



جلسه ششم رشد بلور- رشد بلور از فاز جامد

روش های رشد بلور را می توان تحت چهار عنوان زیر دسته بندی کرد:

۱- رشد از فاز جامد

۲- رشد از مذاب ها

۳- رشد از محلول آبی

۴- رشد از فاز بخار



رشد بلور از فاز جامد

- از میان روش های متعدد موجود در رشد بلور از فاز جامد ، می توان آنها را به صورت دو دسته زیر تقسیم کرد:

۱- کارسرد + آنیل (حرارت)

۲- انتقال حالت جامد



کار سرد - کار سختی

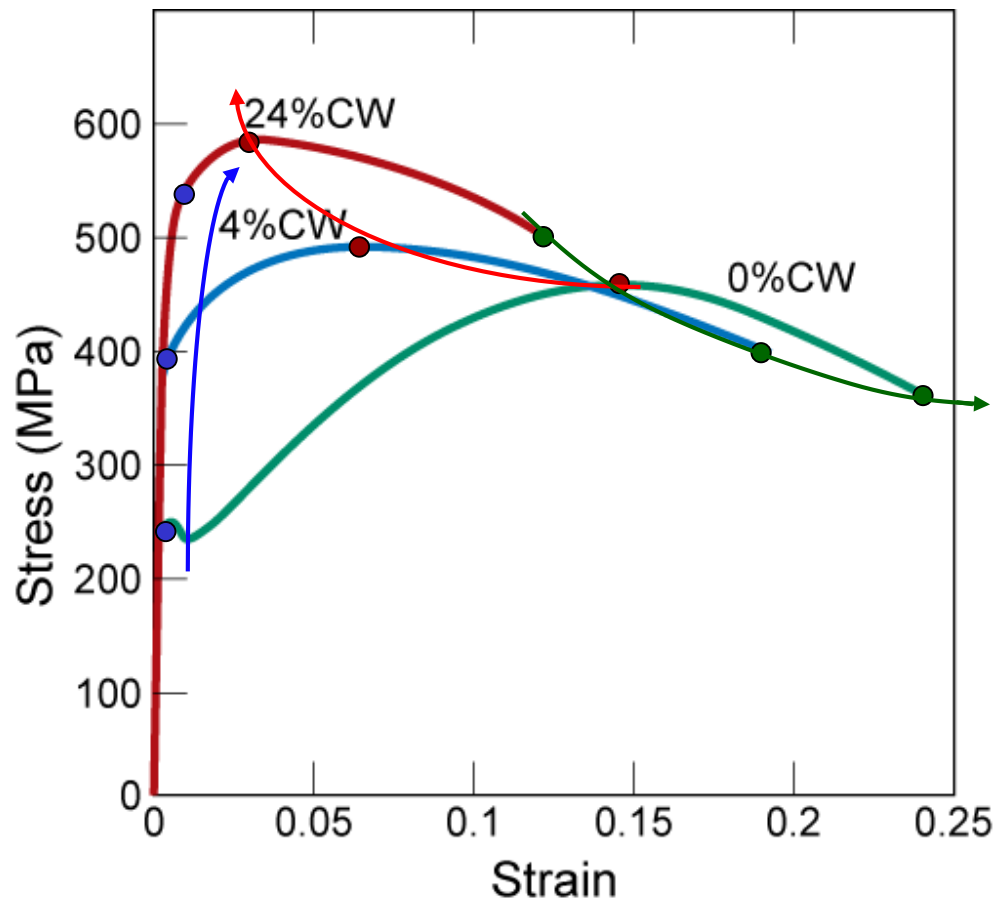
اگر اعمال نیروهای خارجی بر فلز به گونه ای باشد که بیش از یک سیستم لغزشی در آن فعال گردد، نابجائیهای متحرک با یکدیگر برخورد نموده و ادامه حرکت آنها با مشکل مواجه خواهد شد. در یک نمونه پلی کریستال، ایجاد شرایط لغزش در برخی دانه ها و همچنین چرخش برخی از دانه ها ^۱ سبب تسریع فعال شدن سایر سیستمهای لغزش و در نتیجه، تداخل شدید نابجائیها به یکدیگر می گردد. بنا بر این در خلال تغییر شکل، برخورد نابجائیها بطور فزاینده ای افزایش یافته که این امر منجر به افزایش تنش مورد نیاز برای ادامه حرکت آنها می گردد. پدیده فوق اساس کارسختی را تشکیل می دهد.



اثرات کار سرد

همان گونه که کار سرد افزایش می یابد

- استحکام تسلیم افزایش می یابد
- استحکام کششی افزایش می یابد.
- داکتیلته کاهش می یابد.



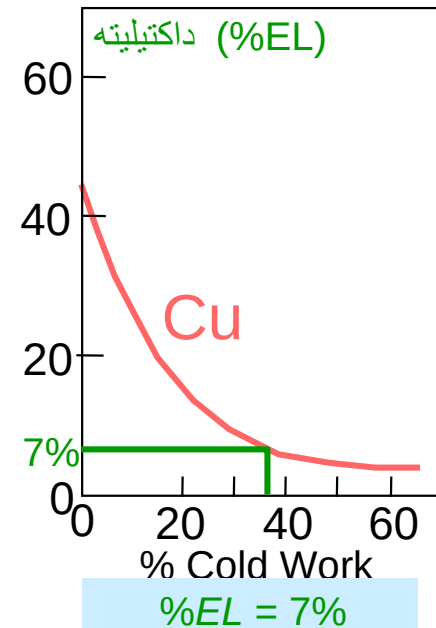
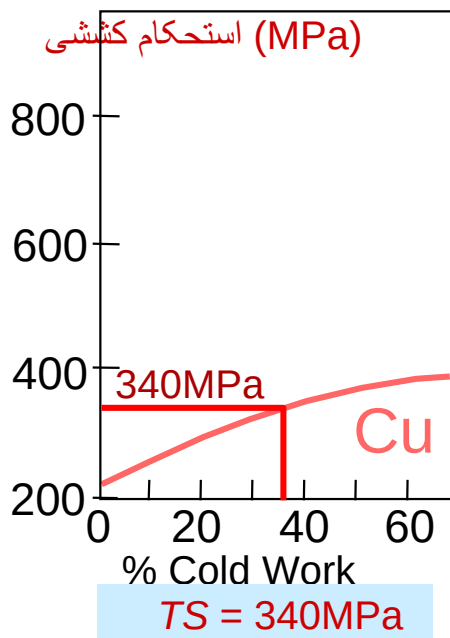
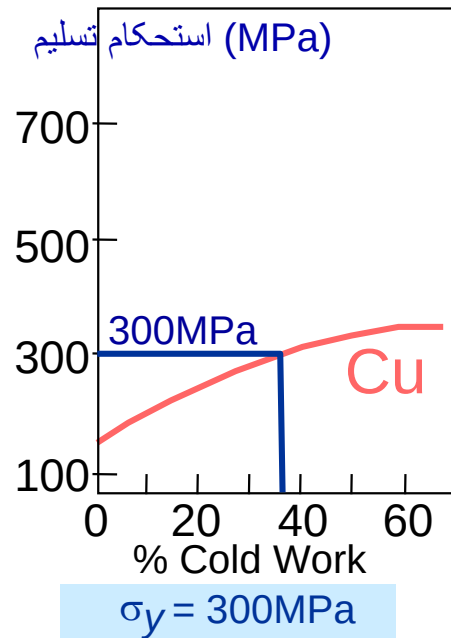
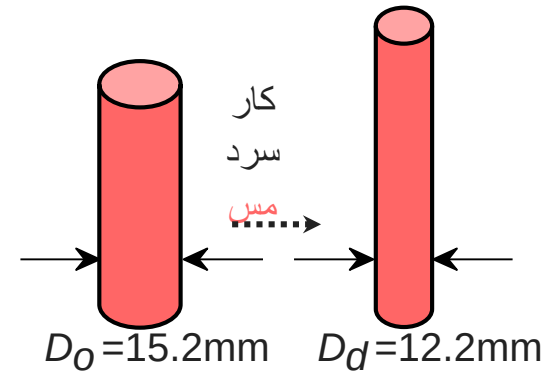
Adapted from Fig. 7.20,
Callister 7e.



آنالیز کار سرد

- چه چیزی استحکام تسلیم، استحکام کششی و داکتیلیته بعد از کار سرد می باشد؟

$$\%CW = \frac{\pi r_o^2 - \pi r_d^2}{\pi r_o^2} \times 100 = 35.6\%$$

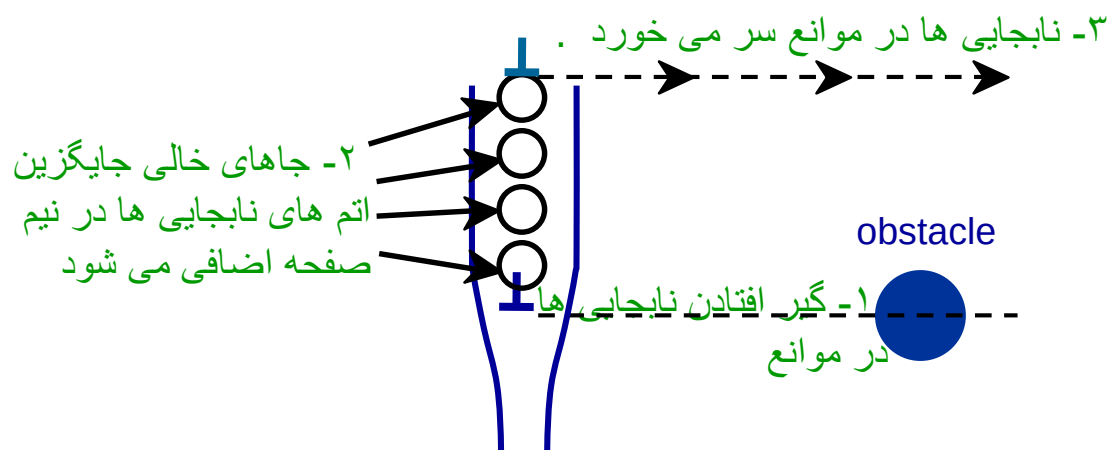
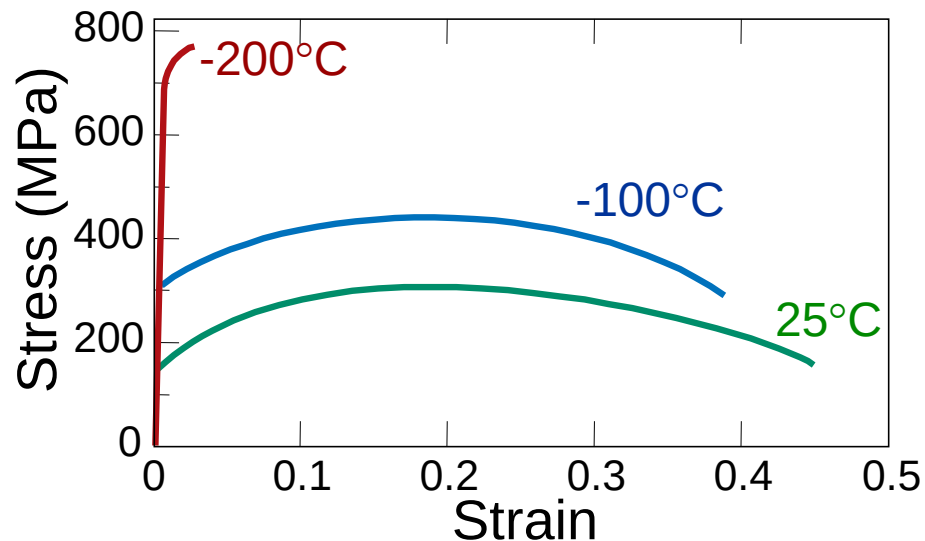


Adapted from Fig. 7.19, Callister 7e. (Fig. 7.19 is adapted from *Metals Handbook: Properties and Selection: Iron and Steels*, Vol. 1, 9th ed., B. Bardes (Ed.), American Society for Metals, 1978, p. 226; and *Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals*, Vol. 2, 9th ed., H. Baker (Managing Ed.), American Society for Metals, 1979, p. 276 and 327.)



رفتار منحنی σ - ϵ در مقابل دما

- نتایج برای آهن پلی کریستال:
- تنش تسلیم و استحکام تسلیم با افزایش دمای تست کاهش می یابد
- درصد ازدیاد طول با افزایش دمای تست زیاد می شود.
- چرا؟ جای خالی ها به حرکت نابجایی ها از موانع کمک میکند



Annealing - آنیل

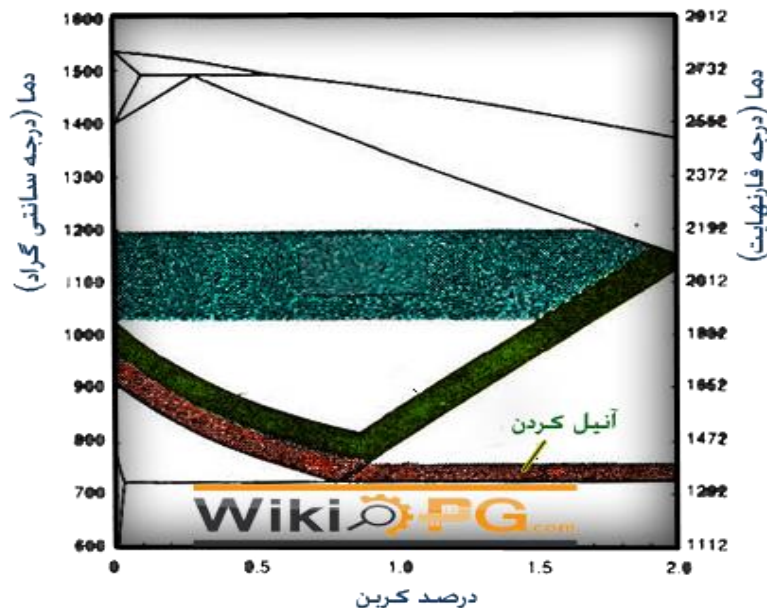
در علم مواد، به فرایندی می گویند که موجب تغییر خواص ماده مانند سختی و شکل پذیری آن می شود. این فرایند شامل گرم کردن ماده تا دمایی مناسب، نگه داری در آن دما در زمان مشخص و کافی و سپس سرد کردن آن با سرعت مناسب تا دمای محیط می باشد. کلمه آنیل (بازپخت) مفهوم گسترده ای داشته و هم در بخش فلزات و آلیاژهای آهنی و هم غیر آهنی کاربرد دارد. این عملیات عموماً برای نرم کردن مواد فلزی انجام می شود و در نتیجه آن خواصی مانند قابلیت ماشین کاری، قابلیت کار سرد و پایداری ابعاد آن و ساختار آلیاژ تغییر قابل توجه ای می کند.

در آنیلینگ سه پدیده رخ می دهد

۱- بازیابی

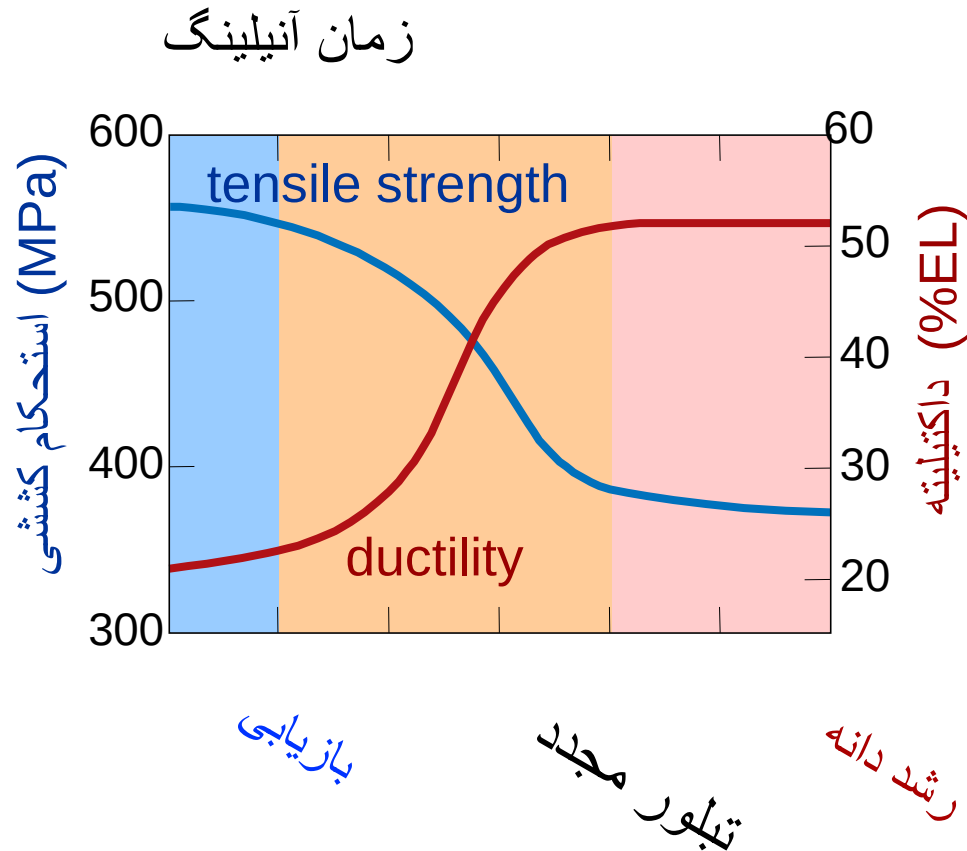
۲- تبلور مجدد

۳- رشد دانه



اثر دما بعد از کار سرد

- ۱۰ ساعت حرارت در دمای آنیلینگ استحکام تسلیم کاهش و ازدیاد طول افزایش می دهد
- اثرات کار سرد از بین می رود.



Adapted from Fig. 7.22, Callister 7e. (Fig. 7.22 is adapted from G. Sachs and K.R. van Horn, *Practical Metallurgy, Applied Metallurgy, and the Industrial Processing of Ferrous and Nonferrous Metals and Alloys*, American Society for Metals, 1940, p. 139.)

بازیابی

در طول عملیات حرارتی بازیابی، عیوب داخلی و تنش هایی که در طول عملیات کار سرد در قطعه ایجاد شده بودند، از بین می روند. در نتیجه انرژی داخلی شبکه کاهش پیدا می کند. بازیابی پیش از به وجود آمدن دانه های جدید عاری از کرنش انجام می شود و اندازه و شکل دانه ها تحت تاثیر قرار نمی گیرند.



بازیابی

• این مرحله تراکم نابجایی ها را کاهش می دهد

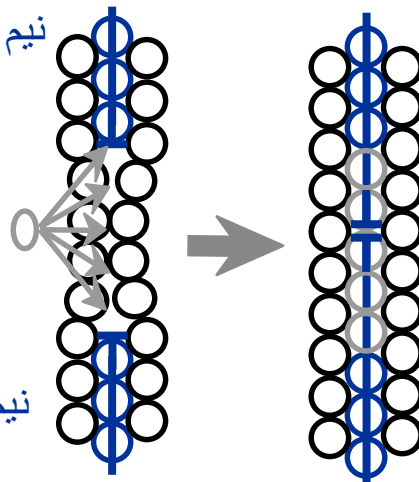
• سناریو ۱

نتایج از نفوذ حاصل می شود

نیم صفحه اضافی اتم ها

اتم ها به مناطق
تحت تنش
کششی نفوذ می کنند

نیم صفحه اضافی اتم ها



نابجایی ها نابود
می شود و تشکیل
یک صفحه کامل اتمی
می دهد

• سناریو ۲

۳- نابجاییها بالارونده روی صفحه

لغزش جدید حرکت می کند

بخش های خاکستری به وسیله

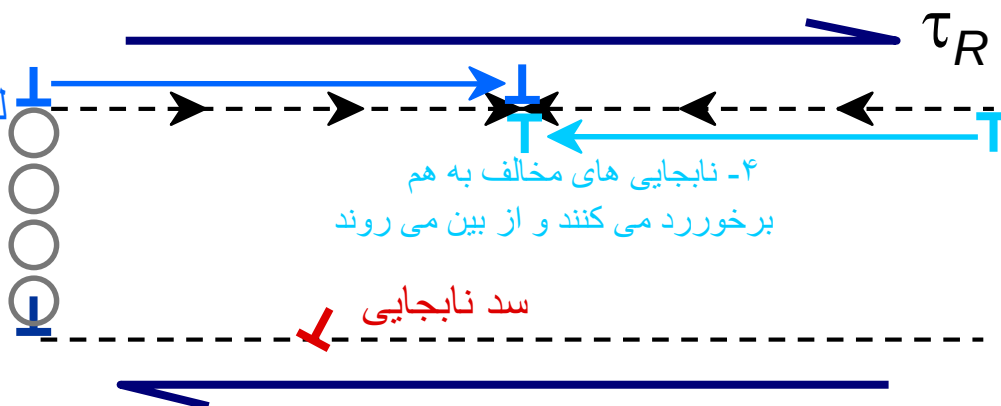
نفوذ جاهای خالی ایجاد می شود و

اجازه می دهد که نابجایی ها به

بالا حرکت کند

1. نابجایی ها قفل می کند و نمی

تواند به سمت راست حرکت کند



۴- نابجایی های مخالف به هم
برخوررد می کنند و از بین می روند

سد نابجایی

تبلور مجدد

فرایندی است که در آن دانه‌های تغییر شکل یافته با گروهی جدید از دانه‌های بی نقص جایگزین می‌شوند که شامل دو مرحله جوانه زنی و رشد کردن تا زمانی که دانه اصلی به‌طور کامل دربرگرفته شود می‌باشند. تبلور مجدد معمولاً با کاهش استحکام و سختی ماده و افزایش شکل‌پذیری آن همراه می‌باشد. مهم‌ترین کاربرد صنعتی این فرایند نرم کردن و کنترل اندازه دانه فلزاتی است که به‌طور پیوسته توسط کار سرد سخت شده‌اند و شکل‌پذیری خود را از دست داده‌اند. همچنین پس از عملیات تبلور مجدد تنش‌های پسماند ماده آزاد می‌شود.

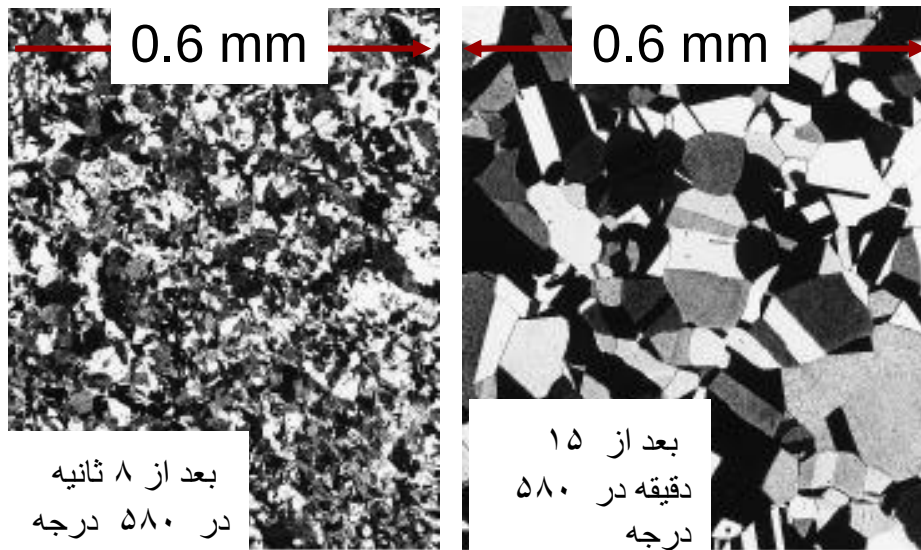


رشد دانه

• در زمان های طولانی تردانه های تبلور یافته رشد می کنند و دانه های بزرگتر تشکیل می شوند.

چرا؟

مساحت مرزدانه ها (و بنابراین انرژی) کاهش می یابد



Adapted from
Fig. 7.21 (d),(e),
Callister 7e.
(Fig. 7.21 (d),(e)
are courtesy of
J.E. Burke,
General Electric
Company.)

• Empirical Relation:

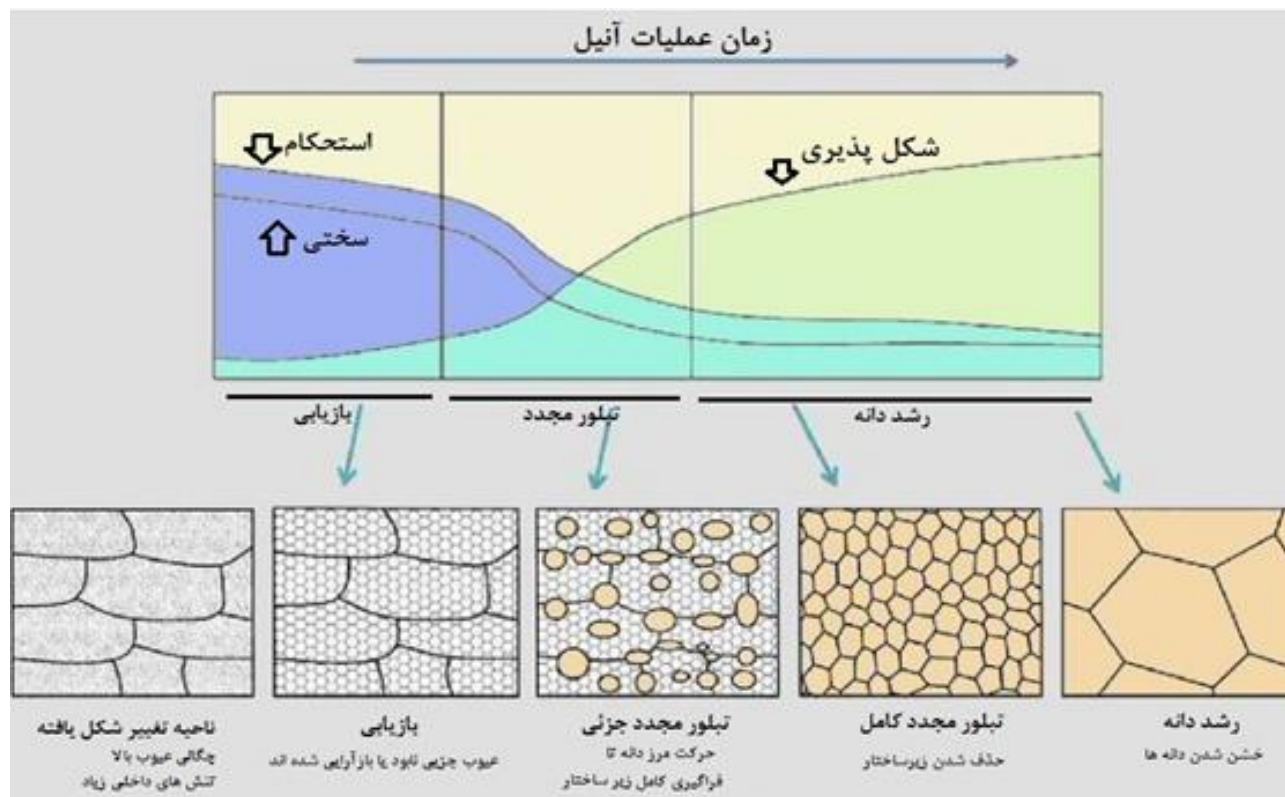
exponent typ. ~ 2
grain diam.
at time t .

$$d^n - d_o^n = Kt$$

coefficient dependent
on material and T .

elapsed time

Ostwald



تأثیر عوامل مختلف بر دمای تبلور مجدد

جدول ۱-۱: اثر عوامل مختلف بر دمای تبلور مجدد

عامل	تأثیر بر درجه حرارت تبلور مجدد
زمان آنیل	افزایش آن سبب کاهش دمای تبلور مجدد می گردد
میزان کارسرد	افزایش آن سبب کاهش دمای تبلور مجدد می گردد
حضور فازهای ثانویه	سبب کاهش دمای تبلور مجدد می گردد
اندازه دانه قبل از کارسرد	کاهش آن سبب کاهش دمای تبلور مجدد می گردد
سرعت تغییر شکل پلاستیک	افزایش آن سبب کاهش دمای تبلور مجدد می گردد
درجه حرارت کارسرد	کاهش آن منجر به کاهش دمای تبلور مجدد می گردد



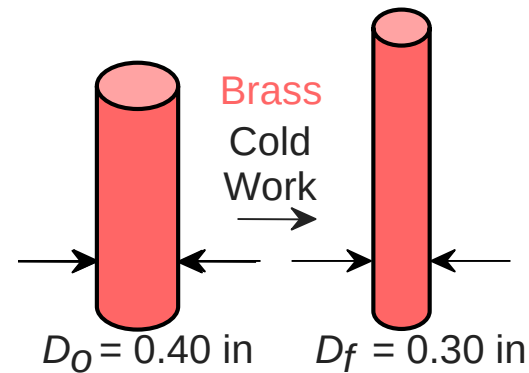
محاسبات کار سرد

یک میله استوانه برنجی با قطر ۰.۴ اینچ به وسیله کشش تحت کار سرد قرار می گیرد. سطح مقطع دایره ای در حین تغییر شکل حفظ می شود. قطعه کار سرد شده به استحکام کششی بالای 380 MPa و داکتیلیته 15 %EL بیشتر می رسد. علاوه بر این قطر نهایی حدود ۰.۳ اینچ می شود. بیان کنید این فرآیند چطور انجام شده است.



محاسبات کار سرد

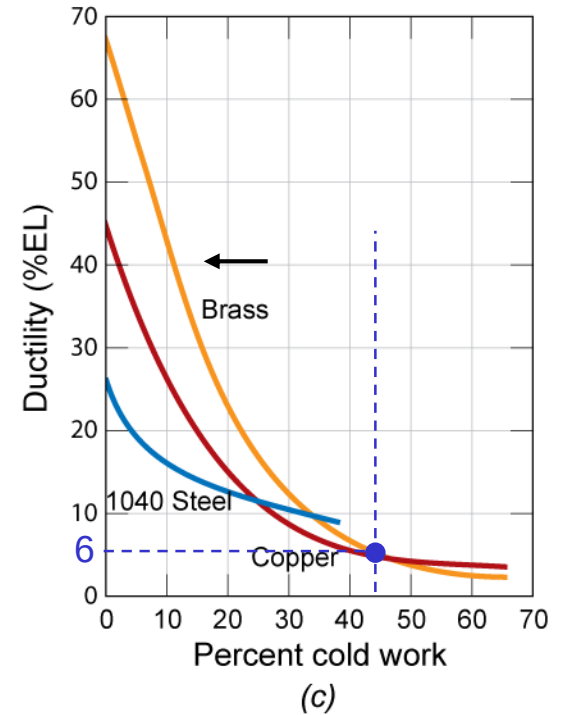
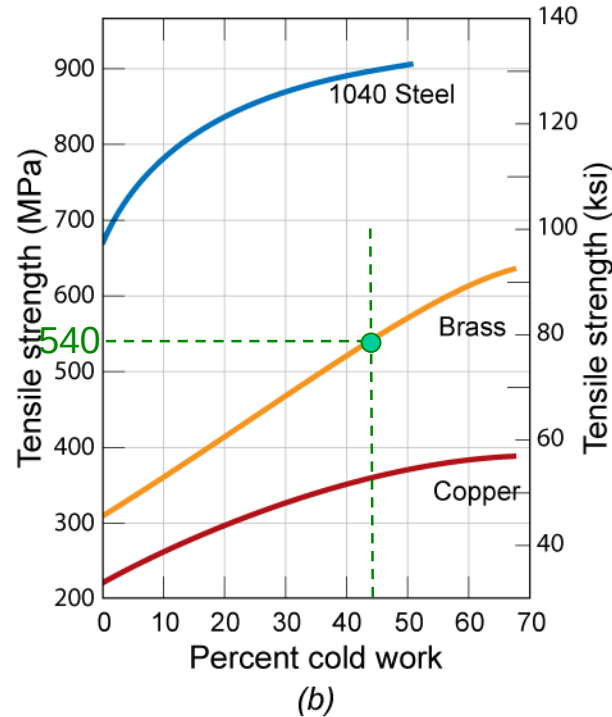
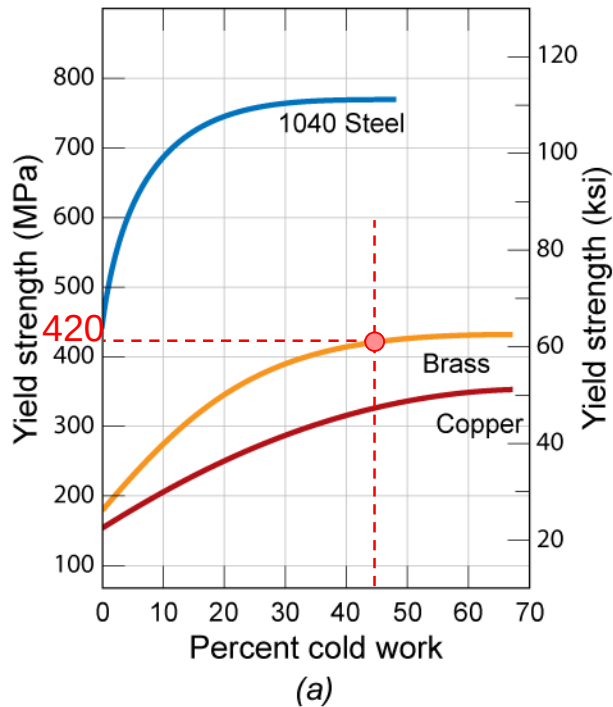
اگر ما به طور مستقیم تا قطر نهایی بکشیم چه اتفاقی می افتد؟



$$\begin{aligned}\%CW &= \left(\frac{A_o - A_f}{A_o} \right) \times 100 = \left(1 - \frac{A_f}{A_o} \right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{\pi D_f^2 / 4}{\pi D_o^2 / 4} \right) \times 100 = \left(1 - \left(\frac{0.30}{0.40} \right)^2 \right) \times 100 = 43.8\%\end{aligned}$$

محاسبات کار سرد

Adapted from Fig. 7.19, Callister 7e.



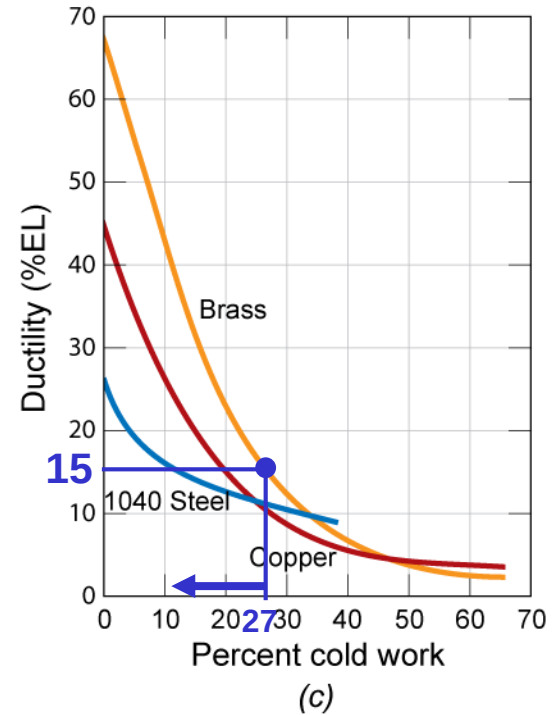
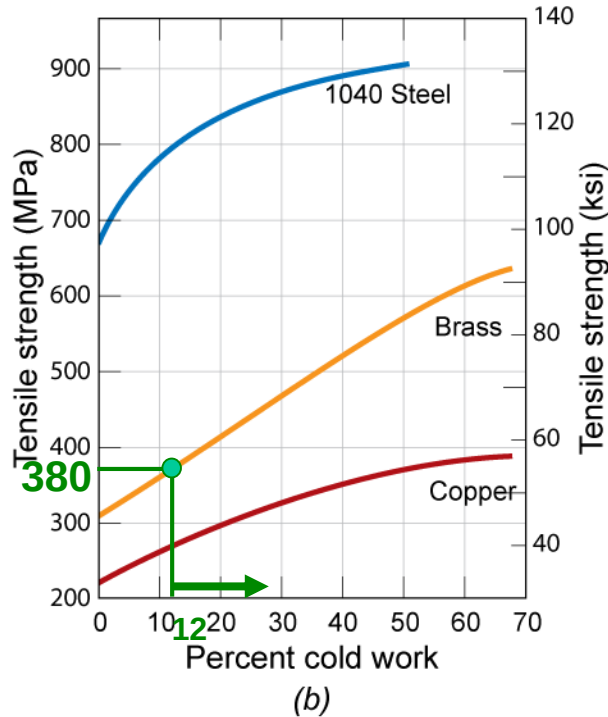
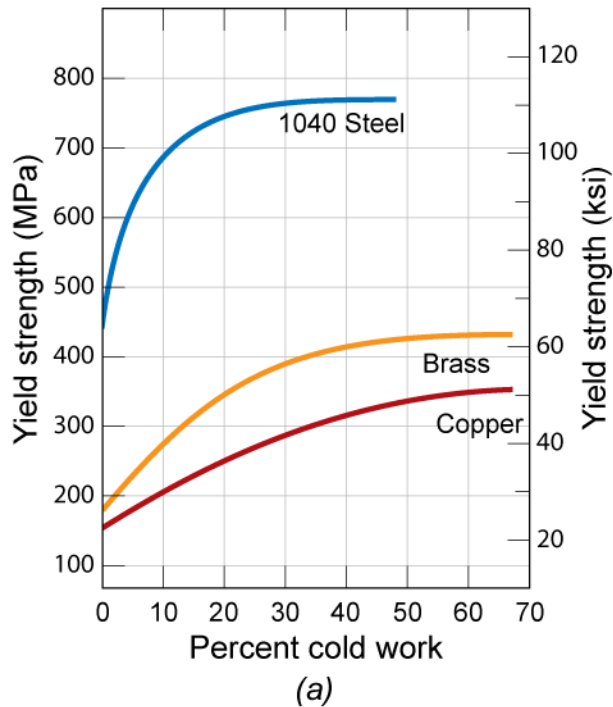
• برای کار سرد 43.8%

- $\sigma_y = 420 \text{ MPa}$
- $TS = 540 \text{ MPa} > 380 \text{ MPa}$
- $\%EL = 6 < 15$

• این نتایج مطلوب نمی باشد.... چه چیزی می توانیم انجام دهیم؟



محاسبات کار سرد



Adapted from Fig. 7.19, Callister 7e.

برای $TS > 380 \text{ MPa}$ $\longrightarrow$ $> 12 \%CW$

برای $\%EL > 15$ $\longrightarrow$ $< 27 \%CW$

∴ محدوده کار سردمان بین ۱۲ تا ۲۷ درصد هست

محاسبات کار سرد

کشش سرد- آنیل- کشش سرد دوباره

- برای این اهداف ما به کار سردی در رنج ۱۲ تا ۲۷ درصد نیاز داریم.
- ما از کار سرد ۲۰ درصد استفاده می کنیم.
- قطر بعد از کشش سرد اولیه چند هست؟
- محاسبات باید به صورت زیر انجام شود:

$$\%CW = \left(1 - \frac{D_{f2}^2}{D_{02}^2}\right) \times 100 \Rightarrow 1 - \frac{D_{f2}^2}{D_{02}^2} = \frac{\%CW}{100}$$

$$\frac{D_{f2}}{D_{02}} = \left(1 - \frac{\%CW}{100}\right)^{0.5} \Rightarrow D_{02} = \frac{D_{f2}}{\left(1 - \frac{\%CW}{100}\right)^{0.5}}$$

$$\text{قطر میانی} = D_{f1} = D_{02} = 0.30 / \left(1 - \frac{20}{100}\right)^{0.5} = \underline{\underline{0.335 \text{ m}}}$$



محاسبات کار سرد

خلاصه:

1. کار سرد $D_{01} = 0.40 \text{ in} \rightarrow D_{f1} = 0.335 \text{ m}$

$$\%CW_1 = \left(1 - \left(\frac{0.335}{0.4} \right)^2 \right) \times 100 = 30$$

2. آنیل $D_{02} = D_{f1}$

3. کار سرد $D_{02} = 0.335 \text{ in} \rightarrow D_{f2} = 0.30 \text{ m}$

$$\%CW_2 = \left(1 - \left(\frac{0.3}{0.335} \right)^2 \right) \times 100 = 20 \quad \text{Fig 7.19} \Rightarrow$$

با توجه به شرایط بالا همه نیاز های مورد نظر
تعیین می شود

$$\sigma_y = 340 \text{ MPa}$$

$$TS = 400 \text{ MPa}$$

$$\%EL = 24$$



مشخصات مورد نیاز فولاد کم کربن در حالت آئنل داده شده
است.

$$\delta = 77000 \text{ } ^\circ/\text{in}$$

$$E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$$

چه مقدار کار سرد باید اعمال شود تا مقاومت تسلیم این فولاد

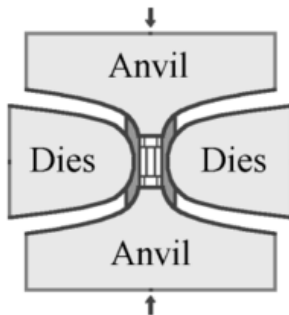
یک و نیم برابر حالت آئنل شده باشد؟

انتقال حالت جامد

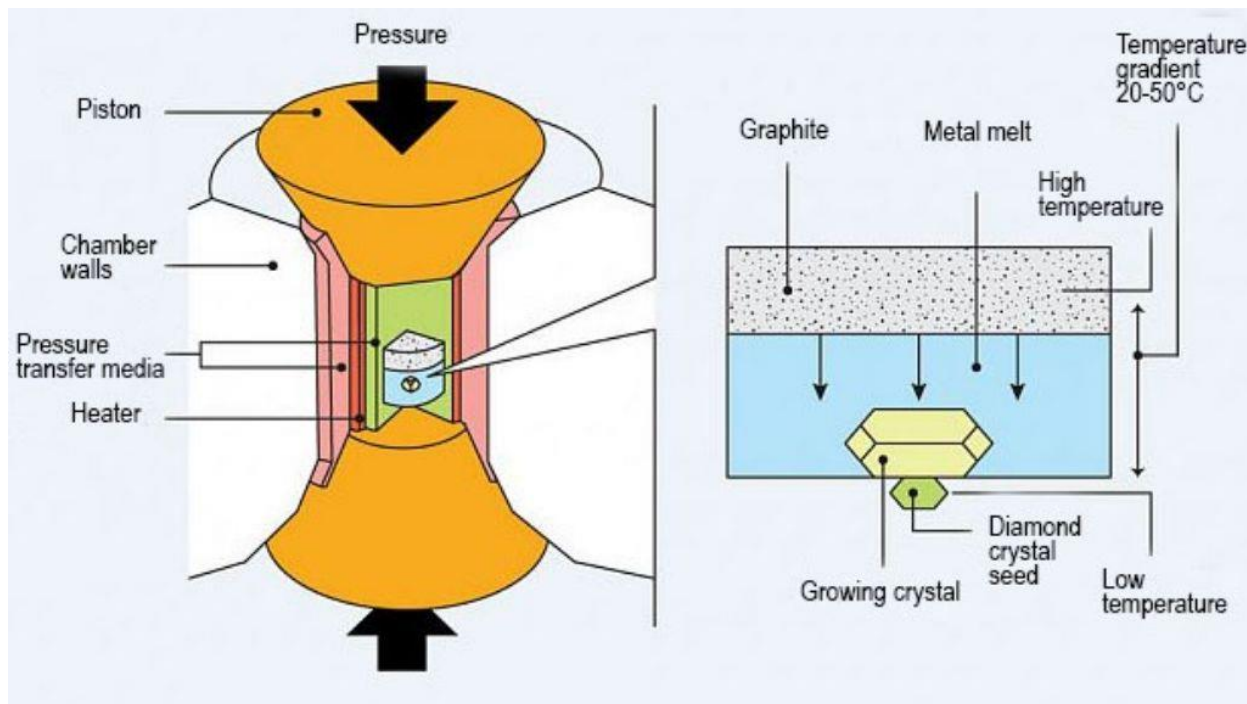
- در رشد بوسیله انتقال فاز حالت جامد، ابتدا از یک نمونه تک بلور یا بس بلور با ساختار نامطلوب آغاز می کنیم و آن را از طریق یک گذار ساختاری به ساختار مطلوب تبدیل می کنیم.
- برای عملی کردن تغییر فاز مطلوب ، ناچار به اعمال فشار، تغییر دما یا هر دو می باشیم.
- یک مثال قدیمی از این دو متغیر که به طور همزمان اعمال می شوند رشد الماس از طریق گرافیت می باشد.



- هال به اولین الماس مصنوعی در ۱۶ دسامبر ۱۹۵۴ دست یافت و آن را در ۱۵ فوریه ۱۹۵۵ اعلان نمود. مسیر عبور موفقیت آمیز او شامل یک ماشین فشار «کمربندی» بود که قادر بود فشارهایی بالاتر از ۱۳۰ بار و دماهایی بالای ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد ایجاد کند.
- بعد ها این ماشین فشار کمی تحول پیدا کرد و از کاتالیستها استفاده شد تا کار راحتتر انجام شود.
- زیر ماشین فشار از فلزی استفاده می شود که گرافیت درمذاب آن فلز حل می شود. مثل نیکل، کبالت و آهن.
- این فلزها مثل کاتالیزگر رفتار می کنند و کربن را در خود حل نموده و تبدیل آن به الماس را شتاب می بخشیدند.



- بذره‌های الماس در پایین دستگاه قرار داده می‌شوند. قسمت درونی دستگاه تا بالای ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود و فلز حلال را ذوب می‌کند.
- فلز مذاب منبع کربن است. این کربن حین فشار به سمت بذره‌های کوچک الماس منتقل می‌شود و الماس مصنوعی را شکل می‌دهد.



مدت گرمادهی (دقیقه)	فشار (kbar)	دما (°C)	حلال
۰/۵-۲۰	۶۵-۷۰	۱۴۲۰	Ni
		۱۴۱۰	Co
		۱۳۲۰	Fe
۰/۵-۲۰	۱۳۰	۳۰۰۰	-



نیتريد بورن مكعبى

نیتريد بورون مكعبى (C-BN)، يك ماده فوق سخت، هيچ معادلى در طبيعت ندارد و از اين رو كاملا دست ساز بشر است. شكل شبه گرافيتى (شش گوشى) نیتريد بورون سال ها است كه شناخته شده و به عنوان ماده ديرگداز و روانساز استفاده مى شود. اين ماده برخلاف گرافيت كه سياه و رسانا مى باشد به رنگ سفيد و يك عايق است. شباهت ساختارى بين گرافيت و نیتريد بورون شش گوش شميميدان هاى اوليه حوزه بلور را براى تفكر نسبت به وجود يك شكل نیتريد بورون شبیه به الماس واداشت. اين اندیشه ابتدا در سال ۱۹۵۷ هنگامى كه ونتورف^۱ اين ماده را در شركت جنرال الكتريك ساخت به واقعيت پيوست [۸۹]. متعاقبا او روش هاى را براى سنتز قابل تكرر اين بلورها با بكارگيرى فشار و دماهاى بالا توسعه بخشيد. مراحل اجراى براى توليد C-BN نظير همان مراحلى است كه براى توليد الماس بكار مى رود. نیتريد بورون شش گوش كه ماده اوليه رشد مى باشد را مى توان از واكنش تری اكسيد بورون (B_2O_3) يا اسيد بوريك ($B(OH)_3$) با آمونياك (NH_3) يا اوره ($CO(NH_2)_2$) در اتمسفر نیتروژن، بدست

آورد



تبدیل مستقیم نیتريد بورن شش گوشى به شكل مكعبى

دما حدود ۳۲۳۰ درجه سانتیگراد
فشار حدود ۸۰ بار



تبدیل مستقیم نیتريد بورن شش گوشي به شكل مكعبي با استفاده از كاتاليست

➤ اين فرايند شامل قرار گرفتن نيتريد بور شش ضلعي در فشار ۴۰ تا ۷۰ كيلوبار در دمای ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سانتیگراد است.

➤ اين فرايند براي مدت زمان ۰.۱ تا ۱ دقيقه تا تبديل كامل نيتريد بور شش ضلعي به نيتريد مكعبي انجام مي شود.

➤ كاتاليزورهاي مهم مورد استفاده در اين روش عبارتند از: مخلوط LiH و LiNH_2 ، فلز قليايي Li ، Mg ، Ca و نيتريدهاي آنها مانند Li_3N



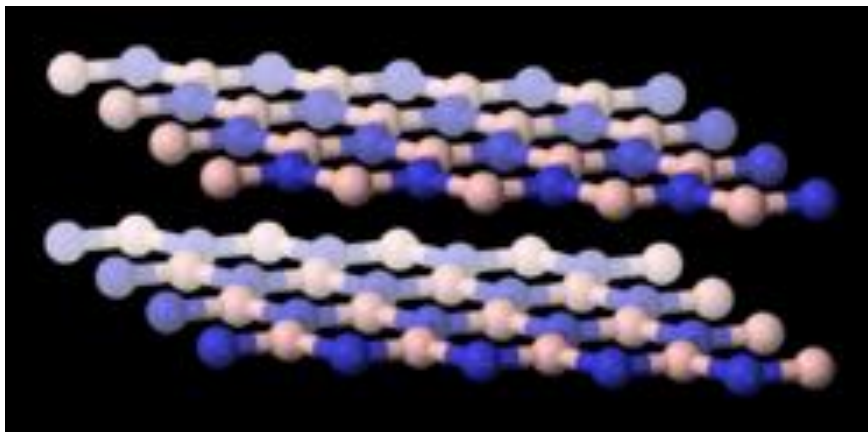
صنایع الکتریکی و الکترونیکی به
عنوان عایق الکتریسیته

صنایع دیرگداز به منظور بهبود شوک
حرارتی و مقاومت به خوردگی

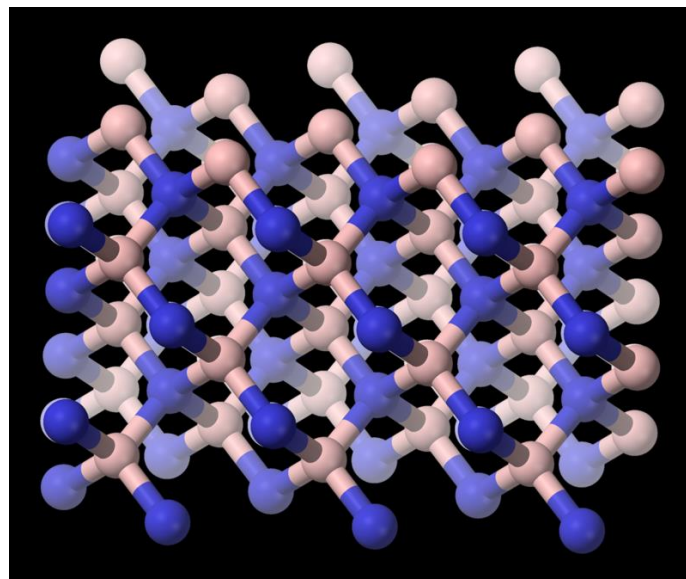
کاربرد cBN

ابزارهای تراشکاری و ماشینکاری
قطعات سخت

یکی از محتمل ترین کاندیداهای نیمه هادی با شکاف باند وسیع برای جانشینی
سیلیکون در دستگاه های الکترونیکی نسل بعدی



نیتريد بورن هگزاگونال شبیه به گرافیت



نیتريد بورن مکعبی شبیه به الماس