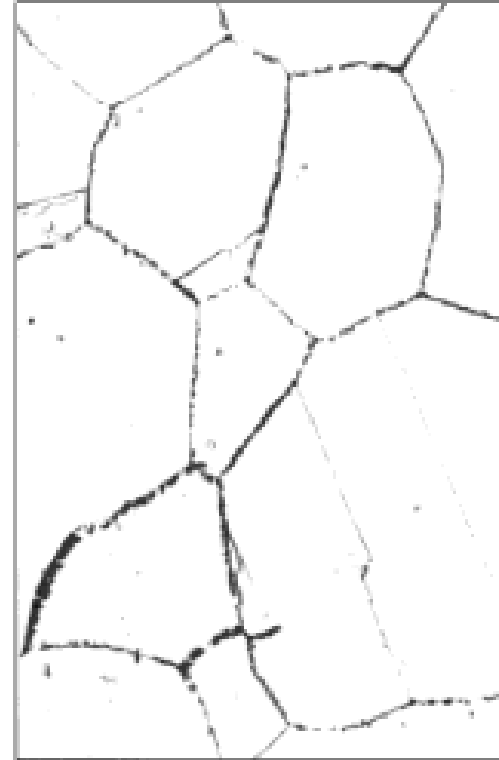
Hot Cracking at the grain boundaries of the weld metal



Reheat Cracking in the austenitic steel 1.4878 with 0,0067% B



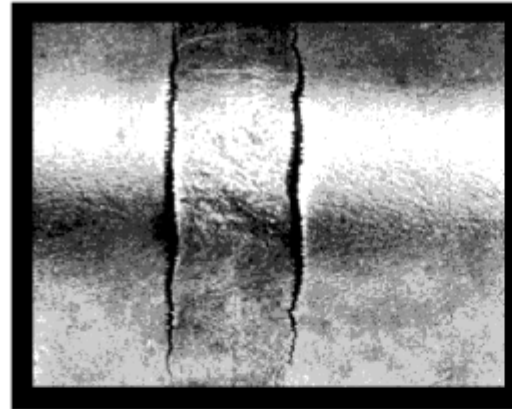
2 h 630°C / L



100 h 630°C / L

Precipitation of  $M_{23}C_6$  in the steel X 5 CrNi 18-10 = 1.4301

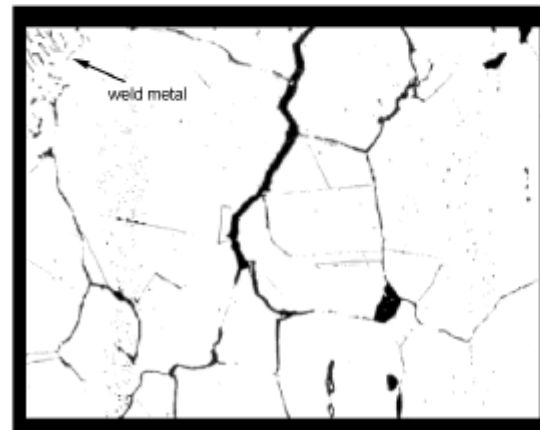
base metal      weld metal      base metal



Work specimen X 6 CrNiNb 1810, 12 h 570°C/air, Strauß-test

The left picture shows a work specimen from the production of a pressure vessel made from niobium stabilized steel. It was annealed and then tested in the Strauß - test. The steel was stabilized exactly 8,0 times.

With bending around a horizontal axis cracks developed at the fusion line between the weld and the base metal.



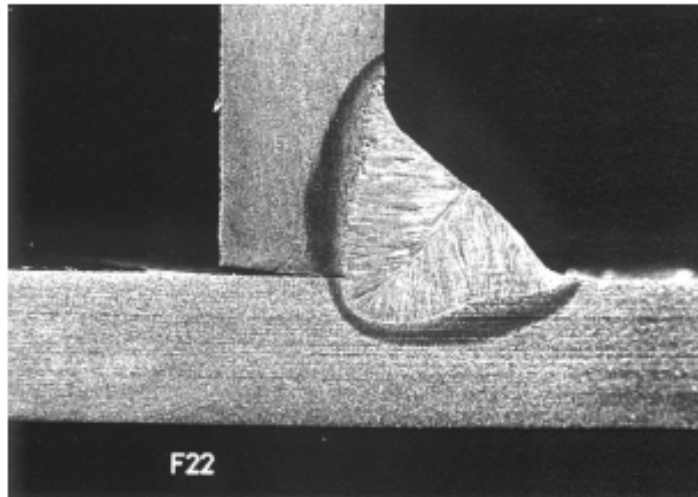
IC close to the fusion line = Knife Line Corrosion

The metallographic examination of the specimen revealed an intercrystalline corrosion in the base metal close to the fusion line. Because of the macroscopic appearance this type of corrosion is called knife line corrosion (see picture above).

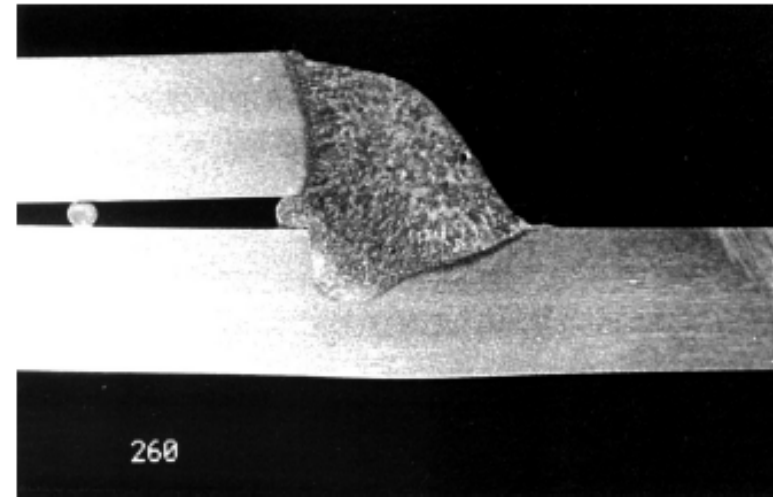
During welding the peak temperatures close to the fusion line are above 1200°C. So the niobium carbides dissolve but the steel in the as welded condition is not yet IC - susceptible. But by further annealing this small zone becomes IC - susceptible by chromium carbide precipitation. This effect can

be avoided by more than 12 times stabilization.

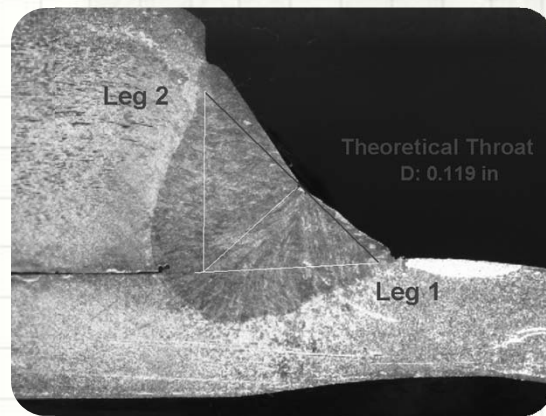
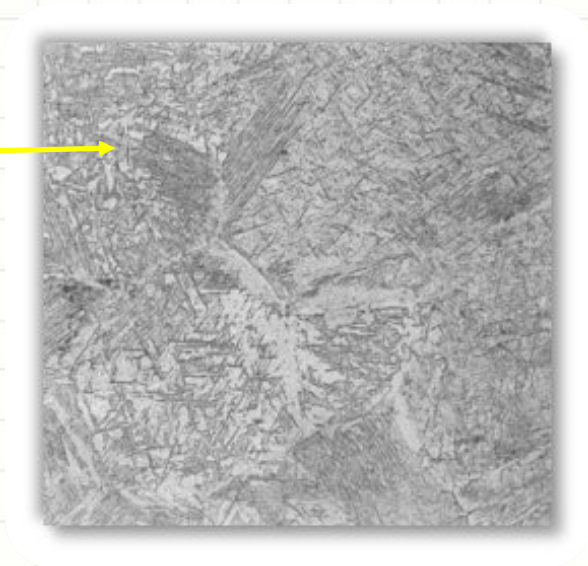
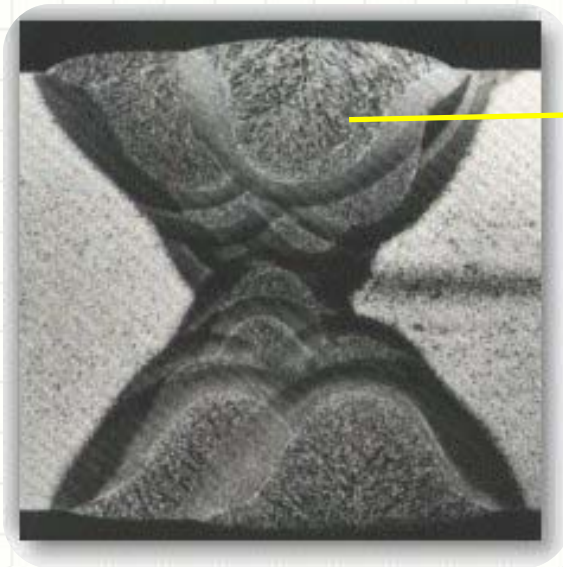


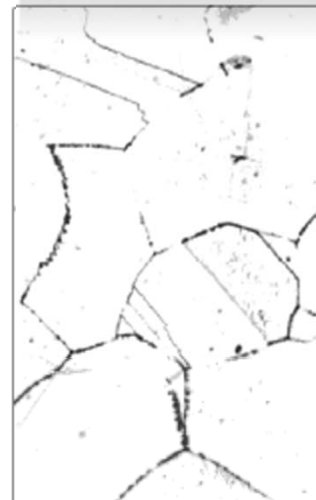
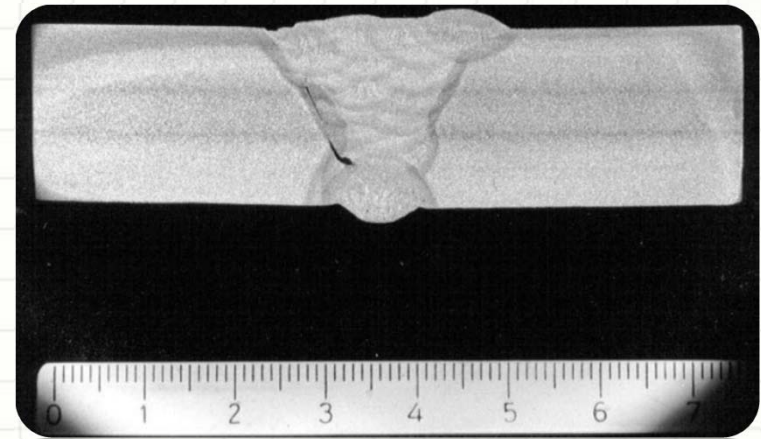
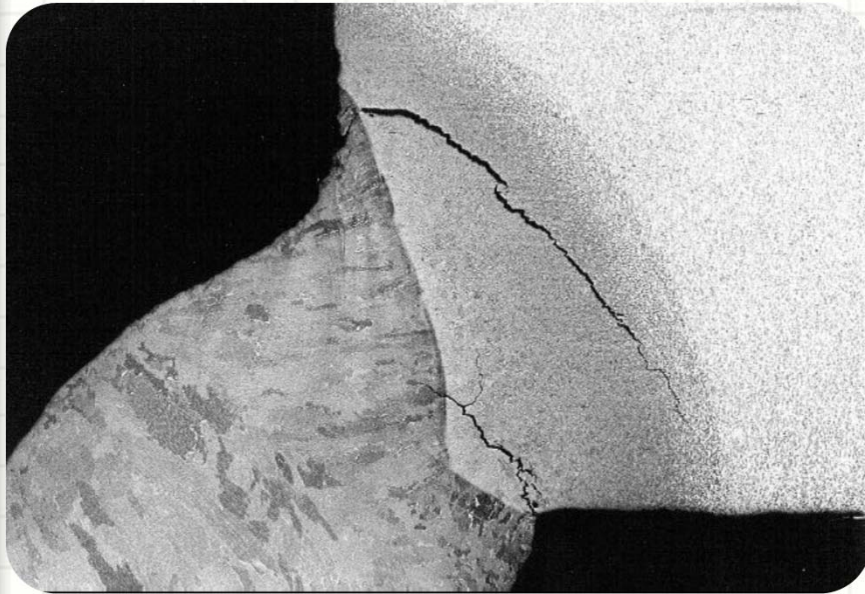


**Figure 16:** MAG multiple wire welding (a-measurement = 4 mm) at steel. Plate thickness 5 mm, deposition efficiency 14.8 kg/h, welding speed 1.9 m/min.

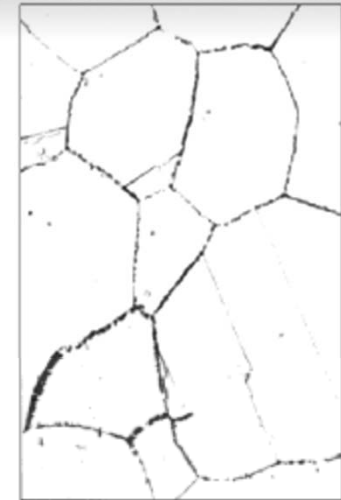


**Figure 17:** MIG multiple wire welding with a gap of 0.9 mm at AlMg<sub>2.7</sub> Mn, plate thickness 4 mm, deposition efficiency 6.6 kg/h, welding speed 3.0 m/min.





2 h 630°C / L



100 h 630°C / L

Precipitation of  $M_{23}C_6$  in the steel X 5 CrNi 18-10 = 1.4301

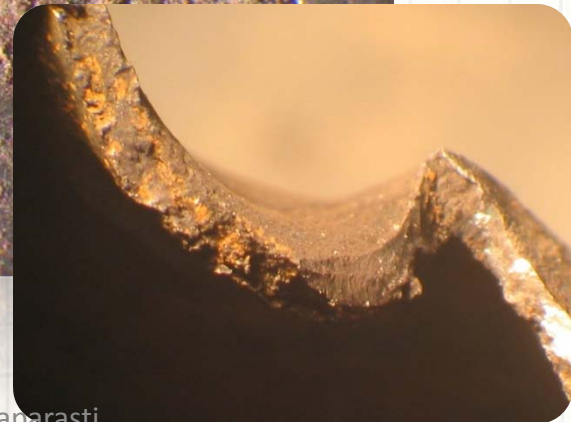
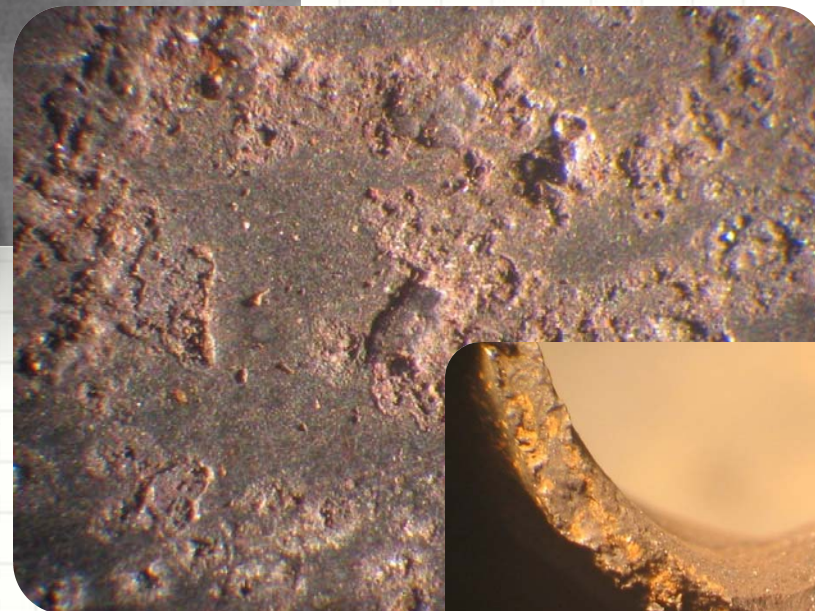
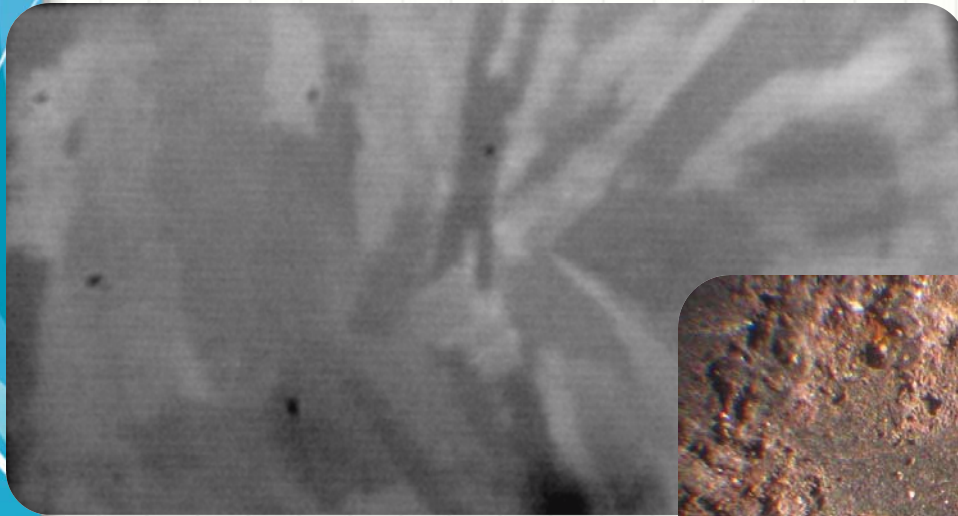
# متالوگرافی پرتابل (در محل)



# ASTM E 1351



# بررسی های درشت ساختاری



# متالوگرافی هنری



1 mm

Nb-Hf-W plate with an electron beam weld

# Metallography: Science+experience+art

Ti-6Al-4V (alpha-beta titanium)

- Nominal composition, wt%: 5.5-6.75 Al, 3.5-4.5 V, 0.4 max Fe, 0.1 max C, 0.05 max N, bal Ti
  - Condition: Quenched (processed above the beta transus and water quenched)
  - Product form: Unspecified
  - Metallographic Method: Light microscope (Optical, polarized light)
  - Etchant: 3 g ammonium bifluoride, 4 ml hydrochloric acid, and 100 ml water (color etched)
  - Original magnification: 100×
  - Image details: Martensite needles formed at elevated temperature (>840 deg C, or 1540 deg F)
  - Source: Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, page 157, ASM International, 1985.
- Additional credit: G. Muller.



©ASM International®  
ti0093

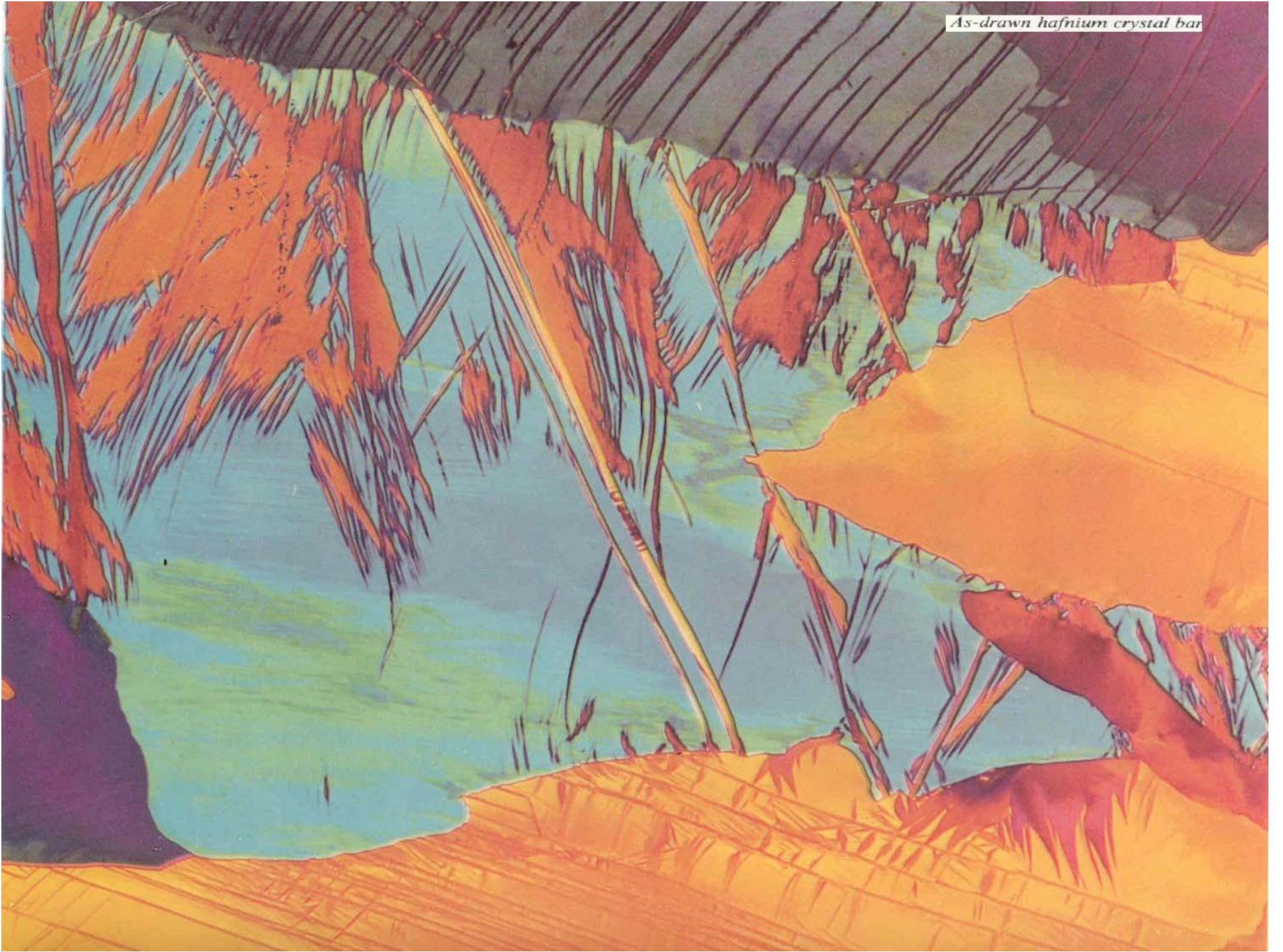
A screenshot of the International Metallographic Society (IMS) website. The browser address bar shows the URL: http://www.asminternational.org/portal/site/ims/. The website header features the IMS logo, the text "International Metallographic Society", and "An Affiliate Society of ASM International®". There is a Google Search bar with a "GO" button and a "Welcome to IMS. Log" link. A navigation menu includes: Home, Membership, Research Library, Events, Education/Training, Career Center, and Store. A "My IMS" section lists: About IMS, IMS Board of Directors, Past Presidents, Corporate Sponsorship, IMS Newswire, Contact Us, Intl. Metallographic Contest, and SlipLines. A main content area contains a welcome message: "Welcome to the International Metallographic Society's Online Community! Here you will be able to access the latest information and events, as well as access the advantages of membership. Please explore and learn more about us! Members can login using their member number or e-mail address and password. Not a member? Register - it's free, or join today!". Below this, it says "2011 Metallography contest winners announced." and "Metallography, Microstructure, and Analysis, a new journal from IMS, will debut in 2012." A note at the bottom states: "NOTE: If you reached this site using the old IMS website address, please update your bookmarks."



Martensite مارتنزيت



*As-drawn hafnium crystal bar*





## برخی از مراجع

- ۱- علی اکبر فلاح، کامران خداپرستی، علی حاجی محمد نظری، علل شکست شفت ایرهیترا یک نیروگاه، ماهنامه صنعت برق، شماره ۱۳۰، خرداد ۱۳۸۶
- ۲- تجربیات شخصی کامران خداپرستی و علی حاجی محمد نظری در آزمایشگاه متالورژی و مواد پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴
- 3- <http://imc2012.ir/news.php?cat.9>
- 4- ASM Handbook, Volume 9: Metallography and Microstructures
- 5- <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9801/Felkins-9801.html>



Prepared By: Kamran Khodaparasti  
kkhodaparasti@yahoo.com

First Edition: winter 2012

This presentation was developed by Kamran Khodaparasti to provide students and other audiences with a general introduction to metallography. All rights are reserved by the author but the material may be freely used by individuals and organizations for educational purposes. The materials may not be sold commercially, or used in commercial products or services.

Comments are welcome at [kkhodaparasti@yahoo.com](mailto:kkhodaparasti@yahoo.com)