

علم مواد

مهندسی پزشکی (زیست مواد)

گردآورندگان

فریبرز شریفیان جزی

وحید جعفری آذر

سرشناسه	: شریفیان جزی، فریرز، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: علم مواد/نویسندگان فریرز شریفیان جزی، وحید جعفری آذر.
مشخصات نشر	: تهران: انتشارات علمی سنا
مشخصات ظاهری	: ۲۸۹ص: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۹×۲۲ س.م.
شابک	: 978-600-7827-35-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: مهندسی مواد -- آزمون ها و تمرین ها (عالی)
موضوع	: مهندسی مواد -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: دانشگاه ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون ها
شناسه افزوده	: جعفری آذر، وحید، ۱۳۶۷ -
رده بندی کنگره	: ۴ع۴/ش/۴۰۴ TA
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۱۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۰۷۶۴۴۱



موسسه علمی انتشاراتی سنا

علم مواد
فریرز شریفیان جزی، وحید جعفری آذر
۹۷۸-۶۰۰-۷۸۲۷-۳۵-۲
دوم - ۱۴۰۲
انتشارات علمی سنا
لیلا انصاری
elmisana@gmail.com
sanabook.com
۱۰۰ نسخه
برای مشاهده قیمت اسکن کنید. 📄

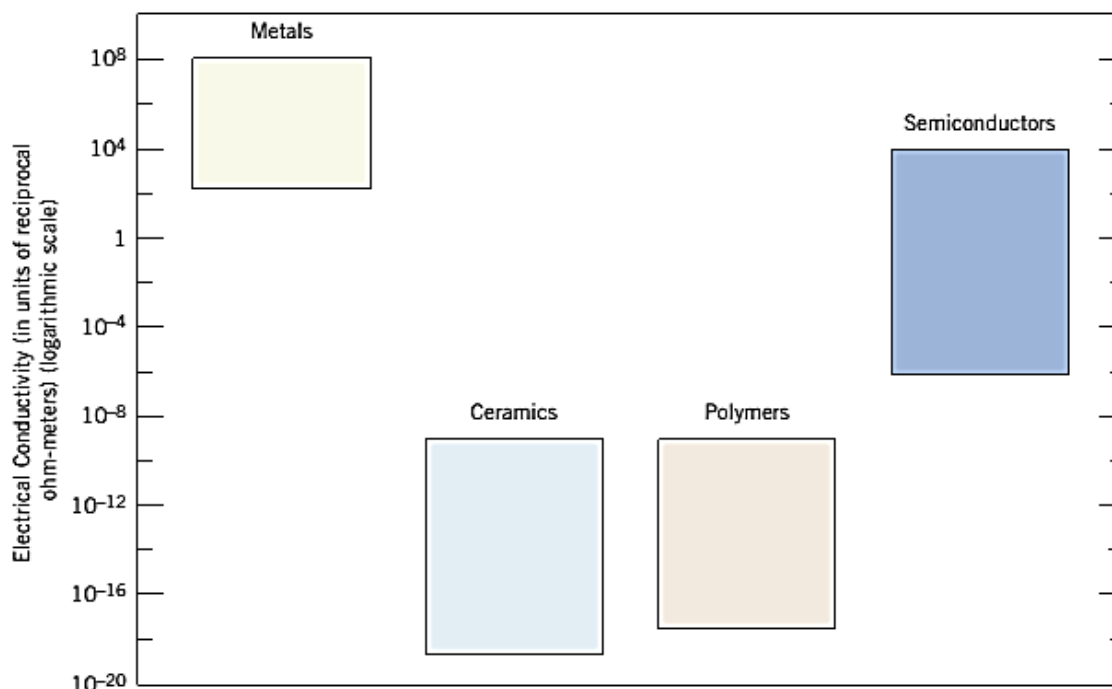
نام کتاب
گردآوردگان
شابک
سال چاپ
صفحه آرابی
طراح جلد
پست الکترونیک
سایت انتشارات
تیراژ
قیمت



دفتر مرکزی: تهران، میدان انقلاب، خیابان جمالزاده شمالی، خیابان فرصت شیرازی، پلاک ۷۲، طبقه همکف
تلفن: ۰۲۱۶۶۵۷۴۳۴۵-۶

فهرست :

فصل اول : طبقه بندی مواد	۱
فصل دوم : پیوند اتمی جامدات	۷
فصل سوم : ساختار فلزات و سرامیک‌ها	۱۴
فصل چهارم : ساختمان پلیمرها	۵۴
فصل پنجم : عیوب در جامدات	۸۲
فصل ششم : نفوذ در جامدات	۹۱
فصل هفتم : خواص مکانیکی	۱۰۶
فصل هشتم : نابجاییها و مکانیزمهای تغییر شکل و استحکامدهی	۱۴۱
فصل نهم : شکست، خستگی و خزش	۱۶۷
فصل دهم : نمودار فازی دوتایی، سیستم آهن- کربن	۱۹۴
سؤالات آزمون ورودی دوره کارشناسی ارشد سال تحصیلی ۹۱-۹۲	۲۴۰
سؤالات آزمون ورودی دوره کارشناسی ارشد سال تحصیلی ۹۲-۹۳	۲۴۴
سؤالات آزمون ورودی دوره کارشناسی ارشد سال تحصیلی ۹۳-۹۴	۲۴۸
سؤالات آزمون ورودی دوره کارشناسی ارشد سال تحصیلی ۹۴-۹۵	۲۵۲
پاسخ تشریحی سوالات علم مواد کنکور ۹۱	۲۵۶
پاسخ تشریحی سوالات علم مواد کنکور ۹۲	۲۶۱
پاسخ تشریحی سوالات علم مواد کنکور ۹۳	۲۶۹
پاسخ تشریحی سوالات علم مواد کنکور ۹۴	۲۷۶



شکل ۱-۵- نمودار ستونی محدوده رسانایی در دمای اتاق برای فلزات، سرامیک‌ها، پلی‌مرها و کامپوزیت‌های مختلف.

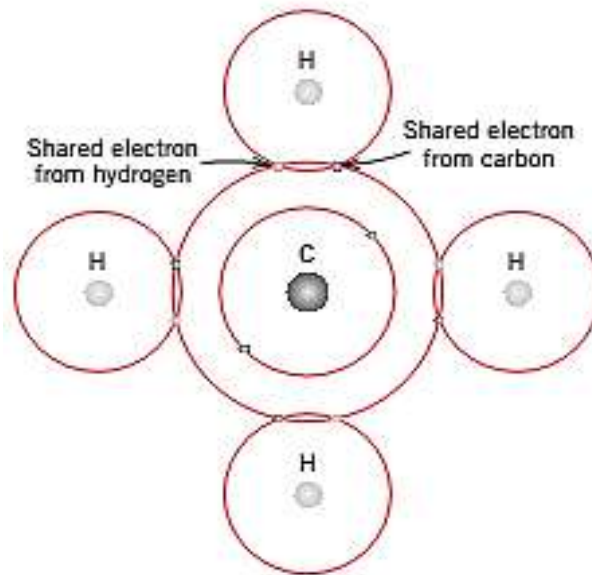
سرامیک‌ها

سرامیک‌ها ترکیباتی هستند که در محدوده عناصر فلزی و غیرفلزی قرار می‌گیرند. اغلب اوقات سرامیک‌ها شامل اکسیدها، نیتریدها و کاربیدها هستند. به عنوان مثال، بعضی از مواد سرامیکی رایج شامل اکسید آلومینیوم (یا آلومینا، Al_2O_3)، دی‌اکسید سیلیسیم (یا سیلیکا SiO_2)، کاربید سیلیسیم (SiC)، نیتريد سیلیسیم (Si_3N_2) و سرامیک‌های تجارتي می‌باشد که از مواد معدنی رسی مثل لعاب، سیمان و شیشه تشکیل شده‌اند، با در نظر گرفتن رفتار مکانیکی، مواد سرامیکی نسبتاً سفت و مستحکم هستند و سختی و استحکام آنها با فلزات قابل مقایسه است (شکل ۱-۲ و ۱-۳). همچنین، سرامیک‌ها اغلب بسیار سخت هستند. از طرف دیگر سرامیک‌ها به شدت ترد بوده (فاقد انعطاف‌پذیری) و بسیار مستعد به شکست هستند (شکل ۱-۴). سرامیک‌ها معمولاً در برابر عبور حرارت و الکتریسیته عایق بوده (یعنی رسانایی الکتریکی پایینی دارند، و برخی از آنها اکسیدی (مانند Fe_2O_3) رفتار مغناطیسی از خود نشان می‌دهند.

شکل (۱-۵) و نسبت به فلزات و پلی‌مرها، مقاومت بیشتری در برابر دمای بالا و محیط‌های خشن دارند. با توجه به خواص نوری، سرامیک‌ها می‌توانند شفاف، نیمه شفاف و یا کدر باشند.

پلی‌مرها

پلی‌مرها شامل مواد لاستیکی و پلاستیک‌های متداول هستند. بسیاری از ترکیبات آنها، آلی هستند که از نظر شیمیایی، پایه کربن، هیدروژن و سایر عناصر غیر فلزی (مثل اکسیژن، نیتروژن و سیلیسیم) را دارند. علاوه بر آن، پلی‌مرها ساختمان



شکل ۲-۳- تصویر شماتیک پیوند کووالانسی در یک مولکول متان (CH_4)

نمونه‌های دیگری از پیوند کووالانسی در جامدات عنصری مانند الماس (کربن)، سیلیسیم و ژرمانیوم و دیگر ترکیبات جامد تشکیل شده از عناصر قرار گرفته در سمت راست جدول تناوبی مانند آرسنید گالیم (GaAs)، آنتیموانید ایندیم (InSb) و کاربید سیلیسیم (SiC) دیده می‌شود.

تعداد پیوندهای کووالانسی امکان‌پذیر برای یک اتم خاص توسط تعداد الکترون‌های ظرفیت مشخص می‌شود اگر N' تعداد الکترون‌های ظرفیت باشد، یک اتم می‌تواند حداکثر $8-N'$ پیوند کووالانسی با دیگر اتم‌ها داشته باشد. به عنوان مثال، برای کلر $N'=7$ و $8-N'=1$ ، بدین معنی است که یک اتم کلر می‌تواند تنها با یک اتم دیگر مانند Cl پیوند داشته باشد. به طور مشابه، برای کربن $N'=4$ و برای هر اتم کربن داریم $8-4=4$ ، یا چهار الکترون برای اشتراک. الماس دارای ساختمان سه بعدی پیوسته است که در آن هر اتم کربن با چهار اتم کربن دیگر، پیوند کووالانسی دارد. پیوند کووالانسی می‌تواند بسیار قوی، همانند الماس که بسیار سخت و با نقطه ذوب بسیار بالا، بالاتر از 3550°C درجه سانتیگراد و یا بسیار ضعیف، مانند بیسموت با نقطه ذوب حدود 270°C درجه سانتیگراد باشد. مواد پلی‌مری نمونه‌ای از این پیوند هستند، ساختمان مولکولی اصلی در امتداد زنجیر اتم‌های کربن که به صورت کووالانسی با دو پیوند موجود از چهار پیوند هر اتم به یکدیگر متصل شده‌اند ایجاد می‌گردد. معمولاً دو پیوند باقیمانده با اتم‌های دیگر به صورت پیوند کووالانسی اشتراک می‌کند.

امکان وجود پیوندهای بین فلزی به صورت بخشی یونی و بخشی کووالانسی وجود دارد. در حقیقت ترکیبات بسیار کمی وجود دارد که در آنها پیوندها، کاملاً یونی یا کاملاً کووالانسی باشد.

برای یک ترکیب، میزان هر پیوند به موقعیت نسبی اتم‌های سازنده در جدول تناوبی یا اختلاف در الکترونگاتیویته آنها بستگی دارد. با افزایش فاصله (هم افقی - نسبت به گروه IVA و هم عمودی) از گوشه سمت چپ پایین تا گوشه سمت راست بالا (به عبارت دیگر افزایش اختلاف در الکترونگاتیویته)، پیوند یونی بیشتر می‌شود. برعکس، با نزدیک شدن اتم‌ها به یکدیگر یا به عبارت دیگر، کوچک‌تر شدن اختلاف در الکترونگاتیویته میزان پیوند کووالانسی بیشتر می‌شود. درصد

جدول ۳-۲: خلاصه‌ای از ساختمان‌های بلوری چند سرامیک متداول

مثال‌ها	عدد همسایگی		تراکم آنیون	نوع ساختمان	نام ساختمان
	کاتیون	آنیون			
NaCl, MgO, FeO	۶	۶	FCC	AX	نمک طعام (کلرید سدیم)
CsCl	۸	۸	مکعبی ساده	AX	کلرید سزیم
ZnS, SiC	۴	۴	FCC	AX	سولفید روی (اسفالریت)
$AX_{\gamma CaF_2, UO_2, ThO_2}$	۴	۸	مکعبی ساده	AX_{γ}	فلوریت
$BaTiO_{\gamma}, SrZrO_{\gamma}, SrSnO_{\gamma}$	۶	۱۲(A) ۶(B)	FCC	ABX_{γ}	پرووسکیت
$MgAl_{\gamma}, FeAl_{\gamma}O_{\gamma}$	۴	۴(A) ۶(B)	FCC	$AB_{\gamma}X_{\gamma}$	اسپنیل

محاسبه چگالی برای مواد سرامیکی

امکان محاسبه چگالی تئوری مواد سرامیکی بلوری از اطلاعات واحد شبکه آنها وجود دارد. در این حالت، چگالی (ρ) را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\rho = \frac{n^t (\sum A_C + \sum A_A)}{V_C N_A}$$

که در آن:

n^t = تعداد واحدهای فرمول در یک واحد شبکه

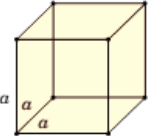
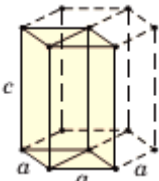
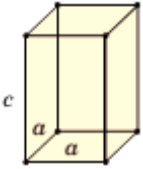
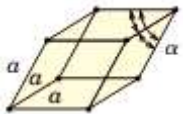
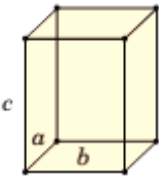
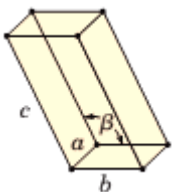
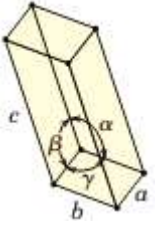
$\sum A_C$ = مجموع وزن‌های اتمی تمام کاتیون‌های موجود در واحد فرمول

$\sum A_A$ = مجموع وزن‌های اتمی تمام آنیون‌های موجود در واحد فرمول

V_C = حجم واحد شبکه

N_A = عدد آووگادرو، 6.023×10^{23} واحد فرمول بر مول

جدول ۳-۳: ارتباط پارامتر شبکه و شکل هندسی واحد شبکه برای هفت سیستم بلوری مختلف

سیستم بلوری	ارتباط محورها	زوایای بین محورها	شکل هندسی واحد شبکه
مکعبی	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
هگزاگونال	$a=b \neq c$	$\gamma = 120^\circ, \alpha = \beta = 90^\circ$	
تتراگونال	$a=b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
رومبوهدرال	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
اورتورومبیک	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
مونوکلینیک	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
تری کلینیک	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

بر اساس بررسی ساختمان‌های بلوری فلزی، مشخص است که هر دو ساختمان FCC و BCC به سیستم بلوری مکعبی تعلق دارند، در حالی که HCP در سیستم هگزاگونال جای می‌گیرد. متداول‌ترین واحد شبکه هگزاگونال شامل سه متوازی‌السطوح می‌باشد که در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

رابطه $(n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta)$ به نام **قانون براگ** شناخته می‌شود. هم‌چنین n مرتبه انعکاس است که می‌تواند هر عدد صحیحی (۱، ۲، ۳، ...) باشد و $\sin \theta$ از مقدار واحد (یک) تجاوز نمی‌کند. بنابراین رابطه ساده‌ای بین طول موج پرتو ایکس و فاصله بین اتمی با زاویه پراش یافته به‌دست می‌آید. اگر قانون براگ برقرار نشود، تداخل ماهیتی مخرب خواهد داشت و بنابراین پرتو پراشیده با شدت بسیار کم به‌دست می‌آید. اندازه فاصله بین دو صفحه مجاور و موازی اتم‌ها (فاصله بین صفحه‌ای d_{hkl}) تابعی از اندیس‌های میلر (hkl) است و آن نیز با پارامتر شبکه رابطه دارد. به عنوان مثال برای ساختمان‌های بلوری با تقارن مکعبی:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

که در آن a پارامتر شبکه (طول ضلع واحد شبکه) است.

قانون براگ شرط لازم برای پراش است، اما شرط کافی برای پراش در بلورهای واقعی نمی‌باشد. مشخص شده است هنگامی پراش در واحدهای شبکه اتفاق خواهد افتاد که اتم‌ها تنها در گوشه‌های شبکه قرار گیرند. با این حال، اتم‌های قرار گرفته در دیگر موقعیت‌ها (مانند موقعیت‌های وجوه و درون واحد شبکه در FCC و BCC) نیز به صورت مراکز پراش اضافی، باعث ایجاد پراکندگی غیرهم‌فاز در زوایای براگ معین می‌شوند. نتیجه نهایی، حذف برخی از پرتوهایی است که مطابق با رابطه براگ باید وجود داشته باشند. به عنوان مثال، برای ساختمان بلوری BCC مجموع $h+k+l$ باید زوج باشد تا پراش اتفاق افتد، در حالی که برای FCC، h, k, l باید تماماً زوج یا فرد باشند.

جامدات غیر بلوری

جامدات غیر بلوری، آرایش اتمی متقارن و منظم در فواصل اتمی نسبتاً طولانی ندارند. بعضی مواقع به این مواد **آمورف** (به معنی تقریباً بی‌شکل) یا مایعات سریع سرد شده نیز گفته می‌شود، زیرا ساختمان اتمی آن‌ها مشابه با یک مایع است. حالت آمورف را می‌توان با مقایسه ساختمان‌های بلوری و غیر بلوری ترکیب سرامیکی اکسید سیلیسیم (SiO_2) که می‌تواند در هر دو حالت وجود داشته باشد، نشان داد. در شکل‌های ۳-۲۴ (الف و ب) به صورت شماتیک هر دو ساختمان SiO_2 را نشان داده شده است که در هر یک، تتراهدرون SiO_4^{4-} واحد اصلی می‌باشد. با وجود اینکه هر یون سیلیسیم با چهار یون اکسیژن در هر دو حالت پیوند دارد، اما ساختمان در حالت غیر بلوری بسیار نامنظم و بی‌قاعده است.

در پلی پروپیلن (و هر پلی مر دیگری) رسیدن به تبلور ۱۰۰٪ ناممکن است. بنابراین، در شکل ۴-۱۲ محور عمودی به صورت کسر تبلور نرماله شده نشان داده شده است. مقدار ۱ این عامل برابر با حداکثر سطح تبلور حاصل در حین آزمایش‌ها بوده که در واقع کم‌تر از تبلور کامل می‌باشد.

ذوب

ذوب یک بلور پلی مری به معنای دگرگونی ماده جامد با ساختار منظمی از زنجیره‌های مولکولی آرایش یافته به یک مایع چسبنده با ساختاری به شدت تصادفی را گویند. این پدیده، در اثر گرمایش در دمای ذوب T_m روی می‌دهد. موارد پیچیده متعددی در زمینه ذوب پلی مرها وجود دارد که معمولاً در مورد فلزات و سرامیک‌ها دیده نمی‌شود؛ این موارد ناشی از ساختمان‌های مولکولی پلی مرها و مورفولوژی بلوری لایه‌هاست. مورد اول آن است که ذوب پلی مرها در یک محدوده دمایی صورت می‌گیرد. همچنین، رفتار ذوب به تاریخچه نمونه وابسته است و به طور خاص به دمایی که در آن تبلور صورت گرفته بستگی دارد. ضخامت لایه‌های زنجیره‌ای نیز به دمای تبلور وابسته است: هر چه ضخامت لایه بیشتر باشد دمای ذوب بالاتر است. ناخالصی‌ها در پلی مرها و نواقص در بلورها نیز باعث کاهش دمای ذوب می‌شوند. در نهایت، رفتار ذوب ظاهری، تابعی از نرخ گرمایش است: افزایش این نرخ باعث افزایش دمای ذوب می‌گردد. مواد پلی مری به عملیات حرارتی که باعث تغییرات ساختاری و خواص می‌شوند حساس هستند. افزایش ضخامت لایه‌ها می‌تواند در اثر آنیل در زیر دمای ذوب روی دهد. آنیل می‌تواند باعث افزایش دمای ذوب، به دلیل کاهش جاهای خالی و سایر نواقص در بلورهای پلی مری شده ضخامت کریستالیت را نیز افزایش دهد.

انتقال شیشه‌ای

انتقال شیشه‌ای در پلی مرهای آمورف (یا شیشه‌ای) و نیمه بلوری روی می‌دهد و ناشی از کاهش حرکت بخش‌های بزرگی از زنجیره‌های مولکولی بر اثر کاهش دما می‌باشد. در اثر سرمایش، انتقال شیشه‌ای به صورت تبدیل تدریجی از مایع به ماده ای لاستیکی و در نهایت به یک جامد صلب صورت می‌گیرد. دمایی که در آن پلی مر از حالت لاستیکی به جامد صلب تبدیل می‌شود را دمای انتقال شیشه‌ای، T_g می‌نامند. البته این ترتیب مراحل به صورت معکوس و به هنگام تبدیل یک شیشه صلب به هنگام گرمایش در دمایی پایین‌تر از T_g نیز اتفاق می‌افتد. همچنین تغییرات ناگهانی در سایر خواص فیزیکی نیز با انتقال شیشه‌ای همراه است: مثلاً سفتی، ظرفیت حرارتی و ضریب انبساط حرارتی.

دمای ذوب و انتقال شیشه‌ای

دمای ذوب و انتقال شیشه‌ای به ترتیب تعریف کننده بیشترین و کمترین حد دمایی برای کاربردهای متعدد به ویژه پلی مرهای نیمه بلوریند. دمای انتقال شیشه‌ای می‌تواند بالاترین دمای مورد استفاده برای مواد آمورف شیشه‌ای را نیز

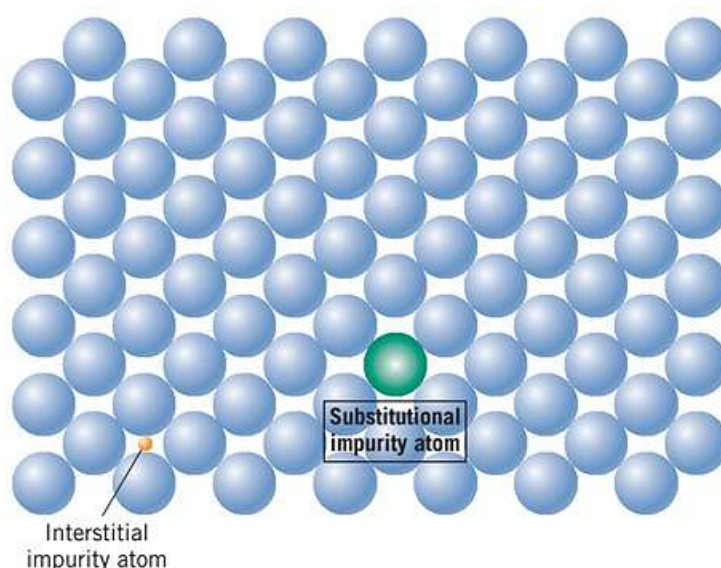
به یک مکان بین نشینی برود. هیچ تغییری در بار ایجاد نخواهد شد چون کاتیون در حالت بین نشینی هم، بار مثبت خود را حفظ می کند.

نوع دیگری از عیوب موجود در مواد AX، یک جفت جای خالی کاتیونی و جای خالی آنیونی است که به عنوان عیب شاتکی شناخته می شود. به نظر می رسد این عیب در اثر یک کاتیون و آنیون از داخل بلور و سپس قرار گرفتن هر دوی آن ها در یک سطح خارجی ایجاد شود. از آنجا که کاتیون ها و آنیون ها دارای بار مشابهی هستند و چون به ازای هر جای خالی آنیونی یک جای خالی کاتیونی وجود دارد، خنثی بودن بار بلور نیز حفظ می گردد. نسبت کاتیون ها به آنیون ها در اثر تشکیل یک عیب شاتکی یا فرانکل تغییر نمی کند. تعداد تعادلی عیوب فرانکل و شاتکی به دما وابسته بوده و با آن افزایش می یابد.

محلول های جامد

محلول جامد هنگامی تشکیل می شود که اتم های حل شونده به ماده میزبان افزوده می شوند و در این حالت ساختمان بلوری ثابت مانده و هیچ ساختمان جدیدی تشکیل نمی گردد. می توان این حالت را با محلول مایع تشبیه کرد. اگر دو مایعی که در یکدیگر قابل حل هستند (مثل آب و الکل) با هم ترکیب شوند، به هنگام اختلاط در هم مولکول های مایع تولید شده و ترکیب کلی آن همگن خواهد بود. محلول جامد از نظر ترکیبی نیز همگن است؛ اتم های ناخالصی به صورت تصادفی و یکنواخت در جامد پراکنده شده اند.

عیوب نقطه ای ناخالصی در محلول های جامد یافت می شوند و به دو صورت جانشینی و بین نشینی می باشند. در حالت جانشینی، اتم های ناخالصی یا حل شونده، جایگزین اتم های میزبان می شوند (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲- تصویر دو بعدی اتم های ناخالصی جانشینی و بین نشینی.

$$J = \frac{M}{At}$$

در این رابطه، A سطح نفوذ و t زمان نفوذ است. شکل دیفرانسیلی این رابطه به صورت زیر است

$$J = \frac{1}{A} \frac{dM}{dt}$$

واحد J کیلوگرم یا اتم بر مترمربع بر ثانیه ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ یا $\text{atom/m}^2 \cdot \text{s}$) است.

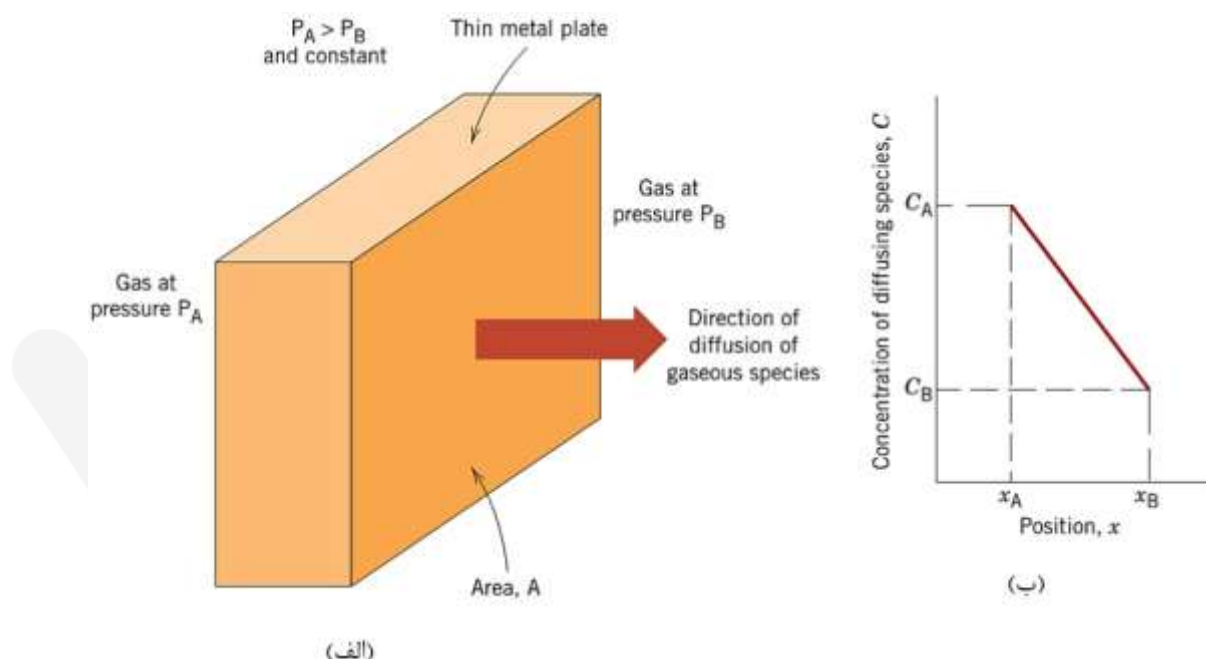
اگر شار نفوذی با زمان تغییر نکند، شرط حالت پایدار ایجاد می‌گردد. مثال واضح از نفوذ حالت پایدار، نفوذ اتم‌های یک گاز در یک صفحه فلزی است که طی آن غلظت اجزای نفوذی در هر دو طرح سطح صفحه ثابت باقی می‌ماند. این فرایند در شکل ۴-۶ الف نشان داده شده است.

به هنگام رسم غلظت C بر حسب موقعیت (یا فاصله) در جامد x ، منحنی حاصل پروفیل غلظت نامیده می‌شود و شیب در یک نقطه خاص از این منحنی، شیب غلظت نام دارد:

$$\text{شیب غلظت} = \frac{dC}{dx}$$

در این بحث، پروفیل غلظت به صورت خطی فرض شده، همان‌طور که در شکل ۴-۶ ب نشان داده شده است، و:

$$\text{شیب غلظت} = \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{C_A - C_B}{x_A - x_B}$$



شکل ۴-۶ (الف) نفوذ حالت پایدار در یک صفحه نازک. (ب) پروفیل غلظت خطی برای وضعیت نفوذ در حالت (الف).

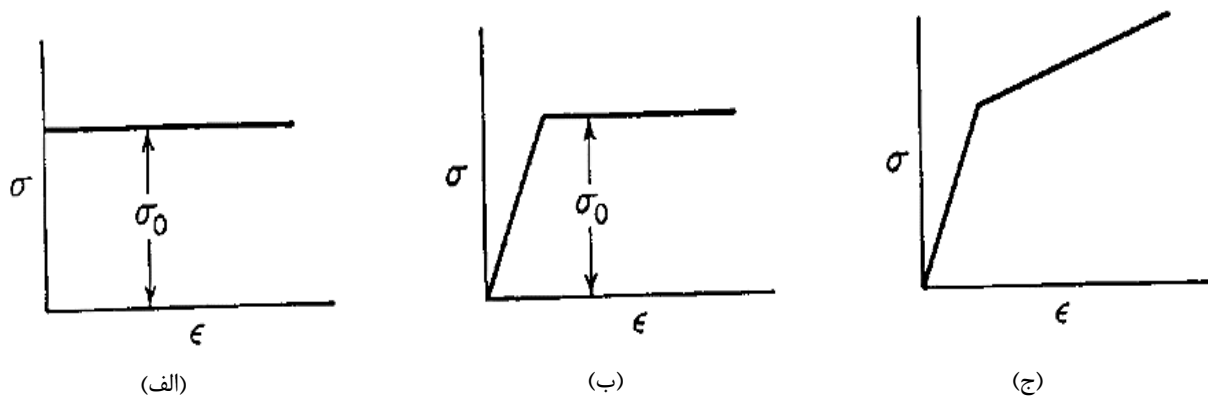
در مسائل نفوذ، گاهی اوقات برای سادگی، غلظت را بر حسب جرم اجزاء نفوذی در واحد حجم جامد (kg/m^3 یا g/cm^3) بیان می‌کنند.

ریاضیات نفوذ حالت پایدار در یک جهت (x) نسبتاً ساده است و در آن شار متناسب با شیب غلظت است:

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

منحنی تنش- کرنش حقیقی غالباً منحنی جریان نامیده می‌شود زیرا تنش لازم برای اینکه فلز به طور مومسان تا مقدار کرنش مفروضی جریان پیدا کند، از این اثر منحنی به دست می‌آید. برای استفاده از معادلات ریاضی در مورد این منحنی کوششهای زیادی انجام شده است. متداول ترین معادله، معادله‌ای به صورت نمایی به شکل زیر است:

$$\sigma = K\varepsilon^n$$



شکل ۷-۳- منحنیهای ایده‌آل جریان. (الف) ماده مومسان ایده‌آل صلب؛ (ب) ماده مومسان ایده‌آل با ناحیه کشسان (ج) ماده کرنش سخت شده (خطی قطعه‌ای).

که K عبارت است از تنش در $\varepsilon = 1/0$ و n (ضریب کرنش- سختی) برابر با شیب منحنی $\log\log$ معادله بالاست. این معادله فقط از شروع جریان مومسان تا حداکثر بار که نمونه در آن بار شروع به گلویی شدن می‌کند معتبر است.

حتی توضیح ساده ریاضی منحنی جریان که با معادله $\sigma = K\varepsilon^n$ ارائه شد، در صورتی که با معادلات نظریه مومسانی به کار رود، با اشکالات ریاضی زیادی مواجه خواهد شد. از این رو در این زمینه متداول آن است که از منحنیهای جریان ایده‌آل که بدون دور شدن زیاد از واقعیات فیزیکی باعث سادگی ریاضیات می‌شوند استفاده شود. شکل ۷-۳(الف) منحنی جریان یک ماده صلب کاملاً مومسان را نشان می‌دهد. نمونه کشش این ماده ایده‌آل کاملاً صلب است (کرنش کشسان برابر صفر) تا این که تنش محوری به σ_0 می‌رسد که در آن ماده به طور مومسان به ازای تنش جریان ثابت، جریان پیدا می‌کند (کرنش- سختی برابر صفر). این نوع رفتار به رفتار فلز شکل‌پذیری تشبیه می‌شود که آن کار سرد زیادی انجام شده است. شکل ۷-۳(ب) منحنی جریان یک ماده کاملاً مومسان با ناحیه کشسان را نشان می‌دهد، این رفتار شبیه رفتار ماده‌ای مانند فولاد ساده کربنی است که در نقطه تسلیم ازدیاد طول مشخصی دارد تقریب واقعی‌تر این است که منحنی جریان با دو خط مستقیم مربوط به نواحی کشسان و مومسان تخمین زده شود (شکل ۷-۳(ج)). این نوع منحنی به معادلات نسبتاً پیچیده‌تری منجر خواهد شد.

استحکام و مدولهای مواد مرکب

مدول و استحکام هر ماده مرکب تقویت شده با رشته با تقریب قابل قبولی از قانون مخلوطها به دست می آید.

به فرض اینکه $e_c = e_f = e_m$ و نسبت سطحی به کسر حجمی تبدیل شود، قانون مخلوطها برای مدول ماده مرکب به دست می آید:

$$E_c = E_f f_f + E_m f_m = E_f f_f + (1 - f_f) E_m$$

$f_f + f_m = 1$ است و کسر حجمی رشته ها، f_f ، را نشان می دهد.

تمرین ۲:

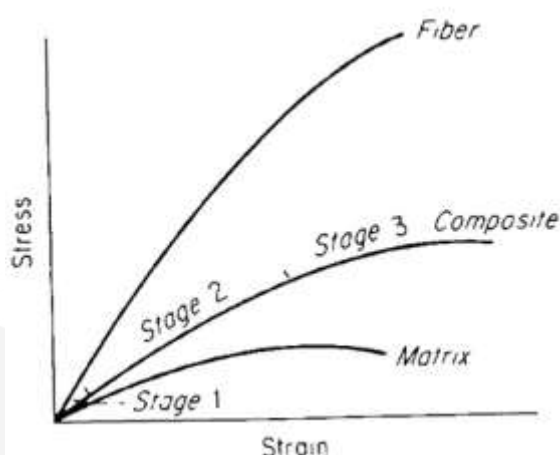
رشته های بور، $E_f = 380 \text{ GPa}$ در داخل یک ماده مرکب تک جهتی با زمینه آلومینیوم ($E_m = 60 \text{ GPa}$) قرار داده شده اند. مدول در امتداد موازی با رشته ها برای حالات ۱۰ و ۶۰٪ حجمی چقدر است؟

$$E_c = E_f f_f + (1 - f_f) E_m$$

$$f_f = 0.10 \quad E_c = 380(0.10) + 0.90(60) = 92 \text{ GPa}$$

$$f_f = 0.60 \quad E_c = 380(0.60) + 0.40(60) = 252 \text{ GPa}$$

منحنیهای تنش - کرنش کششی یک بعدی برای رشته های تک جهتی پیوسته ۴ مرحله را نشان می دهند (شکل ۸-۱۱).

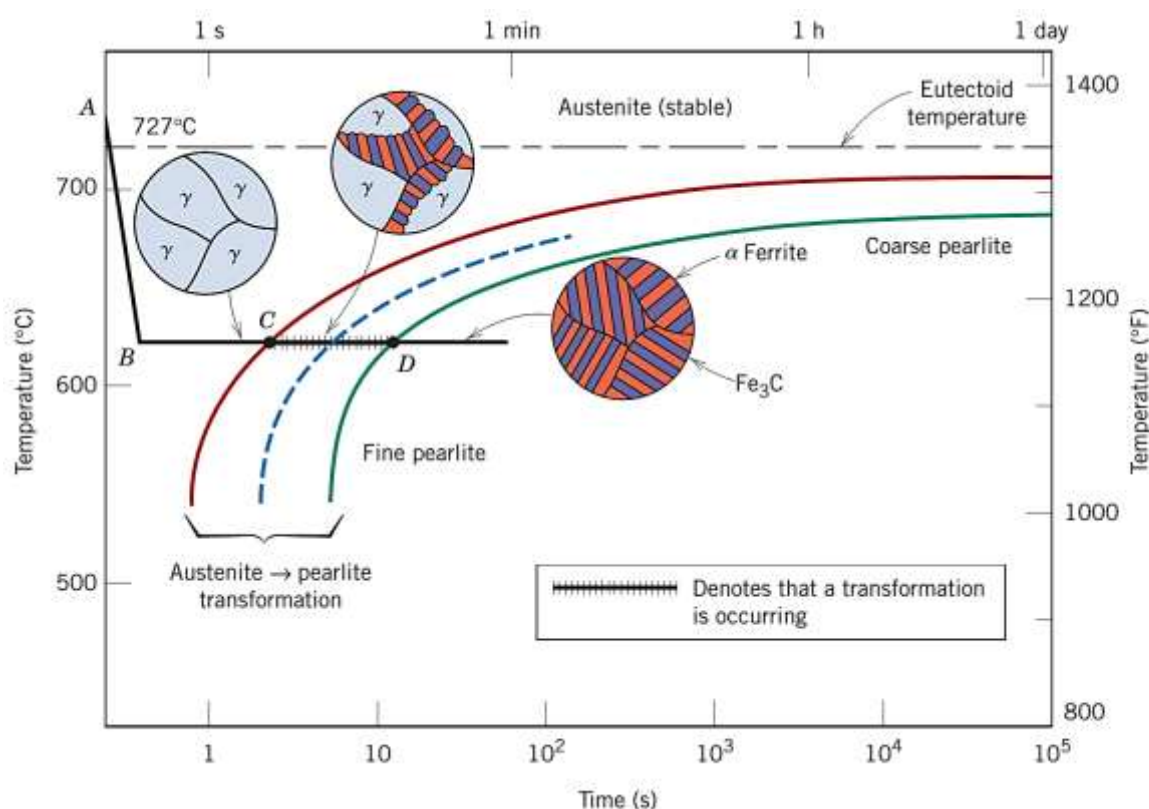


شکل ۸-۱۱ - مراحل منحنیهای تنش - کرنش رشته، زمینه و ماده مرکب

در مرحله ۱ هم رشته و هم زمینه تغییر شکل کشسان پیدا می کنند. مدول یانگ ماده مرکب E_c از جمع مدول های کشسانی زمینه و رشته، یعنی با استفاده از قانون مخلوطها، تعیین می شود. در مرحله ۲، زمینه تغییر شکل مومسان پیدا می کند و

یوتکتوید معتبر است؛ برای سایر ترکیبات، منحنی‌ها شکل‌های مختلف دیگری دارند. همچنین، این نمودارها فقط برای دگرگونی‌هایی دقیق هستند که در آن دمای آلیاژ در حین واکنش ثابت است. شرایط ثابت بودن دما، همدمایی نامیده می‌شود؛ بنابراین نمودارهایی نظیر نمودارهای شکل ۱۰-۱۸ تحت عنوان نمودارهای دگرگونی هم‌دما یا نمودارهای دگرگونی زمان-دما ($T-T-T$) شناخته می‌شوند.

یک منحنی واقعی عملیات حرارتی ($ABCD$) همراه با نمودار دگرگونی هم‌دمای یک آلیاژ یوتکتوید آهن-کربن در شکل ۱۰-۱۹ نشان داده شده است و عملیات حرارتی هم‌دما در این دما توسط خط افقی BCD مشخص شده است. البته، زمان با حرکت از چپ به راست به این خط افزایش می‌یابد. دگرگونی آستنیت به پرلیت در تقاطع این خطوط، یعنی نقطه C (پس از تقریباً $3/5$ ثانیه) آغاز می‌شود و پس از ۱۵ ثانیه کامل می‌شود (نقطه D). شکل ۱۰-۱۹ ریزساختارهای شماتیک را در زمان‌های متعدد در حین پیشرفت واکنش نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۹- نمودار دگرگونی هم‌دما برای یک آلیاژ یوتکتوید آهن-کربن: همراه با منحنی عملیات حرارتی هم‌دما ($ABCD$)

ریزساختارها در قبل، حین و پس از دگرگونی آستنیت به پرلیت نشان داده شده‌اند.

نسبت ضخامت لایه‌های فریت و سمنتیت در پرلیت تقریباً ۸ به ۱ است. البته، ضخامت دقیق لایه وابسته به دمای است که در آن دگرگونی هم‌دما انجام شده است. در دماهایی درست زیر یوتکتوید، لایه‌های نسبتاً ضخیم هر دو فاز α

۱۳ - کدام یک از جملات زیر در مورد نسبت پواسن ($Poisson's ratio$) صحیح است؟

- الف) جزء خواص مکانیکی یک ماده است که نسبت کرنش عرضی به کرنش محوری را نشان می‌دهد.
 ب) جزء خواص فیزیکی یک ماده است که نسبت کرنش محوری به کرنش عرضی را نشان می‌دهد.
 ج) جزء خواص مکانیکی یک ماده است که نسبت کرنش محوری به کرنش عرضی را نشان می‌دهد.
 د) جزء خواص فیزیکی یک ماده است که نسبت کرنش عرضی به کرنش محوری را نشان می‌دهد.

۱۴ - تعریف درجه پلیمریزاسیون چیست؟

- الف) تعداد متوسط واحدهای تکرار شونده در مولکول ب) تعداد متوسط واحدهای تکرار شونده در پلیمر
 ج) تعداد کل واحدهای تکرار شونده در مولکول د) تعداد کل واحدهای تکرار شونده در پلیمر

۱۵ - روش‌های پلیمریزاسیون متیل متاکریلات کدام هستند؟

- الف) رادیکالی ب) رادیکالی - آنیونیک - کئوردیناسیون
 ج) کاتیونیک - کئوردیناسیون د) آنیونیک - کئوردیناسیون

۱۶ - کدامیک از موارد زیر، ساختار یک هموپلیمر خطی را نشان می‌دهد؟

- الف) $AB AB AB AB AB AB AB AB$ ب) $AAAABBBBAAAABBBB$
 ج) $AABABBBAAABBBABBA$ د) $AAAAAAAAAAAAAAAA$

۱۷ - با افزایش وزن مولکولی پلیمر، تغییرات استحکام، پایداری حرارتی و تحرک زنجیرها به چه صورتی است؟

- الف) افزایش - افزایش - افزایش ب) افزایش - کاهش - افزایش
 ج) افزایش - افزایش - کاهش د) کاهش - افزایش - کاهش

۱۸ - با توجه به شکل زیر، ساختارهای پلیمری a ، b و c به ترتیب کدامند؟

- الف) نیمه کریستالی، کریستالی، آمورف ب) شبکه ای، کریستالی، آمورف
 ج) کریستالی، نیمه کریستالی، آمورف د) آمورف، نیمه کریستالی، کریستالی

۱۹ - وقتی یک پلیمر تا دمای شیشه‌ای شدن (T_g) حرارت داده می‌شود، کدامیک از موارد زیر اتفاق نمی‌افتد؟

- الف) افزایش مدول الاستیک ب) ایجاد رفتار ویسکوالاستیک
 ج) افزایش میزان نفوذ سیالات در آن د) افزایش شکل پذیری