
بسم الله الرحمن الرحيم

# شرح جامع

## ساخت و تولید

### ماشین ابزار– قالب پرس– علم مواد– ماشینهای کنترل عددی– اندازه گیری تولید مخصوص هیدرولیک و نیوماتیک مدیریت تولید

### «مهندسی مکانیک»

مولفان: حسین جیریایی شراهی – سید وحید محمدی

انتشارات ارشد

## پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس( منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

**با تشکر**

**ناشـــــر**

**www.arshadbook. ir**

**تقدیم به:**

**دستان زحمت‌کش پدرانمان**

**و**

**چشمان منتظر مادرانمان**

## پیشگفتار مولف

ساخت و تولید یکی از گرایشهای مکانیک می‌باشد، که یکی از کاربردی‌ترین گرایشهای آن است. امروزه فقر دانش در میان کارکنان بخشهای صنعتی، نیاز تدوین مطالب هر چه کاربردی‌تر در این عرصه را به وضوح نمایان می‌سازد.

اثر حاضر، تلاشی است در جهت رفع زوایا و خطایای موجود در دروس ساخت و تولید که در سالهای متمادی دانشجویان علاقه‌مند به شرکت در آزمون کارشناسی ارشد با آن مواجه بوده‌اند.

در تهیهٔ کتاب، بیشتر رویکرد گردآوری در پیش گرفته شده است. سعی شده است در تهیهٔ مطالب دروس مختلف ازکتب قابل اطمینان و جزوهٔ اساتید به نام دانشگاههای کشور، استفاده شود.

به منظور درک هرچه بهتر مطالب، پیشنهاد می‌شود، که دانشجویان از پیش با محتوای دروس، آشنایی داشته باشند چرا که در گردآوری، مبنا بر این بوده است که خواننده با دروس مربوطه آشنایی دارد.

در انتخاب نوشتار در خلال کتاب، سعی بر اختصارگویی بوده است، چرا که بیان کامل مطالب در این حجم کوچک، غیرممکن می‌نماید.

در خلال بیان نکات موردنیاز برای بالا بردن قدرت تست‌زنی خواننده، سعی بر آن بوده است که هدف غایی نگارش یعنی تفهیم و انتقال درست مطالب، مورد بی‌اعتنایی قرار نگیرد.

بدون شک اثر حاضر خالی از اشکال نمی‌باشد، بنابراین مؤلفین قدردان همکاری خوانندگان عزیز در کاهش اشکالات اثر حاضر می‌باشند.

در پایان مؤلفین برخود واجب می‌دانند، از زحمات بی‌شائبه اعضای گروه انتشارات ارشد تشکر و قدردانی نمایند.

svmohammadi@gmail.com
h_jiryaei@yahoo.com

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


پیشگفتار ناشر ..... ۳
پیشگفتار مولف ..... ۵
فصل اول: علم مواد
۱-۱- تقسیم بندی مواد ..... ۹
۱-۱-۱- مواد فلزی ..... ۹
۱-۱-۲- مواد غیر فلزی معدنی (سرامیکی) ..... ۹
۱-۱-۳- مواد پلیمری (مصنوعی) ۱-۱-۵- نیمه هادی‌ها ..... ۱۰
۱-۲- انواع پیوند اتمی در جامدات ..... ۱۰
..... ۹
۱-۱-۴- مواد مختلط یا کامپوزیت‌ها ..... ۱۰
۱-۲-۱- پیوند یونی ..... ۱۰
۱-۲-۲- پیوند کووالانسی یا پیوند اشتراکی ..... ۱۰
۱-۲-۳- پیوندهای ثانویه ..... ۱۱
۱-۲-۴- پیوند فلزی ..... ۱۱
۱-۲- مقدمه ..... ۱۱
۲-۲- سلول واحد (UNIT CELL) ..... ۱۱
۲-۳- صفحات وجهات کریستالی ..... ۱۲
۲-۳-۱- یافتن اندیس میلر ..... ۱۲
۲-۳-۲- جهات کریستالی ..... ۱۳
۲-۳-۳- فاصله صفحات کریستالی : ( C, B, A پارامترهای شبکه هستند) ..... ۱۴
۲-۴- ساختمان کریستالی فلزات ..... ۱۴
۲-۵- عدد کوئوردیناسیون (عدد هماهنگی) CN : ..... ۱۵
۲-۶-ضریب تراکم (PACKING FACTOR) ..... ۱۵
۲-۷- بررسی ساختارهای کریستالی ..... ۱۹
۲-۷-۱- تفرق اشعه X – قانون براگ ..... ۱۹
عیوب شبکه بلوری ..... ۲۱
۳-۱- عیوب نقطه‌ای ..... ۲۲
۳-۱-۱- عیب جای خالی : ..... ۲۲
۳-۱-۲- عیب شوتکی (SCHOTTKY) ..... ۲۲
۳-۱-۳- عیب بین نشینی در«INTERSTITIAL DEFECT» ..... ۲۳
۳-۱-۴ عیب جانشینی ..... ۲۵

**عنوان** **صفحه**


۳-۱-۵- عیب فرنکل (FRENKEL) ..... ۲۵
۳-۲- عیوب خطی ..... ۲۶
۳-۲-۱- نابجایی لبه‌ای یا خطی (EDGE DISLOCATION) ..... ۲۶
۳-۲-۲- نابه‌جایی پیچی (SCREW DISLOCATION) ..... ۲۶
۳-۲-۳- نابه‌جایی مختلط: ..... ۲۷
۳-۳- عیوب صفحه‌ای ..... ۲۷
۳-۳-۲- مرزدانه‌ها : ..... ۲۷
۳-۴- عیوب فضایی: ..... ۲۷
۴- خواص مکانیکی مواد ..... ۲۸
۴-۱- عوامل مؤثر بر مدول الاستیکی ..... ۲۸
۴-۲-تغییر شکل الاستیکی ..... ۲۸
۴-۳- تغییر شکل پلاستیک ..... ۲۸
۴-۴- نقش نابجایی‌ها در تغییر شکل پلاستیکی ..... ۲۹
۴-۵- تشکیل دوقلویی درتغییر شکل پلاستیک ..... ۳۰
۴-۶- تغییر شکل پلاستیکی چند کریستالها : ..... ۳۱
۴-۷- نمودار تنش – کرنش ..... ۳۲
روابط تنش – کرنش مهندسی و حقیقی: ..... ۳۲
۴-۸- چقرمگی ..... ۳۳
۴-۹- کنترل استحکام ماده با کارسرد : ..... ۳۵
۴-۱۰- عوامل مؤثر در آزمایش فشار : ..... ۳۵
۴-۱۱-سختی : ..... ۳۶
۴-۱۱-۱- سختی برینل ..... ۳۶
۴-۱۱-۴-سختی نوپ ..... ۳۷
۴-۱۱-۵-سختی شُر یا اسکلروسکپ : ..... ۳۷
۴-۱۱-۶- سختی ماوراء صوت (سونودور): ..... ۳۷
۴-۱۱-۷- سختی خراشی: ..... ۳۷
۴-۱۲- آزمایش ضربه ..... ۳۷
۴-۱۳-خستگی (FATIGUE ): ..... ۳۸
۵- نمودارهای تعادل : ..... ۴۰
۵-۱-کریستالیزاسیون : ..... ۴۰
۵-۲-شرایط حلالیت در حالت جامد: ..... ۴۰
۵-۳- نمودارهای تعادلی : ..... ۴۱
۵-۲-۱- نمودار تعادلی با حلالیت کامل در حالت جامد و مایع (مناطق دوفازی ) : ..... ۴۱
۵-۳- نمودار آهن – کربن ..... ۴۷
۵-۴- چدن ..... ۴۸

**عنوان** **صفحه**

## فصل دوم: عملیات حرارتی


نفوذ: (DIFFUSION) ۵۹
قانون نفوذ: ۵۹
عملیات حرارتی برای تشکیل ساختارهای تعادلی: ۶۱
۲-۱) آنیل کامل :(FULL ANNEALING) ۶۲
۲-۲) آنیل هم دما: ۶۳
۵-۱- بازیابی ۶۵
۵-۲- تبلور مجدد: ۶۶
کربن دهی مایع: ۸۲
کربن دهی گازی: ۸۳
نیتروژن دهی ۸۳
سخت کردن سطحی با حرارت موضعی: ۸۴
عملیات حرارتی فولادهای ضد زنگ: ۸۶
تستهای آخر فصل ۸۸
پاسخ تستهای آخر فصل ۹۳


## فصل سوم: جوشکاری


۱- مقدمه: ۹۷
تفاوت اصلی جوشکاری و لحیم‌کاری: ۹۷
۲-۱- جوش‌کاری قوس الکتریکی (ARC WEDDING) ۹۹
الکترود: ۱۰۲
الکترودهای قلیایی (BASIC ELECTERODE): ۱۰۳
الکترود رتیلی ۱۰۳
الکترود اسیدی ۱۰۳
الکترودهای پر نفوذ ۱۰۳
الکترودهای با جایگزین زیاد (HIGH METAL RECOVERY) ۱۰۴
انتقال حرارت در جوشکاری: ۱۱۵
قابلیت جوش‌کاری (WELD ABILITY): ۱۲۳
ترک‌خوردگی گرم (HOT CRACKING): ۱۲۳
ترک‌خوردگی سرد (هیدروژنی): ۱۲۴
ترک‌خوردگی بازگرمی (REHEAT CRACK): ۱۲۵
تغییر شکل‌های پسماند جوشی: ۱۲۹
تستهای آخر فصل ۱۳۴
پاسخ تستهای آخر فصل ۱۳۷

**عنوان** **صفحه**

## فصل چهارم: روشهای تولید مخصوص


مقدمه ..... ۱۴۳
۱- ۴ ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی EDM : ELECTRO DISCHARGE MACHINING ..... ۱۴۳
۱-۲- قابلیت‌های EDM ..... ۱۴۴
۴-۳- ساختمان ماشین‌های EDM ..... ۱۴۵
۴-۳-۱- سیستم مولد قدرت ..... ۱۴۵
۴-۳-۱-۱- سیستم قدرت R.C (مدار قدرت برادران لازارنکو) ..... ۱۴۵
۴-۳-۲- سیستم کنترلی گپ ماشین‌کاری GAP CONTROL SYSTEM ..... ۱۵۴
۴-۳-۳- سیستم دی الکتریک ..... ۱۵۵
۴-۳-۴- سیستم مکانیکی ماشین ..... ۱۵۸
۴-۳-۵- ماشین وایرکات ..... ۱۵۸
۴-۴ ماشین کاری مافوق صوت ULTRA SONIC MACHINING(USM) ..... ۱۵۸
۴-۴-۱ اجزای ماشین آلتراسونیک ..... ۱۵۹
۴-۴-۲- صافی سطح ..... ۱۶۳
۴-۴-۳- سرعت بار برداری ..... ۱۶۳
۴-۵- ماشینکاری الکتروشیمیایی ELECTRO CHEMICAL MACHINING (ECM) ..... ۱۶۴
۵-۱-۱- عملیات شکل گرفته بر اساس ECM ..... ۱۶۵
۵-۵-۲- منبع تغذیه در ماشین ECM ..... ۱۶۶
۵-۵-۳- سیستم تغذیه پیشروی ..... ۱۶۶
۵-۵-۴- سیستم الکترولیت ..... ۱۶۷
سیستم تصفیه بازدهی الکترولیت ..... ۱۶۸
۴-۵-۵- ابزار ECM ..... ۱۶۹
۴-۵-۶- صافی سطح و نرخ براده برداری در ECM ..... ۱۶۹
۴-۶- ماشین‌کاری با اشعه الکترونی ELECTRON BEAM MACHINING (EBM) ..... ۱۷۰
۴-۶-۱- عوامل موثر بر نرخ براده برداری : ..... ۱۷۱
۴-۶-۲- انواع انتشار ..... ۱۷۲
۴-۶-۳- کاربردهای EBM : EBM ..... ۱۷۳
۴-۷- ماشین‌کاری اشعه یونی (ION BEAM MACHINING) ..... ۱۷۳
۴-۷-۱- مکانیزم باربرداری ..... ۱۷۴
۴-۸ ماشینکاری با قوس پلاسما PLASMA ARC MACHINING (PAM) ..... ۱۷۴
۴-۸-۱- انواع مشعل پلاسما ..... ۱۷۵
۴-۸-۲- چگونگی باربرداری ..... ۱۷۶
۴-۸-۳- موارد استفاده : ..... ۱۷۶

**عنوان** **صفحه**


۹-۴- ماشینکاری با پرتو لیزر LASER BEAM MACHINING (LBM) ۱۷۷
۱۰-۱- ماشینکاری با جت آب WATER JET MACHINING(WJM) ۱۷۸
۱۱-۱ ماشین‌کاری با جت ساینده ABRASIVE JET MACHINING(AJM) ۱۷۹
۱۲-۱- ماشین‌کاری با جت آب همراه با مواد ساینده ABRASIVE WATER JET MACHINIG ۱۷۹
۱۳-۱- ماشین‌کاری جریان ساینده ABRASIVE FLOW MACHINING ۱۷۹
۱۴-۱- ماشین کاری شیمیایی CHEMICAL MACHINING (CHM) ۱۸۰
تستهای آخر فصل ۱۸۱
پاسخ تستهای آخر فصل ۱۸۵


**فصل پنجم: قالب پرس**


۵-۱- مقدمه ۱۸۹
۵-۲- پرس ۱۸۹
۵-۲-۱ پرس‌های وابسته به مسیر ۱۸۹
۵-۲-۲ پرس‌های وابسته به نیرو ۱۹۰
۵-۲-۴ عوامل موثر در انتخاب پرس ۱۹۰
۵-۳- فرآیند برش ۱۹۱
۵-۳-۱ مکانیزم برش در قالب‌های برش ۱۹۲
۵-۳-۲ اعمال لقی قالب ۱۹۳
۳-۳-۱ لقی زاویه‌ای قالب‌ها (β) ۱۹۴
۴-۳-۱- اضافه دورریز SCRAP ALLOWANCE ۱۹۴
۵-۳-۵ - نیروی برش ۱۹۴
۵-۳-۶ روش‌های کاهش نیروی برش ۱۹۵
۵-۳-۷ - نیروی بیرون انداز STRIPPER FORCE ۱۹۶
۵-۴- طراحی اجزای قالب ۱۹۷
۱-۴- ۵- کفشک‌ها ۱۹۷
۵-۴-۲- سنبه و ماتریس ۱۹۷
۵-۴-۳- سنبه‌گیر و ضربه‌گیر ۱۹۸
۵-۴-۴- بیرون‌انداز ۱۹۸
۵-۴-۵ سیستم راهنمای قالب : ۱۹۹
۵-۴-۶- پین‌ها و پیچ‌ها : ۱۹۹
۵-۴-۷ طراحی اجزای قالب ۲۰۲
۵-۴-۸- انواع قالب‌های برش ۲۰۵
۵-۵- خمکاری(BENDING) ۲۰۵
۵-۵-۱- صفحه خنثی ۲۰۵
۵-۵-۲- برگشت فنری ۲۰۶
۵-۵-۳- محاسبه طول بلنک اولیه برای خمکاری ۲۰۷

**عنوان** **صفحه**


۴-۵-۵- انواع عملیات خمکاری ..... ۲۰۷
۵-۵-۵- محاسبه نیروهای لازم برای خمکاری ..... ۲۰۹
۶-۵-۵- محاسبه نیروی PAD در خم کناره ..... ۲۰۹
۶-۵- کشش عمیق ..... ۲۱۰
۱-۶-۵- عیوب ایجاد شده در کشش عمیق ..... ۲۱۰
۶-۶-۱- طرح عملیات ساخت ظروف استوانه‌ای ..... ۲۱۲
۴-۶-۵- روانکاری در عملیات کشش ورق ..... ۲۱۶
تستهای آخر فصل ..... ۲۱۷
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۲۲۱


**فصل ششم: مدیریت تولید**


مقدمه ..... ۲۲۴
۱-۶-تصمیم‌گیری ..... ۲۲۴
۱-۱-۶ - مدل نقطه سربه‌سر ..... ۲۲۴
۲-۶- پیش‌بینی ..... ۲۲۶
۱-۲-۶ انواع شیوه‌های پیش‌بینی: ..... ۲۲۶
۲-۲-۶ روش میانگین متحرک ..... ۲۲۷
۳-۲-۶ - روش میانگین متحرک وزنی ..... ۲۲۷
۳-۶- طراحی نحوه استقرار ماشین‌آلات و کارگاهها ..... ۲۲۸
۱-۳-۶- انواع چیدمان ..... ۲۲۸
۲-۳-۶- طراحی خط مونتاژ ..... ۲۳۰
۴-۶- جابه‌جایی سیستم‌های عملیاتی (تعیین محل کارخانه) ..... ۲۳۰
۱-۴-۶- عوامل مؤثر در تعیین محل سیستم عملیاتی ..... ۲۳۱
۵-۶- کنترل موجودی انبار INVENTORY CONTROL ..... ۲۳۱
۱-۵-۶- تقاضای مستقل ..... ۲۳۱
۲-۵-۶- تقاضای وابسته ..... ۲۳۱
۳-۵-۶ سیستم کنترل موجودی ..... ۲۳۱
۴-۶مسأله‌ی برنامه‌ریزی خطی ..... ۲۳۴
تستهای آخر فصل ..... ۲۳۷
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۲۳۸


**فصل هفتم: سیستم های اندازه گیری**


۲-۷- خطاهای ناشی از اندازه گیری ..... ۲۴۲
۱-۲-۷- خطاهای قابل حذف ..... ۲۴۲

**عنوان** **صفحه**


۲-۲-۷- خطاهای غیر قابل حذف ( ذاتی ) : ۲۴۲
۳-۷- وسایل اندازه گیری ۲۴۴
وسایل اندازه گیری مستقیم ۲۴۴
۱-۳-۷- ویژگی‌های وسایل اندازه‌گیری طول ۲۴۴
۲-۳-۷- اندازه گیری با کولیس ۲۴۶
۳-۳-۷- اندازه گیری با میکرومترها : ۲۴۶
۴-۳-۷ - اندازه گیری با ساعت های اندازه گیری : ۲۴۶
۵-۳-۷- اندازه گیری باتراز ۲۴۶
۶-۳-۷- اندازه گیری با خط کش سینوسی و مرغک سینوسی: ۲۴۷
۸-۳-۷- اندازه گیری حدی یا فرمانها LIMIT GAUGE ۲۴۷
۴-۷ - کمپراتورها ۲۴۸
۵-۷- اندازه گیری و کنترل سنجه اندازه گیری با کمپراتور : ۲۵۶
۶-۷- تلرانس و انطباق: ۲۵۹
۱-۶-۷- جمع و تفریق تلرانسها : ۲۵۹
۲-۶-۷ - انطباقات ۲۶۰
۳-۶-۷- انواع انطباقات ۲۶۰
۴-۶-۷- تلرانس هندسی ۲۶۱
۵-۶-۷ انواع تلرانس های هندسی : ۲۶۲
۷-۷ -کیفیت سطح ۲۶۵
۱-۷-۷ - روشهای محاسبه زبری : ۲۶۵
۸-۷ - اندازه گیری و کنترل قطعات صنعتی : ۲۶۶
۹-۷- وسایل اندازه گیری نوری ۲۷۰
۱-۹-۷- تختی سنج نوری (OPTICAL FLAT): ۲۷۰
۲-۹-۷- اینترفرومتر : ۲۷۱
۳-۹-۷- اندازه گیری زاویه به کمک دستگاه نوری : ۲۷۴
۴-۹-۷ - اتوکالیماتور ۲۷۴
۵-۹-۷- پروفایل پروژکتور ۲۷۷
تستهای آخر فصل ۲۷۸
پاسخ تستهای آخر فصل ۲۸۳


**فصل هشتم: توانایی ماشین‌کاری**


۲-۸ - تعاریف مربوط به ابزار برش ۲۸۷
۲-۸- انواع برش ۲۸۸
۳-۸- پارامترهای دینامیکی ماشین تراش ۲۸۸
۴-۸- نیروهای برشی ۲۸۹

عنوان صفحه


۸-۵- سوراخکاری ۲۹۰
۸-۶- فرزکاری ۲۹۳
۸-۶-۱- نیروهای فرزکاری ۲۹۴
۸-۷- سنگ‌زنی ۲۹۵
۸-۷-۱- نیروهای سنگ‌زنی ۲۹۵
۸-۷-۲- ماشین‌های سنگ‌زنی بدون مرغک ۲۹۶
۸-۸- هندسه‌ی ابزار برش ۲۹۷
۸-۹- مکانیک تراش ۲۹۸
۸-۹-۱- کار انجام شده در برش را می‌توان به صورت مجموعه مؤلفه‌ها این گونه نوشت: ۲۹۹
۸-۹-۲- لبه‌ی انباشته در برش فلزات ۲۹۹
۸-۹-۳- تأثیرات سرعت برشی ۳۰۰
۸-۹-۴- انقباض براده ۳۰۰
۸-۴-۱- متغیرهای اصلی مؤثر بر انقباض براده ۳۰۱
۸-۹-۵- نیروی شخم ۳۰۲
۸-۹-۶- تئوری صفحه برش ۳۰۲
۸-۱۰- عمر ابزار حرارت و سیالات برش ۳۰۳
۸-۱۰-۱- انواع سایش ابزار ۳۰۴
۸-۱۰-۲- مشخصه‌های عمر ابزار و معیارهای از کارافتادگی ۳۰۴
۸-۱۰-۳- معدله‌ی عمر ابزار ۳۰۵
۸-۱۰-۴- سیالات برش ۳۰۶
۸-۱۱- قابلیت ماشین‌کاری ۳۰۷
۸-۱۱-۱- معیار عمر ابزار ۳۰۷
۸-۱۱-۲- معیار نیروی برش ۳۰۸
۸-۱۱-۳- معیار کیفیت سطح قطعه کار ۳۰۸
۸-۱۱-۴- متغیرهای مؤثر در قابلیت ماشین‌کاری ۳۰۸
۸-۱۲- کنترل براده ۳۰۹
۸-۱۲-۱- عوامل مؤثر در شکست براده ۳۱۰
۸-۱۳- ابزارهای برشی ۳۱۱
۸-۱۳-۱- جنس ابزارها ۳۱۲
۸-۱۳-۲- تقسیم بندی شرایط ماشین‌کاری بر اساس استاندارد ۳۱۳
۸-۱۴- اثر متغیرهای ماشین‌کاری بر روی راندمان برش ۳۱۳
۸-۱۵- اینورسال ۳۱۶
۸-۱۵-۱- خزینه‌کاری ۳۱۶
۸-۱۵-۲- برقوکاری ۳۱۶
۸-۱۵-۳- دستگاه تراش ۳۱۷

۴-۱۵-۸- مخروط تراشی ۳۱۸
۵-۱۵-۸- دستگاه تقسیم ۳۲۰
۶-۱۵- ۸- چرخدنده‌ها: ۳۲۲
۸-۱۶ محاسبهٔ زمان های ماشین‌کاری ۳۲۷

**فصل نهم: ماشین‌های کنترل عددی** (Computer Nmberical Control)[CNC]

مقدمه و تاریخچه: ۳۳۷
جایگاه ماشین‌های کنترل عددی ۳۳۸
INTERPOLATION (میان‌یابی- درون‌یابی) ۳۴۷
سیستم‌های محرکه ماشین‌های CNC: ۳۵۰
وسایل اندازه‌گیری: (TRANSDUCER) ۳۵۳
۱- نوع جابجایی ۳۵۴
۲- علائم خروجی: ۳۵۴
۳- نوع سیستم اندازه‌دهی: ۳۵۵
۴- ساختار داخلی: ۳۵۵
تعیین جهت حرکت: ۳۵۷
کدسازی در ماشین‌های CNC و انتقال به برنامه ماشین: ۳۶۰
انتقال برنامه ۳۶۱
برنامه‌نویسی ماشین‌های CNC ۳۶۱
ساختمان برنامه ۳۶۲
برنامه‌نویسی دایره‌ای: ۳۶۴
مختصات قطبی ۳۶۶
اصلاح مسیر- جبران شعاع قلم ۳۶۸
اصلاح مسیردستی ۳۶۸
اصلاح مسیر به کمک ماشین: ۳۷۰
زیربرنامه: (SUBRUTINES) ۳۷۲
سیکل‌ها: ۳۷۳
برنامه‌نویسی به زبان (APT)[Automatically Pr ogrammed tools] ۳۷۴
تستهای آخر فصل ۳۷۸
پاسخ تستهای آخر فصل ۳۸۵

**فصل دهم: سیستم‌های هیدرولیک و نیوماتیک**

۱-۱۰- سیستم‌های هیدرولیکی ۳۸۹
۱-۱-۱۰- قانون پاسکال ۳۸۹
۲-۱-۱۰- معادله‌ی برنولی ۳۹۰
۳-۱- ۱۰- نوع جریان: ۳۹۱
۲-۱۰- پمپ‌های هیدرولیک ۳۹۲

عنوان صفحه


۱-۲-۱۰- بازده پمپ‌ها: ۳۹۳
۳-۱۰- شیرهای هیدرولیکی ۳۹۴
۱-۳-۱۰- شیرهای کنترل جهت ۳۹۴
۲-۳-۱۰- شیرهای کنترل فشار ۳۹۵
۳-۳-۱۰- شیرهای کنترل جریان ۳۹۹
۴-۱۰- عملگرهای هیدرولیکی ۴۰۱
۵-۲- (A) سیستم‌های انتقال قدرت هیدرواستاتیک مجتمع ۴۰۳
نیوماتیک ۴۰۵
المان‌های کاربردی در مدارهای نیوماتیک ۴۰۵
شیرهای منطقی ۴۰۶
طراحی مدارهای نیوماتیک حرکات ترتیبی چند سیلندر: ۴۰۸
روش SHIFT REGISTER: ۴۰۹
تستهای آخر فصل ۴۱۲
پاسخ تستهای آخر فصل ۴۲۰

# فصل اول

## اصول علم مواد

## فصل اول

# اصول علم مواد

### ۱- مواد

#### ۱-۱- تقسیم بندی مواد

**به طور کلی مواد موجود در طبیعت را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد :**

۱) مواد فلزی

۲) مواد غیر فلزی معدنی (سرامیکی)

۳) مواد مصنوعی ( مواد پلاستیکی)

علاوه بر این سه گروه ، گروه دیگری هم وجود دارد که از این سه گروه به وجود آمده است و به نام مواد مختلط (کامپوزیت) می‌شناسیم.

#### ۱-۱-۱- مواد فلزی

به دو گروه فلزات آهنی و آلیاژهای آن و فلزات غیر آهنی و آلیاژهای آن تقسیم می‌شوند. مواد فلزی عمدتاً هادی خوبی برای حرارت و الکتریسیته هستند و در درجه حرارت‌های معمولی شکل‌پذیرند. در مقابل واکنش‌های شیمیایی پایداری بالایی ندارند. دارای ساختار کریستالی هستند و اغلب از آلیاژهای آن در صنعت استفاده می‌شود.

#### ۱-۱-۲- مواد غیر فلزی معدنی (سرامیکی)

مواد سرامیکی شامل ترکیباتی از عناصر فلزی با اکسیژن به نام سرامیک‌های اکسیدی و موادی سخت از قبیل کاربیدها – نیترایدها –به نام سرامیک‌های غیر اکسیدی هستند. که قسمت عمده‌ای از مواد نسوز را تشکیل می‌دهند. سرامیک‌های سیلیکاتی (مانند چسب‌ها) نوع دیگر از مواد سرامیکی‌اند. قابلیت شکل پذیری نداشته و ترد هستند. در مقابل واکنش‌های شیمیایی پایدار بوده و در درجه حرارت‌های بالا مقاومند. به عنوان عایق به کار می‌روند (غیر هادی) . ساختار کریستالی – غیر کریستالی یا مخلوطی از هر دو نوع دارند. با فرآیندهای صنعتی می‌توان سرامیک‌های نسبتاً مقاوم به شکست تولید کرد.

#### ۱-۱-۳- مواد پلیمری (مصنوعی)

از کنار هم قرار گرفتن تعداد زیادی مولکول‌های زنجیره‌ای بزرگ مواد آلی که از کربن و عناصر دیگری مانند هیدروژن، کلر. تشکیل شده‌اند. به صورت آزاد وجود ندارد و اغلب از طریق روش‌های شیمیایی و پلیمر کردن مونومرهای گازی به دست

می‌آیند. ساختار غیر کریستالی و یا مخلوطی از کریستالی و غیر کریستالی هستند و هدایت الکتریکی ضعیف دارند. در درجه حرارت‌های پایین (زیر صفر) ترد می‌شوند. ولی در درجه حرارت‌های بالا قابلیت شکل‌پذیری دارند.

### ۱-۱-۴- مواد مختلط یا کامپوزیت‌ها

از مخلوط چند ماده (حداقل دو ماده) با خواص متفاوت تشکیل شده‌اند. اجزای مواد مختلط از نظر شکل و ترکیب شیمیایی متفاوت بوده و در یکدیگر حل نمی‌شوند و از نظر اندازه و ابعاد در حد میکروسکوپی و ماکروسکوپی وجود دارد. اغلب شامل یک جزء نرم و شکل پذیر به عنوان جزء اصلی زمینه و یک جزء بسیار سخت و سفت به عنوان تقویت کننده است. جزء تقویت کننده می‌تواند به صورت صفحه، الیافی و ذره‌ای باشد. همچنین موادی که سطح خارجی آنها در مقابل خوردگی و سایش پوشش داده می‌شوند مانند قلع و روی اندود کردن و پوشش دادن با مواد پلیمری و گالوانیزه کردن جزء مواد مختلط می‌باشند.

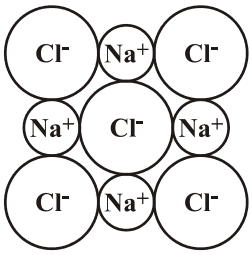
### ۱-۱-۵- نیمه هادی‌ها

از جمله مواد معدنی بوده و از نظر خواص بین مواد فلزی و سرامیکی قرار دارند و در صنایع الکترونیکی به کار می‌روند. هدایت الکتریکی آنها قابل کنترل بوده به صورتی که در ساخت ترانزیستورها و یکسوکننده‌ها به کار می‌روند. عموماً در ترکیب آنها Ge , Si قرار می‌گیرند.

## ۱-۲- انواع پیوند اتمی در جامدات

### ۱-۲-۱- پیوند یونی

در اینجا نیروی جاذبه همان نیروی جاذبه کولمب است که سبب اصلی انرژی اتصال بین یونهای کریستالی نمک طعام است . (NaCl) . کریستال‌های یونی قابلیت هدایت الکتریکی بسیار ضعیفی دارند. برخلاف فلزات کریستال‌های یونی سخت و ترد هستند و قابلیت تغییر شکل پلاستیکی ندارند.




**پیوند یونی در** Nacl

### ۱-۲-۲- پیوند کووالانسی یا پیوند اشتراکی

نیروی جاذبه کولمبی نیست. برای مثال مولکول گاز متان ($CH_4$) دارای پیوند کووالانس است ولی چون اتم‌های آن به صورت اشباع در می‌آیند، بین مولکولها نیروی قوی وجود ندارد. ولی اگر به جای اتم هیدروژن ، اتم کربن را قرار دهیم هر اتم کربن، با اتم‌های دیگر پیوند برقرار کرده و یک مولکول بسیار کوچک به وجود می‌آید که الماس نام دارد. مواد با پیوند کووالانسی مشخص شکل‌پذیری و هدایت الکتریکی و حرارتی پایینی دارند.

### ۱-۲-۳- پیوندهای ثانویه

پیوندهای ثانویه یا واندروالس بین گازهای ایده‌آل (نئون ، آرگون و ...) با مولکول‌های پایدار مانند متان و یا مواد آلی دیگر در حالت مایع و جامد است. پس این پیوند ربطی به الکترونهای ظرفیت ندارد و پیوندهای ضعیفی از نوع الکترواستاتیکی هستند. پیوندهای دو یون قطبی را که قطب مثبت هیدروژن باشد پیوندهای هیدروژنی می‌نامند که به سبب کوچکی یون هیدروژن می‌تواند قوی باشد.

### ۱-۲-۴- پیوند فلزی

در فلزات و آلیاژها با الکترونگاتیویته پایین دیده می‌شود. بسیار شبیه پیوند کووالانسی است. در پیوند فلزی هر اتم الکترون‌های قشر خارجی خود را (زمانی که برای ایجاد کریستال جامد به هم نزدیک می‌شوند) آزاد می‌سازد. حال این الکترون‌ها به کل کریستال تعلق دارند و به خاطر حرکت سریع این الکترون‌ها فلزات، هادی الکتریسیته و هادی حرارتی و عدم شفافیت در مقابل نور هستند.

## ۲- ساختار اتمی جامدات

### ۲-۱- مقدمه

**به طور کلی خواص فیزیکی و مکانیکی مواد به عوامل زیر بستگی دارد :**

۱) نوع اتم
۲) آرایش اتم‌ها
۳) پیوند بین اتم‌ها
۴) ساختار اتمی
۵) بی‌نظمی
۶) عملیات حرارتی و مکانیکی

و از میان عوامل فوق جامدات از نظر ساختار اتمی دارای دو نوع هستند، یکی ساختار کریستالی (بلورین) و دیگری ساختار بی‌شکل (آمورف) . بسیاری از فلزات و سرامیک‌ها در حالت انجماد دارای ساختار کریستالی هستند. و در مواردی مانند شیشه ، بسیاری از پلاستیک‌ها و الاستومور (لاستیک) ساختار آمورف وجود دارد.

### ۲-۲- سلول واحد (unit cell)

کوچکترین واحد شبکه فضایی کریستالی را شبکه واحد یا سلول واحد می‌نامند. این سلول واحد چگونگی قرار گیری اتم‌ها را نشان می‌دهد. هر سلول واحد از یک یا چندین اتم تشکیل شده است و با تکرار سلول یک کریستال به وجود می‌آید.

۱۴ نوع شبکه فضایی داریم که آنها را به ۷ سیستم تقسیم می‌کنند. که مهمترین آنها عبارتند از :

**۱) مکعب :** تمام اضلاع برابر و زوایا همگی ۹۰ درجه می‌باشند. مثل ساختار BCC , FCC

**۲) تتراگونال:** دو نوع است. ساده و مرکز دار – یکی از اضلاع بزرگتر از دو ضلع دیگر است. ساختار BCT (مارتنزیت)

**۳) هگزاگونال :** به صورت منشور شش وجهی می‌باشد. ساختار HCP

## ۲-۳- صفحات وجهات کریستالی

در هر سلول واحد، از مرکز حداقل سه اتم می‌توان یک صفحه عبور داد که تعداد اتم‌های موجود در هر واحد سطح تمام صفحات (غیر از صفحات مشابه) با هم برابر نیست. این تعداد متفاوت اتم‌ها روی صفحات و همچنین جهات مختلف کریستالوگرافی بر تعدادی از عملیات مکانیکی از جمله تغییر شکل پلاستیکی تأثیر خواهد گذاشت.

بدین جهت برای تعیین موقعیت صفحات و جهت‌های مختلف در هر شبکه از اندیس میلر استفاده می‌کنیم.

### ۲-۳-۱- یافتن اندیس میلر

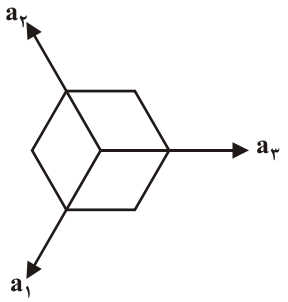
ابتدا محل تلاقی صفحه با محورهای مختصات را تعیین می‌کنیم و سپس عکس اعداد را به دست می‌آوریم و در کوچکترین مضرب مشترک اعداد ضرب می‌کنیم. و به صورت (h , k ,l) می‌نویسیم. L , k , h شاخص‌های میلرند که اعدادی صحیح مثبت یا منفی هستند.

📖 **نکته ۱:** هرگاه شاخص‌های میلر دو صفحه مضربی از هم باشند آن دو صفحه موازی‌اند . مثلاً صفحات (۱۰۱) و (۲۰۲)

📖 **نکته ۲:** صفحاتی که شاخص‌های میلر آنها از اعداد مشابهی با ترتیب متفاوت اعم از مثبت یا منفی تشکیل شده باشند همگی از لحاظ هندسی هم ارز هستند و به صورت {hkL} نمایش داده می‌شوند. برای مثال صفحات (۱۰۰) و (۰۱۰) و (۰۰۱) و (۰$\bar{1}$۰) همگی هم ارز هستند.

📖 **نکته ۳:** هرگاه صفحه‌ای از مبدا مختصات عبور کرده باشد برای یافتن اندیس میلر آن جای مبدا را به گوشه دیگر شبکه کریستالی جابجا می‌کنیم.

📖 **نکته ۴ :** در صفحات هگزاگونال از چهار محور مختصات استفاده می‌کنیم سه محور آن در قاعده با هم زاویه ۱۲۰ درجه می‌سازند ومحور چهارم عمود بر قاعده است. و اندیس میلر آن به صورت $(a_1a_2a_3c)$ می‌باشد، به طوری که $(a_1+a_2)=-a_3$ است. به عنوان مثال صفحه (۰۰۰۱) صفحه قاعده هگزاگونال را نشان می‌دهد.




**صفحه قاعده هگزاگونال (۰۰۰۱)**

📖 **نکته ۵ :** با عکس عملیات که برای یافتن اندیس میلر انجام دادیم می‌توان تقاطع صفحه با محورهای مختصات را به دست آورد . به مثال زیر توجه کنید.

مثال : اندیس میلر $(6,3,2) \xrightarrow{\text{عکس اعداد}} (\frac{1}{6},\frac{1}{3},\frac{1}{2}) \xrightarrow{\text{ضرب در ک.م.م}} (1,2,3)$ محل تقاطع صفحه با محورهای مختصات

### ۲-۳-۲- جهات کریستالی

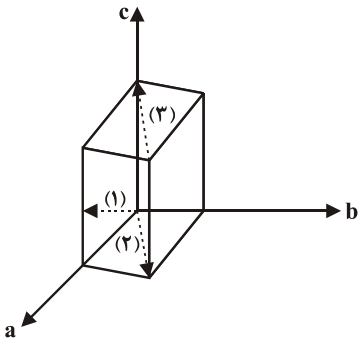
هر برداری که از یک مرکز مختصات انتخابی به هر یک از نقاط یک شبکه کریستالی وصل شود یک جهت را نشان می‌دهد (مختصات جهت همان مختصات بردار است)

همان چیزی که در مورد صفحات هم‌ارز گفته شد در مورد جهات نیز درست است فقط جهات هم ارز را با علامت < > و جهت کریستالی را با علامت [ ] نشان می‌دهیم.

📖 **نکته ۶ :** علامت منفی در جهات و صفحات کریستالی را با یک خط تیره در بالای آن عدد نشان می‌دهند.

**مثال**

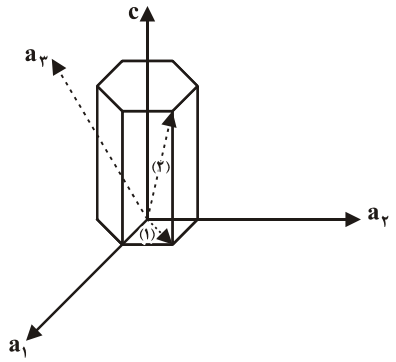
**جهات زیر را نام گذاری کنید :**




اعداد به صورت کسری نشان داده نمی‌شوند $[۱\ \ ۰\ \ \frac{۱}{۲}] \rightarrow [۲\ \ ۰\ \ ۱]$ (۱)

$[۱\ \ ۱\ \ ۰]$ (۲)

$[\bar{۱}\ \ \bar{۱}\ \ ۰]$ (۳)

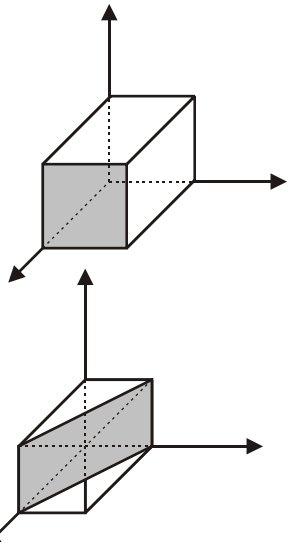



(۱) $[۱\ \ ۱\ \ \square\ \ ۰] \xrightarrow[\text{سه بعدی}]{\text{حالت}} [۱\ \ ۱\ \ \bar{۲}\ \ ۰] \xrightarrow[a_۳=-(۱+۱)]{a_۳=-(a_۱+a_۲)}$

(۲) $[۱\ \ ۱\ \ \square\ \ ۱] \xrightarrow[\text{سه بعدی}]{\text{حالت}} [۱\ \ ۱\ \ \bar{۲}\ \ ۱]$

**مثال**

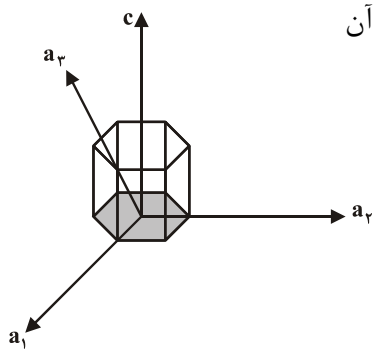
**صفحات کریستای زیر را نام گذاری کنید .**



$(۱\ \ ۰\ \ ۰) \xrightarrow[\text{اعداد}]{\text{معکوس کردن}} (۱\ \ \infty\ \ \infty) \xrightarrow{\text{تقاطع صفحه با محورها}}$

$(۱\ \ ۱\ \ ۰) \xrightarrow[\text{اعداد}]{\text{معکوس کردن}} (۱\ \ ۱\ \ \infty) \xrightarrow{\text{تقاطع صفحه با محورها}}$

**توجه:** چون این صفحه از مبدا عبور کرده طبق نکته ۳ مبدا را به صفحه موازی آن جابجا می‌کنیم. ( یعنی صفحه فوقانی)




$$(۱\ \ ۰\ \ ۰\ \ ۰) \rightarrow (۱\ \ ∞\ \ ∞\ \ ∞) \xrightarrow[\text{صفحه با محورهای مختصات}]{\text{تقاطع}}$$

### ۲-۳-۳- فاصله صفحات کریستالی : ( a, b, c پارامترهای شبکه هستند)

فاصله دو صفحه موازی در سیستم کریستالی مکعب برابر است با :

$$d_{(h,k,L)} = \frac{a}{\sqrt{h^۲ + k^۲ + L^۲}}$$

فاصله دو صفحه موازی در سیستم کریستالی تتراگونال برابر است با :

$$\frac{۱}{d^۲} = \frac{h^۲ + k^۲}{a^۲} + \frac{L^۲}{c^۲}$$

فاصله دو صفحه موازی در سیستم کریستالی هگزاگونال برابر است با :

$$\frac{۱}{d^۲} = \frac{۴}{۳}\frac{(h^۲ + hk + k^۲)}{a^۲} + \frac{L^۲}{c^۲}$$

## ۲-۴- ساختمان کریستالی فلزات

فلزات دارای پیوند فلزی‌اند بدین صورت که اتم‌ها یا به عبارت دقیق‌تر یون‌های مثبت به وسیله ابر الکترونی آزاد به هم متصل می‌شوند. نیروی جاذبه از نوع پیوندهای جهت دار نیست. لذا ساختار کریستالی آنها تا حدود زیادی تابع اندازه نسبی اتم‌ها و طرز قرار گرفتن آنها در کنار یکدیگر است و یا به عبارتی به چگالی تراکم بستگی دارد. و به واسطه نیروی جاذبه غیر جهت‌دار هر اتم سعی می‌کند تا حد ممکن فضای اطراف خود را با اتم دیگر پر کند. یعنی فلزات اغلب به صورت متراکم‌ترین شکل ممکن متبلور می‌شوند. تقریباً تمامی فلزات مهم به سه شکل HCP , FCC , bcc متبلور می‌شوند.

📖 **نکته ۷ :** فلزاتی مثل آهن که چند شبکه کریستالی دارند، می‌گوییم دارای خاصیت چند گونگی (آلوتروپی) اند.

📖 **نکته ۸ :** فلزات مهم با ساختار FCC : مس (cu) ، نقره (Ag) ، نیکل (Ni) ، طلا (Au) ، سرب (Pb) ، پلاتین ، پلادیم ، آهن $\gamma$ (گاما) (معمولاً دارای ساختار نرم هستند)

📖 **نکته ۹ :** فلزات مهم با ساختار bcc : آهن $\alpha$ (آلفا)، آهن $\delta$ (دلتا) ، باریم ، پتاسیم ، تنتالیم ، تنگستن ، سدیم ، کرم ، لیتیم، وانادیم (معمولاً دارای ساختار ترد هستند)

📖 **نکته ۱۰ :** فلزات مهم با ساختار HCP : برلیم ، منیزیم ، زیرکونیم

## ۲-۵- عدد کوئوردیناسیون (عدد هماهنگی) CN :

به تعداد اتم‌های که در همسایگی نزدیک به یک اتم قرار گرفته‌اند و با آنها در تماس مستقیم است گویند.

حداکثر CN برابر ۱۲ است. زیرا در این حالت متراکم‌ترین ساختار را داریم.

شبکه FCC ← عدد CN ← ۱۲ ( هر اتم با چهار اتم در صفحه خود و چهار اتم در صفحه بالا و چهار اتم در صفحه زیر در تماس است)

شبکه BBC ← عدد CN ← ۸ (نسبت به FCC تراکم کمتری دارد)

شبکه HCP ← عدد CN ← ۱۲

📖 **نکته ۱۱:** عدد کوئوردیناسیون در ساختار کریستالی کووالانسی به تعداد الکترون‌های ظرفیت (اشتراکی) بستگی دارد. مثلاً عدد CN برای کربن مساوی ۴ و برای Si هم ۴ است. و برای ساختار یونی NaCl مساوی ۶ می‌باشد.

## ۲-۶-ضریب تراکم (packing factor)

ضریب تراکم برای یک شبکه کریستالی به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\text{ضریب تراکم} = \frac{\text{حجم اتم‌های یک سلول واحد}}{\text{حجم سلول واحد}}$$

**مثال**

**ضریب تراکم سلول‌های HCP , FCC , bcc را محاسبه کنید :**

ابتدا تعداد اتم‌های هر شبکه را حساب می‌کنیم:

$$\text{شبکه Bcc} = \text{یک اتم کامل در مرکز} + \text{هشت اتم در گوشه‌ها که از هر اتم } \frac{1}{8} \text{ متعلق به هر سلول است.}$$

$$\text{اتم } ۲ = ۱ + ۸ \times \frac{۱}{۸} =$$

$$\text{شبکه Bcc} = \text{شش اتم در وجوه که از هر اتم نصف آن متعلق به هر سلول است} + \text{هشت اتم در گوشه‌ها که از هر اتم } \frac{1}{8} \text{ متعلق به هر سلول است}$$

$$\text{اتم } ۶ = ۶ \times \frac{۱}{۲} + ۸ \times \frac{۱}{۸} =$$

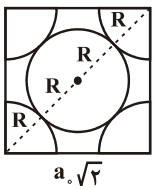
$$\text{شبکه Hcc} = \text{در اتم در وجوه بالا و پائین که از هر اتم نصف آن متعلق به هر سلول است} + \text{سه اتم کامل در وسط شبکه} + \text{دوازده اتم در گوشه‌ها که از هر اتم } \frac{1}{6} \text{ متعلق به هر سلول است.}$$

$$\rightarrow \text{HCP} \rightarrow ۲ \times \frac{۱}{۲} + ۳ + ۱۲ \times \frac{۱}{۶} = \text{اتم } ۶$$

بعد از به دست آوردن تعداد اتم‌های هر شبکه، رابطه بین پارامتر شبکه و اندازه اتم‌ها را برای هر شبکه به دست می‌آوریم تا بتوان حجم سلول واحد را بر اساس شعاع اتم‌ها نوشت. اگر پارامتر شبکه را با $a_\circ$ نشان دهیم و شعاع اتمی را با R داریم :

شبکه $\text{BCC} \rightarrow ۴R = \sqrt{۳}a_\circ$

صفحه (۱۱۰) → شبکه Bcc

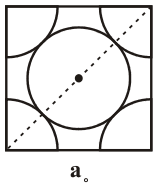



$$\rightarrow (a_\circ\sqrt{۲})^۲ + a_\circ^۲ = (۴R)^۲ \rightarrow ۴R = a_\circ\sqrt{۳}$$

📖 **نکته۱۲ :** $a_{\circ}\sqrt{3}$ در این رابطه قطر مکعب است که از حجم پردانسیته BCC [1 1 1] می‌گذرد.

$$\text{Fcc شبکه} \rightarrow 4R = \sqrt{2}a_{\circ}$$

صفحه (۱۰۰) ← شبکه Fcc




$$\rightarrow a_{\circ}^2 + a_{\circ}^2 = (4R)^2 \rightarrow 4R = a_{\circ}\sqrt{2}$$

📖 **نکته ۱۳ :** $a_{\circ}\sqrt{2}$ در این رابطه قطر یک وجه مکعب است که از جهت پردانسیته FCC [۱۱۰] می‌گذرد.

$$\text{HCP شبکه} \rightarrow 2R = a_{\circ}$$

📖 **نکته ۱۴:** این رابطه نیز با استفاده از جهت پردانسیته شبکه HCP $[\bar{1}\ 1\ \bar{2}\ 0]$ به دست می‌آید.

حال با داشتن تعداد اتم‌های هر شبکه و رابطه پارامتر شبکه با شعاع اتمی ضریب تراکم به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$PF_{BCC} = \frac{2\times\frac{4}{3}\pi R^3}{a_{\circ}^3} = \frac{\frac{8}{3}\pi R^3}{\left[\frac{4R}{\sqrt{3}}\right]^3}\times 100 = 68\%$$

$$PF_{FCC} = \frac{4\times\frac{4}{3}\pi R^3}{a_{\circ}^3} = \frac{4\times\frac{4}{3}\pi R^3}{\left[\frac{4R}{\sqrt{2}}\right]^3}\times 100 = 74\%$$

$$PF_{HCP} = \frac{6\times\frac{4}{3}\pi R^3}{6\times\frac{\sqrt{3}}{4}a_{\circ}^2\times c} = \frac{6\times\frac{4}{3}\pi R^3}{6\times\frac{\sqrt{3}}{4}[2R]^2\times 1/63a_{\circ}}\times 100 = 74\%$$

📖 **نکته ۱۵:** در شبکه HCP رابطه بین پارامتر شبکه به صورت $\frac{c}{a_{\circ}} = 1/63$ می‌باشد.

**مثال**

**چگالی AL را محاسبه کنید. در صورتی که شعاع اتمی آن $r_A = 1/431^{\circ}A$ و ساختار کریستالی آن FCC و وزن اتمی آن 26/97 g/mol باشد ( عدد آووگادرو $N_A = 6/02\times10^{23}\frac{Atom}{mol}$ )**

$$\rho = \frac{m}{v}; m = \frac{nM}{N_A}; v = a_{\circ}^3 \Rightarrow \rho = \frac{nM}{a_{\circ}^3 N_A}$$

n : تعداد اتم‌ها M وزن اتمی $N_A$ : عدد آووگادرو $a_{\circ}$ : پارامتر شبکه کریستالی

با توجه به این که Al دارای شبکه FCC می‌باشد تعداد اتم‌های آن برابر ۴ است.

$$\text{FCC شبکه} \rightarrow a_{\circ} = \frac{4R}{\sqrt{2}} = \frac{4\times 1/431^{\circ}A}{\sqrt{2}} = 4/06A^{\circ}$$

$$\rightarrow \rho = \frac{4\times 26/97\times 10^{-3}\,kg/mol}{(4/06\times 10^{-10}\,m)^3 \times 6/02\times 10^{23}\,atoms/mol} = 2/68\times 10^{3}\,kg/m^3$$

📖 **نکته ۱۶** : این چگالی یک کریستال بدون عیب است. اما چگالی از طریق اندازه‌گیری به دلیل وجود عیب جای خالی عدد کوچکتری است.

📖 **نکته ۱۷** : برای به دست آوردن تراکم اتمی در امتداد یک خط و همچنین بر روی یک صفحه از مفاهیم چگالی خطی و صفحه‌ی استفاده می‌کنیم.

$$\text{چگالی اتمی خطی} = \frac{\text{تعداد اتمهای کامل روی پاره‌خط}}{\text{طول پاره‌خط}}$$

$$\text{چگالی اتمی صفحه} = \frac{\text{تعداد اتمهای کامل روی صفحه}}{\text{مساحت صفحه}}$$

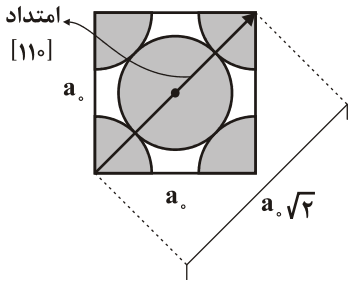
📖 **نکته۱۸ :** در شبکه‌های کریستالی (BCC , FCC , HCP , ....) اتم‌های گوشه کریستال که بردار جهت از آنها می‌گذرد هر کدام $\frac{1}{2}$ اتم به حساب می‌آیند.

**مثال**

**چگالی خطی اتم‌ها را در امتداد [1 1 0] در شبکه کریستالی مس تعیین کنید.**

پاسخ

می‌دانیم مس دارای شبکه کریستالی FCC می‌باشد. $(r_{Cu} = 1/278\times 10^{-7}\,mm)$

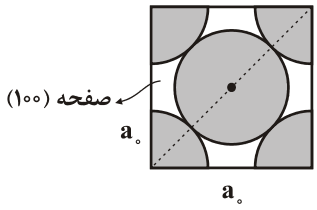



$$\text{چگالی خطی} = \frac{\text{تعداد اتمها روي خط}}{\text{طول خط}} = \frac{2\times\frac{1}{2}+1}{a_{\circ}\sqrt{2}}$$

$$\text{چگالی خطی} = \frac{2}{4r} = 3/9\times 10^{6}\,atom/mm$$

**مثال:**

**چگالی صفحه (۱۰۰) را در شبکه کریستالی سرب (FCC) تعیین کنید.**




$$\Rightarrow 4r = a_\circ\sqrt{2} \Rightarrow a_\circ = \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

$$(r_{Pb} = 1/75\times10^{-7}\,mm)$$

$$\text{چگالی صفحه‌ی} = \frac{\text{تعداد اتمها روی صفحه}}{\text{مساحت صفحه}} = \frac{4\times\frac{1}{4}+1}{\left(\frac{4r}{\sqrt{2}}\right)^2} = 8/2\times10^{12}\,atoms/mm^2$$

**مثال**

**جهات پردانسیته را در شبکه‌های کریستالی BCC , FCC مشخص و چگالی آنها را محاسبه کنید.**

جواب:

جهت پردانسیته جهتی است که بیشترین اتمها به نسبت طول خط کمتر را داشته باشیم که این جهت برای شبکه FCC برابر [۱۱۰]و برای شبکه BCC برابر [۱۱۱]می‌باشد و چگالی آنها مساوی است با :

$$d_{[1\,1\,1]BCC} = \frac{1+2\times\frac{1}{2}}{a_\circ\sqrt{3}} \qquad d_{[1\,1\,0]FCC} = \frac{1+2\times\frac{1}{2}}{a_\circ\sqrt{2}}$$

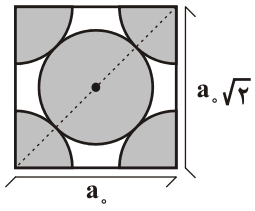
**مثال**

**صفحات پردانسیته در شبکه کریستالی BCC , FCC را مشخص و چگالی آنها را حساب کنید.**

**جواب:**

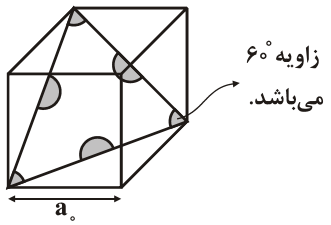
صفحات پردانسیته صفحاتی هستند که بیشترین تعداد اتم را نسبت به مساحت صفحه دارند.

که این صفحه برای BCC $\leftarrow \{1\,1\,0\}$ و برای FCC $\leftarrow \{1\,1\,1\}$ می‌باشد.




$$d_{\{110\}BCC} = \frac{1+4\times\frac{1}{4}}{a_\circ\times a_\circ\sqrt{2}}$$

$$d_{\{111\}FCC} = \frac{3\times\frac{1}{2}+3\times\frac{1}{6}}{a_\circ^2\times\frac{\sqrt{3}}{2}}$$




$$\Rightarrow \frac{60}{360} = \frac{1}{6} \quad \text{اتم}$$