



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی و علم مواد

آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد

آزمایش شماره 7 :

آزمایش ضربه

نگارش :

پیام مرادی بانیارانی

**98107728**

گروه :

**دوشنبه ساعت 13:30 تا 16:30**

اساتید :

دکتر سیامک سراج زاده

مهندس جعفر مهدی اخگر

تاریخ انجام آزمایش :

**1401/02/19**

## عنوان : آزمایش ضربه

تخریب کشتی‌های جنگ جهانی دوم مثال معروفی از شکست ترد فولادها می‌باشد. در واقع فولادهای کپار رفته در کشتی دریای کشور مذکور که ساخته می‌شد، نرم بودند، اما با وارد شدن به آب‌های سرد آتلانتیک شمالی، فولادهای نرم به فولادهای ترد تبدیل شده و دچار شکست ترد شدند. دانشمندان به فکر چاره گشتند و اینکه چرا این اتفاق می‌افتد.

در این آزمایش قرار است رفتار مواد را در اثر نیروی ضربه بررسی کنیم. به طور کلی دو نوع شکست داریم. (۱) شکست ترد (۲) شکست نرم (برشی). در بیشتر مواقع با مخلوطی از این دو نوع شکست مواجه خواهیم شد. در شکل زیر سطح شکست نمونه در شکست ترد و نرم را می‌بینیم.



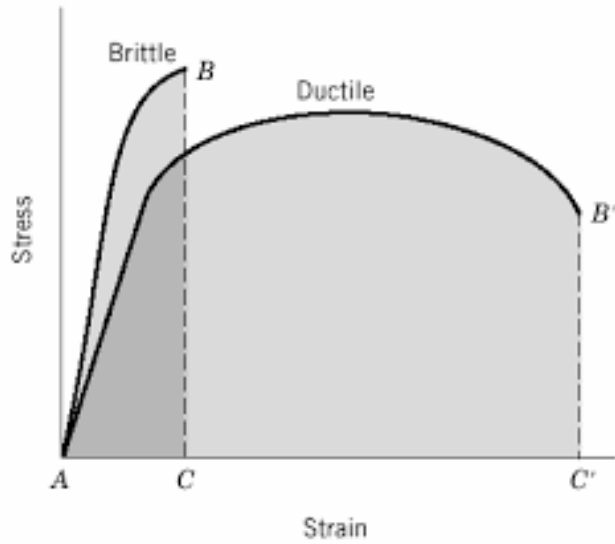
cup-and-cone fracture



brittle fracture

شکل 7.1 سطح شکست دو نمونه ترد و نرم

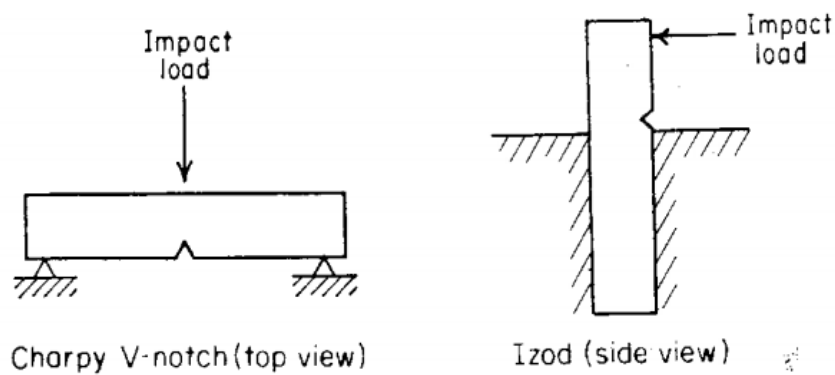
شکست نرم باید ویژگی‌های زیر را داشته باشد.  
 (۱) شکست با تغییر شکل پلاستیکی قابل محسوسی اتفاق می‌افتد.  
 (۲) معمولاً یک هندار خیزگی قبل از شکست به ما می‌دهد. مثلاً گلوپی شدن این تغییر فیزیکی همان تغییر شکل پلاستیکی قبل از شکست است و به ما هشدار می‌دهد که ممکن است قطعه تخریب شود.  
 (۳) قبل از شکست مقدار قابل قبولی انرژی احتیاج است.  
 شکست ترد هم برعکس ویژگی‌های فوق می‌باشد.



شکل 7.2 منحنی تنش - کرنش مهندسی مواد نرم و ترد

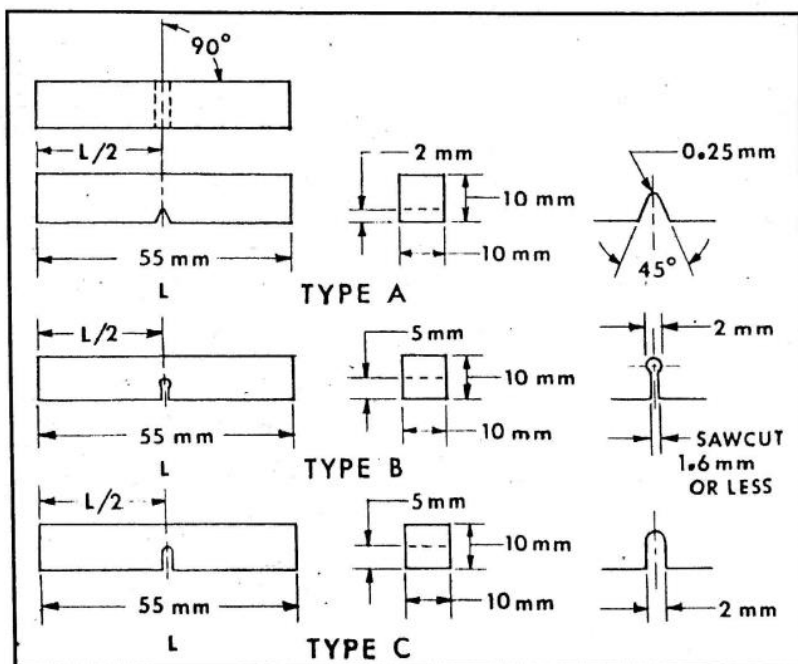
۳ عامل می تواند در شکست ترد تا ثیر بگذارد.  
 ① دما ② نرخ کرنش ③ کشش سه بعدی که در ترک ها، حفره ها، شیارها به وجود آید.  
 ما برای آینه رفتار ماده را در برابر ضربه بررسی می کنیم. باید تست آزمایشی را طوری کنیم. این اطلاعات از تست کشش و یا فشار که نرخ کرنش ها را پایش می کند آنها اعمال می شود نمی توان به دست آورد.  
 برای همین آزمایشی را تحت عنوان، آزمایش ضربه طوری کردند.  
 ۱. نمونه هایی که شیار دارند می توان طوری کرد ولی ۲ تا از آنها استاندارد شده می باشد.  
 طرح های متفاوتی برای  
 ① شارپی (Charpy) ② آیزود (Izod)

در شکل زیر کفایت این دو نمونه را می بینیم و آینه چگونه به آنها در چه جهت به آنها نیرو وارد شود.  
 تست شارپی بیشتر کاربرد دارد و این تست از رایج ترین تست ها می باشد.  
 تست آیزود، امروزه کمتر استفاده می شود. این تست بیشتر در بریتانیا انجام می شود.



شکل 7.3 نمونه ها و جهت اعمال نیرو در تست ضربه شاری و آیزود

روش شاری:  
 در این روش از نمونه های استاندارد به ابعاد  $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$  که دارای شیارهای  $U$  و  $V$  و یا به صورت  
 جالکبی است استفاده می شود. معمولاً از نمونه های با شیار  $V$  که دارای عمق  $2 \text{ mm}$ ، شعاع رأس شیار  
 $0.25 \text{ mm}$  و زاویه شیار  $45^\circ$  باشد، استفاده می کنند. در شکل زیر نمونه های استاندارد شاری ارائه شده است



شکل 7.4 شماتیک نمونه های استاندارد شاری





باید در نظر داشت که نتایج بدست آمده از آزمایش ضربه بهرلی یکی از فیلرولی با دستگاه های ضربه مختلف بدلیل زیرکیان نخواهد بود.

① ائتلاف انرژی به وسیله دستگاهی متریک ماشین

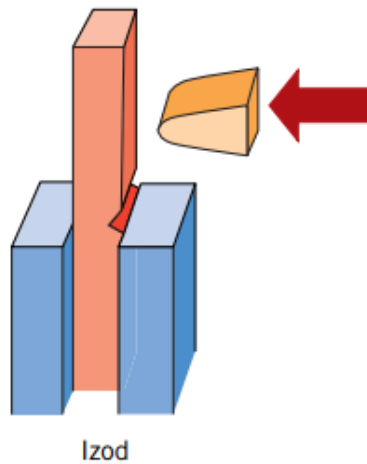
② تغییرات سرعت پاندول

③ اندازه و فرم خفونه.

### آزمایش آیزود ۸

در این آزمایش نیز از خفونه های استاندارد  $10 \times 10 \times 75 \text{ mm}$  و با شیار  $\gamma$  شکل به عمق  $2 \text{ mm}$  زاویه  $45^\circ$  و ضخامت رأس  $0.25 \text{ mm}$  استفاده می شود که خفونه در دستگاه بجای قائم در وضع به یو طه قرار گرفته و ضربه توسط پاندول با سرعت  $5/11 \text{ kg}$  (  $3.5 \text{ m/s}$  ) در طرف شیار به خفونه وارد می شود، مطابق شکل زیر انرژی شکست مستقیماً از صفحه مدرج دستگاه آیزود خوانده می شود.

روشن اینود معمولاً کمتر کفاز رود زیرا خفونه به وسیله نگهدارنده های آن تحت کنش قرار دارد.



شکل 7.6 تست آیزود و جهت اعمال نیرو

همانطور که قبلاً اشاره شد ۳ عامل می تواند در شکت ترد تأثیر بگذارد در ادامه به بررسی هر کدام

۱) <sup>سرعت اعمال نیرو</sup> افزایش سرعت نیروی اعمال شده (ضربه) ممکن است باعث تغییر شکت از نرم به ترد شود که در نتیجه انرژی جذب شده توسط خفونه کاهش می یابد (استحکام ضربه ای کم می شود) افزایش سرعت نیرو منجر به کاهش دما است که هر دو منجر به افزایش تنش سیلان می شوند.

۲) هندسه، شماره، هرچه شماره کمتر باشد، تمرکز تنش در رأس سیم بیشتر بوده و انرژی لازم برای شکت خفونه کمتر خواهد بود. البته در مواردی که شعاع رأس سیم کمتر در نتایج آزمایش مؤثر است. عموماً شکل سیم نیز بر استحکام ضربه ای مؤثر است.

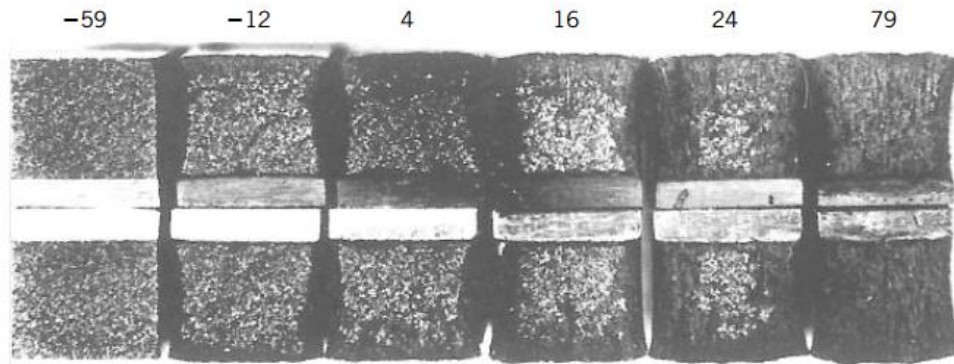
۳) دما:

دما اثر مهمی بر استحکام ضربه ای و دفع شکت خواهد داشت. با افزایش دما ما انتظار شکت نرم تر از ماده داریم چرا که در مقیاس اتمی انحرافات و جابجایی شان زیاد شده و به انرژی بیشتری برای شکت کامل قطعه احتیاج است. در صورتی که در دماهای پایین این دما برای هر ماده ای متفاوت است، شکت می تواند سرد باشد و این را می توان به

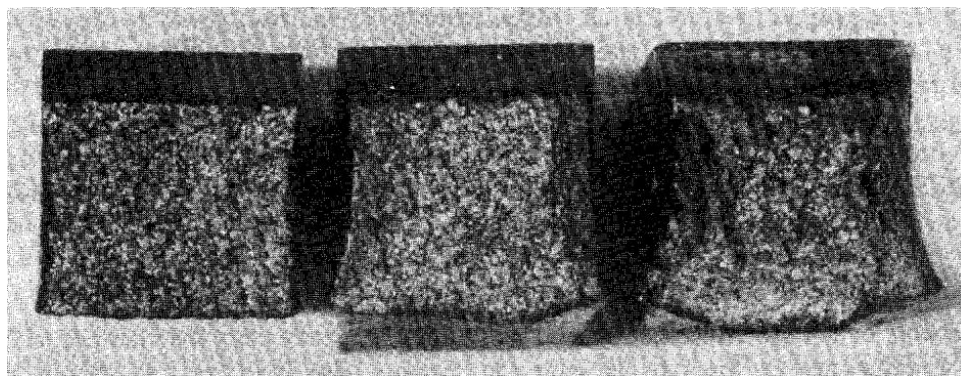
فوسانات کمتر اتمی ربط داد و آینده اتم ها یکدیگر دوست ندارند به روی یکدیگر بلغزند و در نتیجه انرژی کمتری برای شکت ارتباط اتم ها با یکدیگر نیاز است.

در شکل زیر سطح شکت قطعه فولاد A36 در تست شارپی در دماهای متفاوت را می بینیم. همانطور که از شکل ها پیداست هر چه دما کمتر بوده شکت به طرف شکت ترد پیش می رود و با افزایش دما سطح شکت تغییر شکل داده و به صاف خفونه در دمای پایین می باشد.





شکل 7.7 سطح مقطع شکست قطعه فولادی A36



شکل 7.8 سطح شکست نمونه تست های ضربه شاری در دما های مختلف به ترتیب از چپ به راست 4 درجه سانتی گراد و 37 درجه سانتی گراد و 100 درجه سانتی گراد

البته باید به این موضوع هم دقت کرد که ساختار بلوری مواد می تواند تأثیر دما را بر این دقونه های با ساختارهای متفاوت، متفاوت باشد و تأثیر دما یکی نیست. در شکل زیر می توان به این موضوع پی برد که برای فلزات با ساختار کریستال F.C.C و استحکام کم و یا متوسط و بیشتر فلزات HCP رفتار شکست  $\perp$  را دارند.

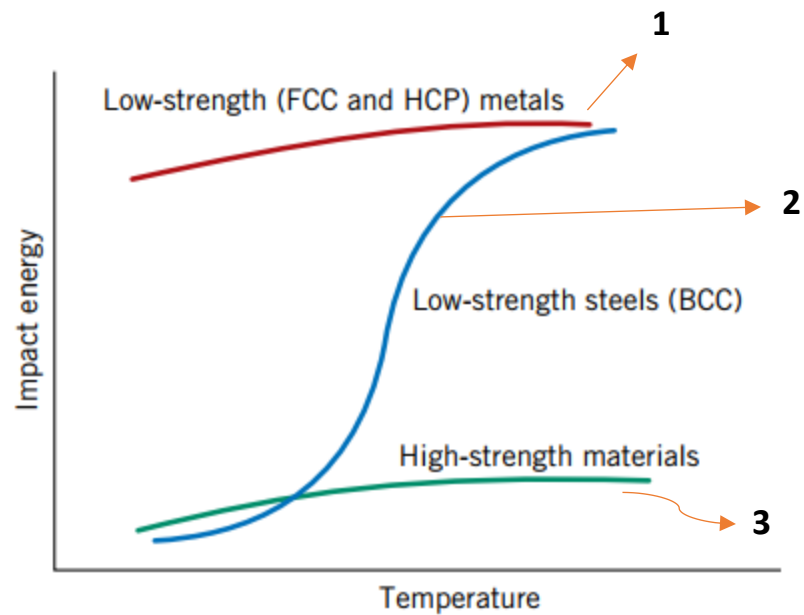
برای فلزاتی که ساختار BCC دارند مثل Zn و سرامیک ها می توان رفتار شکست 2 را در دقت گرفت. در این حالت دمای گذار از نرم به سفت فلزات  $0.1-0.2 T_m$  نقطه ذوب به حسب کلوین است و برای سرامیک ها  $0.5-0.7 T_m$  نقطه ذوب به حسب کلوین است.

دمای گذار از سفت به نرم را در ادامه تعریف کنیم.

همچنین گروه بعدی مربوط به مواد با استحکام بالا مثل فولادهای استحکام بالا، آلیاژهای آلومینیوم و تیتانیوم را نام برد که در آنجا

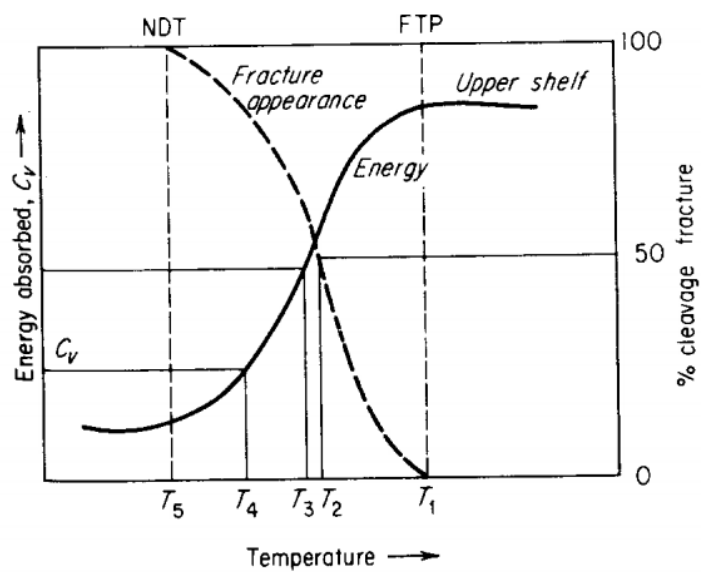
$$\sigma_0 > \frac{E}{150}$$





شکل 7.9 تاثیر شبکه کریستالی بر انرژی ضربه

حال به تعریف دمای انتقال از سرد به گرم پرداختیم.  
 تعریف‌های مختلفی وجود دارد که به ترتیب و با توجه به شکل زیر به تعریف آنها پرداختیم.



شکل 7.10 منحنی تغییرات انرژی جذب شده و درصد شکست ترد بر حسب دما

$T_1$  : دمای که بالاتر از آن دما، امکان شکست ترد ناچیز و شکست ۱۰۰٪ نرم (برشی) است.  
این دما را دمای شکست پلاستیکی  $\leftarrow$  Fracture Transition plastic  $\leftarrow$  FTP می‌گویند.

$T_2$  : دمای که در آن ۵۰٪ شکست نرم و ۵۰٪ شکست ترد باشد، این دما را FATT  
Fracture Appearance Transition Temperature می‌گویند.

$T_3$  : میانگین مقادیر Lower shelf , upper-shelf

$T_4$  : دمای که انرژی جذب شده مجموعاً  $ft.lb$  و یا حدود ۲۰ J باشد که این دما را  
DTT می‌گویند. Ductile Transition Temperature

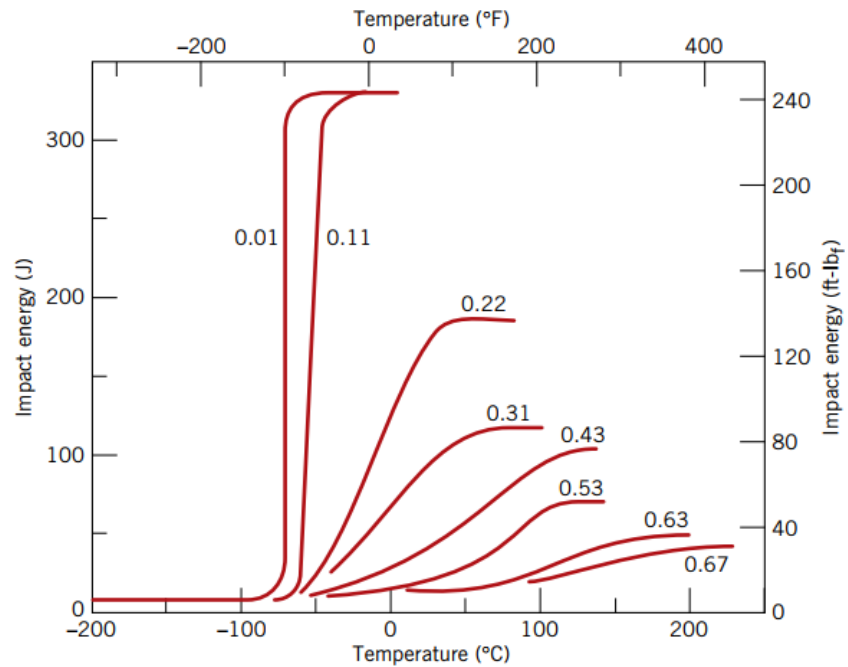
$T_5$  : دمای که در آن هیچ تغییر فرم پلاستیکی انجام نمی‌شود. این دما را  
NDT می‌گویند. Nil Ductility Temperature

عوامل مؤثر در دمای تبدیل :

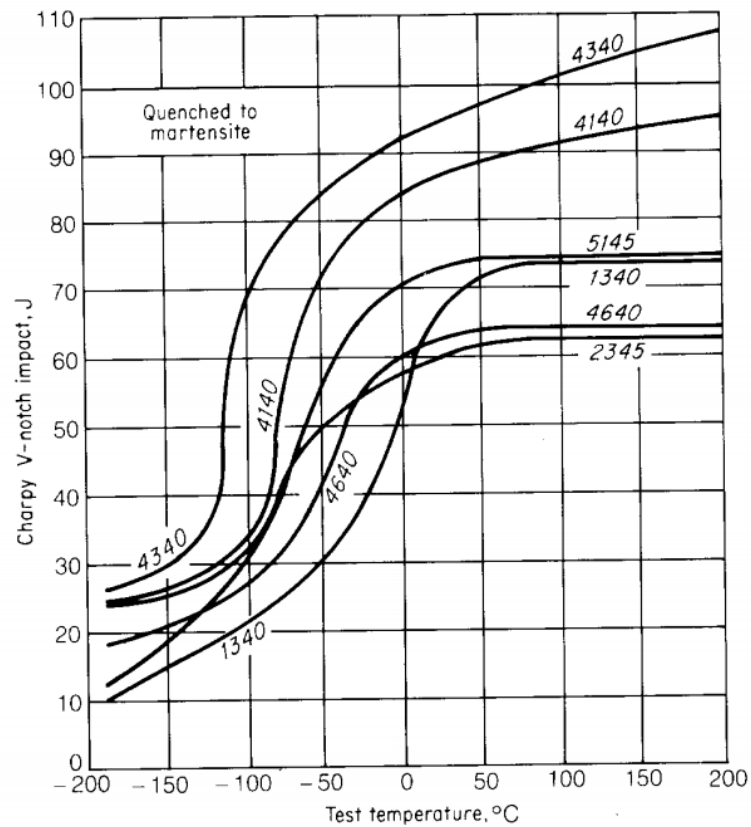
عواملی که باعث افزایش یا کاهش دمای تبدیل می‌شوند عبارتند از : ترکیب شیمیایی ، اندازه دانه  
جهش که نفوذ و خورد آزمایش در آن جهت ساخته شده است.

① ترکیب شیمیایی :

همانطور که در شکل زیر مشخص است ، کمترین انرژی برای به مقدار حداکثری انرژی ، شکل منحنی و دمای  $T_4$   
دارد . به طور کلی با افزایش هر  $0.1\% C$  عنصر آلیاژی کمین دمای  $T_4$  حدود  $25^\circ F$  افزایش می‌یابد.



شکل 7.10 تاثیر میزان کربن بر دمای تبدیل و انرژی ضربه



شکل 7.11 تاثیر ترکیب شیمیایی بر دمای تبدیل در فولادها



② اندازه دانه :

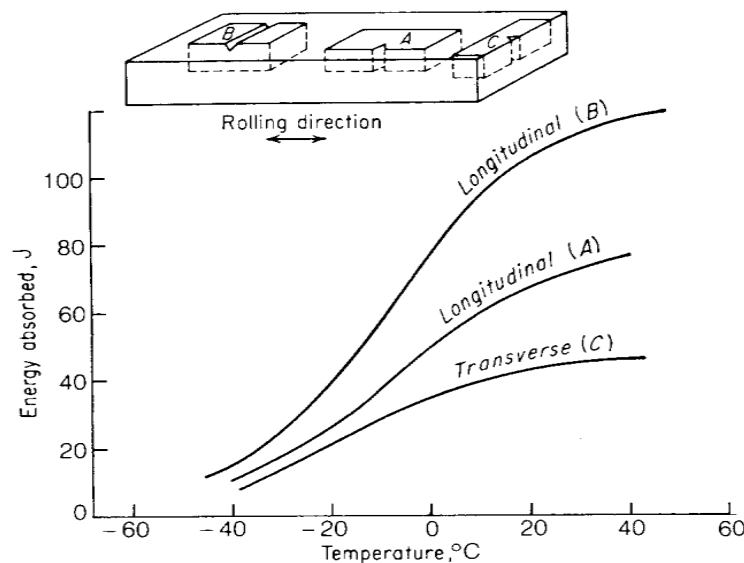
انوارۀ دانه اثر شدیدی بر دمای تبدیل دارد. به طوریکه افزایش عدد ASTM (کاهش اندازه دانه) در فولاد های فریتی باعث کاهش دمای تبدیل به میزان  $30^{\circ}\text{F}$  در فولاد ها خواهد شد.

③ اثر جهت کریستالوگرافی نمونه :

برای فلزاتی که کار سرد ، از قبیل فولد و یا عملیات دیکه ، روی آنها انجام شده جهتی که نمونه آزمایش در آن جهت انتخاب و نشود بر انرژی جذب شده و نیز دمای تبدیل موثر است.

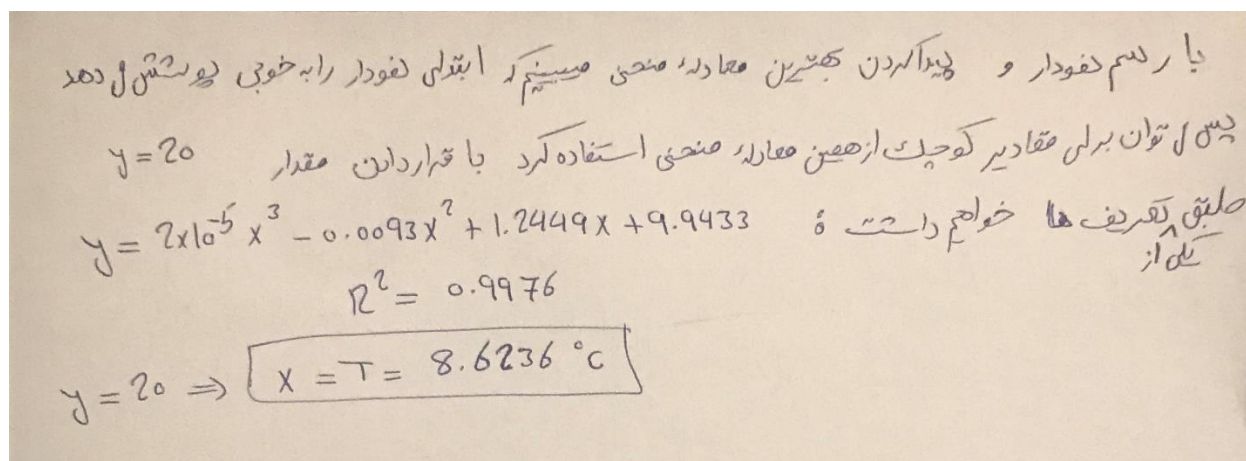
در شکل زیر که منحنی تغییرات انرژی جذب شده بر حسب دما را برای سه نمونه ضربه شکنی که از جهات مختلف پلی صفت فولد شده انتخاب شده اند، نشان می دهد.

نمونه C در جهت عمود بر جهت فولد و نمونه های A و B در جهت فولد می باشند. با این تفاوت که جهت شیار در نمونه های A و B فرق می کند.

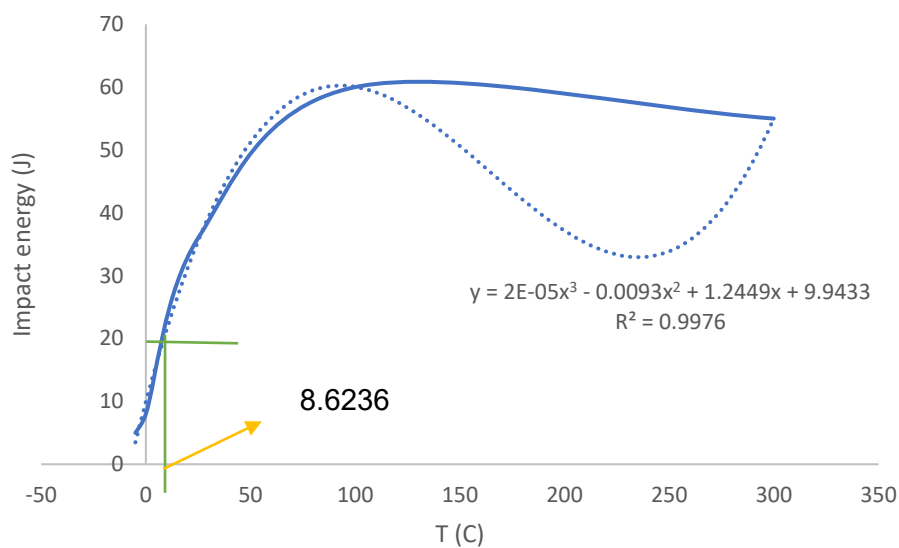


شکل 7.10 تاثیر جهت کریستالوگرافی نمونه بر انرژی جذب شده

خواسته شماره 1:

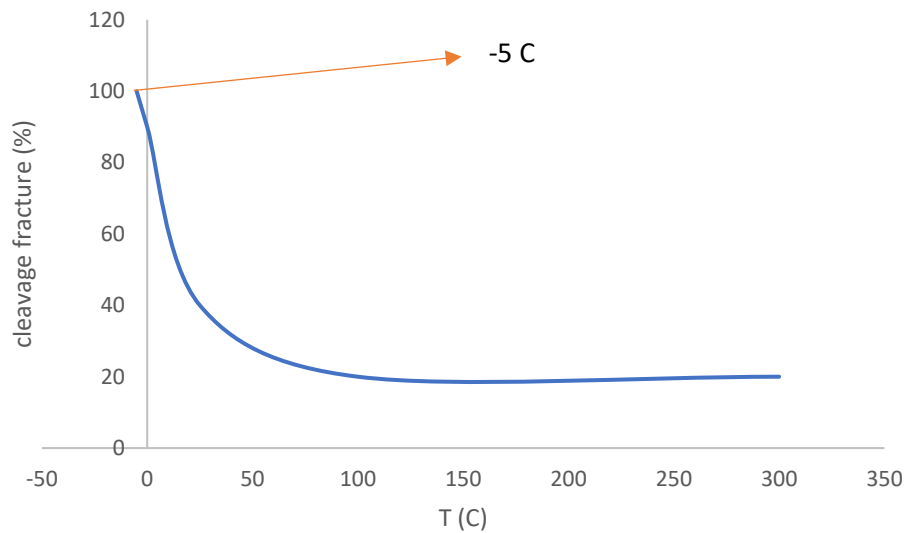


حل معادله های منحنی فیت شده را از طریق نرم افزار انجام دادم



شکل 7.11 منحنی تغییرات انرژی ضربه بر حسب دما

خواسته شماره 2 :



شکل 7.12 منحنی درصد شکست ترد بر حسب دما

دمای NDT یعنی دمای که در آن ۱۰۰٪ شکست ترد داشته باشیم و شکست نرم کمتر از این دما وجود ندارد. تعریف اصلی آن یعنی دمای که در آن هیچ تغییر فرم پلاستیکی انجام نمی‌شود پس این دما با توجه به داده‌های سوال  $T = -5^{\circ}\text{C}$

دمای که در آن شکست نرم، به شکست ترد باشد، این دما را FATT می‌گویند

با خیت کردن معادله منحنی بر منحنی درصد شکست ترد بر حسب دما، معادله‌ای داریم که ابتدای این منحنی را به خوبی بیان کند. و توکم از این معادله استفاده کنیم. با قرار دادن  $y = 50$  و حل معادله:

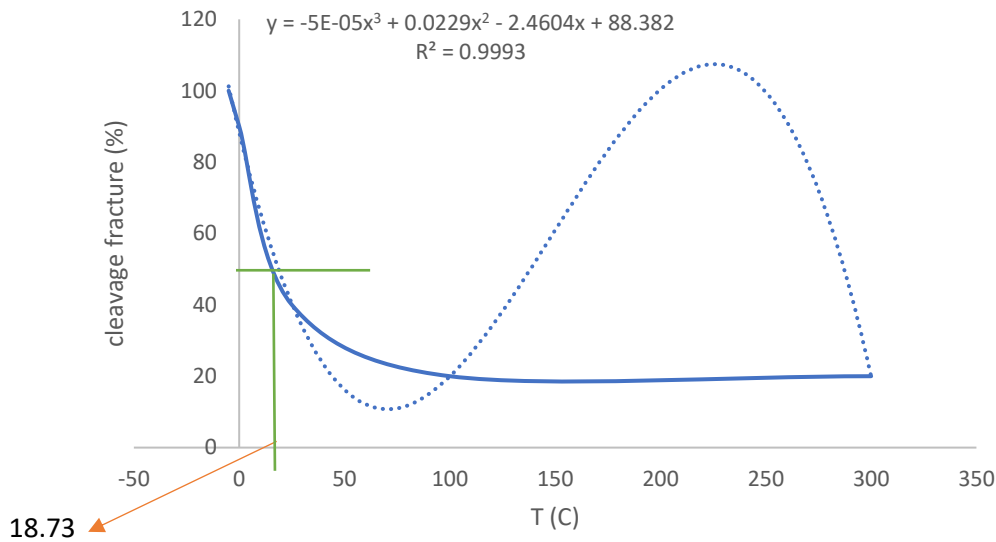
$$y = 50 = -5 \times 10^{-5} x^3 + 0.0229 x^2 - 2.4604 x + 88.382$$

$$\Rightarrow x_1 = 18.73, x_2 = 134.43, x_3 = 304.84$$

با توجه به داده‌های سوال دمای مورد نظر باید کمتر از  $25^{\circ}\text{C}$  باشد پس تنها جواب قابل قبول معادله بالا  $x = T = 18.73^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.

معادله را با استفاده از نرم افزار حل کردم و جواب بدست آمده **18.73** درجه سانتی گراد بدست آمد





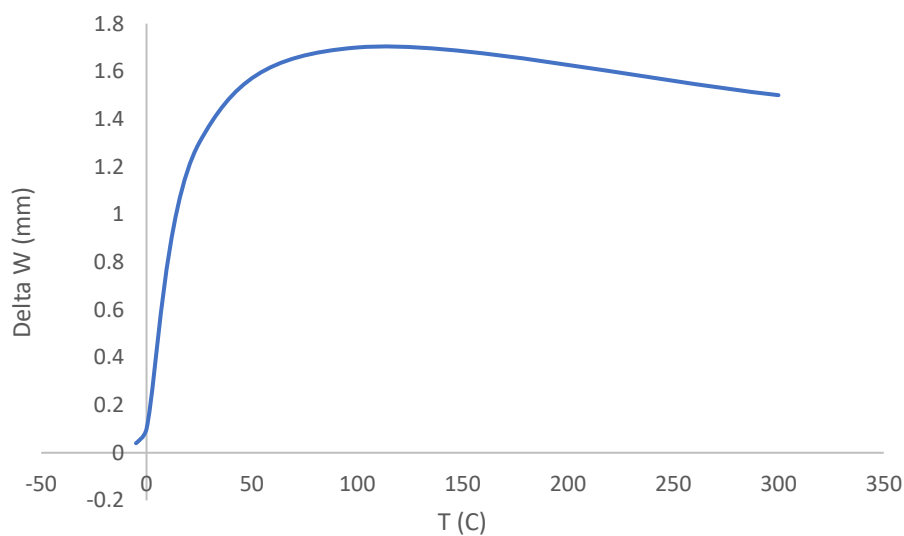
شکل 7.13 منحنی تغییرات درصد شکست ترد بر حسب دما با فیت کردن معادله منحنی

دما را بالاتر از آن دما امکان شکست ترد ناچیز و شکست ۱۰۰٪ نرم (برشی) است. این دما را دمای شکست پلاستیکی  $T_P$  می‌گویند.

با توجه به داده‌های آزمایشی چون دما را تا ۸۰٪ شکست نرم دما و همچنین در اینجا برخلاف

آنچه که قبلاً انجام دادم یعنی بدون جایی، دما را اینجا نمی‌توانم این کار را انجام بدهم چرا که معلوم نیست قطعه دقیقاً در کجا رفته. ۱۰۰٪ شکست نرم دارد. با توجه به اینکه در دما ۱۰۰°C و ۳۰۰°C هر دو ۸۰٪ شکست نرم دارند پس تشخیص اینکه در کجا قرار است ۱۰۰ درصد شکست نرم داشته باشم سخت و عملاً غیر ممکن است. صرفاً باید به صورت تجربی به این دما رسیدیم که از لحاظ تجربی هم کار آسانی نیست چون دما خیلی بالا باشد و هزینه‌ها بالا می‌رود. ولی می‌توان اینکار را کرد.

خواسته شماره 3 :



شکل 7.14 منحنی تغییرات عرض نمونه بر حسب دما

همانطور که دیده شود هرچه دما بالاتر رود رفتار ماده به سمت رفتار نرم پیش می رود و در نتیجه تغییرات عرض نمونه به واسطه رفتار نرم ماده بزرگ تر و بزرگ تر می شود همچنین به دلیل ذرات آلی و  $\alpha$  (ضرب انبساط صریح) ماده با افزایش دما عرض نمونه افزایش می یابد.

مراجع :

کتاب دیتر

کتاب کلیستر

جزوه خواص مکانیکی مواد