

آزمایشگاه متالوگرافی (فلزشناسی) و ریزساختار مواد

بررسی اساس متالوگرافی و نحوه آشکارسازی ریزساختارهای انواع فولادها، آلومینیوم و چدن

گردآوری: محبوبه آزادی

دانشیار دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه سمنان

ASM Handbook”

Formerly Ninth Edition, Metals Handbook

Volume 9 Metallography and Microstructures

مقدمه

به علم و هنر آماده‌سازی نمونه‌های (فلزی) و بررسی ریزساختار میکروسکوپی آنها متالوگرافی گفته می‌شود.

در بسیاری از مواد بلوری همانند فلزات، دانه‌ها دارای ابعادی میکروسکوپی هستند و قطری در حدود میکرون دارند؛ بنابراین اجزای آنها باید با استفاده از میکروسکوپ نوری مشاهده و بررسی شوند. اما مشکل فقط بزرگنمایی نیست؛ بلکه سطح فلز نیز باید آماده شود.

از آنجایی که در بررسی‌های میکروسکوپی فقط سطح اجسام مورد بررسی قرار می‌گیرد، باید سطحی بسیار تمیز جهت دستیابی به اجزای مهم ریز ساختاری فراهم شود.

مجموعه عملیاتی که منجر به آماده شدن چنین سطحی شود و شرایط بررسی میکروسکوپی ریز ساختار را فراهم کند، متالوگرافی می‌نامیم.

مقدمه

- خواص مواد همانند خواص مکانیکی به شدت تحت تاثیر ریزساختار است.
- متالوگرافی یکی از روشهای معروف در متالورژی است که برای بررسی ریزساختار مواد مورد استفاده قرار می گیرد.
- این روش به ما این امکان را می دهد که خواص و ریزساختار فلزات و پلیمرها و سرامیک ها را مطالعه کنیم.
- میکروسکوپیهای نوری و الکترونی دو روش اصلی برای گرفتن تصاویر مهم ریزساختاری مواد برای بررسی خواص به شمار می روند.

تجهیزات آزمایشگاه متالوگرافی

- در آزمایشگاه متالوگرافی وسایلی به شرح زیر موجود است :
- انواع وسایل برشکاری و صاف کاری و دستگاه کاتر و اره و سوهان



تجهیزات آزمایشگاه متالوگرافی

- دستگاه سنباده زنی و پولیش: وسیله ای است که بعد از برش و سوهان زدن برای یکنواخت کردن سطح قطعه و قبل از آماده کردن برای اچ است، تا سطح قطعه صاف و صیقلی شود.



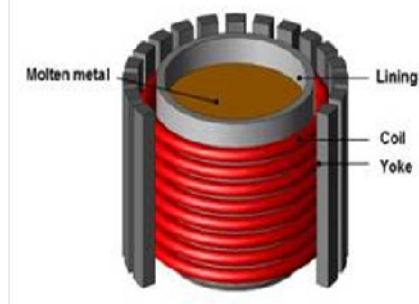
تجهيزات آزمایشگاه متالوگرافی

- دستگاه سختی سنجی (میکرو و ماکرو): ماکروسختی سنج برای مشخص کردن میزان سختی قطعات با سه معیار ویکرز، برینل و راکول (سی و بی) است. میکروسختی سنجی با میکروویکرز انجام می شود.



تجهیزات آزمایشگاه متالوگرافی

- کوره های مختلف شامل کوره های القایی - مقاومتی - الکتریکی: کوره ها مجهز به سیستم دیجیتالی بوده و می توان سیکل های مختلفی را با برنامه به آنها داد به طوری که اگر سیکل آنها را منطبق به دیاگرام کنیم می توان فازهای بوجود آمده را پیش بینی کرد.



تجهیزات آزمایشگاه متالوگرافی

- کوره های مختلف شامل کوره های القایی - مقاومتی - الکتریکی: کوره های کوچک القایی تا دمای حدود ۱۳۰۰ درجه را تامین میکنند و کوره های القایی بزرگ تا دماهای بیشتر را نیز تامین میکنند.



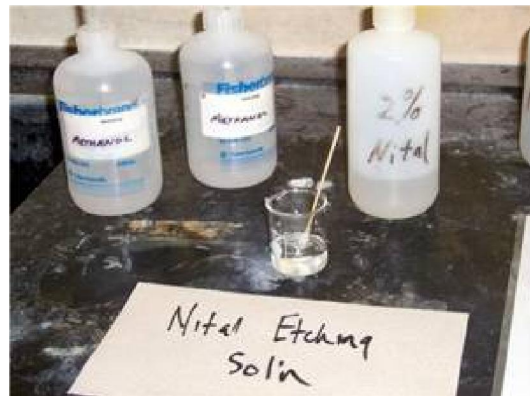
تجهيزات آزمایشگاه متالوگرافی

- دستگاه مانت گرم



تجهیزات آزمایشگاه متالوگرافی

- مواد لازم متالوگرافی همانند انواع محلول اچ مانند محلول نایتال و الکل برای تمیز کردن قطعات
- هود آزمایشگاهی



تجهيزات آزمایشگاه متالوگرافی

- میکروسکوپ نوری / الکترونی: میکروسکوپ ها برای مشاهده میکرو ساختار قطعه هاست.



آنالیز متالوگرافی راهی بسیار قدیمی برای مشاهده، بررسی و تحلیل ریزساختار فلزات است. امروزه بدون اشراف بر چارچوب های متالوگرافی و استفاده بهینه از آن، فرایندهای پژوهشی، صنعتی و کنترل کیفیت فلزات با مشکل مواجه خواهند شد.



متالوگرافی در مفهوم کلی عبارت است از مطالعه ساختار درونی فلزات و آلیاژها و رابطه این ساختار با ترکیب، شرایط انجماد (ساخت) و خواص شیمیایی و مکانیکی آنها می‌باشد.

متالوگرافی عبارتست از بررسی و مطالعه ساختار سطح مقطع فلزات و آلیاژها که به دو روش میکروسکوپی و میکروسکوپی صورت می‌گیرد.

مطالعه ساختار میکروسکوپی را میکروگرافی و ساختار میکروسکوپی را میکروگرافی می‌نامند.

ساختار ماکروسکوپی

ماکروسکوپی عبارتست از مشاهده ساختار فلزات و آلیاژها که با چشم غیر مسلح و یا بزرگنمایی های کم قابل رؤیت باشد.

این ساختار را می توان مستقیماً بر سطح قطعه کار یا بر مقطع شکست آن و یا اغلب بر نمونه هایی که از شمش های بزرگ یا قطعه کارها گرفته می شود، مطالعه نمود.

در این جا ابتدا سطح نمونه صیقلی شده و سپس توسط عوامل شیمیایی مخصوص اچ می گردد. عملی که محلول های اچ انجام می دهند (ماکرواچ) ، حل کردن سطح فلز و نشان دادن اجزاء آن و نمایش حفره ها، ترک ها و دیگر معایب موجود در نمونه می باشد.

ساختار میکروسکوپی

میکروگرافی عبارتست از مطالعه ساختار داخلی فلزات و آلیاژها در زیر یک میکروسکوپ با بزرگنمایی هایی از ۵۰ تا ۱۰۰۰ برابر یا بیشتر.

هدف از مطالعه متالوگرافی تعیین ساختار داخلی و بررسی آن از نظر دانه بندی، مرزدانه ها یا توزیع دانه ها و فازهای تشکیل دهنده فلز می باشد.

علاوه بر آن می توان مشخصات ساختاری، برخی از انواع اثرات کار مکانیکی، کشف عیوب ریز، ذرات غیر فلزی، ترک های کوچک و... را مورد بررسی قرار داد.

تاریخچه این علم از کشف دانشمند بزرگی به نام سوربی (Sorby) مبنی بر امکان پولیش و اچ کردن سطوح مختلف فلزی و مشاهده جزئیات ساختار آنها با چشم مسلح و یا غیر مسلح آغاز می شود.

پس از آن نیز این علم به سرعت جای خود را به عنوان یکی از پایه های اساسی متالورژی باز نموده و تا به امروز که با پیدایش میکروسکوپ های الکترونی پیشرفته بشر قادر به تجزیه و تحلیل دقیق اجزاء تشکیل دهنده فازهای مختلف در ساختار مواد گوناگون می باشد، این جایگاه را به خوبی حفظ نموده است.

متالوگرافی

۱ - جنبه تکنولوژیکی

۲ - جنبه متالوژیکی

Metallographic Techniques

Metallography Method

The process is done according the following:

- (a) Sample cutting
- (b) Sample cleaning
- (c) Sample mounting
- (d) Grinding by using SiC papers
- (e) Polishing by using diamond paste, alumina paste, Magnesium oxide, colloidal silica
- (f) Acid etching (HNO_3 , HCl , HF , etc)
- (g) Aquisitionof the microstructure's image by using optical and/or electronic microscopy

مراحل تکنولوژیکی متالوگرافی شامل

- ۱- برش کاری
- ۲- سوهانکاری یا تمیزکاری
- ۳- مانت کردن در صورت نیاز
- ۴- سنباده کاری
- ۵- پولیش زدن
- ۶- اچ (حکاکی) کردن
- ۷- دیدن ریزساختار زیر میکروسکوپ

برش کاری

اولین مرحله از یک عملیات آماده سازی نمونه می باشد. عملیات برش مرحله ای است که باید دقت و مراقبت خاصی بر روی آن انجام گیرد. مهم ترین نکته در این عملیات برش نمونه به شکلی است که فرایند برش بر روی آن تاثیر نگذارد. عملیات نادرست باعث انهدام نمونه و عدم امکان انجام سایر فرایند های آتی متالوگرافی خواهد شد.

برش کاری

انتخاب نمونه متالوگرافی که باید زیر میکروسکوپ قرار بگیرد از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا که نمونه انتخاب شده باید نماینده کل فلز یا آلیاژ باشد.

برای جدا کردن نمونه از قطعه نیز عملیات برش (Cutting) یا مقطع زنی (Cross Section) انجام می گیرد.

بسته به جنس، ابعاد و سختی نمونه ممکن است روش های مختلفی برای مقطع زدن یا برشکاری وجود داشته باشد.

انواع ابزار برش جهت آماده سازی نمونه های متالوگرافی شامل اره دستی، اره نواری، اره لنگ، هوابرش، برش پلاسما، قیچی، واتر جت، کاتر و وایرکات است.

انواع ابزار برش جهت آماده سازی نمونه های متالوگرافی

اره دستی: برای نمونه های کوچک، با سختی پایین همچون آلومینیوم و مس، ورقهای نازک و ...

اره لنگ: برای نمونه های بزرگ، عمدتاً فولادی و چدنی و با سختی متوسط (تا حدود HV350)
تذکر: باید امکان بستن نمونه به گیره اره لنگ وجود داشته باشد.

اره نواری: همان کاربرد اره لنگ را دارد، لکن برای نمونه های کمی سخت تر. ضمن اینکه سرعت برشکاری در اینجا بیشتر است.
تذکر: باید امکان بستن نمونه به گیره اره نواری وجود داشته باشد.



انواع ابزار برش جهت آماده سازی نمونه های متالوگرافی

کاتر: در دو نوع آزمایشگاهی (برای نمونه های کوچک) و کارگاهی (برای نمونه های بزرگ) جهت برش نمونه های با سختی بالا، در صورتی که امکان بستن آن به گیره کاتر باشد، بکار می رود.

هوا برش و برش پلاسما: جهت تهیه نمونه های کوچک از نمونه های بسیار بزرگ یا ضخیم که حمل و نقل آنها مشکل بوده یا امکان استفاده از روشهای ذکر شده در آنها وجود ندارد بکار می رود. اثرات حرارتی برش در اینجا اجتناب ناپذیر بوده و نمونه آزمایش باید تا حد لازم دور از محل برش تهیه شود.



انواع ابزار برش جهت آماده سازی نمونه های متالوگرافی

وایر کات: برای برش دقیق یا برش نمونه های خیلی سخت یا با اشکال پیچیده. اثرات حرارتی در این روش حداقل است و بعضاً باعث ایجاد یک لایه سفید رنگ recast در حد یکی دو میکرون می شود.

واترجت: توسط جت مخلوطی از آب و مواد ساینده برای نمونه های مختلف تا ضخامت حدود ۵۰ میلیمتر بکار می رود. در این روش با توجه به حضور آب، اثرات حرارتی نداریم.

قیچی: برای برش سیم، مفتول یا ورق



Sectioning



Fig. 2 Typical abrasive cutter. (Buehler Ltd.)

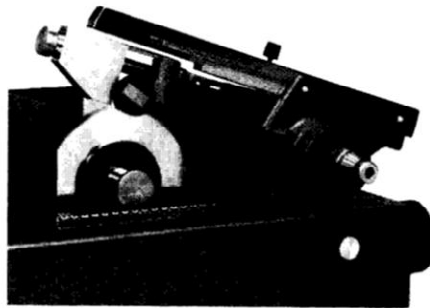


Fig. 3 Typical low-speed diamond saw. (Leco Corp.)

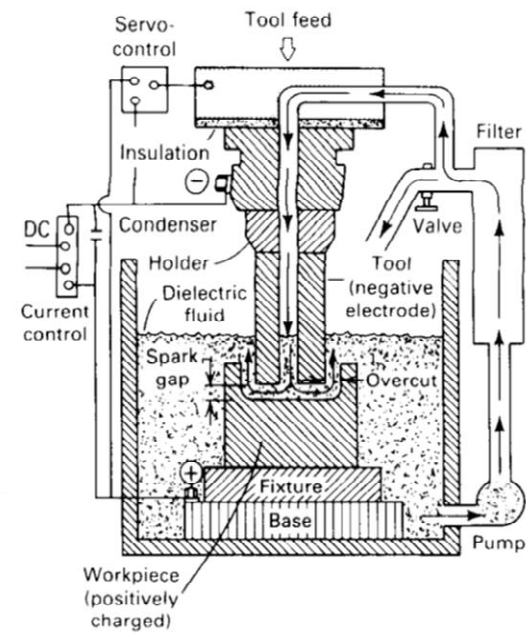


Fig. 10 Typical setup for electric discharge machining

Sample cutting (Sectioning)

- Important: the improper cutting technique may alter the real microstructure of the material and provide a unreal information
- The sample damage caused during the cutting process depends on:
 - ❖ Type of material
 - ❖ Type of technique employed for cutting
 - ❖ Cutting speed
 - ❖ Amount and type of coolant used for cooling process
- Material surface damages can easily be removed by polishing
- The damage depth varies with both the type of material and the employed cutting method

Sectioning

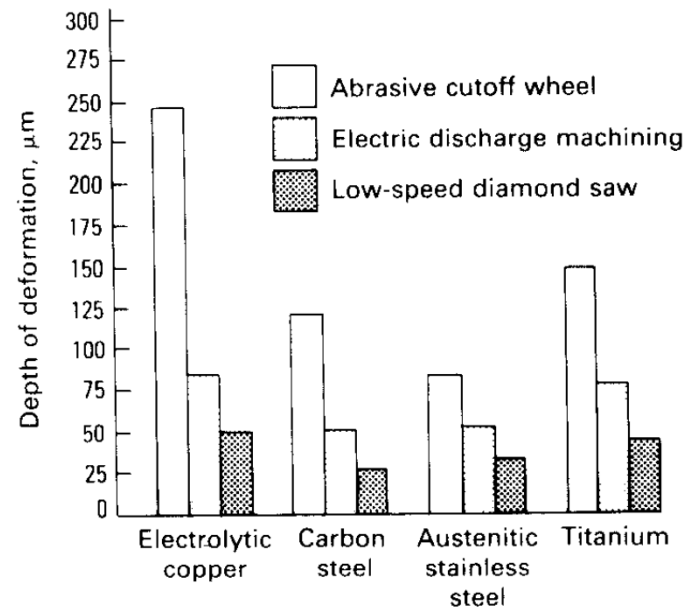


Fig. 1 Depth of deformation in different metals due to cutting method. (Ref 1)

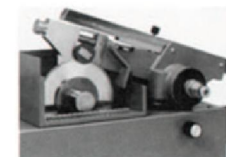


Table 1 Solutions for problems encountered in abrasive cutoff sectioning

Typical low-speed diamond saw. (Leco Corp.)

Problem	Possible cause	Solution
Burning (bluish discoloration)	Overheated specimen	Increase coolant rate; lessen cutting pressure; choose softer wheel.
Rapid wheel wear	Wheel bond breaking down too rapidly	Choose harder wheel; lessen cutting pressure.
Frequent wheel breakage	Uneven coolant distribution, loose specimen fixturing	Distribute coolant uniformly; fix specimen rigidly.
Resistance to cutting	Slow wheel breakdown	Choose softer wheel; reduce coolant flow; use oscillating stroke.
Cutter stalls	Cutter too light for the work	Use heavier cutter; limit sample size.

هم چنین در این مرحله باید به عواملی چون فشار، دما، سرعت برش، شرایط توسعه ترک، تولید حرارت، دقت عمل اپراتور و... توجه شود.

آماده سازی نمونه جهت متالوگرافی

موفقیت در مطالعات میکروسکوپی و تحلیل ساختاری بیشتر مرهون آماده سازی مناسب نمونه ها است. نمونه آماده شده به روش صحیح باید دارای یک سطح صاف و آینه ای عاری از خراش، شکاف، زنگ، براده و سایر آلودگی های سطحی ناشی از مراحل آماده سازی نمونه باشد. پس از آماده سازی نمونه، سطح آن آماده بررسی ساختاری در زیر میکروسکوپ است.

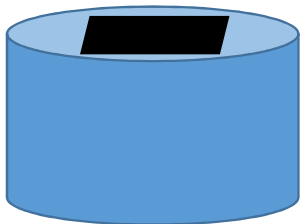
Sample cleaning

- Physical cleaning: removal of particles, dust, grease and other types of residues;
- Chemical cleaning: used to eliminate any contaminant on the surface of the sample
- In order to analyse oxide layers the cleaning process must be limited to simple treatments avoiding the loosening of the oxide layer details.
- The ultra-sound bath is the most effective method for cleaning
- Cleaning times may vary between 2-5 minutes
- Soft materials may suffer cavitation during large cleaning times.

مانت کردن

قرارگیری نمونه در یک محفظه یا فیکس کردن نمونه در یک چارچوب را مانت می گویند.
عمل مانت کردن به دو دلیل صورت می گیرد.

یکی آن که قطعه کار کوچک است و دیگری آن که استفاده از دستگاههای مخصوص در این مرحله مستلزم آن است که قطعه در ابعاد بخصوصی باشد.



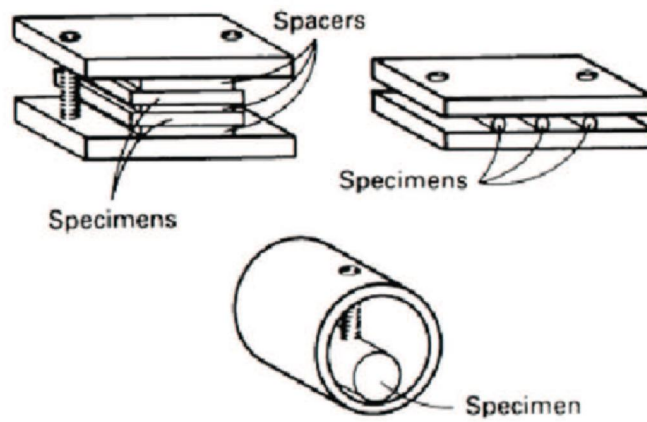
فواید و مزایای مانت کردن

- ۱) نگهداری لبه نمونه ها در نمونه های مانت شده بهتر از نمونه های مانت نشده می باشد.
- ۲) نگهداری نمونه های کوچک و باریک، ترد و شکننده و با شکل پیچیده راحت تر می باشد.
- ۳) محدود نگه داشتن لبه تیز نمونه های متالوگرافی یا گوشه هایی که امکان آسیب رساندن به کاغذ سنباده یا نمد مورد استفاده برای پولیش را دارد و خطرانی در حین آماده سازی ایجاد می کند.
- ۴) شناسایی یا کدگذاری نمونه های بدون مانت در دراز مدت دشوار می باشد. در صورتیکه در پشت نمونه های مانت شده اطلاعات فراوانی را می توان حک کرد که در دراز مدت نیز از بین نروانند رفت.
- ۵) راحتی و یکنواختی پیکربندی در روش دستی و ماشینی و راحتی جابه جایی نمونه در مراحل مختلف
- ۶) اندازه استاندارد برای سهولت نگهداری نمونه در دسیکاتور
- ۷) افزایش ایمنی شخصی

Sample mounting

- Mechanical mounting or in resin
- Mounting can be done in “hot” or “cold” way

- Resin thickness:
 - ❖ Too thin causes a hard handling of the sample
 - ❖ Too thicker decreases the contact between the sample surface and the SiC papers and cloths
- Depends on the material characteristics the heating during the mounting may alter its microstructure



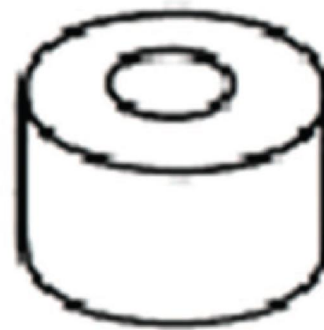
Mechanical mounting



Mounting in resin

☐ Cold (mixture of liquids)

☐ Hot and pressure
(powder)



Mounting of Specimens

در این مرحله نمونه ها توسط دستگاه Struers citro press مانت می شود . در این جا باید توجه داشت که دو روش برای مانت نمودن نمونه وجود دارد ::

مانت گرم = رزین + فشار + گرما

مانت سرد = رزین (مونومر) + کاتالیست

در روش مانت گرم که راهی برای مانت نمودن قطعات فولادی است از دستگاهی استفاده می شود که بتواند پس از قرار دادن نمونه در داخل مواد دمایی در حدود ۱۵۰ درجه ی سانتیگراد و فشاری حدود ۲۹ مگاپاسکال ایجاد نماید . در اثر فشار و گرما پودر رزین سخت شده نمونه را در خود حبس می نماید .

Mounting of Specimens

- مانت گرم:

ابتدا نمونه را از طرفی که مورد بررسی قرار می گیرد در کف محفظه قالب قرار داده و پودر مخصوص مانت کردن را روی آن می ریزند. سپس این پودر تحت فشار و دما ذوب شده و دور نمونه را می گیرد.

در مرحله بعد آن را با آب و وسایل خنک کننده دیگر سرد کرده و به این ترتیب نمونه مانت شده بدست می آید. در این روش دمایی لازم برای ذوب مابین ۱۲۰ و ۱۸۰ درجه سانتی گراد می باشد.



Mounting of Specimens

مانت سرد:

به طور کلی برای فلزاتی که دارای نقطه ذوب پایینی بوده و یا انعطاف پذیری زیادی دارند نمی توان از روش مانت گرم استفاده کرد زیرا که اعمال فشار یا درجه حرارتی که در عملیات مانت گرم بکار می رود ساختار سطح مقطع فلز تغییر داده و مطالعه متالوگرافی آن را مشکل می کند. در چنین حالتی از مانت سرد استفاده می شود.

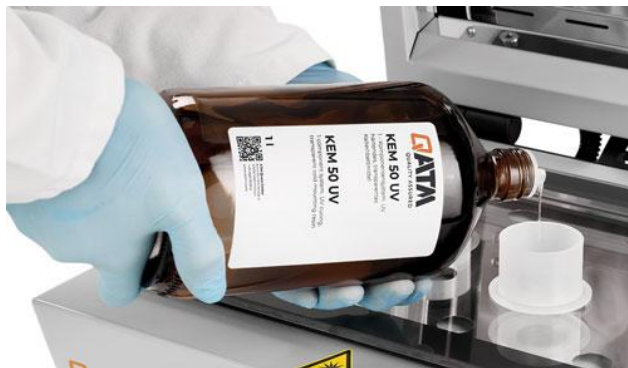
در اینجا از یک پودر بعلاوه محلول و کاتالیزگر بخصوصی استفاده کرده و با مخلوط کردن این مواد مایه اولیه مانت سرد به دست می آید.

باز هم نمونه را از طرفی که مورد بررسی قرار می گیرد در کف محفظه قالب قرار داده و مخلوط فوق را بر روی آن ریخته و صبر می کنیم تا خودش را بگیرد. این روش بیشتر برای فلزات غیرآهنی مثل سرب، قلع و غیره مورد استفاده قرار می گیرد.



Mounting of Specimens

مانت سرد معمولاً دو جزئی بوده و از یک رزین و یک هاردنر (سخت کننده) تشکیل شده که باید با نسبت معینی با هم مخلوط شوند و در مدت زمان معینی سخت خواهد شد. رزین های مورد استفاده در این روش رزین های مونومری هستند که از یک کاتالیست، فعال کننده یا هاردنر برای پلیمریزاسیون و سخت شدن بهره می گیرند. مهمترین رزین های مورد استفاده در این روش عبارتند از رزین های اپوکسی، اکریلیک و پلی استر است.



Mounting of Specimens

مزایای مانت سرد

قابلیت مانت نمودن نمونه های بزرگ
قابلیت مانت تعداد زیادی نمونه به صورت همزمان
مانت نمونه های ترد و شکننده
مانت نمونه های دارای نقطه ذوب پایین یا دارای اجزای ساختاری زود ذوب
مانت نمودن مواد حساس به حرارت
عدم نیاز به تجهیزات گرانقیمت

Mounting of Specimens

رزین های گرماسخت (Thermosetting): مانند فنل ها با گذشت زمان به طور یکطرفه سخت می شوند .

رزین های گرمانرم (Thermoplastic): با کاهش درجه حرارت و تحت فشار منجمد و سخت می گردند اما قابلیت ذوب مجدد را دارا می باشند .



Thermosetting e thermoplastic resins

Table 1 Typical properties of thermosetting molding resins

Resin	Molding conditions					Heat distortion temperature		Coefficient of thermal expansion in./in. °C ^(a)	Abrasion rate, µm/min ^(b)	Polishing rate, µm/min ^(c)	Transparency	Chemical resistance
	Temperature		Pressure		Time, min							
	°C	°F	MPa	psi		°C	°F					
Bakelite (wood-filled)	135-170	275-340	17-29	2500-4200	5-12	140	285	3.0-4.5 × 10 ⁻⁵	100	2.9	Opaque	Attacked by strong acids and alkalies
Diallyl phthalate (asbestos-filled)	140-160	285-320	17-21	2500-3000	6-12	150	300	3.5 × 10 ⁻⁵	190	0.8	Opaque	Attacked by strong acids and alkalies

Thermosetting e thermoplastic resins

Table 2 Typical properties of thermoplastic molding resins

Resin	Molding conditions										Transparency	Heat distortion temperature ^(a)		Coefficient of thermal expansion, in./in. °C	Abrasion rate, µm/min ^(b)	Polishing rate, µm/min ^(c)	Chemical resistance
	Heating					Cooling											
	Temperature		Pressure		Time (min)	Temperature		Pressure		Time (min)							
	°C	°F	MPa	psi		°C	°F	MPa	psi								
Methyl methacrylate	140-165	285-330	17-29	2500-4200	6	75-85	165-185	max	max	6-7	Water, white to clear	65	150	5-9 × 10 ⁻⁵	...	7.5	Not resistant to strong acids and some solvents, especially ethanol
Polystyrene	140-165	285-330	17	2500	5	85	185-212	max	...	6	...	65	150	...	...	...	...
Polyvinyl formal	220	430	27	4000	...	...	...	...	...	...	Light brown, clear	75	165	6-8 × 18 ⁻⁵	20	1.1	Not resistant to strong acids
Polyvinyl chloride	120-160	250-320	0.7	100	nil	60	140	27	4000	...	Opaque	60	140	5-18 × 10 ⁻⁵	45	1.3	Resistant to most acids and alkalis

Mounting of Specimens

Table 3 Typical problems of compression-mounting materials

Problem	Cause	Solution
Thermosetting resins		
 Radial split	نمونه با گوشه تیز یا ابعاد بزرگ نسبت به قالب مانت	نمونه کوچکتر یا قالب مانت بزرگتر
 Edge shrinkage	Excessive shrinkage of plastic away from sample	Decrease molding temperature; cool mold slightly prior to ejection.
 Circumferential splits	جذب رطوبت یا محبوس گاز در هنگام مانت	پیشگرم پودر یا قالب
 Burst	Too short a cure period; insufficient pressure	Lengthen cure period; apply sufficient pressure during transition from fluid state to solid state.
 Unfused	Insufficient molding pressure; insufficient time at cure temperature; increased surface area of powdered materials	Use proper molding pressure; increase cure time. With powders, quickly seal mold closure and apply pressure to eliminate localized curing.
Thermoplastic resins		
 Cottonball	Powdered media did not reach maximum temperature; insufficient time at maximum temperature	Increase holding time at maximum temperature.
 Crazing	تنش ذاتی آزاد شده	سردشدن به دمای پایین تر قبل از ایجکت

پرداخت کردن پس از مانت:

پس از مانت کردن، ممکن است سطح نمونه نیاز به پرداخت خشن و نرم داشته باشد چون ممکن است در حین مانت کردن، مانت روی سطح باقی مانده باشد.

Mechanical Grinding, Abrasion,

بعد از اتمام سوهانکاری/تمیزکاری و مانع در صورت نیاز به قسمت سنباده کاری و سپس به مرحله پولیش زدن می‌رسیم.

سنباده‌های ضدآب که از شماره‌های ۳۰۰۰ - ۸۰ تشکیل شده است. سنباده‌ها از خشن تا نرم روی سکو قرار گرفته‌اند. تا خشک‌های افتاده روی نمونه را حذف کرد. مثلاً از سنباده شماره ۸۰ یا ۱۰۰ شروع می‌کنند و به تدریج با سنباده‌های شماره ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۲۰، ۳۶۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ... استفاده می‌کنند تا یک سطح تقریباً آینه‌ای به نمونه بدهند.

معمولاً سطح نمونه با استفاده از پودرهای "کاربید سیلیسیم" که بر روی کاغذهای مخصوص سنباده تعبیه شده‌اند، معمولاً روی یک سطح شیب دار یا در دستگاه اتوماتیک ساییده می‌شود.



Grit size and micro-size relationship

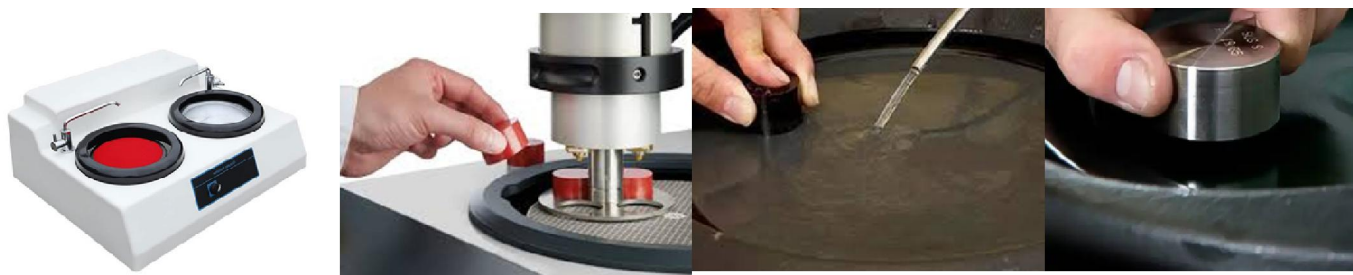
SiC papers	
Grit size	Average particle size (μm)
80	201
120	125
220	68
320	46.2
400	35
600	25.8
800	21.8
1000	18.3
2500	8.4

Mechanical Grinding, Abrasion,

در حین سنباده‌کاری آب بعنوان روانکار مدام روی آن ریخته می‌شود. علت اینکه آب باید روی نمونه مدام باشد جلوگیری از مسدود شدن کاغذ سنباده یا جلوگیری از خط روی نمونه یا کاهش میزان اصطکاک و ایجاد گرما برای تغییر ریزساختار می‌باشد.

هر اندازه که سنباده نرم تر باشد فشردن نمونه بر روی آن آهسته تر صورت می‌گیرد. سنباده زنی گاهی با دست و گاهی به صورت اتوماتیک انجام می‌شود.

در نمونه های سخت، فشار دست بر روی نمونه هنگام سنباده زنی باید بیشتر از نمونه های نرم باشد.



Mechanical Grinding, Abrasion,

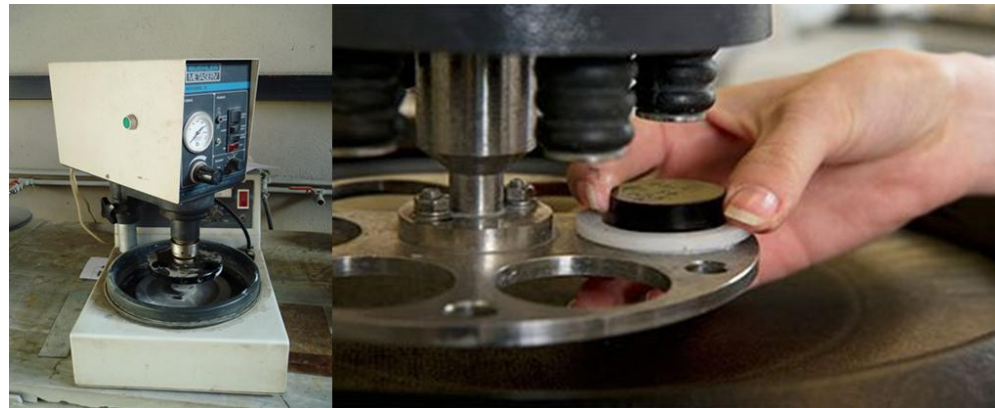
جهت سنباده زدن از یک دیسک به دیسک بعدی تغییر کرده و هر بار نمونه به اندازه ۹۰ درجه چرخانده می شود تا خطوطی که از سنباده قبلی حاصل شده است کاملاً محو گردد و هر بار خطی عمود بر خطوط قبلی ایجاد شود.

در پایان هر مرحله سنباده زدن و پیش از شروع مرحله ی بعدی بر روی سنباده نرم تر لازم است نمونه به دقت شسته شود تا ذرات درشت تر سنباده مرحله قبل، صفحه ی سنباده مرحله بعدی را آلوده نکنند.
حال اگر که سنباده زنی بر روی سنباده هایی صورت گیرد که جریان آب از روی آن ها عبور می کند، دیگر لزومی به تمیز کردن نمونه بعد از هر مرحله نخواهد بود.



Polishing

پولیش کاری، یک فرآیند بعد از سنباده کاری است که در آن سطح یک ماده را به گونه‌ای صاف و براق تر می‌کنند. این فرآیند معمولاً با استفاده از ابزارها، مواد شیمیایی و فنون مختلفی انجام می‌شود. هدف اصلی پولیش کاری، حذف خطوط ریز و خراش‌ها از سطح ماده از مرحله قبلی و بهبود ظاهر آن است. در این مرحله سطح فلز کاملاً آینه ای می شود.



Polishing

پولیش کردن به دو صورت پولیش مکانیکی و الکترولیتی انجام می شود.

در پولیش مکانیکی دستگاههای که در آن یک صفحه وجود دارد که آن توسط نیروی الکتروموتوری می چرخد و روی این صفحه پارچه ای نصب شده نام این پارچه ماهوت یا نمد می باشد و طرز کار این است که هنگام چرخش صفحه نمونه را روی آن قرار داده تا اگر خشی روی قطعه بود برطرف شود و علت آن سایش بین الیاف پارچه ماهوت و سطح قطعه است که باعث برطرف شدن خشها می شود.

برای اینکه این کار سریعتر و بهتر انجام شود اکسید آلومینیوم با اندازه ذرات ریز (۵۰ تا ۵ میکرون) را به همراه آب مخلوط کرده که رنگ آن سفید می شود و هنگام چرخش صفحه و قرار گرفتن نمونه روی آن این محلول روی آن ریخته شده و برخورد دانه های اکسید آلومینیوم، اکسید سیلیسیوم یا اکسید منیزیم با سطح نمونه باعث از بین رفتن خشهای روی قطعه می شود.

در موارد حساس مثل الیازهای نرم الومینیوم از خمیر الماسه استفاده می شود.

Polishing

ماهوت یا نمدی که در این جا به کار می رود باید ضخیم بوده و عاری از ذرات سخت مخصوصاً گرد و خاک باشد تا موجب ایجاد شیار بر روی نمونه نگردد. در تمام مدت صیقل کاری لازم است که به تناوب نمد را با گرد آلومین معلق در آب آغشته کرد.

در هنگام پولیش کردن حتماً آب باید از بالا به مقدار مناسب به وسط صفحه پولیش ریخته شود تا براده ایجاد شده را با خود ببرد. پودر ساینده نیز به مقدار مناسبی به وسط صفحه پولیش ریخته می شود.

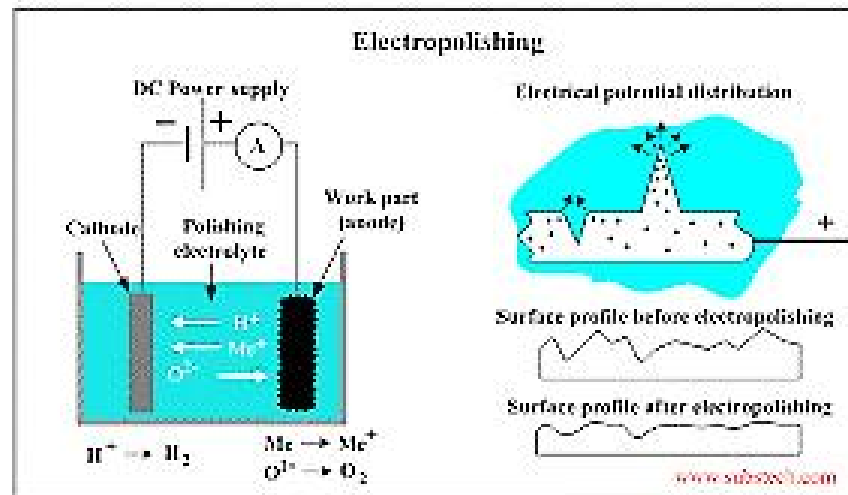


مدت زمان پولیش کردن بستگی به جنس نمونه، نوع مواد ساینده و سرعت دوران دستگاه دارد.

بعد از شستن خشک کردن سطح نمونه آن را برای اچ کردن آماده می کنیم.

پولیش الکترولیتی یا الکتروپولیش

در این روش سطح نمونه در یک محلول الکترولیتی انحلال می یابد. برای این منظور، از دستگاه الکتروپولیش استفاده می شود که در آن، از محلول های اسیدی به عنوان الکترولیت، نمونه متالوگرافی به عنوان آند و یک صفحه از فولاد زنگ نزن به عنوان کاتد استفاده می شود و ضمن اعمال جریان، ریز قله های سطح نمونه حل شده و یک سطح آینه ای حاصل می شود.



الکترو پولیش (Electro polish)

فرایندی است که در آن سطوح فولاد و فولاد زنگ نزن، برنج، نیکل، نقره، برلیوم، الیازهای مس و آلومینیوم رو صاف، صیقلی، تمیز و پلیسه گیری می کند.

این فرایند به طور انتخابی زبری های فلز را میزداید و سطح فلز را براق تر می سازد. اکثر سیستم های مکانیکی پرداخت کاری، برای دستیابی به سطحی صاف و براق، سطح بلورین فلز را لکه دار، خمیده و دچار خستگی میکند و گاهی باعث شکستن آن میشود.

الکترو پولیشینگ فرایند بارداری از روی سطح را با ایجاد الگوی یک سویه که کاملاً خالی از هرگونه خستگی و انسداد است. انجام میدهد.

در این روش سطح از دید میکروسکوپی صاف و در اغلب اوقات صیقلی است. علاوه بر این ، در بسیاری از الیازهای فلزی و غیر فلزی، مقاومت در برابر خوردگی و غیر فعال سازی فلز را افزایش میدهد.

Electrolytic Polishing

در الکتروپولیش، برجستگی‌ها و نقاط تیز سطح که چگالی جریان الکتریکی بیشتری را دریافت می‌کنند، با سرعت بیشتری حل می‌شوند. در مقابل، فرورفتگی‌ها و نقاط صاف، جریان کمتری دریافت کرده و کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این فرآیند، منجر به یکنواختی بی‌نظیر و حذف تدریجی ناهمواری‌ها می‌شود. در پایان کار، شما سطحی خواهید داشت که نه تنها صاف، بلکه از نظر شیمیایی نیز خالص‌تر و یکنواخت‌تر شده است.

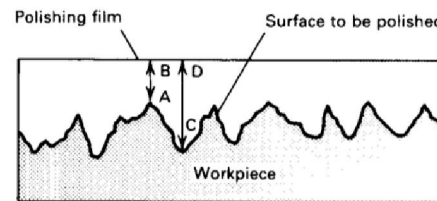


Fig. 1 Mechanism of electrolytic polishing

Electrolytic Polishing

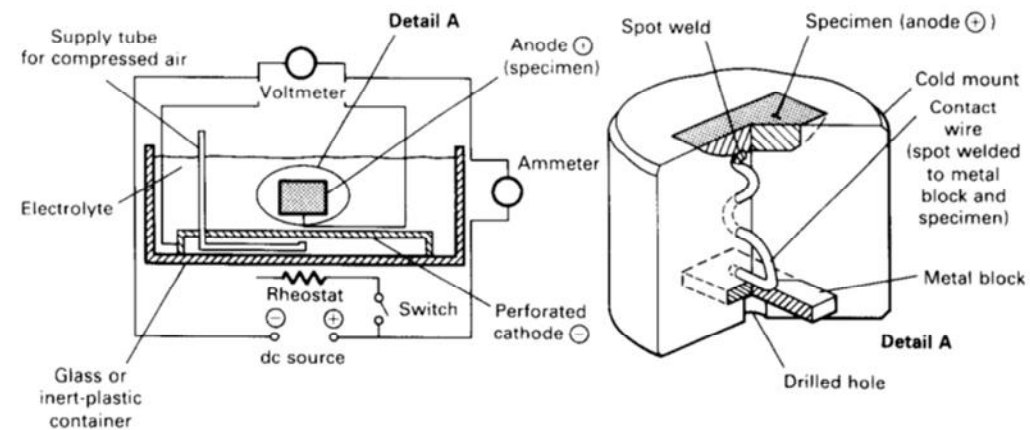


Fig. 4 Equipment setup for electropolishing. Air agitation of electrolyte is provided through a perforated cathode. Detail at right shows an indirect electrical connection to a mounted specimen.

پولیش الکترولیتی یا الکتروپولیش

- در این روش پروسه باربرداری سطح فلز بدون فشار و خستگی انجام می شود. سطح فلز از دید ذره بینی بسیار صیقلی و از دید معمولی مسطح می باشد زیرا در این روش پرداخت کاری میکروسکپی باعث براقیت و پرداخت کاری ماکروسکپی باعث صاف و مسطح شدن سطح کار می شود.



Electrolytic Polishing

به طور کلی الکتروپولیش فلزات برای دست یابی به اهداف زیر صورت می گیرد:

۱. دست یابی به زیبایی بهتر و افزایش قدرت انعکاس نور
۲. افزایش مقاومت در برابر خوردگی
۳. آماده سازی فلزات برای آبکاری ، آندایزینگ یا پوششهای تبدیلی
۴. حذف اثرات و صدمات ناشی از برشکاری و پرسکاری
۵. از بین بردن زائده های فلزی ناشی از تراشکاری
۶. حذف ناهمگونی ها و تنش های سطحی فلزات ناشی از اعمال برشکاری ، جوشکاری

Electrolytic Polishing

موارد استفاده دستگاه الکترو پولیش :

مورد استفاده در صنایع غذایی و دارویی
ساخت مخازن استیل
تجهیزات آشپز خانه
سازه های دکوراتیو و دکوراسیون و کارخانجات صنعتی

پولیش الکترولیتی یا الکتروپولیش

- کاربردهای تجاری پولیش الکتریکی از اوایل دهه ۵۰ میلادی مرسوم است.
- پولیش الکترولیتی قدیمی ترین روش مورد استفاده برای براق کاری آلومینیوم است و متدهای مختلفی نیز برای انجام این عمل وجود دارند.
- الکتروپولیش تیتانیوم تنها یک کار تزئینی نیست، بلکه یک راهکار مهندسی قدرتمند است که در بسیاری از صنایع پیشرفته و حساس، به یک استاندارد اجباری تبدیل شده است.
- الکتروپولیش سطح ایمپلنت‌های تیتانیومی را کاملاً صاف و عاری از هرگونه ذره ریز می‌کند که این امر باعث بهبود چسبندگی استخوان به ایمپلنت و کاهش احتمال عفونت و پس‌زدگی در بدن بیمار می‌شود.



پولیش الکترولیتی یا الکتروپولیش

- این فرآیند نیازمند دانش فنی عمیق در زمینه ترکیب شیمیایی الکترولیت، دما، چگالی جریان و زمان ماندگاری قطعه در حمام است. یک تنظیم نادرست می‌تواند به جای بهبود، به سطح قطعه آسیب برساند.
- عدم استفاده از الکترولیت‌های مناسب باعث بروز لطمه‌های شدید به فلز پایه و به محیط زیست و سلامت انسان می‌شود.

Table 1 Electrolytes for electropolishing of various metals and alloys

Class	Formula	Use	Cath voltage	Time	Notes
Group I: Electrolytes composed of HClO₄ and alcohol with or without organic additions(a)					
I-1	800 mL ethanol (absolute), 140 mL distilled H ₂ O (optional), 60 mL HClO ₄ (60%)	Aluminum and aluminum alloys with less than 2% Si Carbon, alloy, and stainless steels Lead, lead-tin, lead-tin-cadmium, lead-tin-antimony Zinc, zinc-tin-iron, zinc-aluminum-copper Magnesium and high-magnesium alloys	30-80 35-65 12-35 20-60	15-60 s 15-60 s 15-60 s ...	...
I-2	800 mL ethanol (absolute), 200 mL HClO ₄ (60%)	Stainless steel, aluminum	35-80	15-60 s	(b)
I-3	940 mL ethanol (absolute), 6 mL distilled H ₂ O, 34 mL HClO ₄ (70%)	Stainless steel Thorium	30-45 30-40	15-60 s 15-45 s	...
I-4	700 mL ethanol (absolute), 120 mL distilled H ₂ O, 100 mL 2-butoxyethanol, 80 mL HClO ₄ (60%)	Steel, cast iron, aluminum, aluminum alloys, nickel, tin, silver, beryllium, titanium, zirconium, uranium, heat-resistant alloys	30-65	15-60 s	(c)
I-5	700 mL ethanol (absolute), 120 mL distilled H ₂ O, 100 mL glycerol, 80 mL HClO ₄ (60%)	Stainless, alloy, and high-speed steels; aluminum, iron, iron-silicon alloys, lead, zirconium	15-50	15-60 s	(d)
I-6	760 mL ethanol (absolute), 30 mL distilled H ₂ O, 190 mL ether, 20 mL HClO ₄ (60%)	Aluminum, aluminum-silicon alloys, iron-silicon alloys	35-60	15-60 s	(e)
I-7	600 mL methanol (absolute), 370 mL 2-butoxyethanol, 30 mL HClO ₄ (60%)	Molybdenum, titanium, zinc, zirconium, uranium-zirconium alloy	60-150	5-30 s	...
I-8	840 mL methanol (absolute), 4 mL distilled H ₂ O, 125 mL glycerol, 31 mL HClO ₄ (70%)	Aluminum, aluminum-silicon alloys, iron-silicon alloys	50-100	5-60 s	...
I-9	590 mL methanol (absolute), 6 mL distilled H ₂ O, 350 mL 2-butoxyethanol, 54 mL HClO ₄ (70%)	Germanium Titanium Vanadium Zirconium Aluminum	25-35 58-66 30 70-75 30-60	30-60 s 45 s 3 s 15 s 15-60 s	(f) (g) (h)
I-10	950 mL methanol (absolute), 15 mL HNO ₃ , 50 mL HClO ₄ (60%)	Aluminum	30-60	15-60 s	...
Group II: Electrolytes composed of HClO₄ (60%) and glacial acetic acid					
II-1	940 mL acetic acid, 60 mL HClO ₄	Chromium, titanium, uranium, zirconium, iron, cast iron, carbon, alloy, and stainless steels	20-60	1-5 min	(j)
II-2	900 mL acetic acid, 100 mL HClO ₄	Zirconium, titanium, uranium, steels, superalloys	12-70	0.2-2 min	...
II-3	800 mL acetic acid, 200 mL HClO ₄	Uranium, zirconium, titanium, aluminum, steels, superalloys	40-100	1-15 min	...
II-4	700 mL acetic acid, 300 mL HClO ₄	Nickel, lead, lead-antimony alloys	40-100	1-5 min	...
II-5	650 mL acetic acid, 350 mL HClO ₄	3% silicon iron	...	5 min	(k)
Group III: Electrolytes composed of H₃PO₄ (85%) in water or organic solvent					
III-1	1000 mL H ₃ PO ₄	Cobalt	1-2	3-5 min	...
III-2	175 mL distilled H ₂ O, 825 mL H ₃ PO ₄	Pure copper	1.0-1.6	10-40 min	(m)
III-3	300 mL H ₂ O, 700 mL H ₃ PO ₄	Stainless steel, brass, copper, and copper alloys except tin-bronze	1.5-1.8	5-15 min	(m)
III-4	600 mL H ₂ O, 400 mL H ₃ PO ₄	α or α + β brass, copper-iron, copper-cobalt, cobalt, cadmium	1-2	1-15 min	(n)
III-5	1000 mL H ₂ O, 500 g H ₃ PO ₄ (pyrophosphoric acid)	Copper, copper-zinc	1-2	10 min	(m)
III-6	500 mL diethylene glycol monoethyl ether, 500 mL H ₃ PO ₄	Steel	5-20	5-15 min	(p)
III-7	200 mL H ₂ O, 380 mL ethanol (95%), 400 mL H ₃ PO ₄	Aluminum, magnesium, silver	25-30	4-6 min	(q)
III-8	300 mL ethanol (absolute), 300 mL glycerol (cp), 300 mL H ₃ PO ₄	Uranium	...	...	...
III-9	500 mL ethanol (95%), 250 mL glycerol, 250 mL H ₃ PO ₄	Manganese, manganese-copper alloys	18	...	...
III-10	500 mL distilled H ₂ O, 250 mL ethanol (95%), 250 mL H ₃ PO ₄	Copper and copper-based alloys	...	1-5 min	...
III-11	Ethanol (absolute) to make 1000 mL of solution; 400 g H ₃ PO ₄	Stainless steel, all austenitic heat-resistant alloys	...	10 min	(r)
III-12	625 mL ethanol (95%), 375 mL H ₃ PO ₄	Magnesium-zinc	15-2.5	3-30 min	...
III-13	445 mL ethanol (95%), 275 mL ethylene glycol, 275 mL H ₃ PO ₄	Uranium	18-20	5-15 min	(s)
Group IV: Electrolytes composed of H₂SO₄ in water or organic solvent					
IV-1	250 mL H ₂ O, 750 mL H ₂ SO ₄	Stainless steel	1.5-6	1-2 min	...
IV-2	400 mL H ₂ O, 600 mL H ₂ SO ₄	Stainless steel, iron, nickel	1.5-6	2-6 min	...
IV-3	750 mL H ₂ O, 250 mL H ₂ SO ₄	Stainless steel, iron, nickel	1.5-6	2-10 min	...
IV-4	900 mL H ₂ O, 100 mL H ₂ SO ₄	Molybdenum	1.5-6	0.1-1 min	(t)
IV-5	70 mL H ₂ O, 200 mL glycerol, 720 mL H ₂ SO ₄	Molybdenum	1.5-6	0.2-2 min	(t)
IV-6	220 mL H ₂ O, 200 mL glycerol, 580 mL H ₂ SO ₄	Stainless steel	1.5-6	0.5-3 min	...
IV-7	875 mL methanol (absolute), 125 mL H ₂ SO ₄	Stainless steel, aluminum	1.5-12	1-20 min	...
		Molybdenum	6-18	0.1-0.5 min	(w)
Group V: Electrolytes composed of CrO₃ in water					
V-1	830 mL H ₂ O, 620 g CrO ₃	Stainless steel	1.5-9	2-10 min	...
V-2	830 mL H ₂ O, 170 g CrO ₃	Zinc, brass	1.5-12	10-60 s	...

Table 2 Applicability of electrolytes in Table 1 to electropolishing of various metals and alloys

Metal	Electrolyte
Aluminum	I-1, I-2, I-4, I-5, I-6, I-8, I-10, II-3, III-7, IV-6
Aluminum-silicon alloys	I-6, I-8
Antimony	II-4
Beryllium	I-4
Bismuth	VI-18, VI-25
Cadmium	III-4
Cast iron	I-4, II-1
Chromium	II-1, VIII-1
Cobalt	I-5, III-1, III-4
Copper	III-2, III-3, III-4, III-5, III-10, VIII-1
Copper-nickel alloys	III-3, III-10, VIII-1
Copper-tin alloys	III-10, VI-5, VI-6, VIII-1
Copper-zinc alloys	III-3, III-4, III-5, III-10, V-2, VIII-1
Germanium	I-9
Gold	VII-1
Iron, pure	I-5, II-1, IV-2, IV-3
Iron-copper alloys	III-3, III-4
Iron-nickel alloys	I-5, II-1, II-2, II-4, IV-3, VIII-1
Iron-silicon alloys	I-5, I-6, I-8, II-5
Lead	I-1, I-5, II-4, VII-5
Magnesium	I-1, III-7, III-12, VI-19
Manganese	III-9
Molybdenum	I-7, IV-3, IV-4, IV-7, VI-20
Nickel	I-4, II-4, IV-2, VII-1
Nickel-chromium alloys	II-4, VIII-1
Silver	I-4, III-7, VII-1, VII-2, VII-3
Steel: austenitic stainless and superalloys	I-1, I-2, I-3, I-4, I-5, II-1, II-2, II-3, III-3, III-6, III-11, IV-1, IV-2, IV-3, IV-5, IV-6, V-1, VI-1, VI-2, VI-3, VI-4, VI-7, VI-8, VI-9, VI-10, VI-11, VI-13, VI-15, VI-16, VI-17, VIII-1
Steel: carbon and alloy	I-1, I-4, I-5, II-1, II-2, II-3, III-6, VI-3, VI-7, VI-11
Tantalum	VI-12
Thorium	I-3
Tin	I-4, VI-5, VI-6, VII-6
Titanium	I-4, I-7, I-9, II-1, II-2, II-3, VI-21
Tungsten	VII-4, VII-5
Uranium	I-4, I-7, II-1, II-2, II-3, III-8, III-13, VI-22
Vanadium	I-9
Zinc	I-1, I-5, III-12, VI-2, VI-14, VI-23, VII-6, VII-1
Zirconium	I-4, I-5, I-7, I-9, II-1, II-2, II-3, VI-24

الکترولیت مورد استفاده در الکتروپولیش کردن

Grinding and Polishing

- Abrasive particle size may varies from few micrometers to a few nanometers (9-1 μm ; 50 nm)
- The finishing of the sample surface is done by decreasing the abrasive particle size
- Usually the hardness of the material defines the grinding and polishing parameters
- ❖ Hard materials present high resistance to deformation: use of high rotation speeds of the polishing disc
- ❖ Soft materials are easily deformable: need low rotation speed of the polishing disc

Mechanical Grinding, Abrasion, and Polishing

بعضی از فلزات بدون اچ کردن تا حدودی ساختمان خود را نشان می دهند، مانند چدن خاکستری و یا گرافیت کروی که بدون اچ کردن گرافیت هایش مشخص است.



Fig. 49, 50, 51 Comparison of polishing methods for retention of graphite in gray iron. Fig. 49: results of polishing on 10- to 20- μm Al_2O_3 on long-nap billiard cloth. Fig. 50: results of polishing on 1- μm diamond on a synthetic suede short-nap cloth. Fig. 51: results of polishing on 1- μm diamond on cotton drill. All specimens were abraded on a fixed-abrasive lap before polishing. As-polished. 250 $\times$

Mechanical Grinding, Abrasion, and Polishing

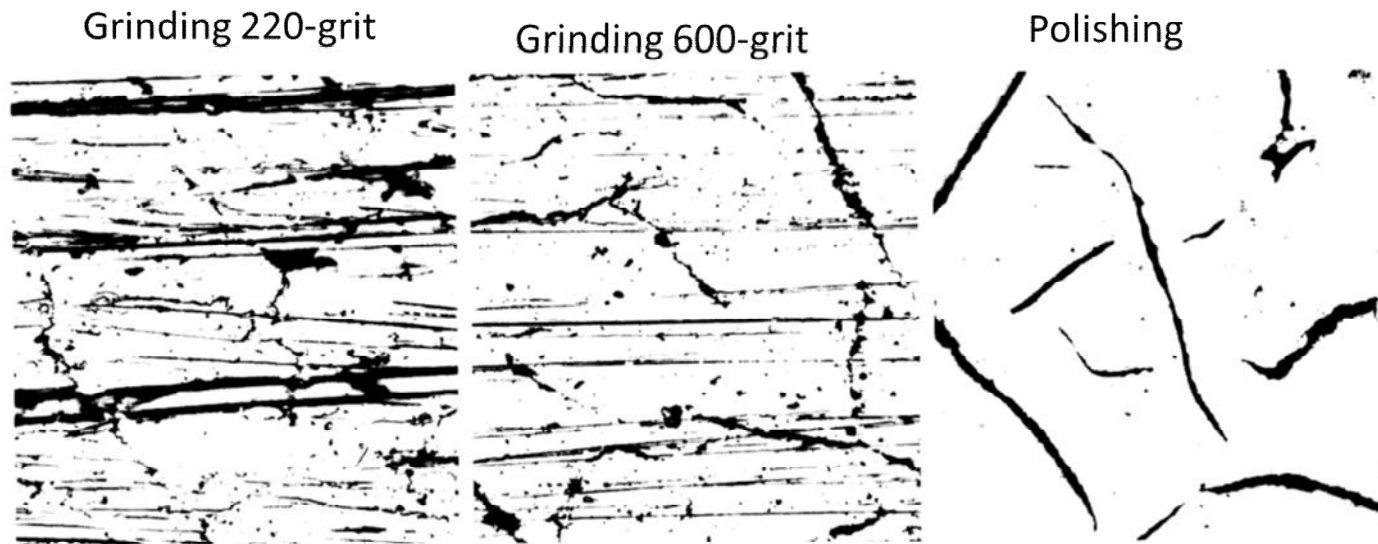


Fig. 23, 24, 25 Effects of abrasion on flake graphite in gray iron. Fig. 23: results of abrading on 220-grit silicon carbide paper. Fig. 24: results of abrading on 600-grit silicon carbide paper. Fig. 25: results of abrading on a fine fixed-abrasive lap. See also the taper section in Fig. 26 to 28. As-polished. 500×

اچ کردن و ظاهر سازی ساختار

اچ کردن به خوردگی سطح نمونه آماده سازی شده به وسیله یک مایع خورنده که معمولاً نوعی اسید است، گفته می شود. یک نمونه پرداخت شده ریزساختار خود را نشان نمی دهد زیرا نور تابش یافته به سطح به طور مستقیم بازتاب می شود و تفاوت های کوچک در این بازتاب به وسیله چشم قابل تشخیص نیست. برای این منظور عملیات اچ کردن انجام می شود. هدف از اچ کردن ظاهر کردن و قابل رویت ساختن ریز ساختار، دانه ها، مرزدانه ها و فازهای مختلف ساختار با ایجاد پستی و بلندی **عمدی** نمونه است.

Etching*

اچ کردن یعنی مرئی کردن ساختار بلورین فلز و ایجاد مغایرت بین اجزای مختلف آن می باشد. برای اچ کردن نمونه ها، آنها را در محلول اچ (معمولاً از نایتال، پیکرال، کلرید فریک و اسید کلریدریک، پرسولفات آمونیوم، اسید هیدروفلوریک و غیره استفاده می شود) غوطه ور می سازند تا کل سطح نمونه در آن حل شود سپس آن را با آب مقطر و سپس با الکل می شویند.

برای انجام کار باید نمونه را در داخل محلول اچ قرار می دهیم. البته زمان قرار دادن در داخل محلول به عواملی مانند **جنس فلز و نوع بررسی** بستگی دارد و می تواند از ۱ تا ۵۰ ثانیه متغیر باشد و بعد از گذاشتن قطعه در داخل محلول اچ و زمان موردنظر، آن را **سریعاً برداشته و می شوئیم و بعد سطح آن را با الکل تمیز می کنیم و سپس خشک می کنیم.**

Etching*

- اچ به لحاظ تکنیک انجام، به سه صورت غوطه وری، مالشی و الکترولیتی (الکترواچ) قابل انجام است.
 - اچ کردن به دو دسته اچ شیمیایی و الکترو اچ تقسیم می شود.
 - اچ شیمیایی کردن نیز به دو گروه میکرو اچ (اچ معمولی و رنگی) و ماکرواچ (اچ سرد و گرم) تقسیم می شود.
- در الکترواچ همانند الکتروپولیش، نمونه به عنوان آند در محلولی متناسب با جنس نمونه قرار گرفته و با استفاده از یک کاتد مناسب و اتصال به جریان الکتریکی در مدت زمان معینی عمل اچ انجام می شود.
- میکرو اچ شیمیایی جهت آشکارسازی ریزساختار فلزات با استفاده از یک محلول شیمیایی همچون نایتال ۲-۳٪ برای فولادها (شامل ۹۷-۹۸٪ الکل و ۲-۳٪ اسیدنیتریک) بصورت غوطه وری یا مالشی صورت می پذیرد.

Etching*

در روش غوطه وری؛ محلول، داخل ظرفی همچون شیشه ساعت ریخته شده و سطح نمونه تا مدت زمان معینی درون آن حرکت داده می شود. حرکت نمونه درون محلول جهت جلوگیری از تشکیل حباب بر سطح نمونه و کنده شدن محصولات خوردگی از سطح به منظور ایجاد اچی تمیز و یکنواخت ضروری است.

روش مالشی که عمدتاً در آلیاژهای مس بکار می رود با استفاده از یک پنبه آغشته به محلول و مالیدن آن به سطح نمونه جهت برداشتن محصولات خوردگی همزمان با اچ صورت می پذیرد.

ترکیبات مختلف محلول اچ و شرایط اچ برای آشکارسازی ریزساختار انواع آلیاژها در استاندارد ASTM E 407، متالز هندبوک جلد ۹ و کتابها و منابع دیگر آمده است.

Etching*

هرگاه نمونه ای به اندازه کافی اچ نشده باشد، بعد از نخستین غوطه وری، این فرآیند ممکن است تکرار شود.

هرگاه نمونه زیاد اچ شده باشد، بایستی آنرا پولیش نموده مجدداً اچ نمود. بلافاصله بعد از اچ کردن نمونه را بایستی با آب گرم شست تا عمل اچ شدن متوقف شود، سپس در الکل فرو برده و سرانجام در معرض وزش هوای گرم، خشک کرد.

بنابراین به منظور جلوگیری از لکه آب، خشک کردن سریع، مهم است.

Acid etching

- Acid etching is used to reveal the microstructure of the sample for post observation by microscopy technique
- A proper sample to applying etching must present a smooth surface carefully polished, without scratches or deformation
- A well-polished surface do not exhibit its microstructure since light is homogeneously reflected along it
- Usually the microstructure of the material is visible after acid etching
- The different grains and orientations of the crystallographic structure of the material cause a difference in light reflection which allows the visualization of the microstructure

Etching parameters

- Exposition time: The times may vary from a few seconds to hours
 - Acid temperature: The acid temperature and exposition time are closely linked. Usually the greater the acid temperature the lesser the etching time
 - The quality of etching may be affected according the etching times
 - Usually the etching procedure is performed in ambient temperature
-

Name	Active constituent	Nominal composition, % by weight ^(a)	Specific gravity
Aqueous acids			
Acetic acid, glacial	HC ₂ H ₃ O ₂	99.5	1.05
Fluoboric acid	HBF ₄	48	1.32
Hydrochloric acid ^(b)	HCl	37	1.18
Hydrofluoric acid	HF	48	1.15
Lactic acid	HC ₃ H ₅ O ₃	85	1.20
Nitric acid	HNO ₃	70	1.42
Perchloric acid	HClO ₄	70 60	1.67 1.53
Phosphoric acid (ortho)	H ₃ PO ₄	85	1.70
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄	96 ^(c)	1.84

Most used acids:

☐ Hydrochloric (HCl)

☐ Hydrofluoric (HF)

☐ Nitric (HNO₃)

☐ Phosphoric (H₃PO₄)

☐ Sulfuric (H₂SO₄)

Etching*

Table 1 Characteristics of aqueous liquid chemicals used in metallographic etchants
Except for H₂SO₄, all data apply to laboratory and technical or commercial grades of chemicals

Name	Active constituent	Nominal composition, % by weight(a)	Specific gravity
Aqueous acids			
Acetic acid, glacial	HC ₂ H ₃ O ₂	99.5	1.05
Fluoboric acid	HBF ₄	48	1.32
Hydrochloric acid(b)	HCl	37	1.18
Hydrofluoric acid	HF	48	1.15
Lactic acid	HC ₃ H ₅ O ₃	85	1.20
Nitric acid	HNO ₃	70	1.42
Perchloric acid	HClO ₄	70	1.67
		60	1.53
Phosphoric acid (ortho)	H ₃ PO ₄	85	1.70
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄	96(c)	1.84
Miscellaneous aqueous chemicals			
Ammonium hydroxide	NH ₄ OH	28(d)	0.90
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂	3(e)	1.01
		30(f)	1.11
		50(g)	1.20

(a) Nominal percentage of the active constituent; remainder is water. Reagents made by different manufacturers may differ slightly in nominal concentration and allowable range of concentration. (b) Technical grade is also called muriatic acid. (c) Laboratory grade. Technical grade has concentration of 93%. (d) Percent NH₃. (e) Sometimes called 10 volume. (f) Sometimes called 100 volume. (g) Sometimes called 170 volume

Table 2 Characteristics of pure methanol and ethanol

Name	Active constituent	Nominal composition, % by weight(a)
Methanol	CH ₃ OH	99.5(b)
Methanol, 95%	CH ₃ OH	95(c)
Ethanol, anhydrous	C ₂ H ₅ OH	99.5(d)(e)
Ethanol, 95%	C ₂ H ₅ OH	95(e)

معرفهای اچ کننده(ظاهر کننده) انتخابی برای آزمایش میکروسکوپی فلزات.

فلزها	اچ کننده(ظاهر کننده)	ترکیب	ملاحظات
آهن و فولاد	شماره ۱، نیتال	۱٪ تا ۵٪ اسید نیتریک ۹۵٪ تا ۹۹٪ متیل الکل	فولادهای کربنی - پرلیت را تیره می‌کند، مرزهای دانه ای را ظاهر می‌کند مصرف عمومی برای فولادهای تندبر زمان: ۵ تا ۶۰ ثانیه
	شماره ۲، پیکرال	۳ گرم اسید پیکریک ۱۰۰ میلی گرم متیل الکل	کربن و فولادهای کم آلیاژ عمل آورده شده
		الکل	حرارتی یا عمل آورده نشده زمان: ۵ تا ۲۰ ثانیه
	شماره ۳ کلرید آهن (کلروفریک) و اسید هیدروکلریک	۵ گرم  ۵ میلی گرم اسید هیدروکلریک ۱۰۰ میلی لیتر آب	ساختمان فولادهای ضد زنگ و نیکل دار استینی را ظاهر می‌کند
	شماره ۴، عمل آوردن حرارتی	گرم کردن	*
مس و آلیاژهای آن		نمونه روی بشقاب گرم رو به بالا، ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه فارنهایت	پرلیت تغییر رنگ می‌دهد و سمیتیت کمتر تغییر می‌کند بویژه برای چدن بسیار مفید است. زمان: ۱۰ تا ۶۰ دقیقه
	شماره ۵، هیدروکسید آمونیوم - پیروکسید هیدروژن	قسمت NH و OH (وزن مخصوص ۸۸/۰) ۵ قسمت آب، ۵-۲ قسمت (۳٪) 	ظاهر کننده عمومی برای مس و آلیاژهای آن زمان: ۱ دقیقه
	شماره ۶، اسید کرومیک	محلول رقیق اشباع شده 	مس، برنج، برنز و نقره نیکلی
	شماره ۷، کلروفریک	۵ گرم کلرور فریک، ۹۶ میلی لیتر الکل اتیلیک، ۲ میلی لیتر اسید کلریدریک	مس، آلومینیوم، منیزیم، نیکل و آلیاژهای روی زمان: ۱ ثانیه تا چند دقیقه
آلومینیوم و آلیاژهای آن	شماره ۸، اسید فلئوریدریک	۵/۰ میلی لیتر کلروفریک ۵/۹۹ میلی آب	ظاهر کننده عمومی با جاروب کردن بکار ببرید زمان: ۱۵ ثانیه
	شماره ۹، هیدروکسید سدیم	۱۵ گرم سود ۹۰ میلی لیتر آب	ظاهر کننده عمومی، می‌تواند برای هر دو ظاهر ساختن درشت و ریز بکار رود زمان: ۵ ثانیه
منیزیم و آلیاژهای آن	شماره ۱۰، گلیکول	۷۵ میلی لیتر گلیکول اتیلن، ۲۴ میلی لیتر آب، ۱ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ	تقریباً برای همه آلیاژهای منیزیم زمان: ۳ تا ۶۰ ثانیه

مطالعات ماکروسکوپی

در این روش، ابتدا یک نمونه از قطعه فلزی برش داده شده و سطح آن به دقت صیقلی می‌شود. سپس، نمونه در یک ماده شیمیایی خورنده (اسید یا باز) غوطه‌ور می‌شود. این ماده، که معمولاً ترکیبی از اسید کلریدریک و آب است، بخش‌های مختلف نمونه را به طور یکسان نمی‌خورد و باعث آشکار شدن ساختار داخلی می‌شود. در نهایت، سطح نمونه با چشم غیرمسلح یا زیر بزرگنمایی کم (معمولاً تا ۱۰ برابر) بررسی می‌شود.

بدلیل پایین بودن بزرگنمایی، بررسی‌های ماکروسکوپی در تحقیقات فلزات، بیشتر در مراحل ابتدایی و اولیه بکار گرفته می‌شوند و مطالعات دقیق تر و نهایی، دیگر در این مقیاس قابل بررسی نمی باشند.

مطالعه ساختارهای ماکروسکوپی، می‌تواند هم‌طور مستقیم بر روی سطح فلز (به عنوان مثال بر روی سطح قطعات ریخته گری یا قطعات آهنگری شده) صورت می‌گیرد و هم‌بر روی مقاطع شکست و نیز بعد از انجام عملیات سطحی ویژه بر روی سطح قطعه انجام می‌شود.

کاربرد متالوگرافی در بررسی های ماکروسکوپی ساختار فلزات و آلیاژها

□ بررسی مقاطع شکست قطعات به منظور تعیین علل شکست و نیز نوع شکست از نقطه نظر اینکه، این شکست از نوع ترد Brittle Fracture بوده و یا از اینکه و یا از نوع نرم Ductile Fracture می باشد.

لازم به ذکر است مقطع شکست ترد، به صورت صیقلی دیده می شود، در حالیکه مقطع شکست نرم، بدلیل وجود ناهمواری (پستی و بلندی) تیره دیده می شود. شکست نرم با تغییر فرم پلاستیک همراه است.

□ تعیین حفره های انقباضی، حفره های گازی، شکافها و محفظه های تشکیل شده در فلز ریخته شده (شمش ها یا قطعات ریختگی) که در اثر شرایط نامناسب ذوب و ریخته گری و انجماد حاصل می شوند.

□ ترکهای تشکیل شده در فلز نورد یا آهنگری شده، در حین انجام کار مکانیکی یا عملیات حرارتی.

□ مکهای گازی که ضمن جوشکاری در محل جوش بوجود می آیند.

تفاوت ماکرواچ با میکرواچ

ویژگی	ماکرواچ (Macroetch)	میکرواچ (Microetch)
بزرگنمایی	کم (معمولاً تا ۱۰ برابر)	زیاد (از ۵۰ تا ۱۰۰۰ برابر)
نوع بررسی	ماکروساختار (ساختار درشت و کلی)	میکروساختار (جزئیات فازها و دانه‌ها)
هدف	عیوب کلان مانند ترک، حفره، جدایش	بررسی ریزساختار مانند پرلایت، مارتنزیت
تجهیزات	چشم غیرمسلح یا لوپ (ذره‌بین)	میکروسکوپ نوری یا الکترونی

Mechanical Grinding, Abrasion, and Polishing Etching*

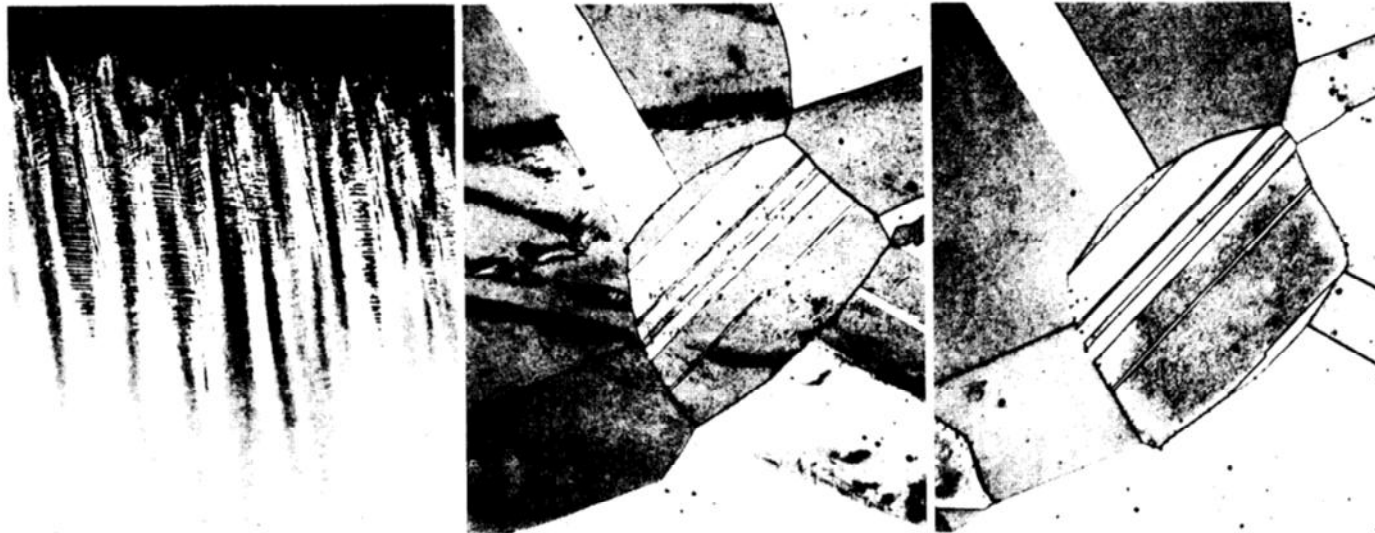


Fig. 1, 2, 3 Annealed 70-30 brass. Fig. 1: taper section (horizontal magnification $600\times$, vertical magnification $4920\times$) of surface layers that were abraded on 220-grit silicon carbide paper. Fig. 2 and 3: results of abrading on 220-grit silicon carbide paper and then polishing until about $5\text{ }\mu\text{m}$ (Fig. 2) and $15\text{ }\mu\text{m}$ (Fig. 3) of metal are removed. The banded markings in Fig. 2 are false structures (abrasion artifacts). Figure 3 shows the true structure. Aqueous ferric chloride. $250\times$

Effect of etching time

Effect of etching time in the disappearance of scratches in a Brass sample. Longer etching times remove scratches and the damaged layer

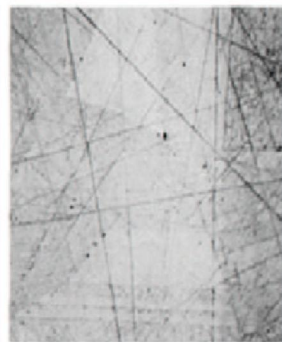


Fig. 42

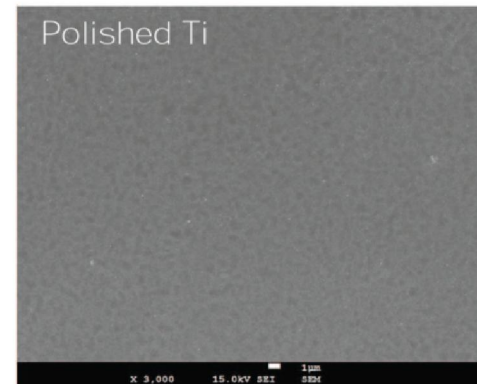
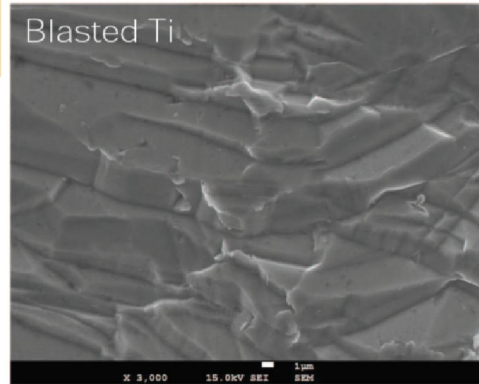


Fig. 43



Fig. 44

Effect of incremental increases in etching time on appearance and disappearance of scratches on a specimen of annealed 70-30 brass that was polished on fine Al_2O_3 . Fig. 44: longer etching time removes scratches and the damaged layer. Aqueous FeCl_3 , 250×



آنالیز میکروسکوپی

پس از انجام کامل مراحل آماده سازی نمونه متالوگرافی که توضیح داده شدند، نمونه برای انجام آنالیز میکروسکوپی آماده می شود. بسته به نوع آنالیز و اهمیت نمونه متالوگرافی از انواع مختلف آنالیز میکروسکوپی استفاده می شود.

میکروسکوپ نوری (OM)

در میکروسوپ های نوری که برای متالوگرافی استفاده می شود اساس کار بر فاصله نمونه تا آشکارساز و انعکاس نور از نمونه است. به این صورت که نمونه را در محل مخصوص قرار می دهیم، شدت نوری که به نمونه تابیده می شود را توسط دیافراگم تنظیم و سپس از چشمی دستگاه نگاه میکنیم و پیچ تنظیم را می چرخانیم تا تصویر واضح شود.

استاندارد این آنالیز ASTM E 883 است.

Optical examination

- ❖ Optical microscopy

- It is still one of the most important techniques to analyze the microstructure of the materials

Major components

- Illumination system (light source with variable intensity)
- Condenser lenses (adjustable lenses for focusing the light beam);
- Objective lens (It forms the image being the most important component of the microscope)



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Upright bench microscope. (b) Inverted bench microscope (Nikon, Inc.; Unitron Instruments, Inc.)



Optical Microscopy

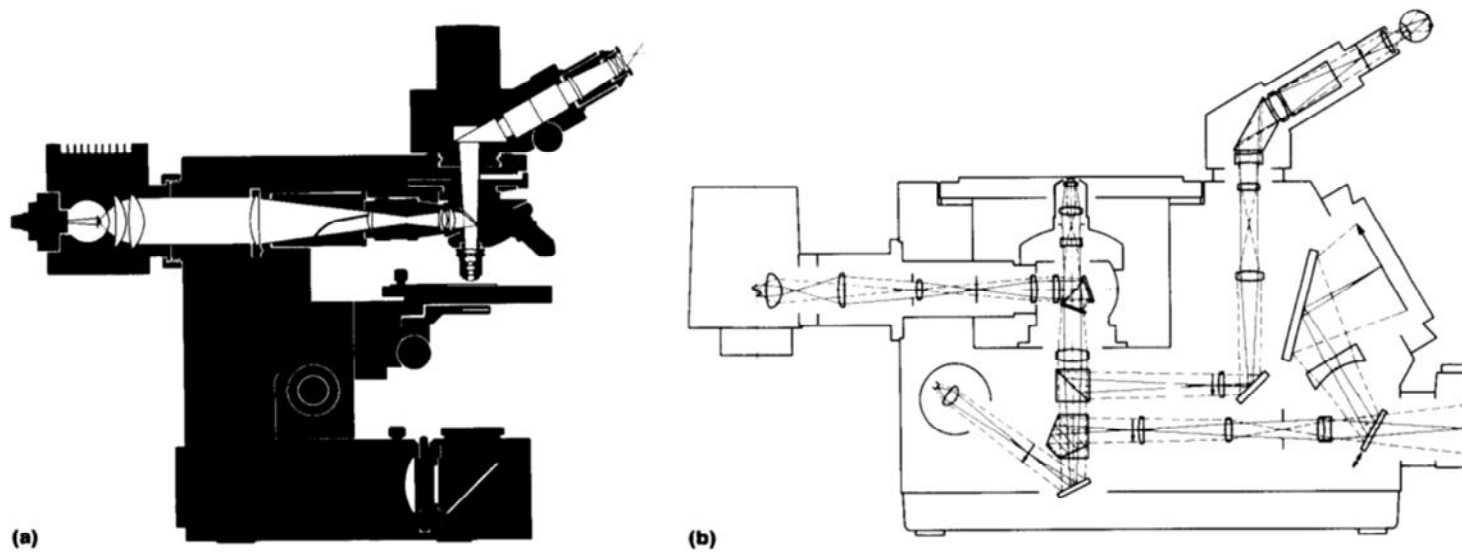


Fig. 1 Light paths in (a) an upright incident-light microscope and (b) an inverted incident-light microscope. (E. Leitz, Inc.; C. Zeiss, Inc.)

میکروسکوپ مستقیم (Upright)

ساختار و اجزا

- منبع نور در پایین و عدسی شیئی در بالای نمونه قرار دارد.
- نمونه روی صفحه در پایین دستگاه قرار می‌گیرد.
- نور از پایین به نمونه می‌تابد و از بالا مشاهده می‌شود.

مزایا

- رایج‌ترین نوع موجود در آزمایشگاه‌ها
- ارزان‌تر نسبت به نوع وارونه
- آسان‌تر برای استفاده و تنظیم
- مناسب برای لام‌های استاندارد (لامل)

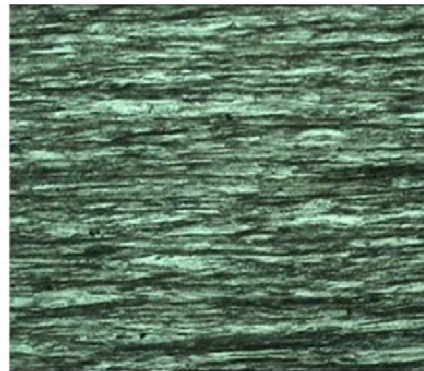
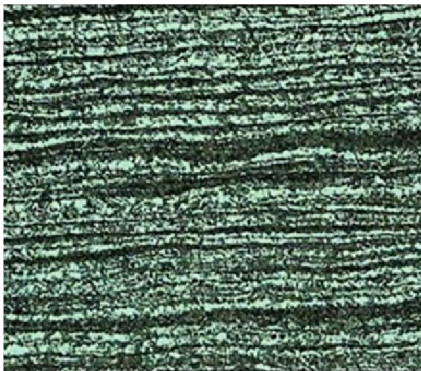
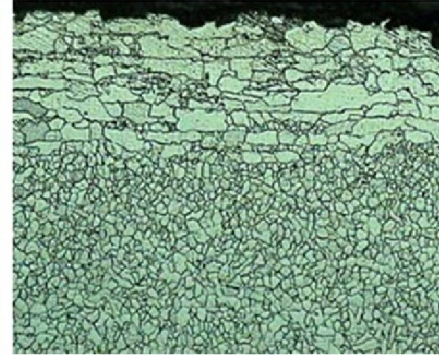
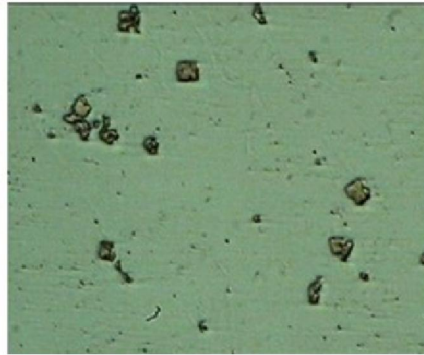
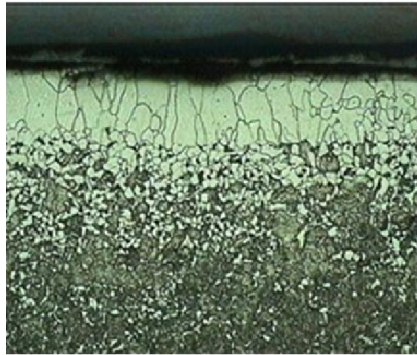
میکروسکوپ وارونه (Inverted)

ساختار و اجزا

- منبع نور در بالا و عدسی شیئی در پایین نمونه قرار دارد.
- نمونه روی یک صفحه بزرگ و ثابت از بالا قرار می‌گیرد.
- نور از بالا به نمونه می‌تابد و از پایین (از طریق عدسی شیئی) مشاهده می‌شود.

مزایا

- امکان مشاهده نمونه‌های بزرگ و حجیم (تا چند سانتی‌متر ضخامت)
- نمونه نیازی به لام و لامل ندارد (می‌توان مستقیماً در ظرف کشت بررسی کرد)
- فوکوس کردن ایمن‌تر زیرا عدسی شیئی در پایین ثابت است و نمونه از بالا حرکت می‌کند
- امکان مشاهده رسوبات و سلول‌های ته نشین شده در کف ظرف



Examination modes

Bright field

- ❖ Vertical illumination
- ❖ Most used method to the observation of the surface structures
- ❖ Light passes through the objective lens and impinges on the sample surface
- ❖ Structures perpendicular to the beam reflects the light back to the lens and appear as bright regions
- ❖ Structures not perpendicular to the beam reflects less light back to the lens and appear as dark regions

Dark field

- ❖ The reflected light from regions not perpendicular to the beam is collected
- ❖ The reflected light from regions perpendicular to the beam is blocked
- ❖ The bright intensity is the opposite of the bright field
- ❖ This mode allows the study of the grains.

Bright field components

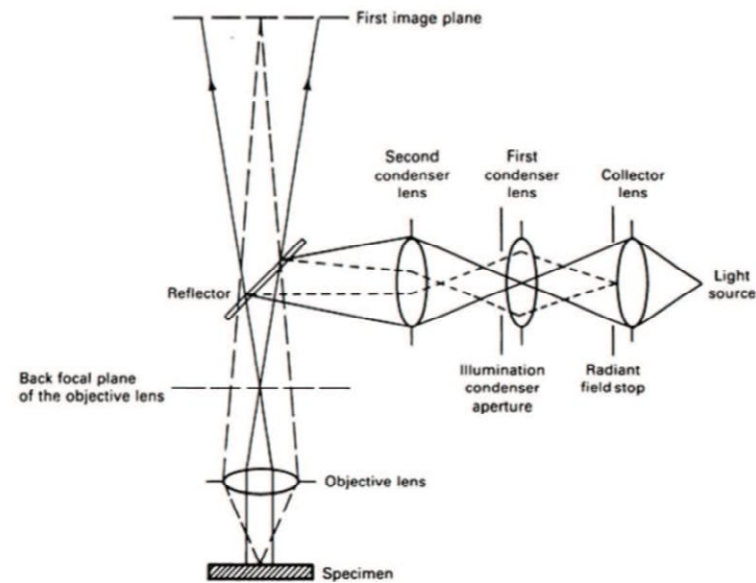


Fig. 1 The Köhler illumination principle in incident light microscopy

نور به صورت عمودی و مستقیم به سطح صیقلی و صاف نمونه می‌تابد. سطوح صاف مانند آینه، نور را مستقیماً به سمت عدسی شیئی باز می‌گردانند و باعث روشنایی زمینه می‌شوند.

Dark field components

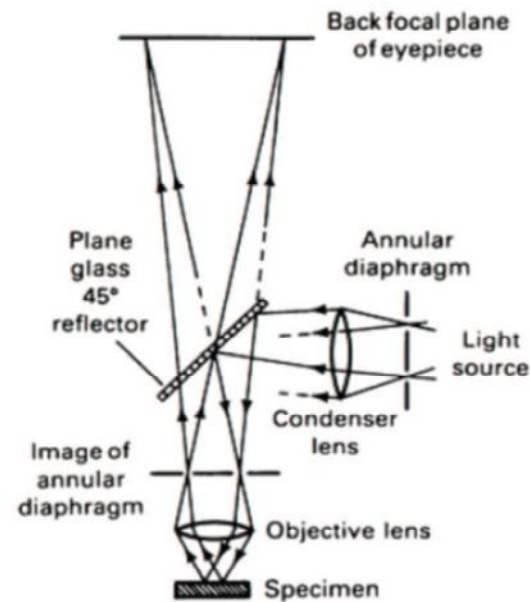


Fig. 2 Principles of dark-field illumination. Basic components of an opaque-stop microscope

نور از زاویه بسیار مایل و از اطراف به سطح نمونه می‌تابد. سطوح صاف، نور را در جهت مخالف منعکس می‌کنند و نوری وارد عدسی نمی‌شود، اما عیوب و ناهمواری‌ها باعث پخش (پراکندگی) نور شده و بخشی از آن وارد عدسی می‌شود و درخشش آن‌ها را نشان می‌دهد.

Bright and dark field examination

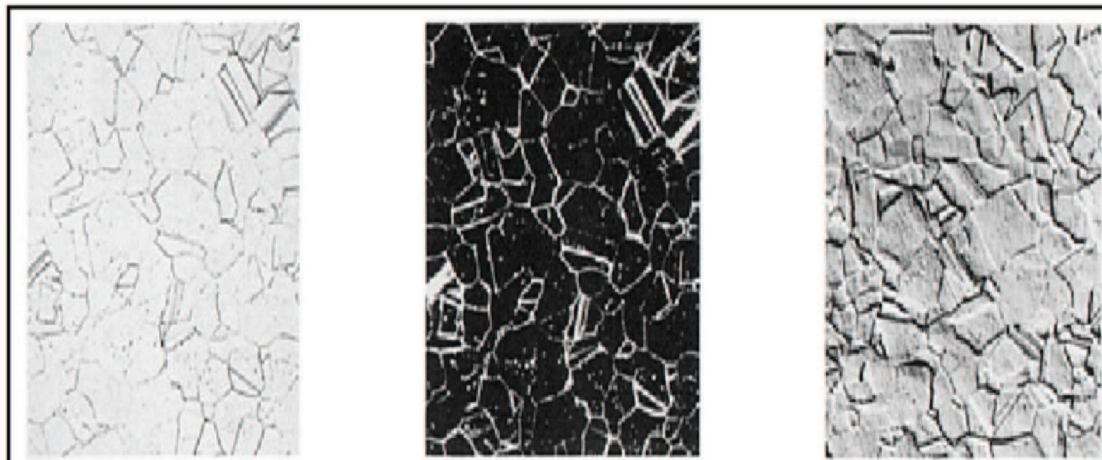


Fig. 16

Fig. 17

Fig. 18

Austenitic stainless steel (Fe-20Cr-33Ni-2.5Mo-3.5Cu and Nb + Ta), solution annealed. Fig. 16: bright-field illumination. Fig. 17: dark-field illumination. Fig. 18: differential interference-contrast illumination. 15 mL HCl, 10 mL acetic acid, 10 mL HNO₃, and 2 drops glycerol, 400×

Polarized light

- ❖ The light emitted by the source is not polarized (vibrations in many directions)
- ❖ By passing through a polarizer the light starts to vibrate in only one direction or at a same plane towards its propagation direction
- ❖ This mode is widely used to analyse anisotropic materials (Zr, α Ti, among others)
- ❖ When light impinges on an anisotropic surface reflections in two different polarization planes might occur
- ❖ The directions, polarization intensity and phase difference depend on the crystallographic structure of the material
- ❖ The difference among the reflected waves is responsible for the image contrast

تصویر نور پلاریزه

ظاهر تصویر: کنتراست رنگی یا روشنایی متغیر بر اساس جهت بلوری دانه‌ها.

نحوه عملکرد: با استفاده از دو فیلتر پلاریزه کننده، نور با قطبش مشخص به نمونه می‌تابد. برخی فازها و کانی‌ها (مانند گرافیت در چدن) خاصیت بازتاب انتخابی دارند و بسته به جهت خود، نور را با قطبش متفاوت باز می‌گردانند که باعث ایجاد کنتراست رنگی زیبایی می‌شود.

کاربرد: تشخیص و بررسی فازهای ناهمسانگرد مانند گرافیت، شناسایی ساختار دانه‌ها در فلزاتی مانند تیتانیوم، برلیوم و برخی آلیاژها و ارزیابی تنش‌های پسماند

Polarized light components

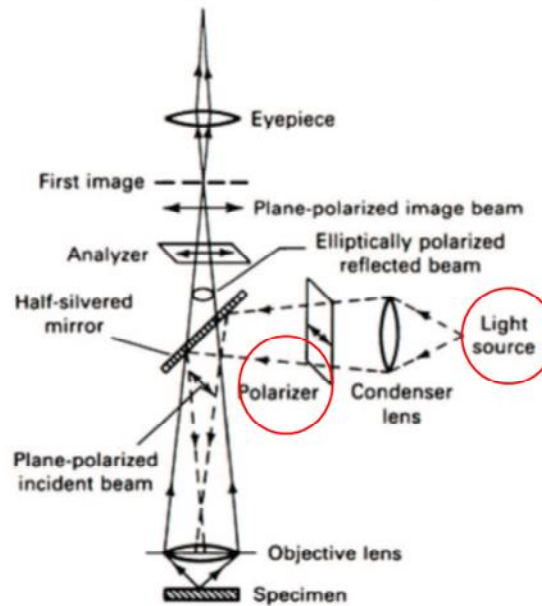


Fig. 3 Principles of polarized light microscopy

Polarized light examination



Fig. 27

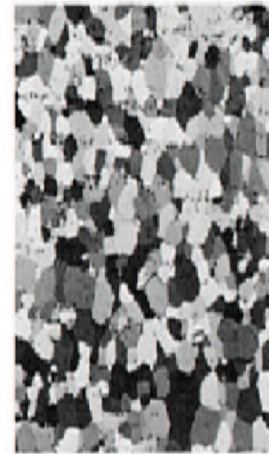
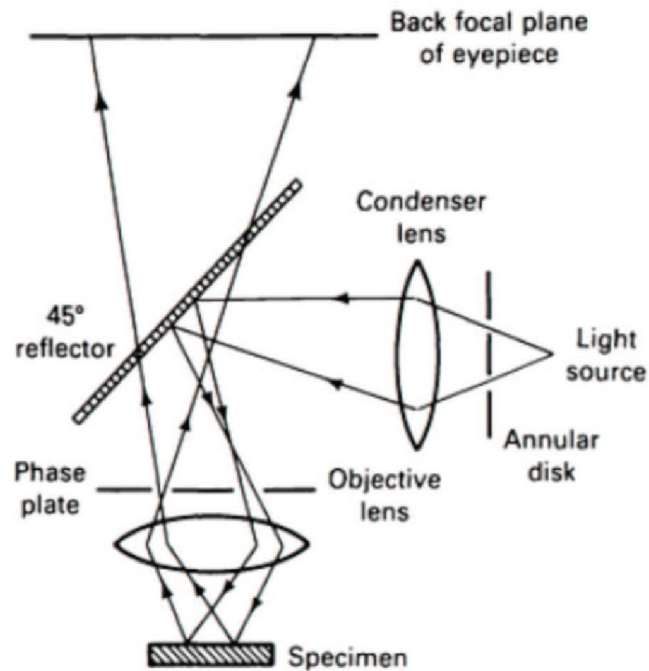


Fig. 28

Polycrystalline zirconium. Fig. 27: bright-field illumination. Fig. 28: crossed polarized light illumination. Chemically polished in 45 mL HNO_3 , 45 mL H_2O_2 , and 10 mL HF. 100×

Phase contrast components



این روش از تداخل امواج نور برای تشخیص اختلاف ارتفاع بسیار جزئی در سطح نمونه استفاده می‌کند. یک منشور، پرتو نور را به دو پرتو مجزا تقسیم می‌کند و پس از بازتاب از نمونه، آن‌ها را دوباره ترکیب می‌کند. اختلاف مسیر نوری این دو پرتو در نقاط با ارتفاع متفاوت، کنتراست شبه‌سه‌بعدی ایجاد می‌کند.

ویژگی	میدان روشن (Brightfield)	میدان تاریک (Darkfield)	نور پلاریزه (Polarized)	کنتراست فازی
زمینه تصویر	روشن	تاریک	متغیر / رنگی	خاکستری با سایه
نمونه مورد نظر	صاف، اچ شده	دارای ناهمواری سطحی	فازهای ناهمسانگرد	دارای ریزتوپوگرافی
هدف اصلی	آنالیز عمومی فازها و ساختار	یافتن عیوب ریز سطحی (خراش، ترک)	شناسایی فازها و جهت بلوری	مشاهده جزئیات و برجستگی سطح
آماده سازی سطح	صیقلی و اچ شده	صیقلی (نیاز به اچ قوی ندارد)	صیقلی (معمولاً اچ نشده)	صیقلی و اچ شده



Fig. 51 Graphite nodule examined in bright-field illumination. As-polished. 1000×

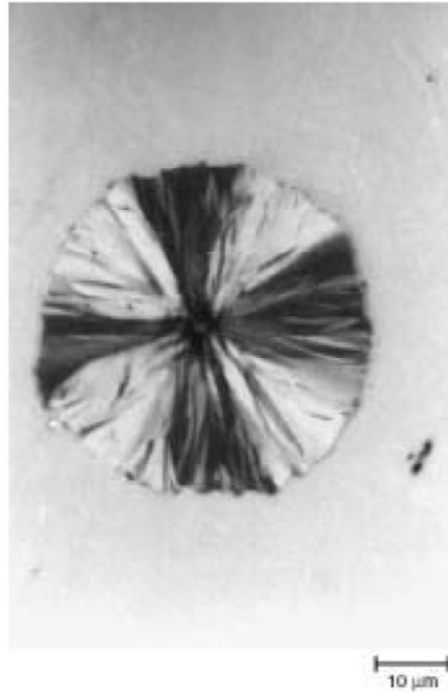


Fig. 52 Same as in Fig. 51, but graphite nodule was examined in crossed polarized light. 1000×



Fig. 54 Same as in Fig. 33 but microstructure was examined in crossed polarized light. Acicular ferrite is shining brightly; plate martensite is slightly gray-blue. 1000×

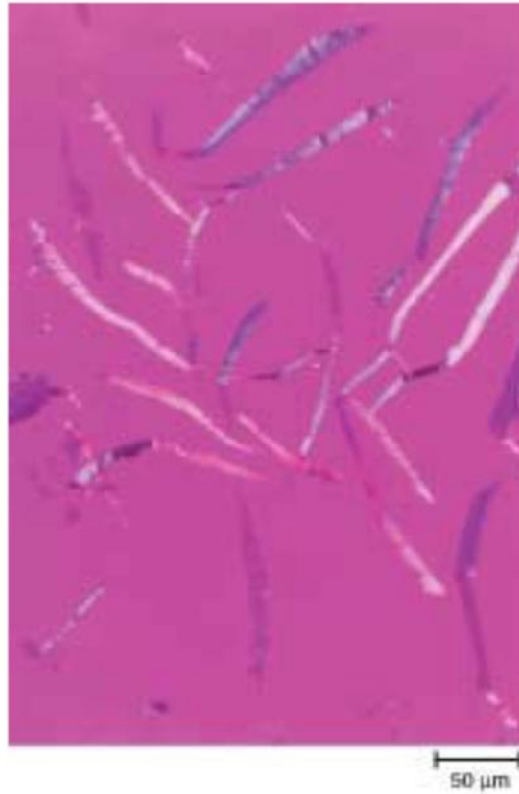


Fig. 53 Flake graphite in as-cast gray iron examined in crossed polarized light. As-polished. 200×

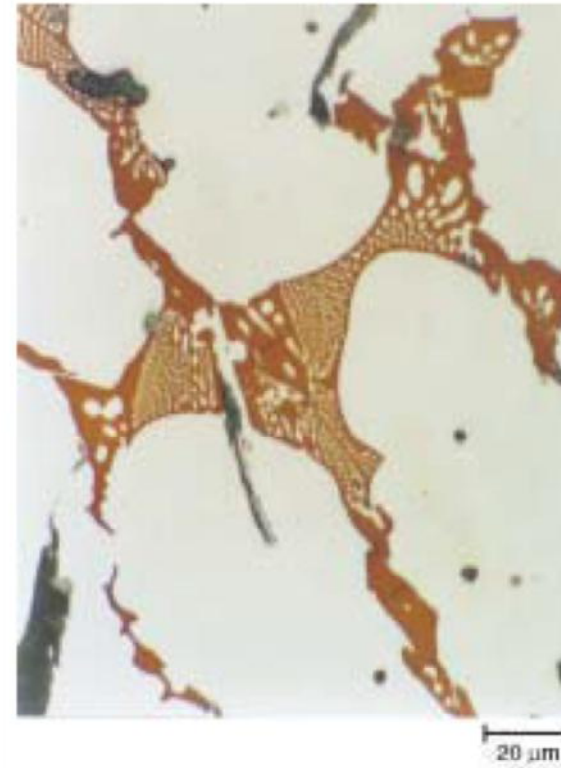
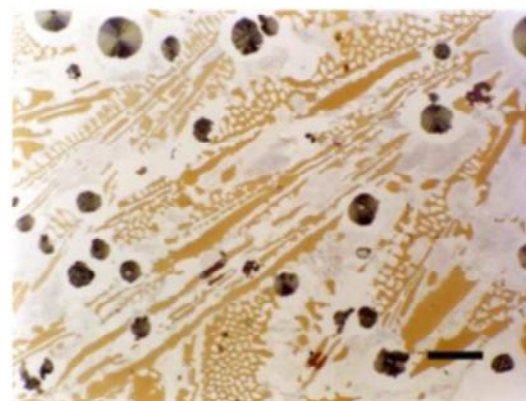
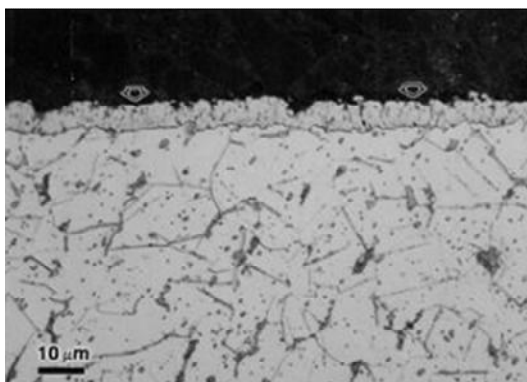
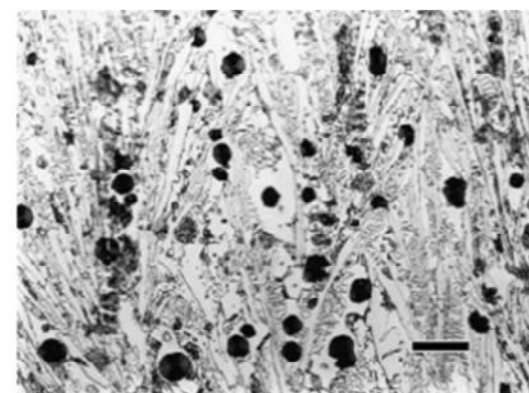


Fig. 31 Same as in Fig. 29 but after etching with hot Murakami reagent. Only brown-tinted iron phosphide was revealed. 500×



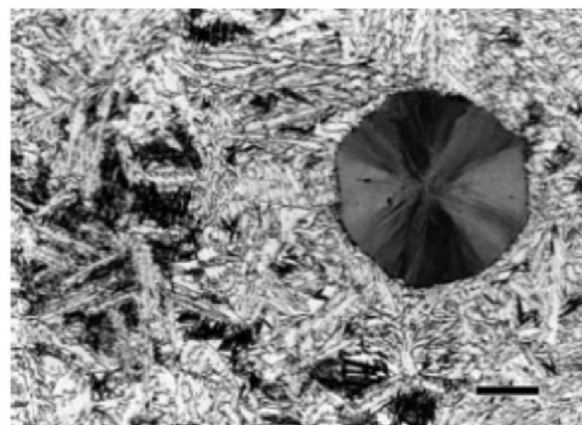
ساختار سمنتیت، فریت و پرلیت در چدن داکتیل
بعد از اچ با پیکرات سدیم قلیایی داغ



ساختار سمنتیت، فریت و پرلیت در چدن داکتیل
بعد از اچ با نایتال ۴%



ساختار بینیت، آستنیت، مارتنزیت در چدن ADI
 بعد از اچ با محلول Beraha-Martensite



ساختار بینیت، آستنیت، مارتنزیت در چدن ADI
 بعد از اچ با نایتال ۴%

نرم افزارهای تحلیل تصویر

تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ های نوری یا الکترونی با استفاده از نرم افزارهای تخصصی مانند [Image]، Clemex، یا Metallos تحلیل می شوند. این نرم افزارها توانایی دارند:

- اندازه گیری اندازه دانه (Grain Size) با روش ASTM E ۱۱۲

- محاسبه درصد فازها یا توزیع آنها

- شمارش و دسته بندی آخال ها، ترک ها، حفرات یا تخلخل ها

- تحلیل مرزدانه ها و تعیین جهت گیری های بافتی

این نرم افزارها نه تنها به کمی سازی ساختار کمک می کنند؛ بلکه امکان ذخیره سازی، گزارش گیری و مقایسه نتایج را نیز فراهم می سازند.

میکروسکوپ های الکترونی روبشی (SEM) و الکترونی عبوری (TEM)

اساس کار در میکروسکوپ های الکترونی تولید الکترون و پرتاب آنها به سمت نمونه برای تصویر است. یکی از قسمت های مهم در میکروسکوپ های الکترونی تفنگ الکترونی است که به وسیله رشته های تنگستن کار تولید الکترون را انجام می دهد و از سطح عبور می کند (همین ویژگی سبب می شود که تصویر بهتر از میکروسکوپ های نوری باشد). سپس با استفاده از لنزهای مغناطیسی الکترون ها متمرکز می شوند و پرتو هایی از این الکترون ها در ایجاد تصویر استفاده می شوند که باعث می شود تصویر به دست آمده از این نوع آنالیز وضوح و بزرگنمایی بیشتری نسبت به میکروسکوپ های نوری داشته باشد. نکته ای که در آنالیز میکروسکوپ های الکترونی باید در نظر گرفته شود این است که سطح نمونه حتما باید رسانا باشد.

مستندات و استانداردهای مرجع متالوگرافی

استاندارد های ASTM

E3:

آماده سازی نمونه های متالوگرافی

E7 :

اصطلاحات فنی در رابطه با متالوگرافی

E45 :

تکنیک تعیین مقدار ناخالصی های موجود در فولاد

E1920 :

راهنمای آماده سازی متالوگرافی پوشش های ترمال اسپری

E340 :

روش تست ماکرواچ فلزات و آلیاژهای آنها

E407 :

روش های تست میکرواچ فلزات و آلیاژهای آنها

مستندات و استانداردهای مرجع متالوگرافی
استاندارد های ASTM

E768 :

رویه آماده سازی و ارزیابی نمونه ها برای برآورد اتوماتیک ناخالصی های فولاد

E1122 :

رویه به دست آوردن نسبت ناخالصی مورد استفاده در آنالیز اتوماتیک تصاویر

E1245 :

رویه تعیین میزان ناخالصی یا فازهای ثانویه توسط آنالیز اتوماتیک تصاویر

E1268 :

رویه ارزیابی درجه جهت گیری میکروساختار

E1558 :

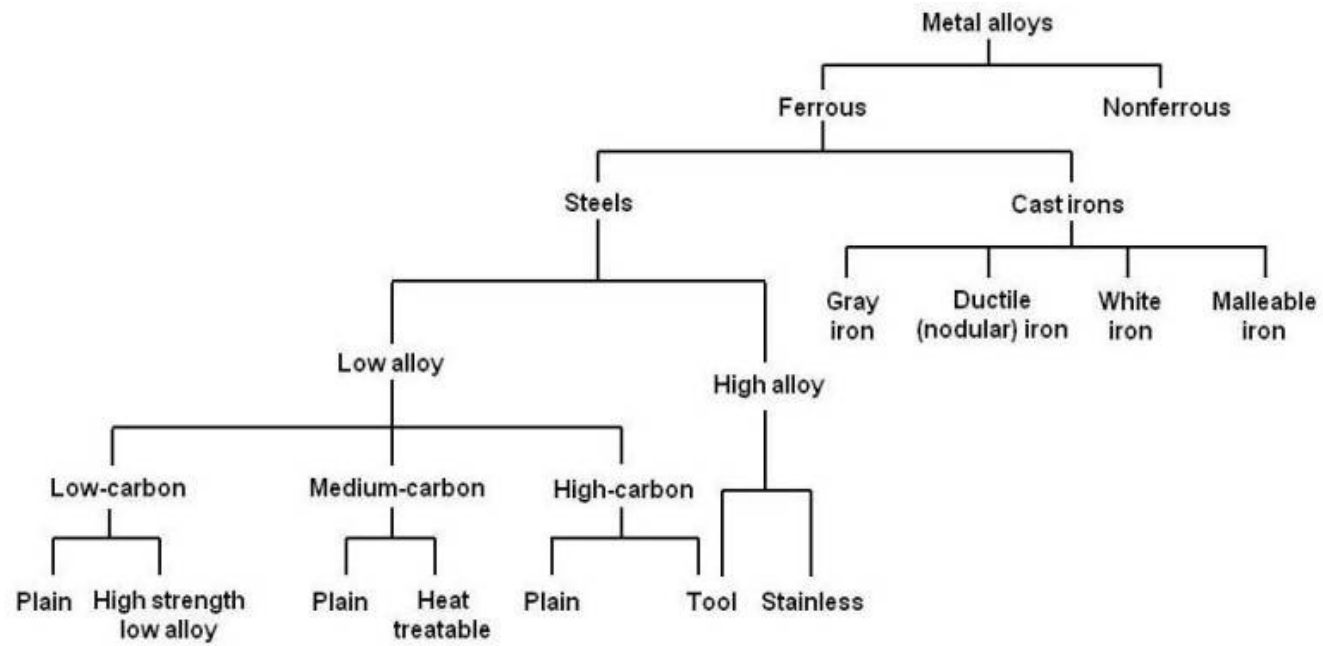
راهنمای پولیش الکترولیتی نمونه های متالوگرافی

جدول خلاصه استانداردهای متالوگرافی

استاندارد	توضیحات
ASTM E3	راهنمای آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی، شامل برش، پولیش و اچینگ
ASTM E45	روش‌های آزمون برای تعیین محتوای ناخالصی در فولاد
ASTM E112	روش‌های آزمون برای تعیین میانگین اندازه دانه
ASTM E381	روش ماکرواچینگ برای بررسی عیوب ماکروسکوپی در فولاد
ISO 643	اندازه‌گیری اندازه دانه در فولادها
ISO/TR 20580	راهنمای جامع برای آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی

ریز ساختار فولادها

Metals classification



طبقه بندی فولادها بر حسب ترکیب شیمیایی:

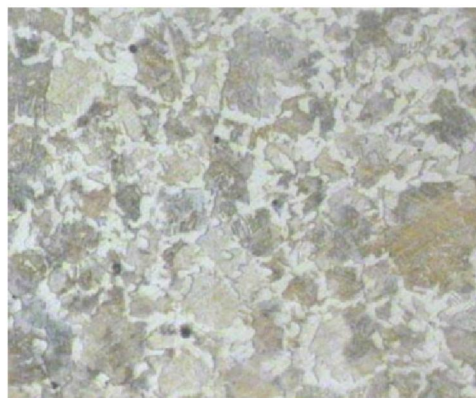
طریقه طبقه بندی در این حالت به صورت زیر می باشد:

۱- فولادهای ساده کربنی

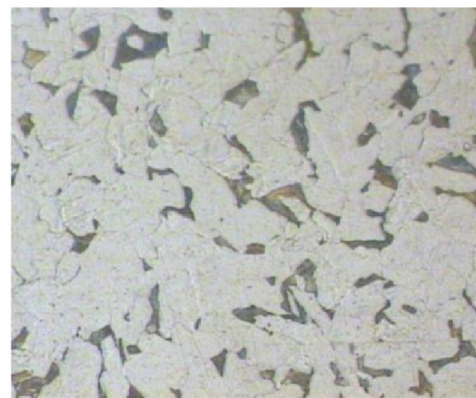
۲- فولادهای آلیاژی

فولادهای آلیاژی علاوه بر کربن و برخی عناصر غیر قابل اجتناب همیشگی (مثل فسفر و گوگرد) شامل عناصر دیگری نیز هستند که مخصوصا به آنها اضافه می شوند، مثل منگنز، تیتانیوم، وانادیوم و ... عناصر خواص لازم را به فولاد می دهند.

نوع فولاد	درصد کربن	میزان سختی
St37	0.2	75 – 77 HRB
CK45	0.47 – 0.5	21 – 22 HRC
C80	0.75 – 0.84	31 – 33 HRC



ب

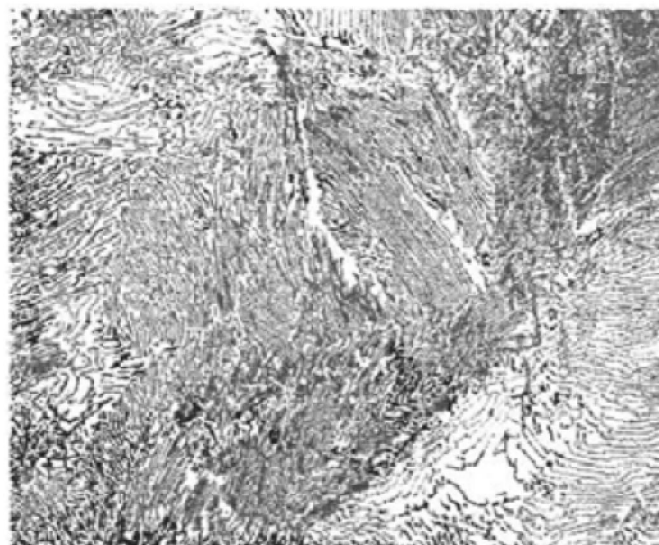
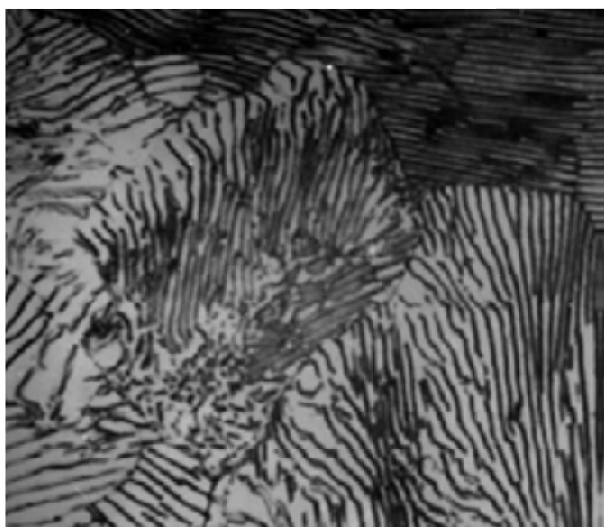


الف

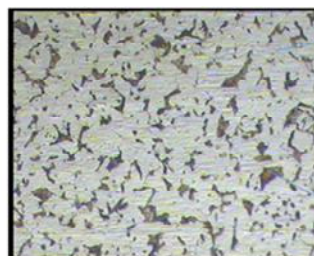
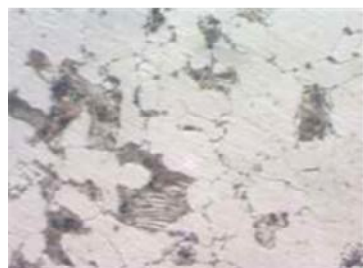


ج

شکل ۱: تصویر میکروسکوپ نوری ۳ نوع فولاد (بزرگنمایی 200x): الف St37، ب Ck45 و ج C80



شکل ۲-۲ میکروساختار پرلیت مربوط به آلیاژ $\text{Fe}-0.75\text{C}\%$ که پس از استنیت شدن در کوره سرد شده است. محلول حکاکی، پیکرال، بزرگنمایی، $\times 500$ [۱].



فريت



St37

پرليت



پرليت

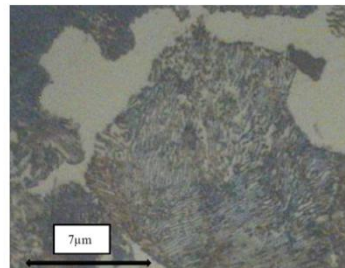
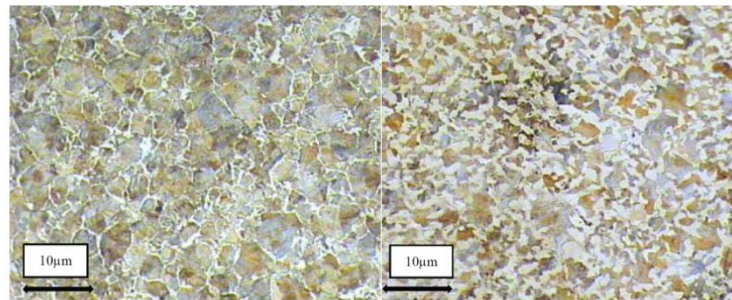
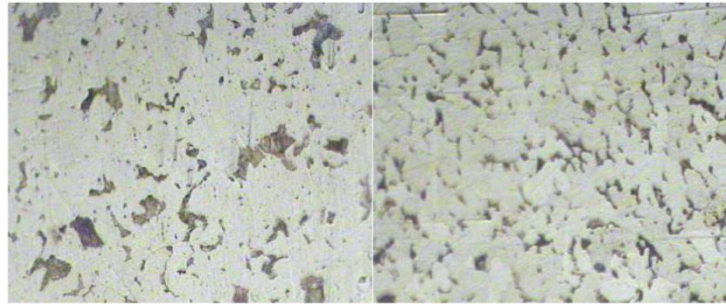


Ck45

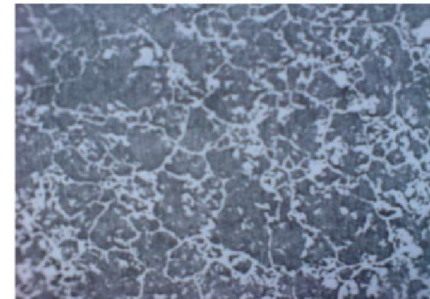
فريت



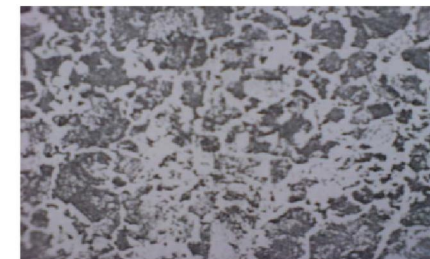
C80



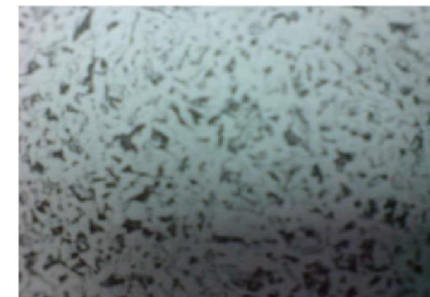
فولاد ۱/۱ % کربن (فولاد نقره ای):
ساختار این فولاد پرلیت + سمنتیت می باشد.

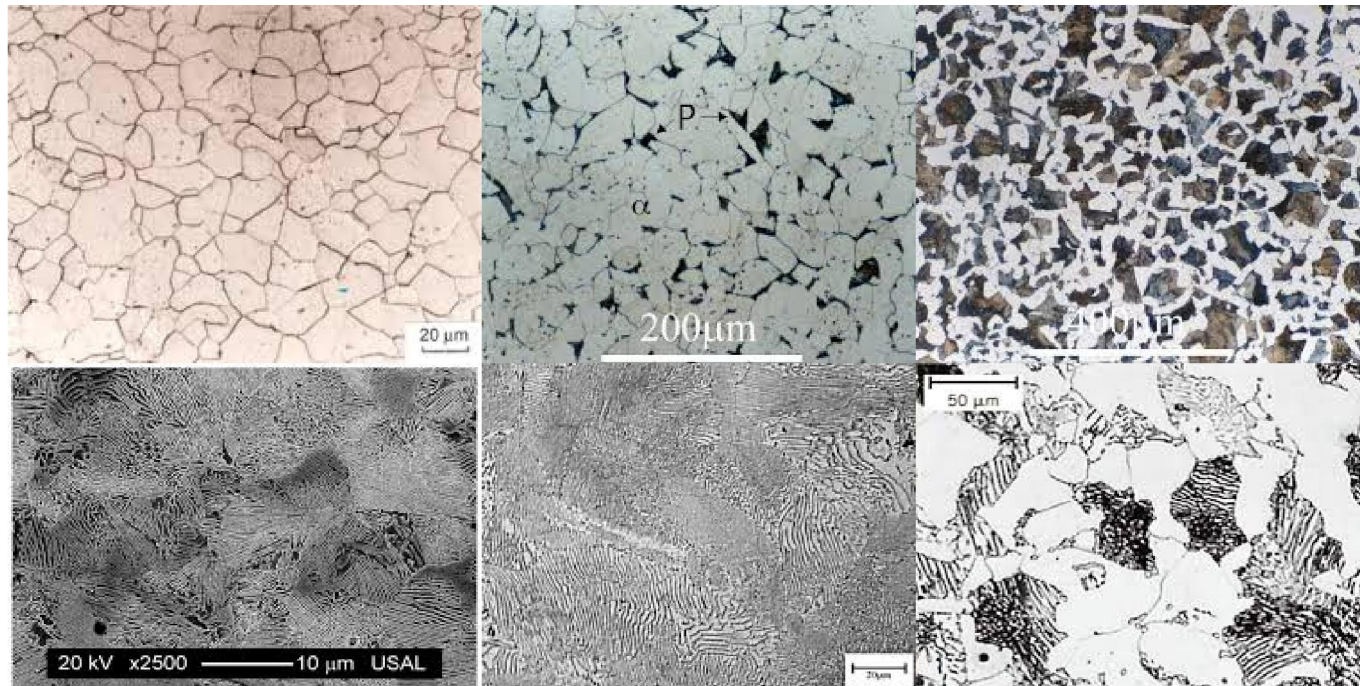


فولاد ۰/۶ % کربن :
ساختار هیپویوتکتوئید فولاد ۰/۶ % کربن
نشان دهنده فریت در مرزهای پیشین آستنیت و زمینه پرلیت

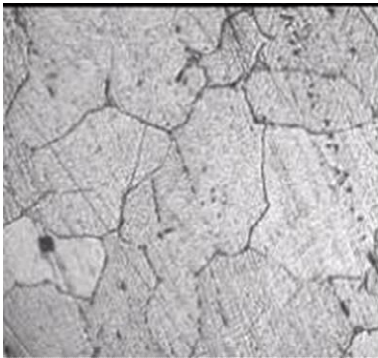


فولاد ۰/۲۵ % کربن :
ساختار این فولاد شامل فریت بیشتر + پرلیت کمتر می باشد.

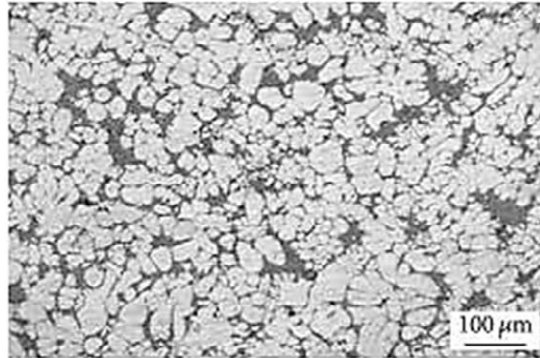




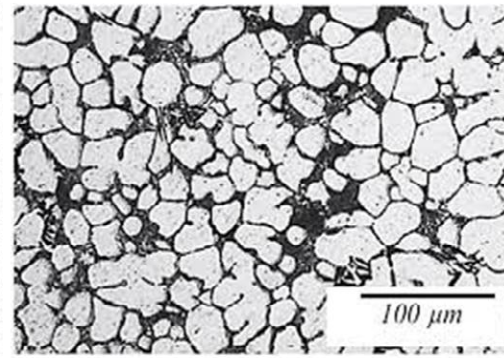
ريز ساختار آلومينيوم



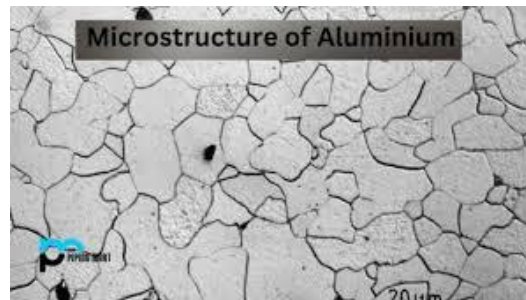
Pure Al



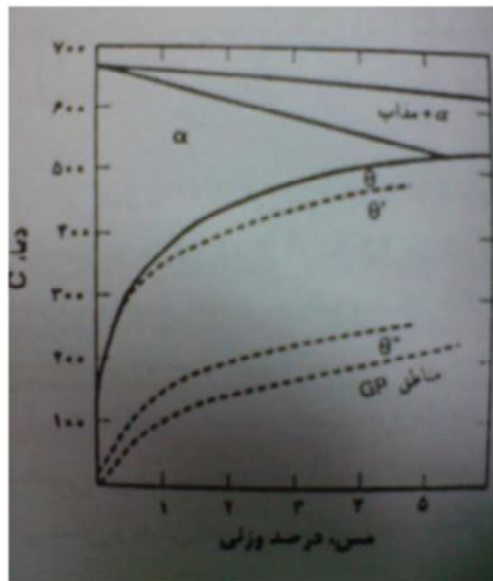
Al 356



Al 319

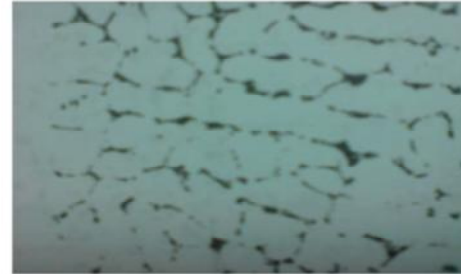


رسوبات CuAl_2



فازی آلومینیم - مس

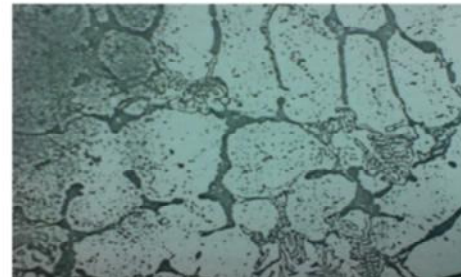
نمونه ۱: آلومینیم - مس ۲٪ مس

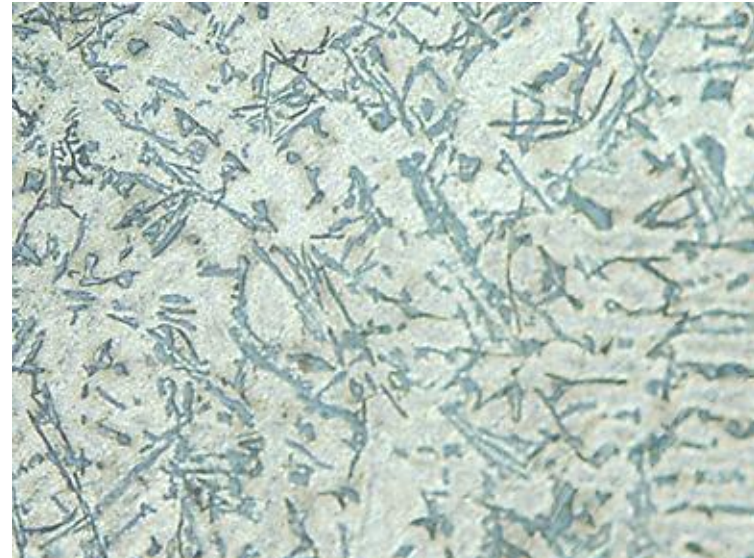
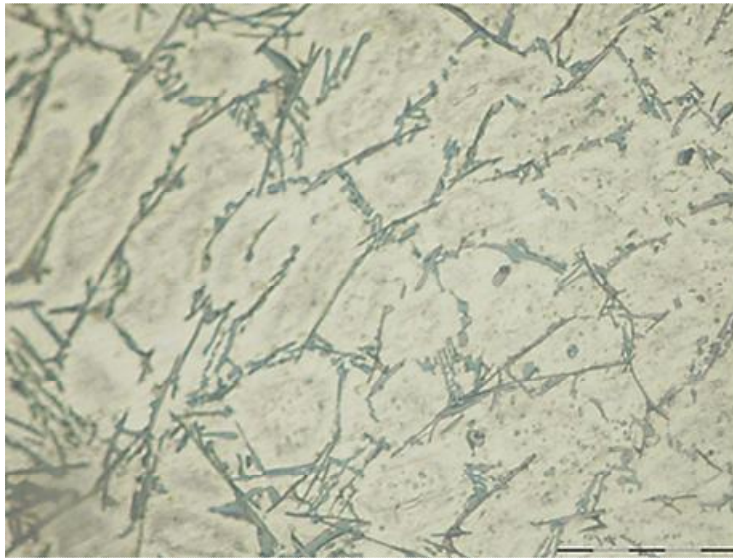


نمونه ۲: آلومینیم - مس ۴٪ مس



نمونه ۳: آلومینیم - مس ۸٪ مس





ریز ساختار چدن‌ها

انواع چدن‌ها بر اساس ریزساختار و نوع کربن (ترکیب یا آزاد)

۱- چدن خاکستری Gray castiron

- کربن به صورت صفحات گرافیت
- سطح شکست خاکستری
- ماشین کاری خوب، جذب ارتعاش، مقاومت فشاری بالا
- کاربرد: بلوک موتور، بدنه پمپ، قطعات خودرو

۲- چدن داکتیل (چدن نشکن یا چدن با گرافیت کروی) Ductile castiron

- گرافیت به صورت کروی
- استحکام و شکل پذیری بالاتر از چدن خاکستری
- کاربرد: چرخ دنده، میل لنگ، لوله، قطعات صنعتی

۳- چدن سفید White castiron

- کربن به صورت سمنتیت و بدون گرافیت آزاد
- سطح شکست سفید و براق
- بسیار سخت و ساینده (ضد سایش) اما ترد
- کاربرد: لاینر آسیاب‌ها، پمپ‌های دوغاب، قطعات در معرض سایش

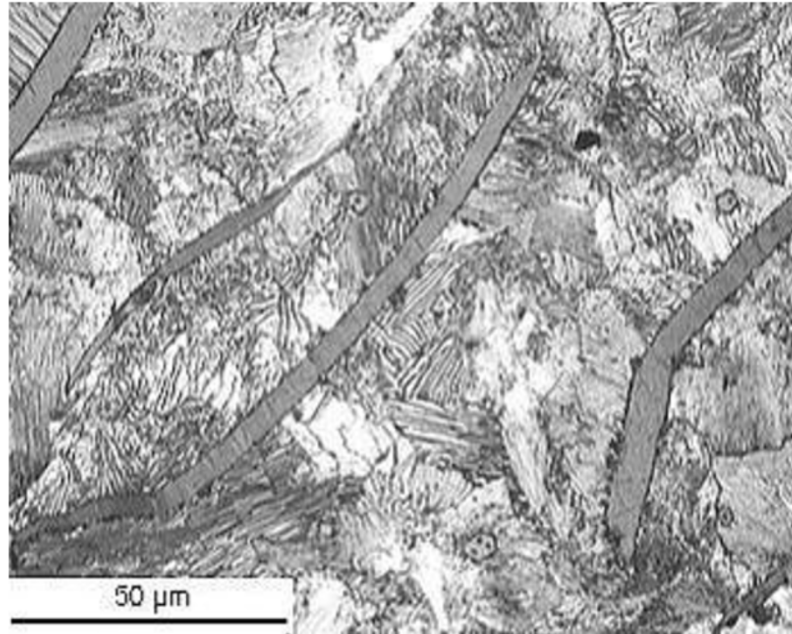
انواع چدن‌ها بر اساس ریزساختار و نوع کربن (ترکیب یا آزاد)

۴- چدن مالیبل (چدن چکشخوار یا چدن برفکی) Malleable castiron
- گرافیت به صورت توده‌های نامنظم (پس از عملیات حرارتی روی چدن سفید)
- شکل‌پذیری بهتر از چدن خاکستری، اما کمتر از داکتیل
- کاربرد: قطعات نازک، اتصالات صنعتی، قطعات خودرو

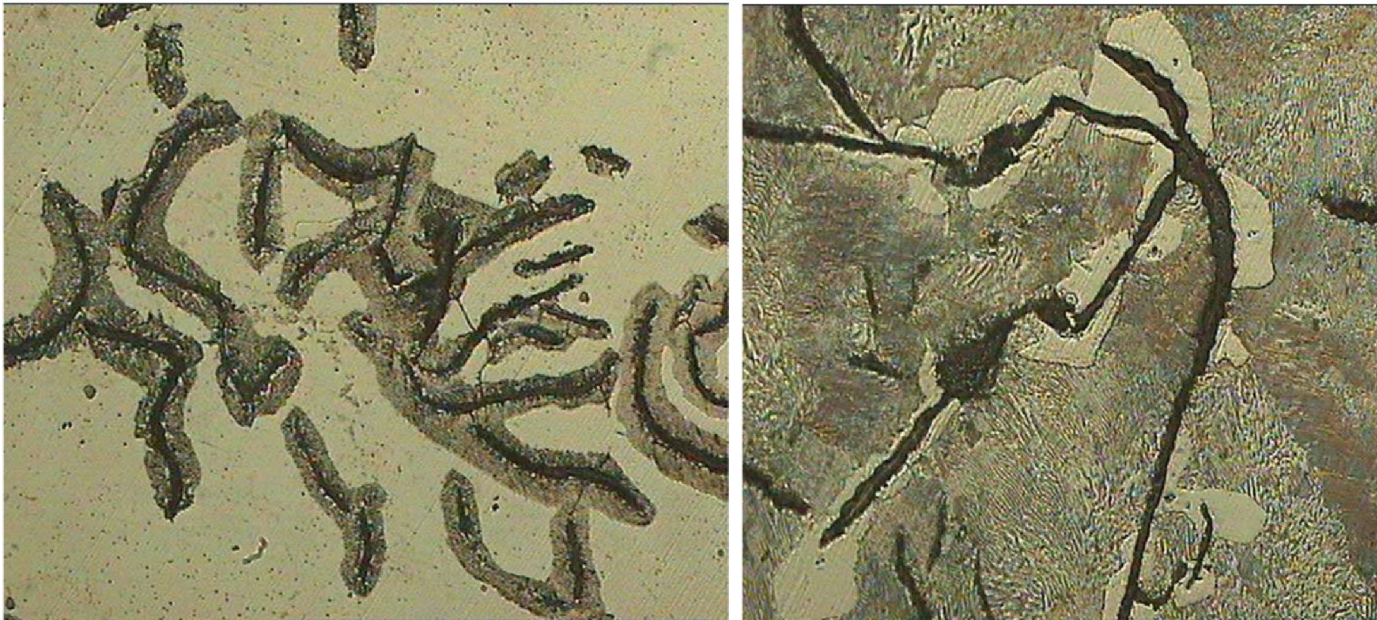
۵- چدن آلیاژی Alloyed castiron
- افزودن عناصر مثل کروم، نیکل، مولیبدن
- بهبود مقاومت به خوردگی، حرارت یا سایش
- کاربرد: قطعات کوره، صنایع شیمیایی، قالب‌های ریخته‌گری

۶- چدن گرافیت فشرده CGI – Compacted Graphite castiron
- گرافیت با شکل میانی بین ورقه‌ای و کروی
- خواص مکانیکی بین چدن خاکستری و داکتیل
- کاربرد: بلوک موتورهای سنگین، رینگ پیستون



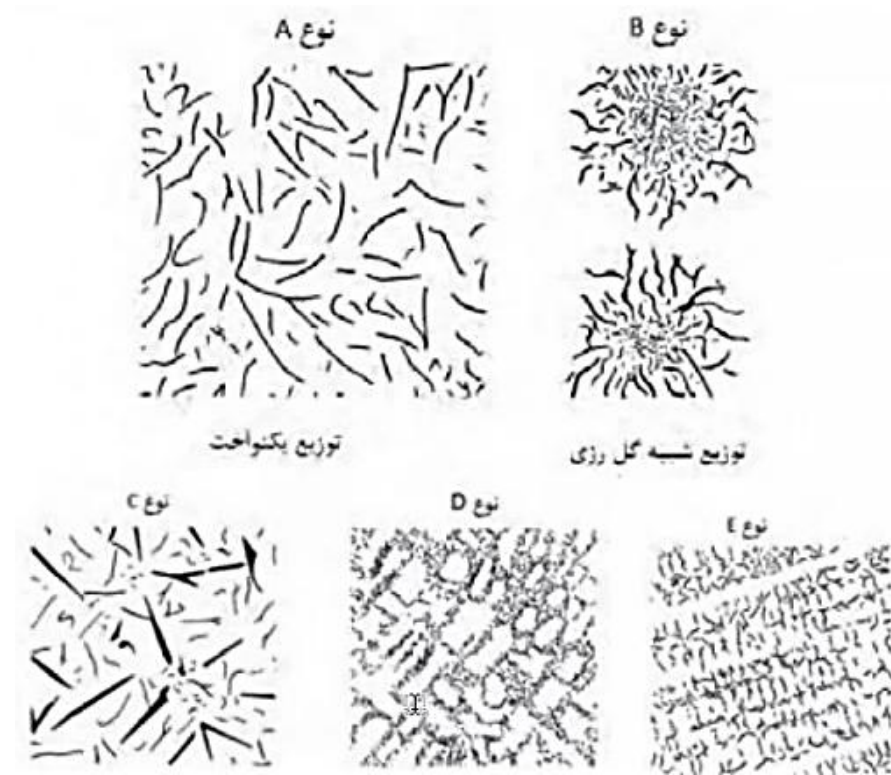


A grey cast iron- pearlite



A grey cast iron- ferrite- pearlite

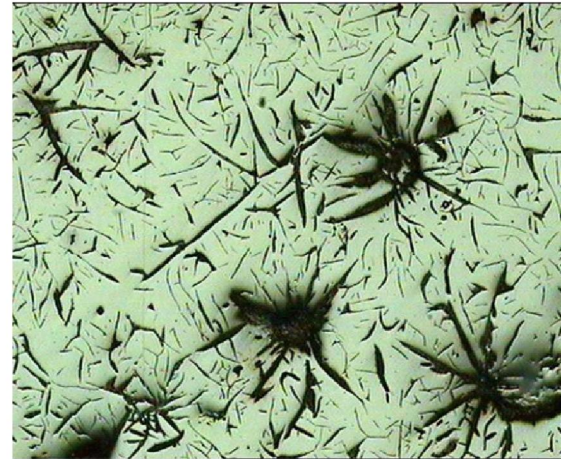
انواع چدن خاکستری



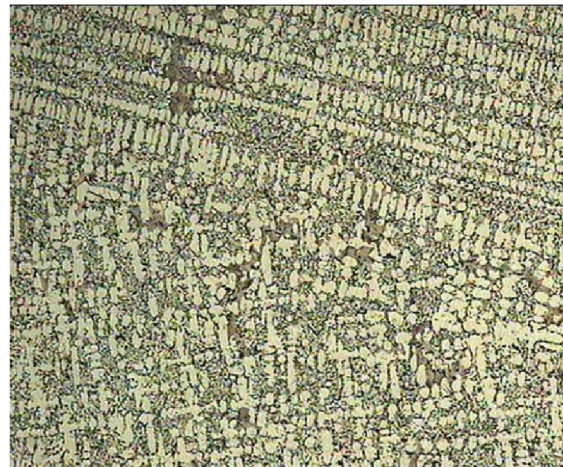
انواع چدن خاکستری



A grey cast iron-B

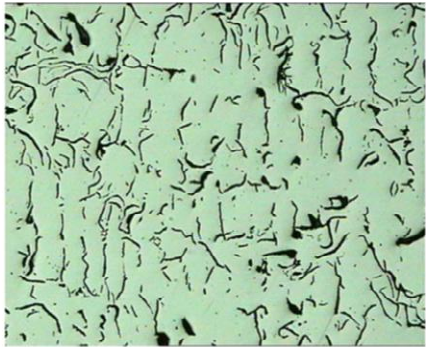


A grey cast iron-C

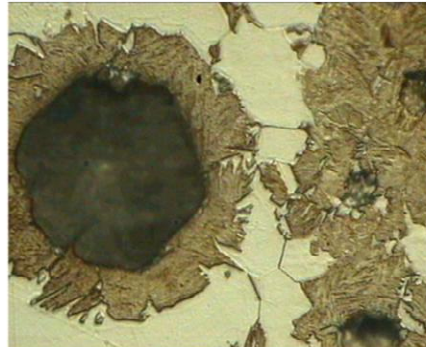


A grey cast iron-D

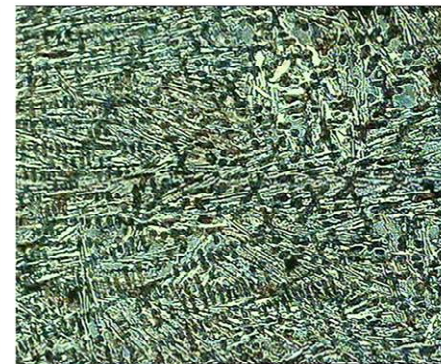
انواع چدن



A grey cast iron-E



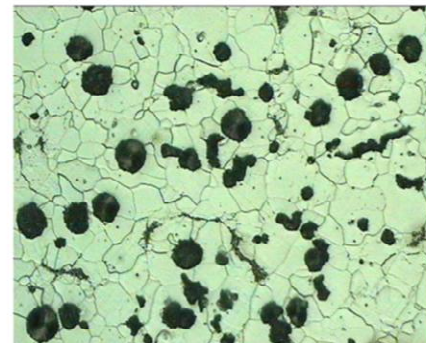
A nodular cast iron- martensite- ferrite- ledeburite



A white cast iron- dendrite



A nodular cast iron- Pearlite- ferrite- ledeburite

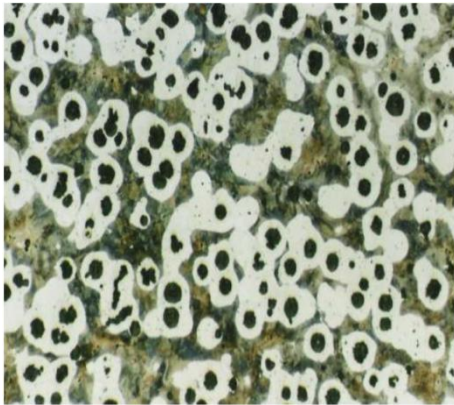


A nodular cast iron- ferrite

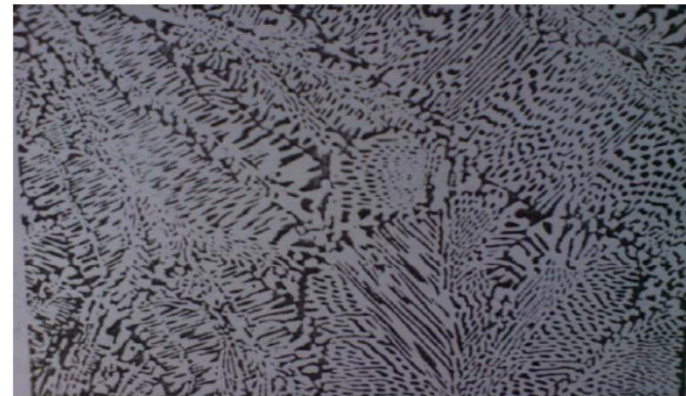


A white cast iron- ledeburite

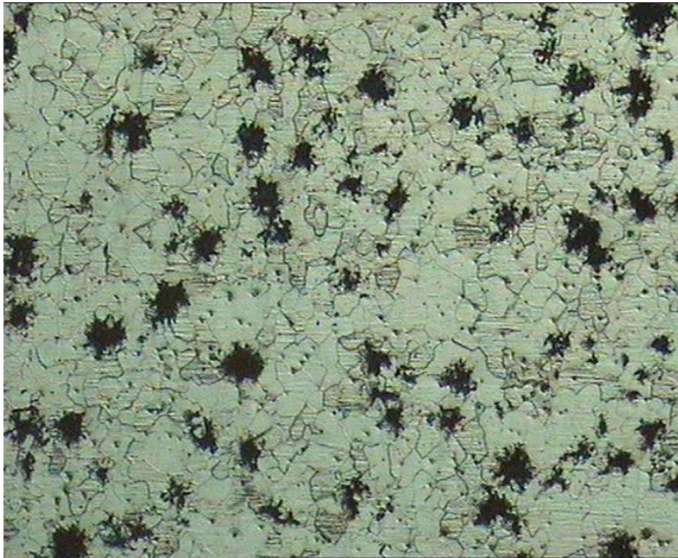
انواع چدن



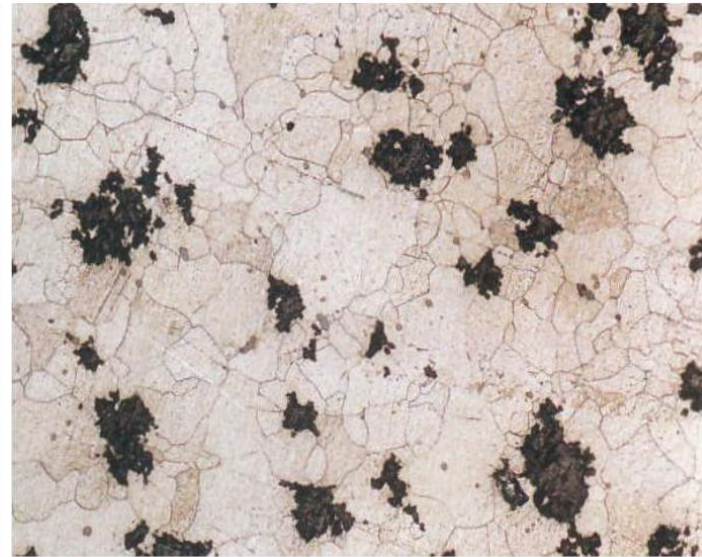
چدن چشم گاوی

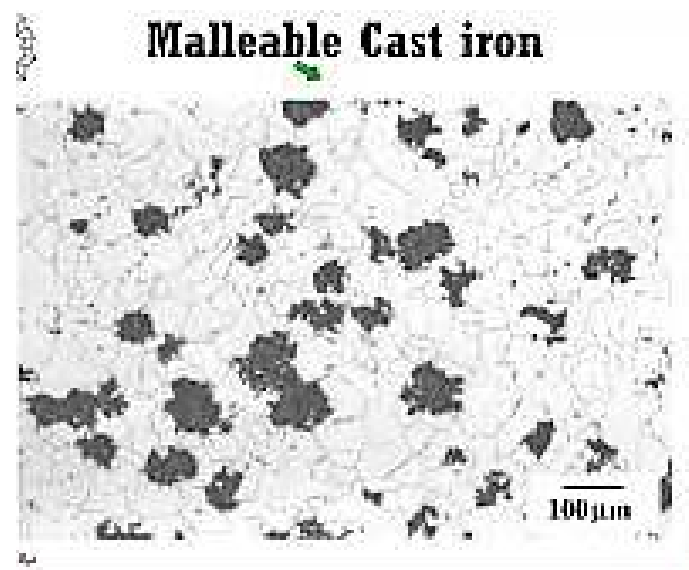


چدن سفید

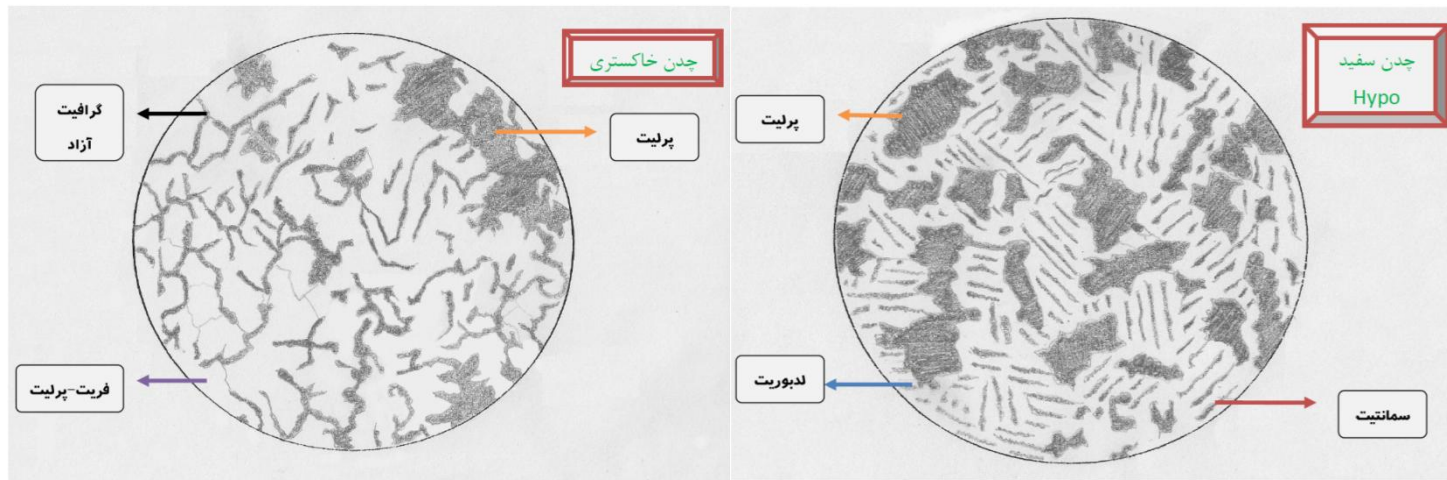


A malleable cast iron-ferrite- برفکی

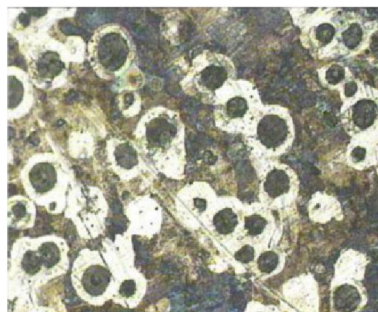
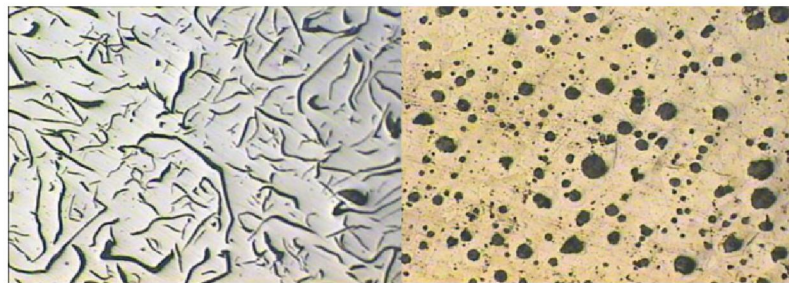
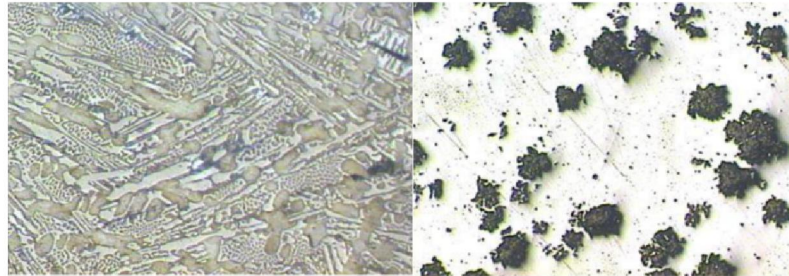




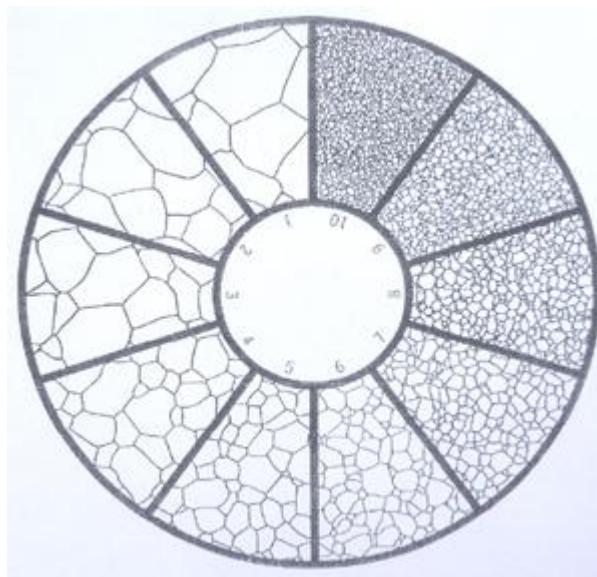
انواع چدن



انواع چدن



نحوه اندازه گیری اندازه دانه



ASTM E112 - 13

Standard Test Methods for Determining Average Grain Size

روش های تعیین اندازه متوسط دانه ASTM E 112-98، ASTM E 112-82

در تعیین اندازه متوسط دانه ها باید توجه داشت که نقاطی بایستی مورد بررسی قرار گیرند که نماینده کل سطح مقطع فلز و یا آلیاژ مورد نظر باشد.

چهار روش اساسی برای تخمین اندازه دانه ها توسط استاندارد ASTM توصیه شده است که عبارتند از :

الف (روش پلانیمتریک (Planimetric Method)

ب) روش تقاطع یا Heyn (روش خطی)

ج) روش رسم دایره یا Jeffries (روش سطحی سنجی)

د) روش مقایسه ای (روش مقایسه با جدول استاندارد ASTM)

روش پلانیمتری

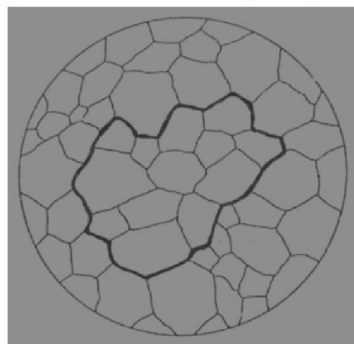
این روش، روش نسبتاً "دقیقی است ولی زمان بر می باشد. نحوه انجام این روش بدین گونه است که بعد از آماده شدن سطح نمونه و اچ کردن آن، توسط میکروسکوپ متالوگرافی عکسی از ساختار میکروسکوپی نمونه تهیه می شود.

همانند شکل یک قسمت از عکس را از روی مرز دانه ها بریده (برش مرزدانه ای) و جرم آن را محاسبه می کنیم. با داشتن وزن کل عکس، وزن قسمت بریده شده و نیز مساحت کل عکس می توان با استفاده از یک تناسب، مساحت قسمت بریده شده را محاسبه نمود.

$$\frac{M}{m} = \frac{\pi R^2}{X} \quad \begin{array}{l} M: \text{وزن کل عکس (g)} \\ m: \text{وزن قسمت بریده شده (g)} \end{array} \quad \begin{array}{l} \pi R^2: \text{مساحت کل عکس (m}^2\text{)} \\ X: \text{مساحت قسمت بریده شده (m}^2\text{)} \end{array}$$

حال اگر تعداد دانه های موجود بر روی قسمت بریده شده را حساب کنیم، می توان با یک تقسیم ساده اندازه متوسط دانه را در بزرگنمایی مورد نظر بدست آورد. بایستی توجه نمود که در مواردی که اندازه دانه ها بسیار یکنواخت باشد از این روش می توان استفاده نمود.

$$\underline{F_m} = \frac{F \times 10^6}{N \times V^2} \quad [\mu m] \quad \begin{array}{l} N: \text{تعداد دانه در قسمت بریده شده} \\ F: \text{مساحت قسمت بریده شده} \\ V: \text{بزرگنمایی} \end{array}$$



شکل روش پلانیمتری

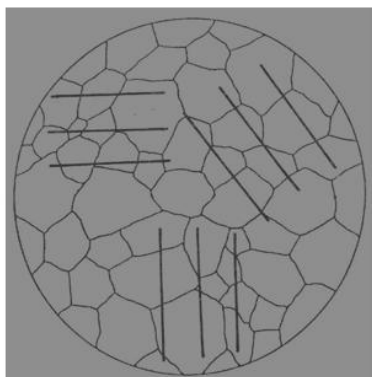
روش تقاطع یا خطی

در این روش نیز بعد از آماده شدن سطح نمونه و اچ کردن آن، توسط میکروسکوپ متالوگرافی عکسی از ساختار میکروسکوپی نمونه تهیه می شود. با رسم چند خط موازی و یک اندازه بر روی عکس، می توان قطر متوسط دانه ها را بدست آورد (شکل). طریقه محاسبه بدین گونه است که در سه ناحیه از عکس حداقل ۳ خط رسم کرده و از نتایج حاصل از هر ناحیه میانگین گرفته و اندازه متوسط هر دانه را با استفاده از رابطه زیر محاسبه می کنیم. بایستی توجه داشت که درصد اختلاف نتایج بدست آمده از هر دسته خطوط مختلف نباید بیشتر از ۱۰٪ باشد.

$$D = \frac{L.P \times 10^3}{N.M} \quad [\mu m]$$

L: طول خطوط موازی [m] **D:** قطر متوسط دانه
M: بزرگ نمائی **P:** تعداد خطوط موازی
N: تعداد کل دانه های قطع شده توسط خطوط موازی

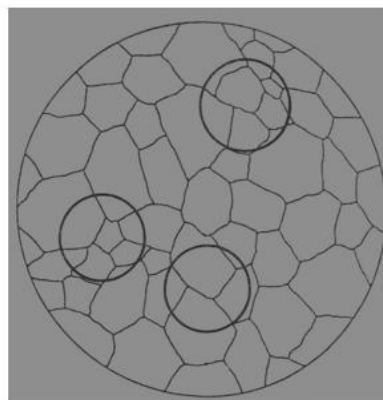
در این روش باید توجه نمود که دانه های قطع شده در ابتدا و انتهای هر خط را یک دانه در نظر می گیریم. همچنین باید دقت نمود که هر دانه فقط یک بار توسط خطوط قطع شوند.



شکل روش خطی

روش سطحی سنجی (رسم دایره)

در این روش حداقل سه دایره رسم می شود و محاسبات برای هر کدام بطور جداگانه انجام گرفته و آنگاه میانگین اعداد بدست آمده را حساب کرده و به عنوان اندازه متوسط دانه در نظر می گیریم.



شکل روش رسم دایره

روش سطحی سنجی (رسم دایره)

تعیین اندازه دانه به روش سطحی سنجی (رسم دایره) به دو طریق قابل محاسبه می باشد.

روش اول: بعد از اینکه از سطح نمونه مورد نظر یک عکس متالوگرافی تهیه گردید، یک دایره به قطر ۷۹/۸ میلیمتر (با مساحت 5000 mm^2) بر روی عکس مورد نظر رسم می شود. بزرگ نمائی به گونه ای انتخاب می شود که حداقل ۵۰ دانه در دایره رسم شده قرار گیرد. با شمارش دانه های کامل در محدوده مورد بررسی عدد n_1 و با شمارش دانه های ناقص که توسط محدوده قطع شده اند، عدد n_2 بدست می آید. تعداد دانه (N) در 1 mm^2 به صورت زیر خواهد بود.

$$N = \frac{M^2}{5000} \left(n_1 + \frac{n_2}{2} \right)$$

در این رابطه، M بزرگ نمایی بوده و $\frac{M^2}{5000}$ ضریب بزرگ نمائی خوبی است که اگر دایره دیگری مورد استفاده قرار گیرد، مساحت این دایره به جای عدد ۵۰۰۰ قرار خواهد گرفت. با محاسبه N ، میانگین مساحت هر دانه (A) (mm^2) و d میانگین قطر هر دانه (mm) و G عدد اندازه دانه (ASTM) به ترتیب از روابط زیر بدست می آیند.

$$A = \frac{1}{N}, d = \frac{1}{\sqrt{N}}, G = (3/32 \log N) - 2/95$$

روش دوم: بعد از تهیه عکس مورد نظره بر روی عکس دوایری به شعاع دلخواه R رسم می شود (شکل). تعدادی از دانه ها در درون این دوایر قرار گرفته (Z) و تعدادی محیط دایره را قطع می کنند (N). حال اگر مساحت هر دایره را (F) و اندازه متوسط هر دانه را (F_m) در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$V: \text{ بزرگ نمایی} \quad F_m = \frac{F \times 10^6}{(Z + 0.67 N) V^2} \quad [\mu\text{m}]$$

روش مقایسه ای با جدول استاندارد: (استاندارد ASTM)

این روش فقط برای بزرگ نمایی ۱۰۰ کاربرد خواهد داشت. و شامل طبقه بندی دانه های موجود می باشد. در این استاندارد اعداد ۱ تا ۸ وجود دارد که هر کدام از اعداد معرف یک نوع اندازه دانه می باشد. هر چه به سمت عدد ۸ می رویم اندازه دانه ها ریزتر می شود (شکل ۲-۴). از فرمول زیر تعداد دانه ها (N^*) در بزرگ نمایی ۱۰۰ بدست می آید.

$$N^* = 2^{n-1}$$

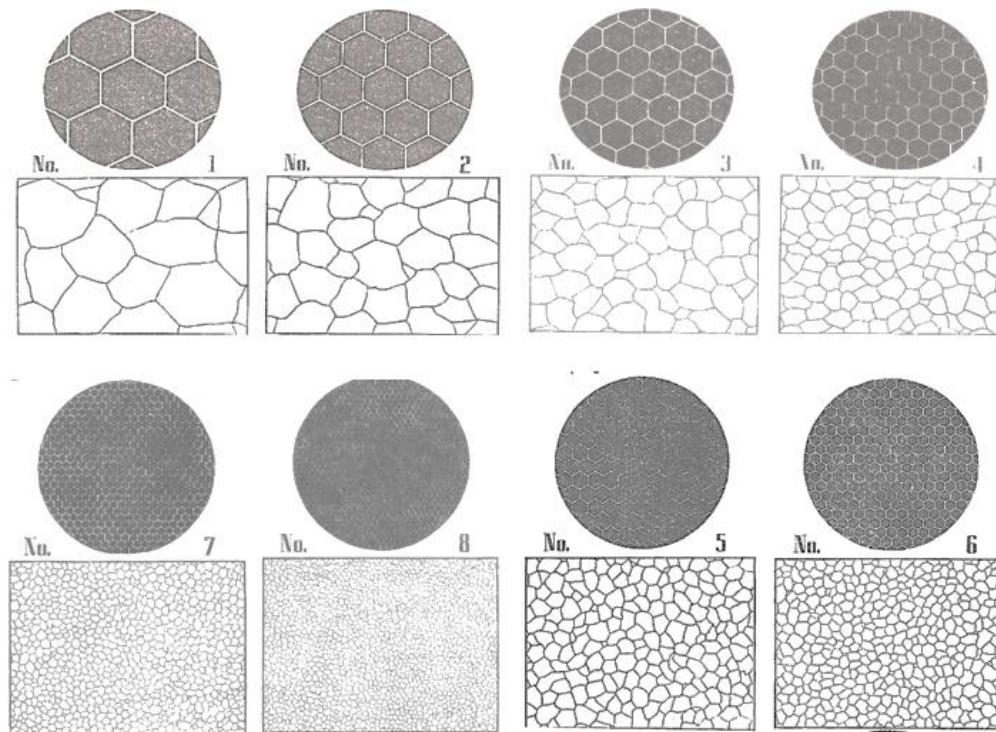
(n: عدد اندازه دانه طبق جدول استاندارد ASTM)

$$Na = N^* \times 100^2 \Rightarrow D = \sqrt{\frac{6}{\pi \cdot Na}}$$

(N^* : تعداد دانه در in^2 در بزرگ نمایی ۱۰۰)

D: قطر متوسط دانه (in) (N_a : تعداد دانه در in^2 در بزرگ نمایی ۱)

روش مقایسه ای با جدول استاندارد: (استاندارد *ASTM*)

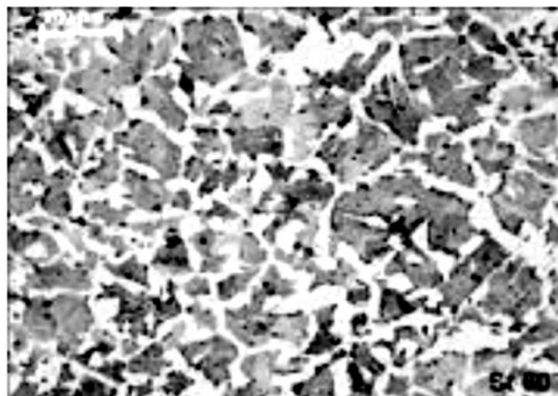


شکل ۲-۴- انواع اندازه دانه در استاندارد ASTM

روش مقایسه ای با جدول استاندارد: (استاندارد *ASTM*)

جدول ۲-۱- شماره دانه و اندازه دانه مطابق با استاندارد ASTM

شماره اندازه دانه ASTM (n)	تعداد دانه در بزرگنمایی صد (Z*)	تعداد دانه در هر mm ²	سطح دانه μm ²
۱	۱	۱۶	۶۲۰۰۰
۲	۲	۳۲	۳۱۰۰۰
۳	۴	۶۴	۱۵۶۰۰
۴	۸	۱۲۸	۷۸۰۰
۵	۱۶	۲۵۶	۳۹۰۰
۶	۳۲	۵۱۲	۱۹۵۰
۷	۶۴	۱۰۲۴	۹۸۰
۸	۱۲۸	۲۰۴۸	۴۹۰

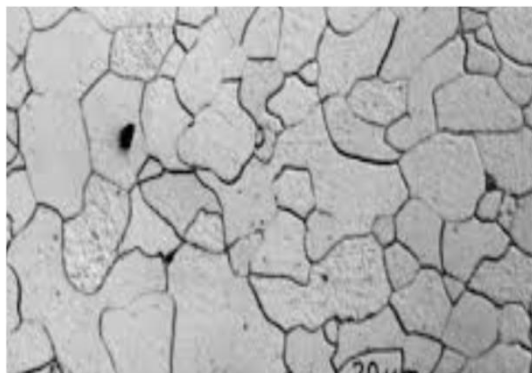


a

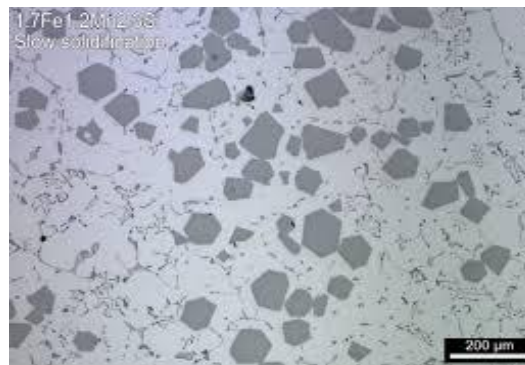


b

در تصاویر ارائه شده، میزان کربن فولاد در کدام یک از تصاویر بیشتر است چرا؟

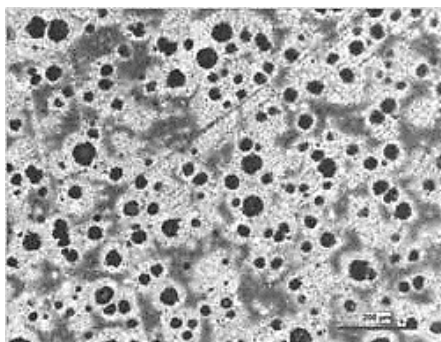


a



b

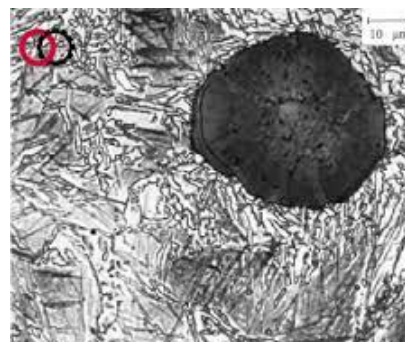
در تصاویر ارائه شده، کدامیک از ریزساختارها آلومینیوم خالص را نشان می دهد. الف- دلیل خود را ارائه کنید و ب- ریزساختار شکل ب مربوط به چه نوع آلیاژی از آلومینیوم است؟



a



b



c

در تصاویر ارائه شده، هر کدام مربوطه به چه نوع چدنی است. زمینه چیست و کاربردی برای آن مشخص کنید.