



بسم الله الرحمن الرحيم

آشنایی با فرآیندهای ساخت

فصل دوم: آشنایی با کلیت فرآیندها

مدرس:

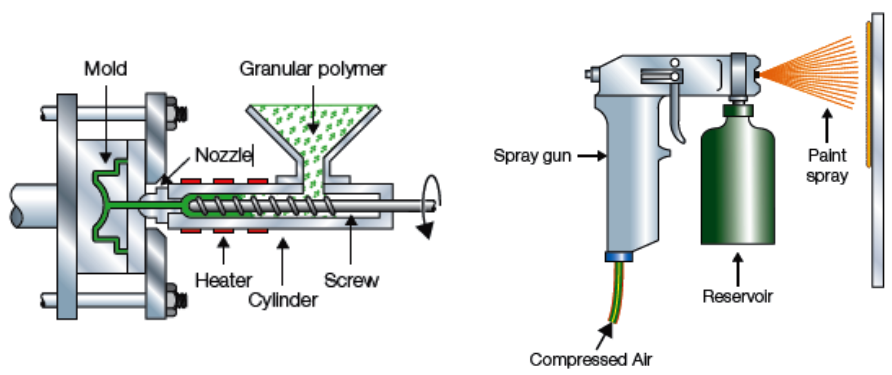
دکتر رضا قنوازی

r_ghanavati@sbu.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی

پاییز ۱۴۰۳

مقدمه

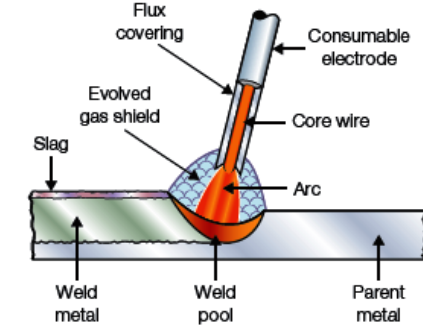
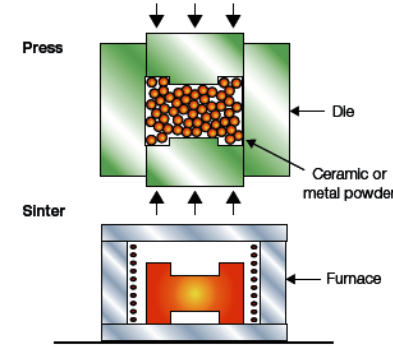
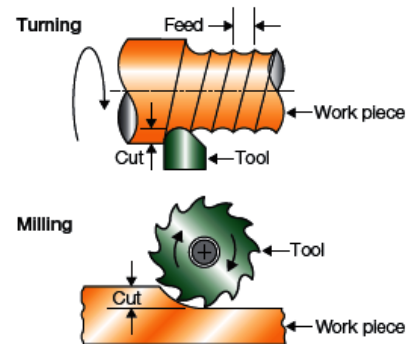
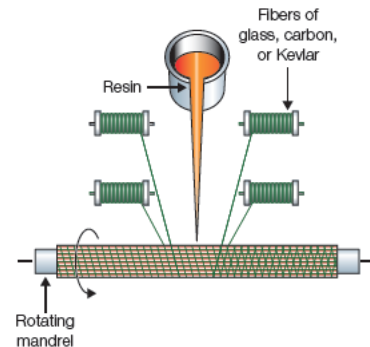
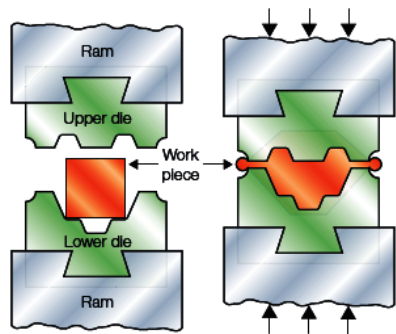
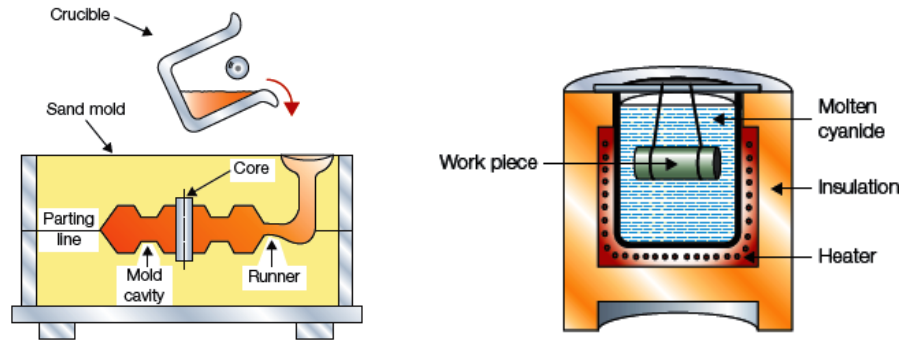


(1) طبقه بندی فرآیندها

(2) فرآیندها: شکل دهی، اتصال دهی و عملیات تکمیلی

(3) روش اصولی انتخاب فرآیند

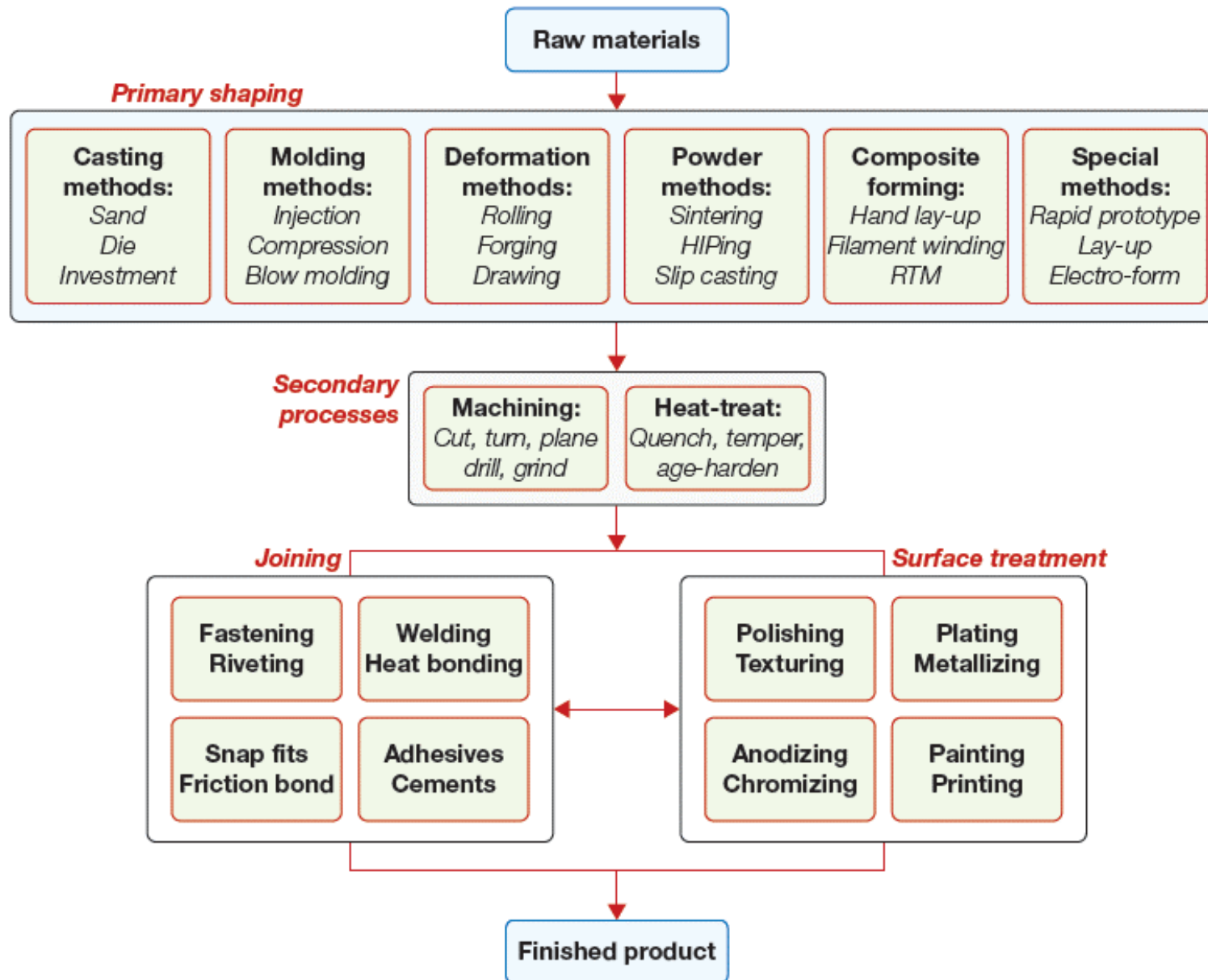
(4) رتبه بندی: هزینه فرآیند



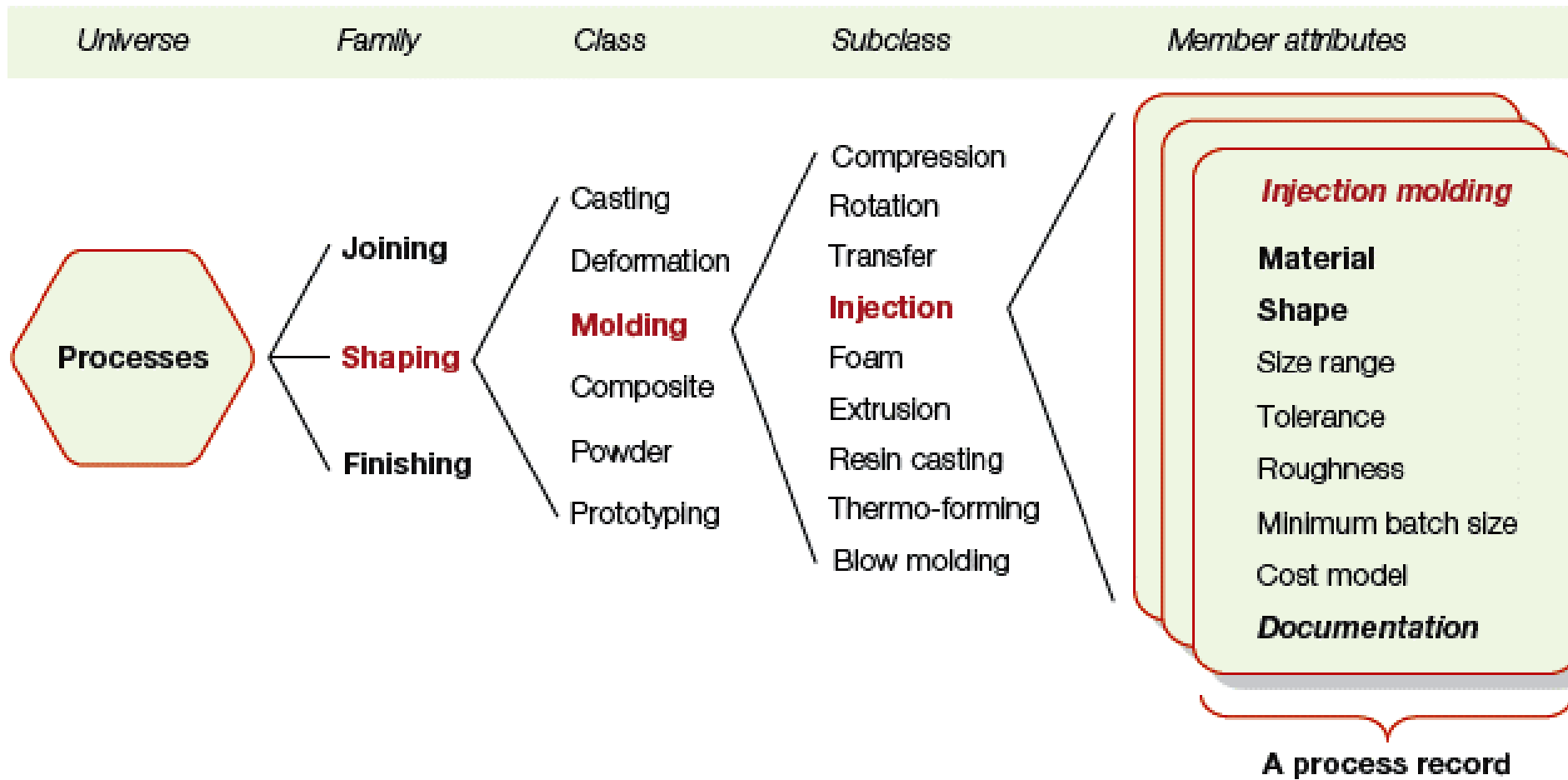
(۱) طبقه بندی فرآورده‌ها

هر فرآورده با مجموعه‌ای از ویژگی‌ها معین می‌شود: **ماده قابل استفاده و همچنین شکل، دقت، پیچیدگی و ابعاد قطعات تولیدی.** فرآورده‌های ساخت را می‌توان تحت ۳ عنوان طبقه بندی کرد:

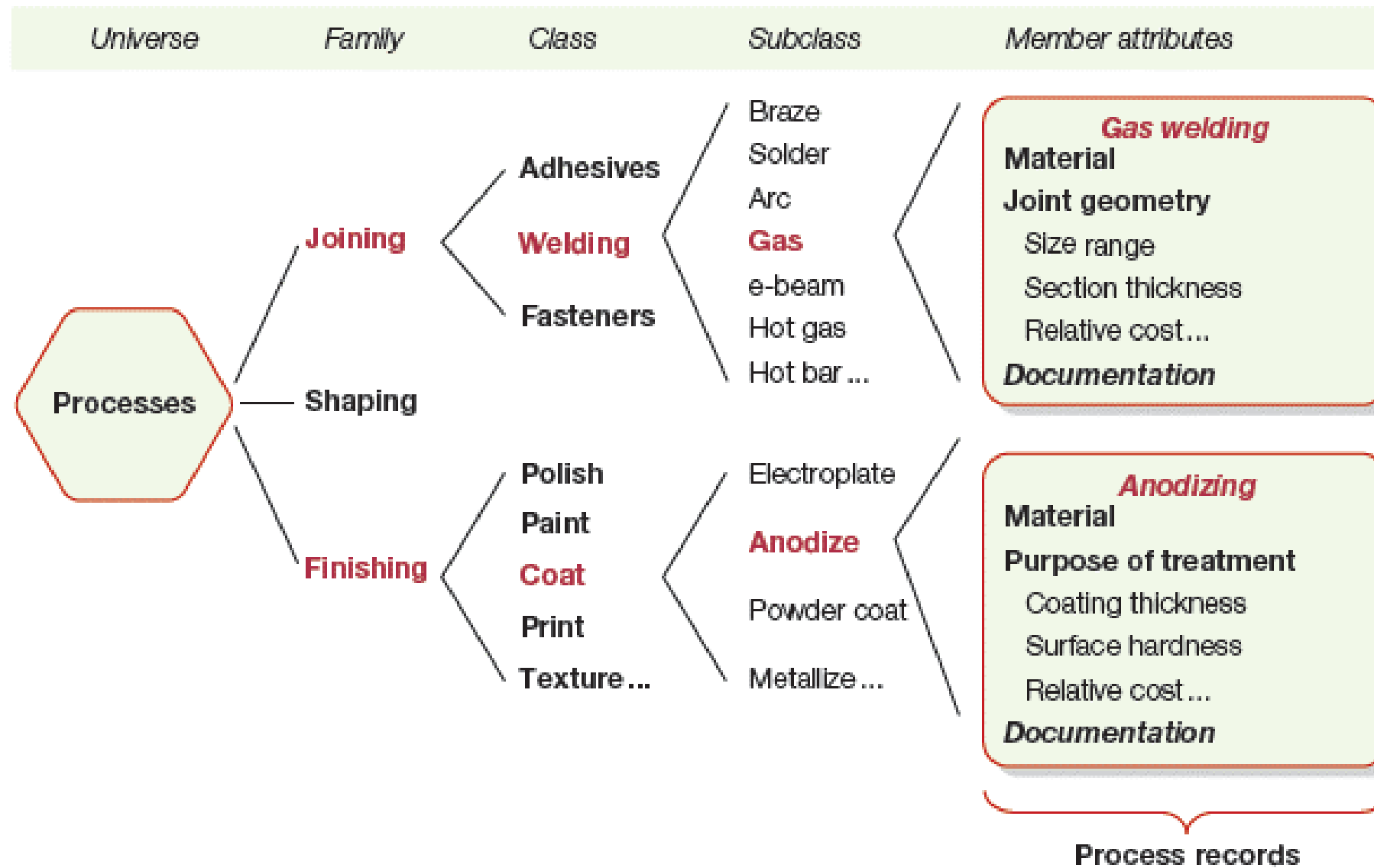
- **فرآورده‌های اولیه، شکل محصول را ایجاد می‌کنند.** در سطر اول این نمودار، هفت فرایند اولیه‌ی شکل دهی ذکر شده است: ریخته گری، قالب گیری، فرم دهی، روش های پودری، روش های شکل دهی مواد مرکب، روش های ویژه و نمونه سازی سریع.
- **فرآورده‌های ثانویه، شکل یا خواص را اصلاح می‌کنند.** ماشینکاری (ویژگی‌هایی را به یک جسم موجود می‌افزاید) و عملیات حرارتی (خواص سطحی یا حجمی را ارتقا می‌دهد).
- **پس از آن، فرآورده‌های اتصال دهی و عملیات تکمیلی انجام می‌شود.**



کلاس بندی فرایندها. سطر اول، روش های شکل دهی اولیه و سطر بعد مربوط به فرایندهای ثانویه ماشین کاری و عملیات حرارتی، فرایندهای اتصال دهی و عملیات تکمیلی



نمودار سیر فرایند با گسترش بخشی از خانواده شکل‌دهی



نمودار سیر فرایند با گسترش بخشی از خانواده‌های اتصال‌دهی و عملیات تکمیلی

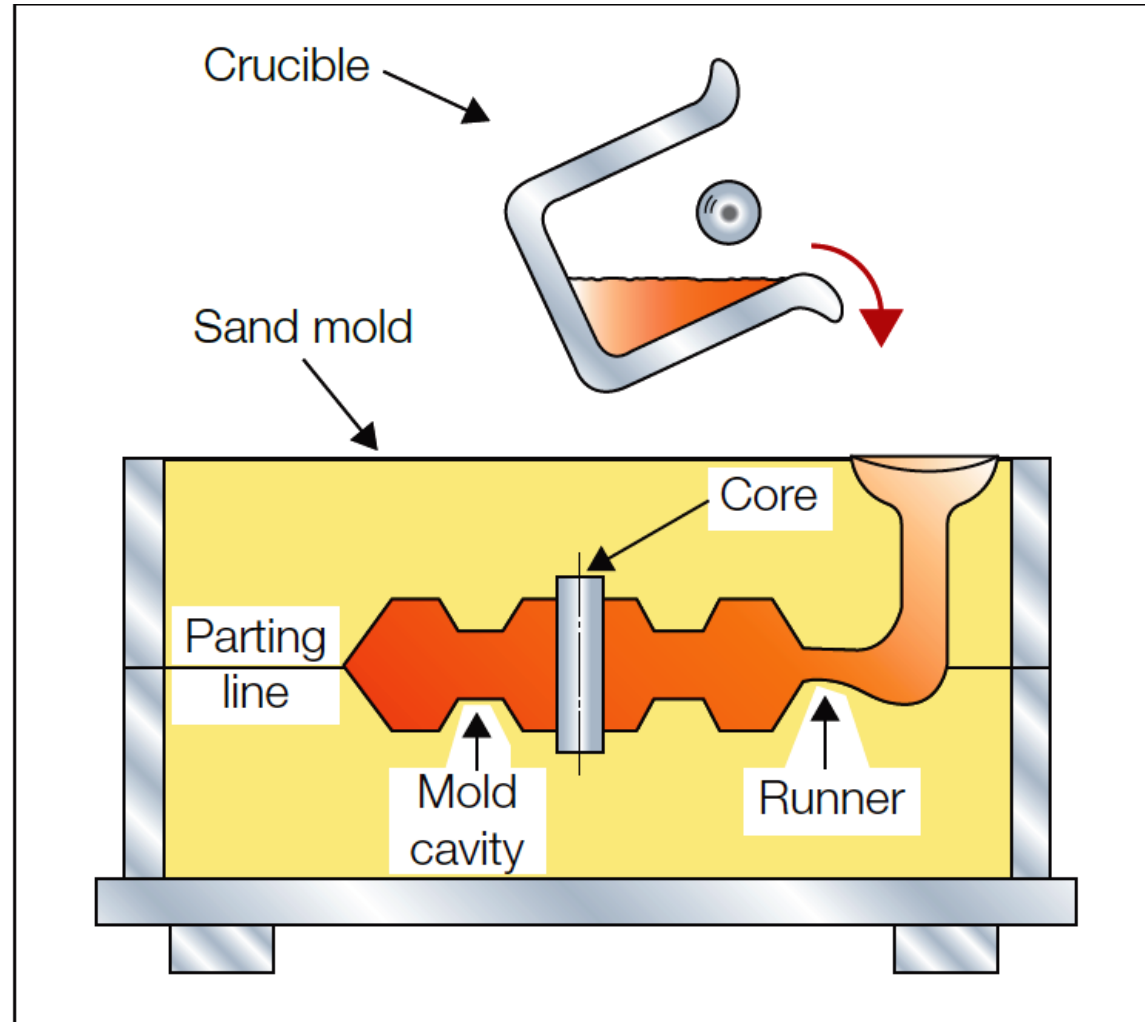
(۲) فرآیندها: شکل دهی، ثانویه و عملیات تکمیلی

(۱-۲) فرآیندهای شکل دهی

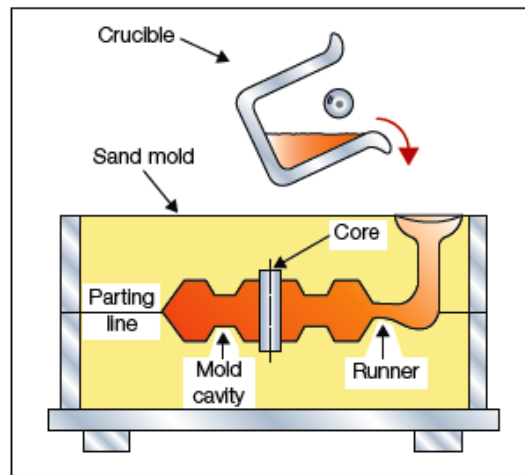
(۱-۱-۲) ریخته‌گری

در این فرایند یک مایع در قالب ریخته شده (یا به اجبار در آن جای داده می‌شود) و پس از خنک شدن، جامد می‌شود. **ریخته‌گری** از نقطه نظر **ویسکوزیته** اندک مایع، از **قالب‌گیری** متمایز می‌شود: یک مایع در اثر وزن خود (مانند ریخته‌گری ثقلی یا ریخته‌گری دقیق) یا تحت فشار نسبتاً کم (مانند دایکست یا ریخته‌گری تحت فشار) به داخل قالب جریان می‌یابد و آن را پر می‌کند.

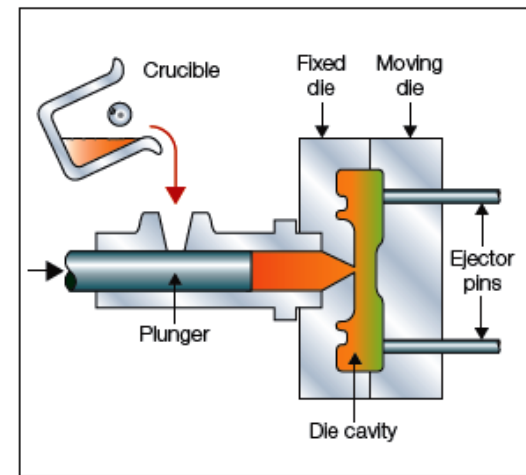
اغلب هنگامی از **قالب‌های ماسه‌ای** استفاده می‌شود که **تعداد قطعات مورد نظر کم** و **هزینه** نیز مهم باشد. از **قالب‌های فلزی** در دایکست و برای تولید انبوه استفاده می‌شود اما معمولاً هزینه زیادی دارند. روش‌های دیگری نیز بینابین این دو شیوه ریخته‌گری متفاوت وجود دارند؛ ریخته‌گری پوسته‌ای، ریخته‌گری دقیق، ریخته‌گری در قالب گچی و ...



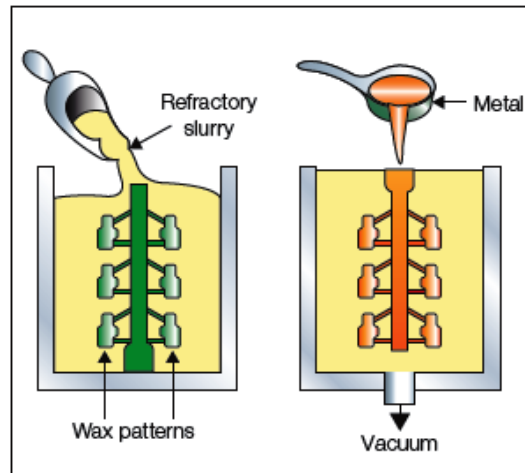
Sand casting



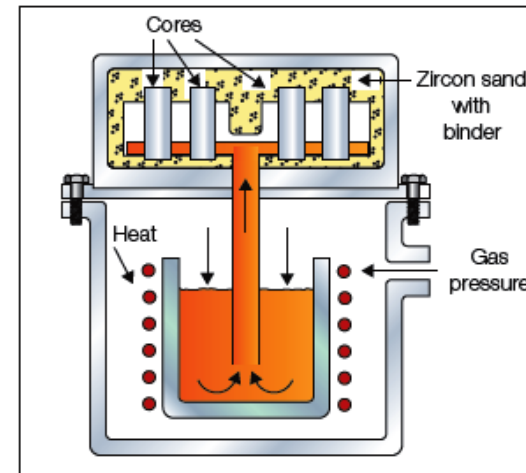
Sand casting



Die casting



Investment casting

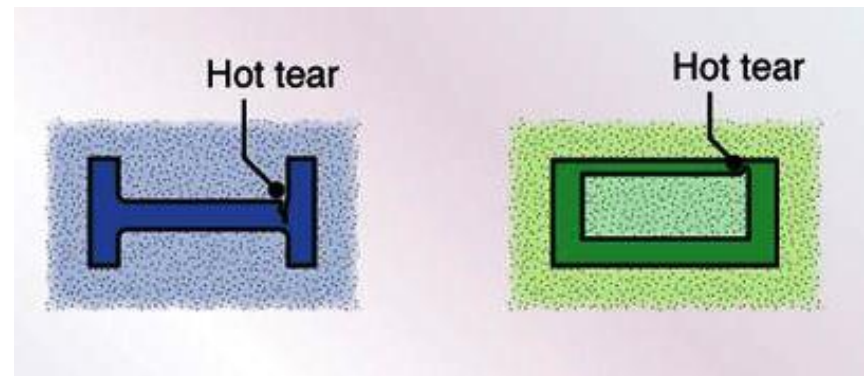


Low-pressure casting

فرایندهای ریخته‌گری. در ریخته‌گری ماسه‌ای، مذاب یک فلز به داخل یک قالب ماسه‌ای دو تکه هدایت می‌شود. در روش دایکست مذاب تحت فشار، یک قالب فلزی را پر می‌کند. در ریخته‌گری دقیق، الگویی از موم در داخل بستری از ماده نسوز قرار می‌گیرد و پس از ذوب آن، حفره قالب ایجاد و سپس توسط مذاب پر می‌شود. در ریخته‌گری کم فشار، قالب از قسمت پایین خود پر می‌شود و در نتیجه کنترل اتمسفر و جریان مذاب آرام در قالب میسر می‌شود.

نکات اساسی در ریخته‌گری

- شکل الگوهای ریخته‌گری به گونه‌ای طراحی شوند که مایع بتواند به آسانی همه قسمت‌های قالب را پر کند و با پیشرفت انجماد، بسته‌های مذاب در قطعه جامد محبوس نشوند و حفره انقباضی نیز ایجاد نشود.
- ضخامت قسمت‌های گوناگون قطعه تا حد امکان یکسان باشد.
- باید به آسانی بتوان الگو و قطعه جامد شده را از قالب خارج کرد.
- از شکلهایی که به صورت قفل شده هستند، اجتناب کرد؛ زیرا همان طور که قطعه جامد، خنک و منقبض می‌شود، این شکل‌ها منجر به یک شکست ناشی از نیروهای کششی می‌شوند که به آن "پارگی داغ" گفته می‌شود.



- **دقت ابعادی و سطح نهایی** یک قطعه ریخته‌گری می‌تواند بسیار نامناسب (مانند ریخته‌گری ماسه‌ای) یا بسیار مناسب (مانند دایکست) باشد.
- اگر فلز مذابی با **جریان متلاطم** وارد قالب شود، عیوبی مانند محبوس‌شدن اکسیدهای سطحی و ناخالصی در قطعه نهایی ایجاد می‌شوند.
- با پر شدن قالب از پایین به بالا، ایجاد جریان آرام (low pressure) و همچنین با استفاده از **خلأ یا فشار گاز** می‌توان از ایجاد عیوب ریخته‌گری جلوگیری کرد.

۲-۱-۲) قالب‌گیری

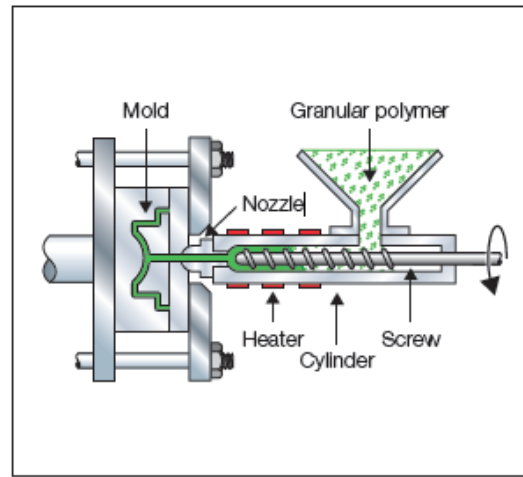
قالب‌گیری همانند فرایند ریخته‌گری است با این تفاوت که از موادی در آن استفاده می‌شود که **ویسکوزیته زیادی** دارند. از این مواد می‌توان به گرما نرم‌ها و شیشه‌ها اشاره کرد.

۱- در **قالب‌گیری تزریقی** این گونه سیالات چسبناک داغ را تحت فشار معینی به داخل قالب تزریق یا پرس می‌کنند تا پس از خنک شدن و انجام مراحل انجماد، یک قطعه جامد ایجاد شود. باید این قالبها مقاومت لازم را در برابر تکرار اعمال فشار و دما داشته و در برابر سایش ناشی از جداسازی و بیرون آوردن قطعه نیز مقاوم باشند: به همین دلیل نیز این قالبها گران هستند. چنان چه امکان مالی ساخت قالب های پیچیده و طراحی شیوه خروج مناسب قطعه وجود داشته باشد، می‌توان قطعات پیچیده‌ای را با این روش تولید کرد.

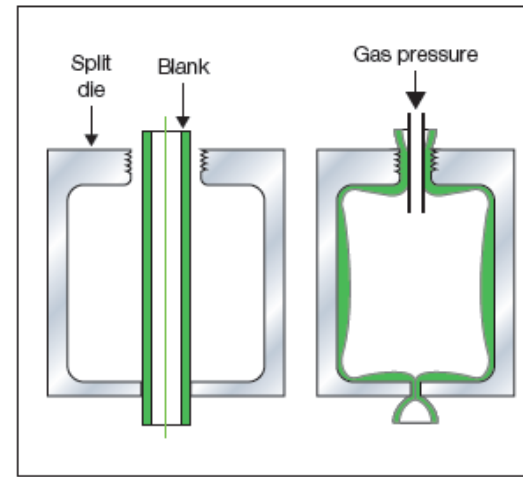
۲- در **قالبگیری دمشی** نیز یک پلیمر یا شیشه با استفاده از فشار گاز در حفره قالب منبسط میشود و شکل آن را به خود می گیرد. این روش بسیار سریع و ارزان است و برای تولید انبوه قطعات ارزان قیمتی مانند بطری های شیر مناسب است.

۳- پلیمرها نیز مانند فلزات قابلیت **اکستروود** شدن را دارند (میله ها، لوله ها و سایر مقاطع منشوری را به این شیوه می سازند).

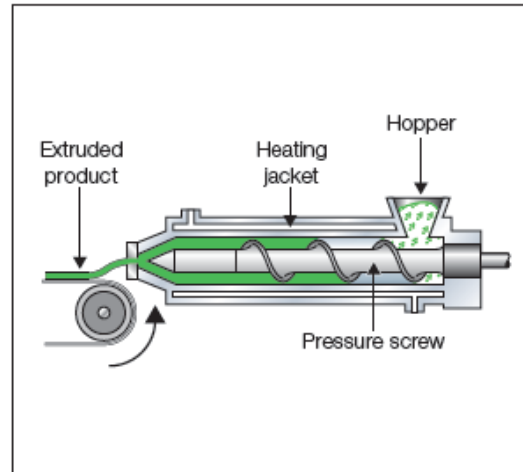
۴- در روش **ترموفرمینگ**، یک ورق پلیمری داغ با استفاده از فشار گاز یا خلاء در حفره یک قالب یک تکه قرار می گیرد.



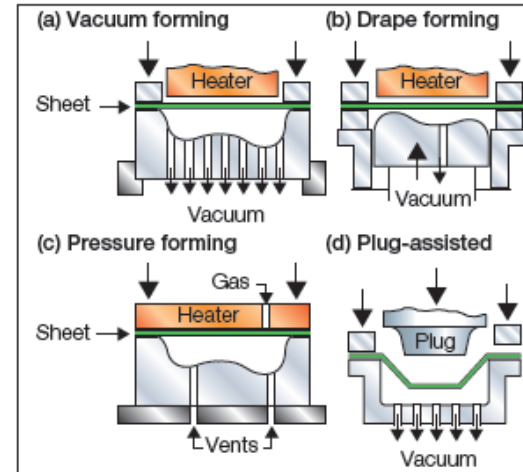
Injection molding



Blow molding



Polymer extrusion

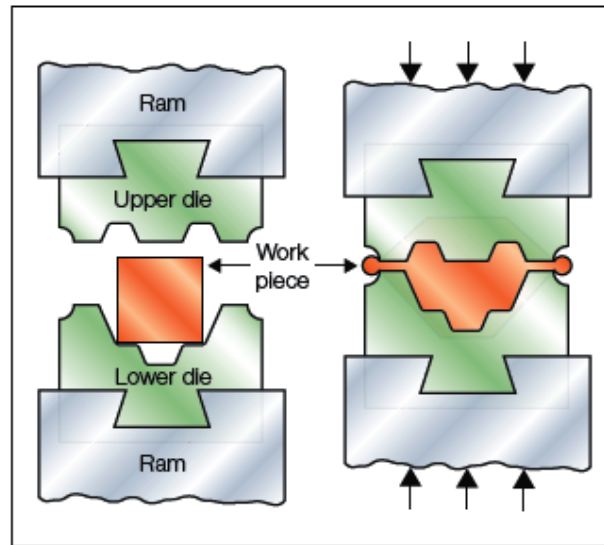


Thermo-forming

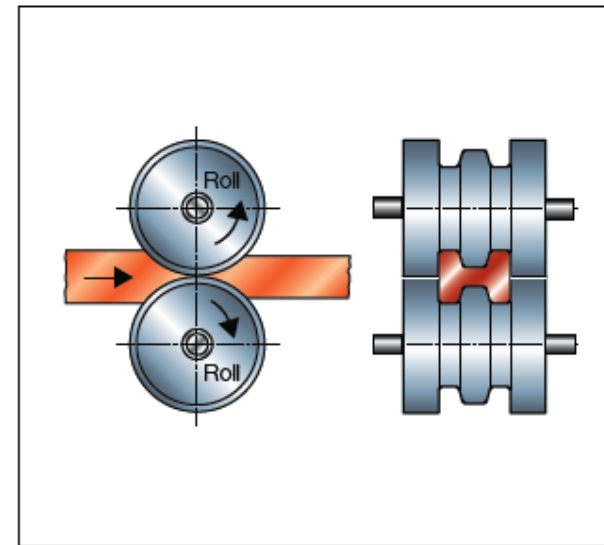
فرایندهای قالب گیری. در **قالب گیری تزریقی**، پس از حرارت دهی دانه‌های پلیمری کروی، به وسیله یک سیستم حلزونی، تحت فشار و برش قرار می‌گیرد و حفره قالب را پر می‌کنند. در **قالب‌گیری دمشی**، یک لوله خام از پلیمر یا شیشه داغ، با اعمال فشار گاز، در داخل قالب دو تکه منبسط می‌شود. از روش **اکستروژن پلیمر**، برای ایجاد مقاطعی با شکلهایی منطبق با شکل حفره قالب اکستروژن استفاده می‌شود. در **ترموفرمینگ**، یک ورق گرمانرم حرارت داده می‌شود و با اعمال فشار گاز یا ایجاد خلأ، روی قالب قرار می‌گیرد.

۲-۱-۳) شکل دهی فلزات

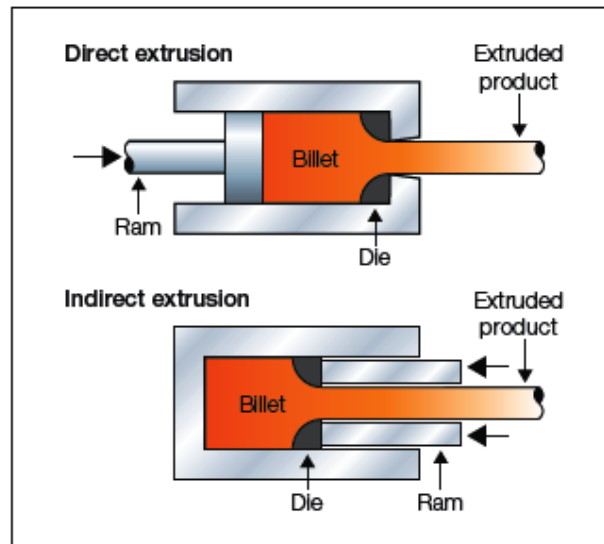
- فرایندهای شکل دهی (اسلاید بعدی) با توجه به T_m فلز مورد نظر به صورت داغ، گرم یا سرد طبقه بندی می شوند.
- اگرچه فرایندهای اکستروژن، فورج داغ و نورد داغ در دماهای بالا ($T > 0.55 T_m$) انجام می شوند و وجوه مشترک زیادی با فرایندهای قالبگیری دارند؛ اما در این فرایندها، ماده به صورت یک جامد است و نه یک مایع چسبنده. با افزایش دما، استحکام تسلیم کاهش می یابد و تبلور مجدد رخ می دهد و به همین دلیل نیز فشار مورد نیاز برای تغییر شکل کاهش می یابد.
- در کار گرم ($0.35 T_m < T < 0.55 T_m$) پدیده ی بازیابی رخ می دهد ؛ اما تبلور مجدد انجام نمی شود.
- فورج، نورد و کشش سرد ($T < 0.35 T_m$) موجب کار سختی ماده و افزایش استحکام قطعه نهایی می شوند ؛ اما برای تغییر شکل آنها، به فشار بیشتری نیاز است.



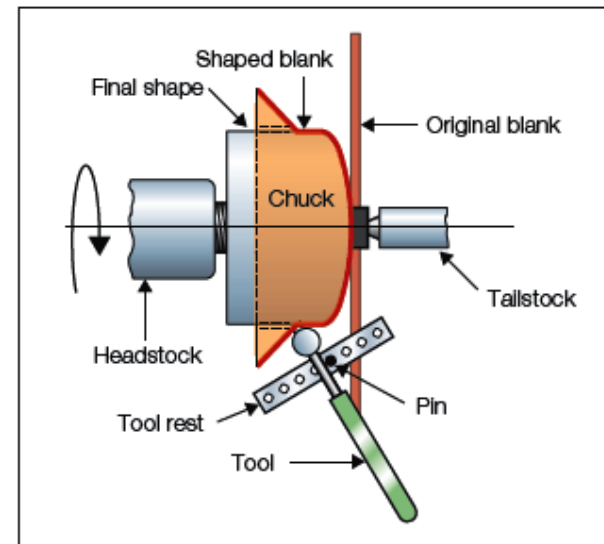
Forging



Rolling



Extrusion



Spinning

فرایندهای شکل دهی فلزات

در **فورج**، یک تکه فلز بی شکل، در میان دو قالب متصل به فک پرس شکل می گیرد.

در **نورد**، مقطع یک شمش یا میله، با اعمال نیروی فشاری توسط غلتک ها کاهش می یابد.

در **اکستروژن**، یک فلز تحت فشار از روزنه ی قالب عبور می کند و یک شکل پیوسته با مقطع منشوری ایجاد می شود.

در **اسپینینگ**، یک دیسک گردان از یک فلز چکش خوار، روی یک قالب شکل داده می شود. این کار توسط یک ابزار سرگرد صاف انجام می شود که روی تکیه گاه خود می لغزد.

باید طراحی قطعات فورج به گونه‌ای باشد که تغییرات ناگهانی ضخامت یا انحنای شدید ایجاد نشود؛ زیرا کرنش‌های موضعی شدید می‌تواند منجر به پارگی و یا چین خوردگی ماده شود.

امکان تغییر شکل بیشتری در فورج داغ فلزات وجود دارد؛ اما دقت ابعادی و سطح نهایی به دلیل اکسید شدن و تاب برداشتن مناسب نیست.

دقت و سطح نهایی در فورج سرد وضعیت مناسب‌تری دارد؛ اما علاوه بر افزایش فشار فرم دهی، کار سختی نیز مزید بر علت می‌شود و ادامه تغییر شکل را محدود می‌کند.

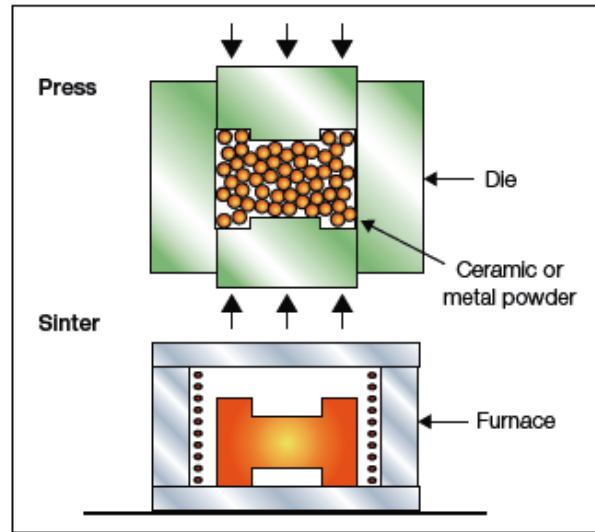
۲-۱-۴) روش‌های پودری

در این روش‌ها با پرس کاری و تفجوشی ذرات ریزی از مواد، شکل مورد نظر ایجاد می‌شود. می‌توان در آغاز پودرها را به صورت سرد پرس کاری کرد و سپس عملیات تفجوشی را روی آنها انجام داد: با ادامه حرارت دهی تا $0.8 T_m$ ، پیوندهای لازم برقرار می‌شوند. همچنین، می‌توان آنها را در یک قالب پیش گرم، پرس کاری کرد ("پرس کاری گرم") و یا این که آنها را در یک محفظه از پیش شکل یافته ریخت و تحت یک فشار همه جانبه حرارت داد ("پرس کاری داغ همه جانبه" یا "HIP").

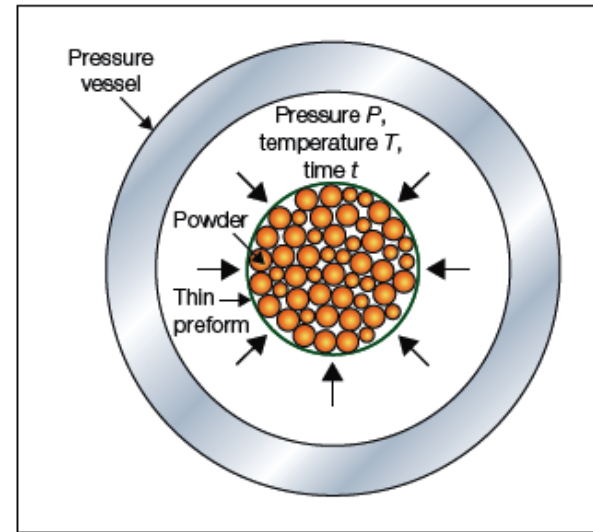
- می‌توان فلزاتی را که **دمای ذوب بسیار بالایی** دارند و یا این که **شکل‌دهی آنها مشکل** است، به پودر تبدیل کرد (با روش‌های شیمیایی) و سپس آن پودر را شکل داد.
- این فرایند محدود به موادی که شکل‌دهی آن مشکل است، نمی‌شود؛ بلکه تقریباً می‌توان **هر ماده‌ای را به پودر** تبدیل کرد و قطعه مورد نظر را با پرسکاری و حرارت دهی آن پودر تولید کرد.
- روش‌های پودری کاربرد گسترده‌ای در **ساخت قطعات کوچک فلزی** (مانند چرخ دنده‌ها و یاتاقان‌های اتومبیل و ابزار آلات) دارند.
- مقرون به صرفه بودن این روش‌ها، به **ماده مورد استفاده و تیراژ** بستگی دارد.

- با این روشها میتوان قطعاتی را ساخت که قابلیت ریخته‌گری، تغییر شکل و ماشینکاری ندارند. به این ترتیب محصولی تولید می‌شود که اصلاً به **عملیات تکمیلی نیازی ندارد** و یا این که به **مقدار جزیی** باید این عملیات را طی کند.
- با توجه به این که فشار به صورت یکنواخت در بستر پودر توزیع نمی‌شود، نباید **طول قطعه‌ای** که از فرایند پرسکاری پودر در قالب تولید می‌شود، از $\frac{2}{5}$ برابر قطر خود تجاوز کند.
- باید مقاطع قطعه تقریباً یکنواخت باشند؛ زیرا قابلیت **سیلان پودرها در حوالی گوشه‌ها** محدود است و از سوی دیگر باید شکل قطعه به گونه‌ای باشد که به توان به آسانی آن را از قالب خارج کرد.

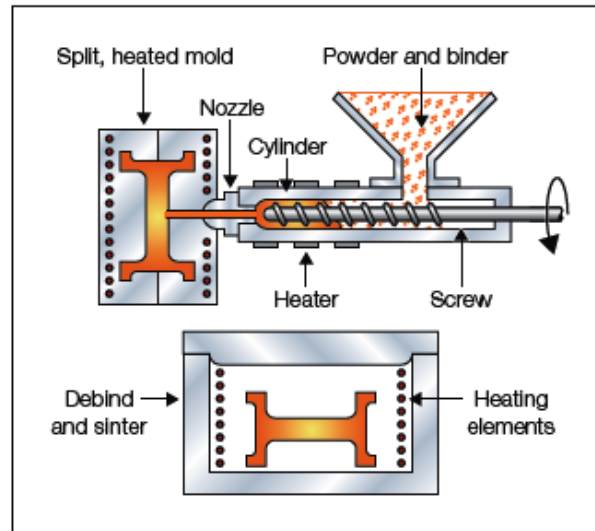
- در پرس کاری در قالب و تفجوشی، پودر اغلب همراه با چسب در قالب فشرده و سپس قطعه خام تولیدی در مجاورت حرارت، به یک محصول با چگالی کمتر یا بیشتر از آن تبدیل می شود.
- در پرس کاری همه جانبه داغ، یک پوسته نازک ایجاد و از پودر پر می شود و در ادامه، تحت حرارت و فشار یک گاز خارجی قرار می گیرد.
- در قالب گیری تزریقی پودری، پودر و چسب با فشار به یک قالب منتقل و در مرحله بعد، به این قطعه خام حرارت داده می شود.
- در ریخته گری دوغابی، یه دوغاب از پودر و آب تهیه و به داخل یک قالب گچی متخلخل هدایت می شود و پس از جذب آب به میزان مناسب، پوسته ای از پودر تشکیل می شود که در مرحله بعد، آن را حرارت می دهند.



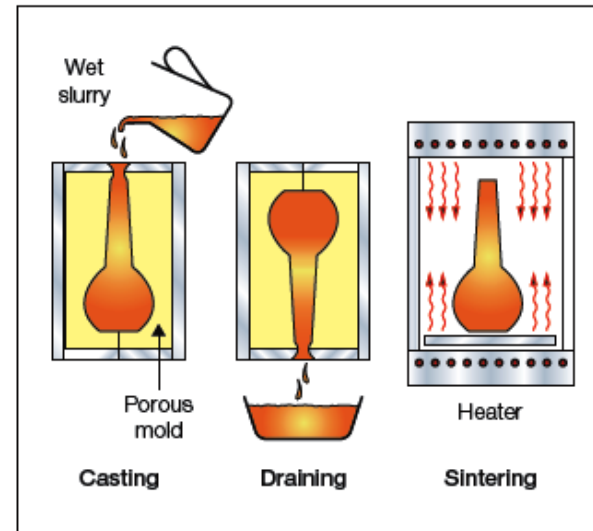
Die-pressing and sintering



Hot isostatic pressing



Powder injection molding



Slip casting

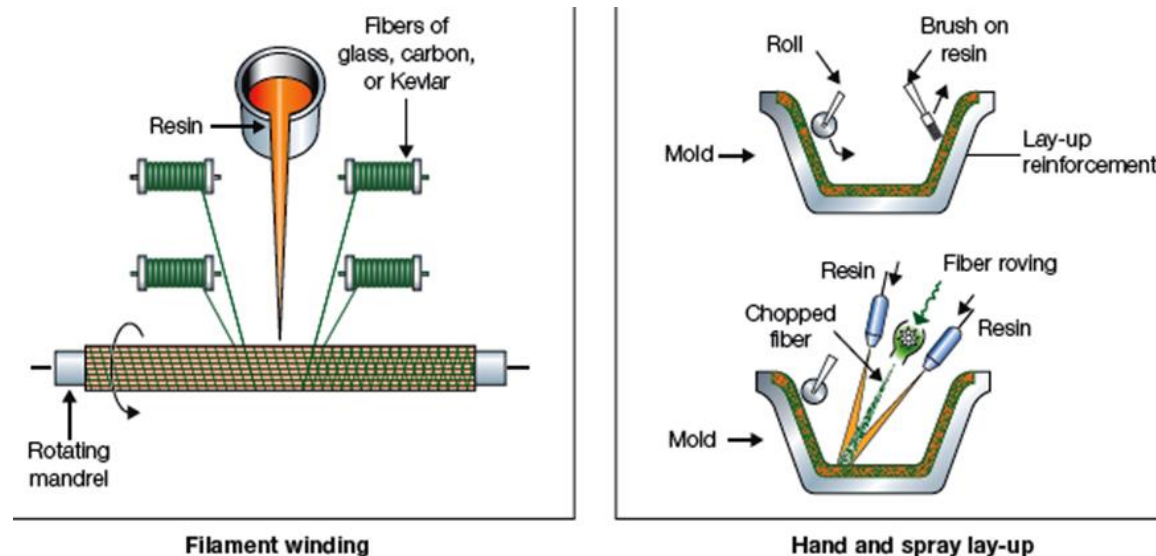
روش های پودری

۲-۱-۵) روش‌های ساخت مواد مرکب (کامپوزیت)

با این روش‌ها، مواد مرکب زمینه پلیمری تقویت شده با الیاف پیوسته یا خرد شده (ناپیوسته) ساخته می‌شوند.

- در رشته پیچی، الیافی از شیشه، کولار یا کربن حول یک محور پیچیده و سپس به مخلوط رزین و سخت کننده آغشته می‌شوند.

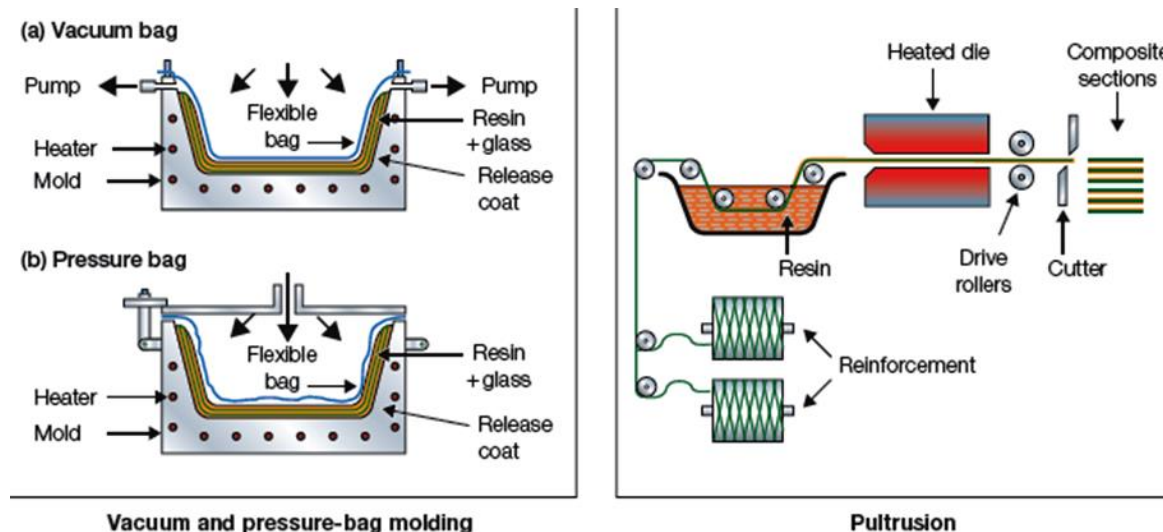
- در لایه‌زنی با غلتک و اسپری، الیاف تقویت کننده در یک قالب به صورت لایه لایه روی یکدیگر چیده می‌شوند و مخلوط رزین و هاردنر توسط غلتک و اسپری روی سطح پاشیده و صاف می‌شوند.



- سازه های بزرگ را با **رشته پیچی** یا با **لایه زنی** پارچه های از پیش آغشته از جنس الیاف کربن، شیشه یا کولار (با ضخامت مورد نیاز) و سپس **پرس کاری** و **برش کاری** آن می سازند.
- بخشی از این فرایند می تواند به صورت اتوماتیک انجام شود؛ اما به هر حال فرایند تولید **کند** است.
- روش لایه زنی بهترین گزینه برای ساخت قطعات سفارشی با **کارایی بسیار بالاست** (البته تعداد قطعات قابل تولید با این روش **محدود** است).

- در قالبگیری با کیسه خلا یا فشار، لایه هایی از تقویت کننده روی یکدیگر چیده و به رزین و سخت کننده آغشته می شوند و در ادامه، تحت فشار و حرارت پلیمریزاسیون رخ می دهد. با روش های قالبگیری با کیسه خلا یا کیسه تحت فشار می توان قطعه مطمئن تری تولید کرد؛ زیرا حبابها پیش از پلیمره شدن فاز زمینه، خارج می شوند.

- در پالترین، الیاف از بستری از رزین و سپس یک قالب داغ عبور می کنند و اشکالی پیوسته با مقاطع منشوری تولید می کنند.

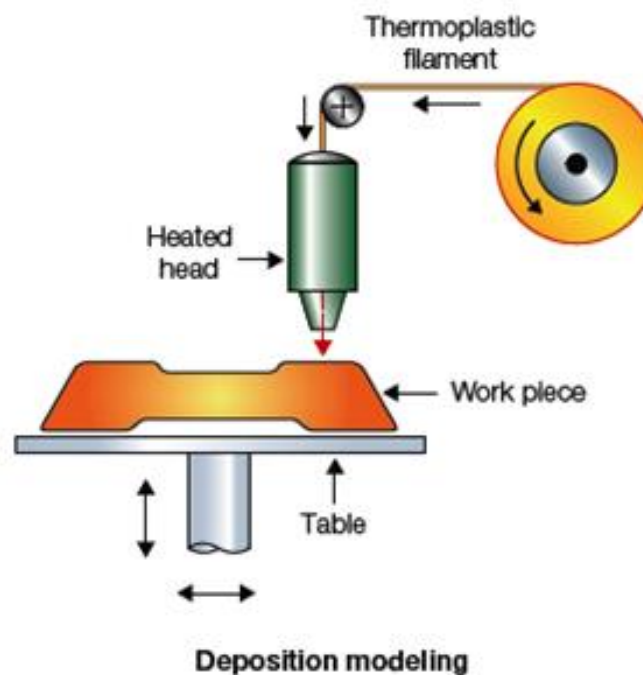


۲-۱-۶) سیستم‌های نمونه‌سازی سریع (RPS)

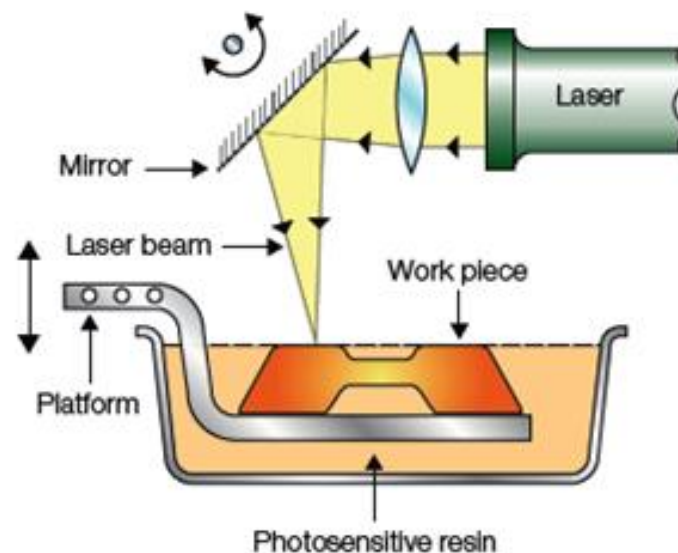
- با RPS امکان ساخت اشکال پیچیده منحصر به فرد میسر می‌شود. برای ساخت این گونه قطعات از اطلاعات عددی نرم‌افزار مدل سازی CAD استفاده می‌شود. شاید انگیزه اصلی استفاده از این روشها، امکان تجسم قطعه نهایی باشد: زیبایی شناسی یک شیء تنها زمانی میسر می‌شود که یک نمونه اولیه از آن در دسترس باشد.
- این عمل مانند الگوسازی است: یک مدل اولیه، در واقع مادر قالبهای فرایندهای مرسوم مانند ریخته‌گری به شمار می‌رود و می‌توان از آن برای ارزیابی هندسه‌های پیچیده و اطمینان از قرارگیری صحیح قطعات استفاده کرد.
- همه RPS ها توانایی ساخت اشکالی با پیچیدگی زیاد همراه با حفره داخلی، برآمدگی یا زائده جانبی دارند. دقت آنها نیز در حدود $\pm 0.3 \text{ mm}$ است. شکل در این روش‌ها لایه به لایه ایجاد می‌شود (چاپ سه بعدی) و به همین دلیل نیز سرعت کمی دارند (معمولا ۴-۴۰ ساعت برای هر قطعه).

چهار کلاس اصلی RPS وجود دارند:

(۱) یک هد متحرک، ماده گرمانرم را با روش اکستروژن مانند خمیردندان به بیرون می‌راند و به این ترتیب شکل مورد نظر ایجاد می‌شود (مدل سازی رسوب گداخته یا **FDM**). همچنین آن هد متحرک می‌تواند با چکاندن قطرات کوچک ماده گرمانرم (تولید با پرتاب ذره یا **BPM**) یا با بیرون راندن آن در یک آرایه الگو برداری شده ("**چاپ سه بعدی**") شکل نهایی را مانند یک چاپگر ایجاد کند.

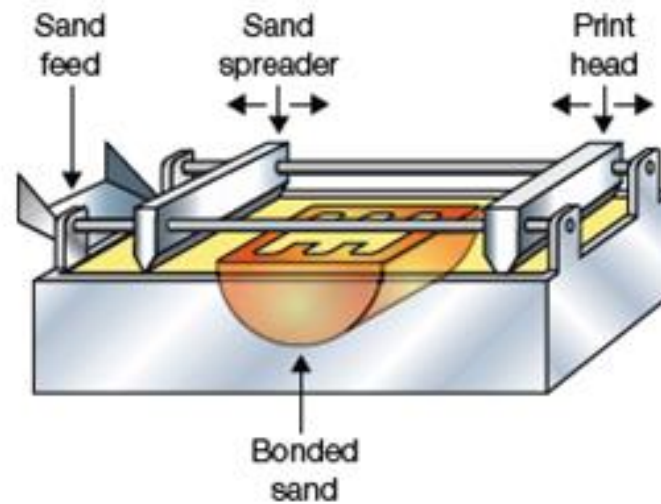


۲) یک پلیمر حساس به نور، با استفاده از یک پوشگر لیزری، پلیمریزه می‌شود (استریولیتوگرافی یا **SLA**).
قطعه‌کار پس از هر پیمایش، اندکی پایین می‌رود تا مونومر تازه، سطح را بپوشاند. تفجوشی لیزری انتخابی (**SLS**) نیز فناوری مشابهی دارد و محصول نهایی را با تفجوشی پودرهای پلیمری تولید می‌کند. در این روش، منبع لیزر بستری از ذرات را می‌پیماید و با برخورد پرتو لیزر موجب تفجوشی لایه نازکی از سطح می‌شود. سپس لایه جدیدی از ذرات روی سطح قرار داده می‌شود. جسم سه بعدی مورد نظر با تکرار این مراحل به وجود می‌آید. این روش در فلزات هم استفاده دارد.



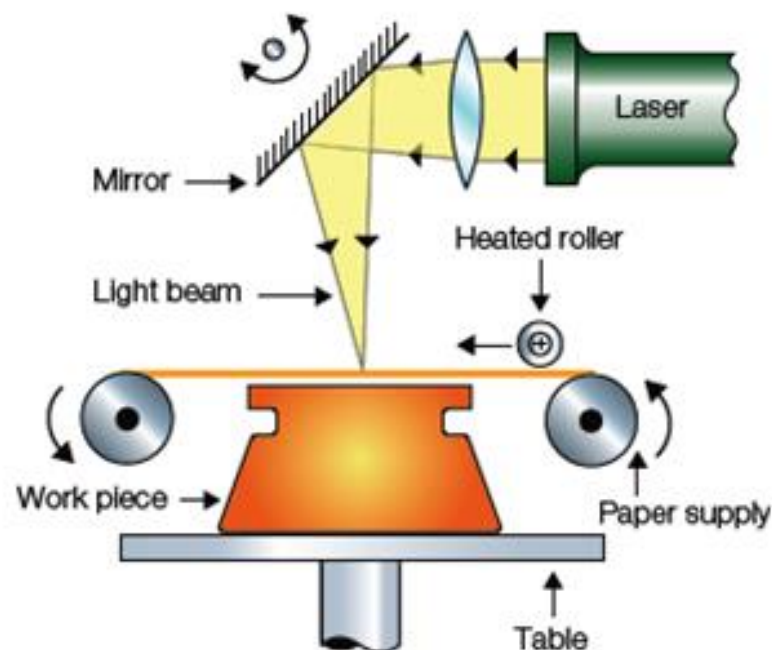
Stero-lithography (SLA)

۳) امکان ساخت قطعات بزرگ و پیچیده فلزی با **پاشش چسبی** میسر شده است. چسب به وسیله چند نازل بر بستری از ماسه ریخته‌گری پاشیده می‌شود و قالب را مانند تفجوشی لیزری انتخابی، می‌سازد؛ اما با این تفاوت که سرعت این روش بیشتر است. پس از تکمیل قالب، آن را از ماسه خارج و در فرایندهای مرسوم ریخته‌گری استفاده می‌کنند.



Direct mold modeling

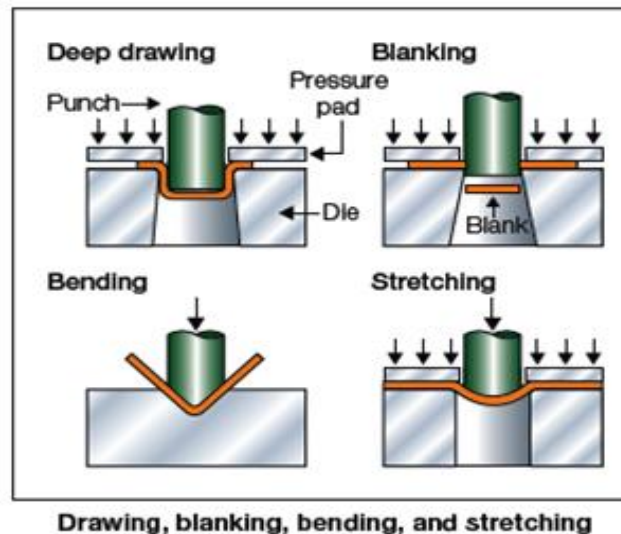
۴) در ساخت قطعه لایه لایه (LOM)، یک جسم جامد با لایه‌هایی از ورق ساخته می‌شود که این لایه‌ها پس از برش با پرتوی لیزر، با یک پلیمر حساس به حرارت، به یکدیگر متصل می‌شوند.



Laminated object manufacture (LOM)

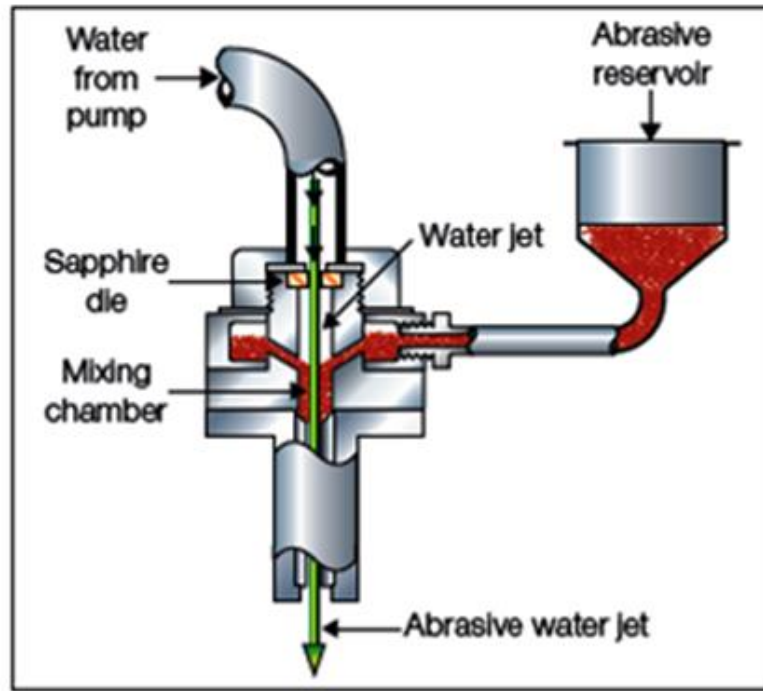
- تقریباً هر قطعه مهندسی (فلزی، پلیمری یا سرامیکی) طی مراحل تولید خود، به گونه‌ای تحت عملیات ماشینکاری قرار می‌گیرد. اغلب ماشینکاری به عنوان عملیات ثانویه محصولات ریخته‌گری، قالبگیری یا پودری به شمار می‌رود و دقت ابعادی و سطح نهایی آنها را بهبود می‌بخشد.
- قابلیت ماشینکاری معیاری برای نشان دادن آسانی براده برداری، قابلیت ایجاد سطوح صاف و کاهش میزان آسیب به ابزار آلات مورد استفاده است و مقدار آن نیز با استانداردهایی ارزیابی می‌شود. قابلیت ماشین کاری فلزات تفاوت زیادی با یکدیگر دارند و به شدت تحت تاثیر سختی فلز است. قابلیت ماشین کاری ضعیف، به معنای هزینه بیشتر است.

- باید طراحی قطعه برای انجام عملیات ماشینکاری به گونه‌ای باشد که امکان **نگهداری** و **مهار قطعه** وجود داشته باشد و تا حد امکان نیز **تقارن** رعایت شود. شکل‌های متقارن به عملیات کمتری نیاز دارند.
- **افزایش دقت ابعادی و پرداخت** هر چه بیشتر سطوح، به مفهوم **افزایش هزینه** است. چنانچه در طراحی یک محصول، **مشخصات نهایی سطح آن بیش از حد مورد نیاز** تعیین شود؛ به دلیل اسراف در عملیات ماشینکاری، **یک اشتباه پر هزینه** خواهد بود.
- بیشتر **پلیمرها** با انجام فرایند **قالب‌گیری** به شکل نهایی خود می‌رسند. در صورت لزوم نیز می‌توان آنها را ماشینکاری کرد؛ اما به دلیل مدول کمی که دارند، طی عملیات ماشینکاری خم می‌شوند و دقت ابعادی را محدود می‌کنند. می‌توان سرامیکها و شیشه را با سنگ‌زنی و پرداخت با دقت ابعادی بسیار مناسبی ساخت (شیشه تلسکوپ‌ها را به یاد آورید).

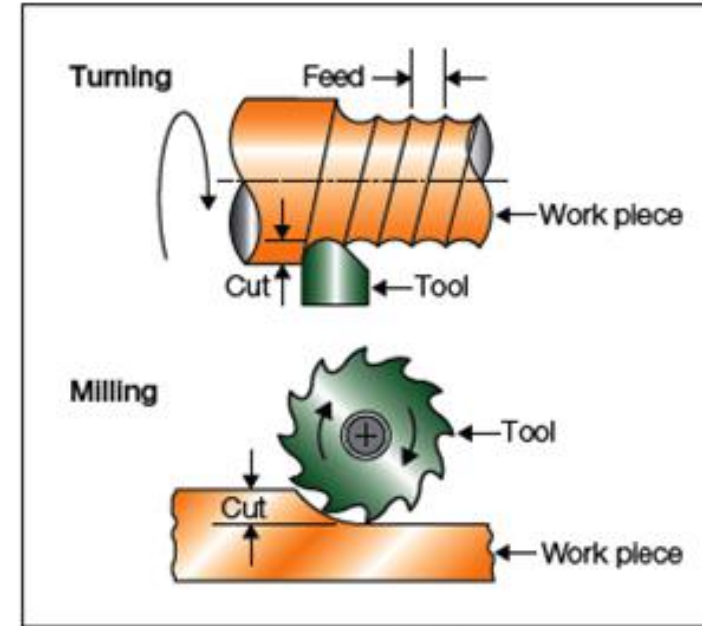


- ورقکاری شامل عملیات سوراخکاری، خمکاری و کشش است. در کشش، پولک زنی، خم کاری و کشش، اشکالی مسطح یا گود با فرم دهی و برش ورقها ساخته می‌شوند. نمی‌توان سوراخ هایی با قطر کمتر از ضخامت ورق ایجاد کرد. به کمترین شعاعی که ورق می‌تواند خم شود، **قابلیت شکل پذیری است** و گاهی با ضریبی از ضخامت ورق (t) بیان می‌شود. رای نمونه، ۱ به معنای قابلیت شکل پذیری مناسب و ۰.۲۵ بیانگر قابلیت شکل‌پذیری متوسطی است. بهترین شعاع خمکاری، بزرگترین شعاع ممکن است و هرگز نباید مقدار آن کمتر از t شود.

- میتوان **قابلیت شکل‌پذیری** را چنین تعریف کرد: مقدار کش‌آمدن یک ورق، بدون گلویی شدن. **نمودار حد شکل‌دهی**، اطلاعات دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. این نمودار ترکیبی از کرنشهای اصلی موجود در صفحه ورق را نشان می‌دهد که موجب پارگی می‌شود. باید قطعه را به گونه‌ای طراحی کرد که کرنشهای آن از این حد تجاوز نکند.

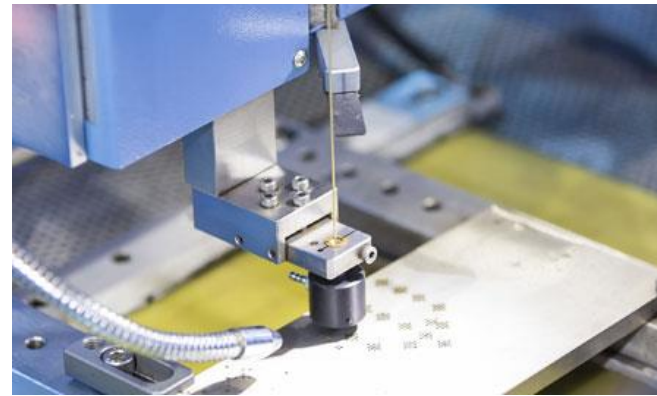
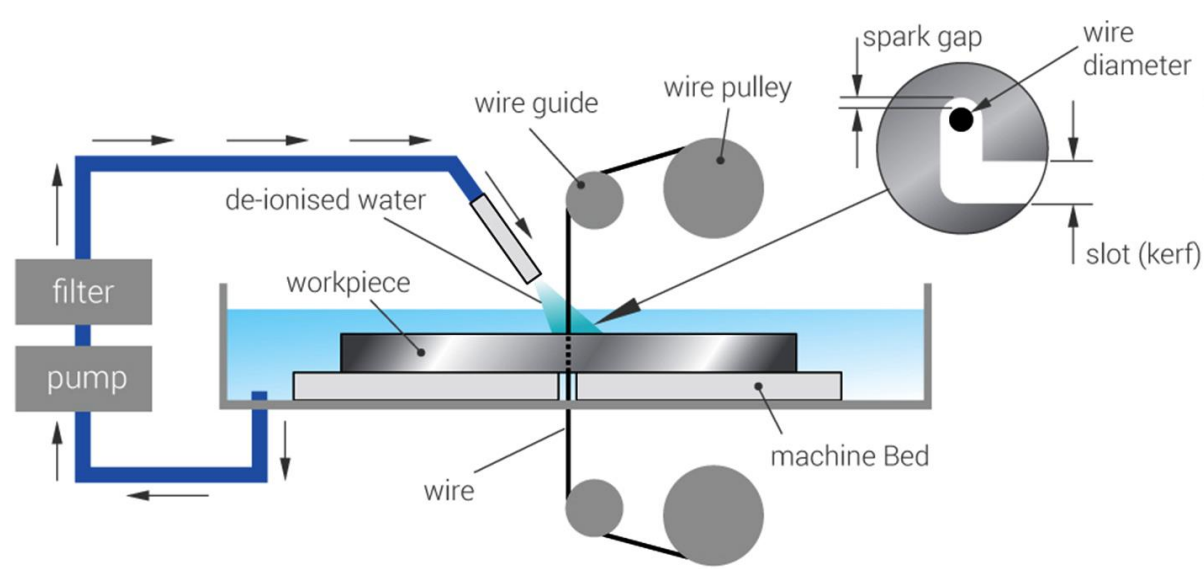


Water-jet cutting



Turning and milling

- در تراشکاری و براده برداری، براده‌های کوچکی را یک ابزار نوک تیز از سطح قطعه کار برمی‌دارد.
- در برش کاری با جت آب، ذرات ساینده به یک فواره یا جت آب (که سرعت بالایی نیز دارد) وارد می‌شوند و ماده را در مسیر حرکت خود می‌سایند.



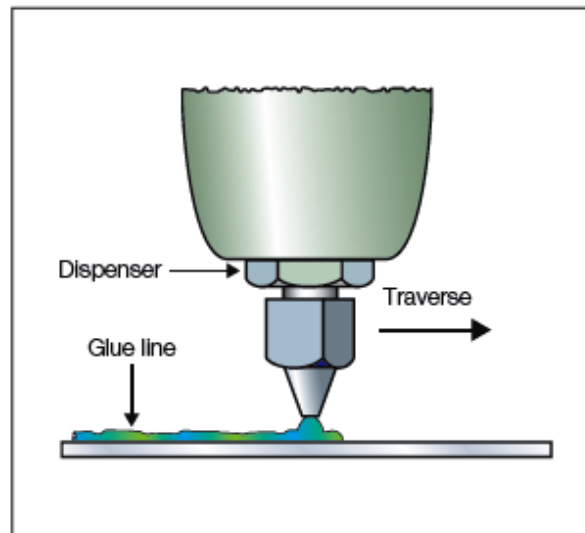
- **وایرکات** (Wire-Electrical discharge machining) دستگاهی است که بوسیله سیم نازک (عمدتاً ۲۵ میکرون) داخل مایع دی الکتریک (آب مقطر که تحت میدان الکتریکی قطبیده می شود) برش روی قطعه کار ایجاد می کند. انرژی ترموالکتریک با ایجاد یک جرقه سریع بین قطعه کار و سیم باعث ذوب لحظه ای این نقطه میشود. عمل ذوب داخل یک مایع دی الکتریک انجام می گیرد.

۴) اتصال دهی

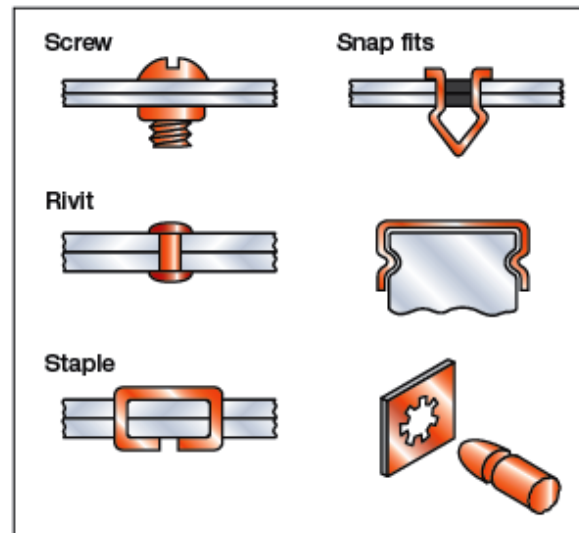
تکنیک‌های بسیاری برای اتصال دهی وجود دارند. تقریباً هر ماده‌ای را می‌توان با چسب چسباند؛ اما اطمینان یافتن از صحت و دوام این نوع پیوند کار مشکلی است. برای اتصال دهی پلیمرها و فلزات در مواقعی که قابلیت جدا شدن اتصال در آینده مد نظر باشد، از روش‌های متداولی مانند پیچ کاری، پرچ کاری، منگنه‌زنی و جازدن ضربه‌ای استفاده می‌شود.

جوشکاری بزرگترین کلاس فرایندهای اتصال دهی را به خود اختصاص می‌دهد و دایمی است.

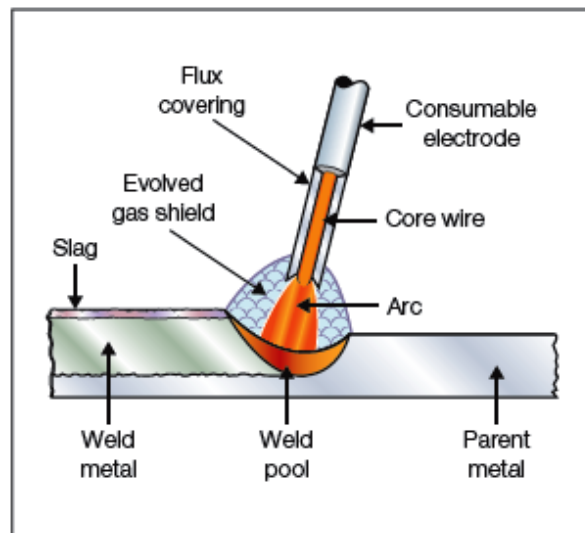
از جوشکاری برای **اتصال فلزات و پلیمرها** استفاده می‌شود و از تکنیک‌های متفاوتی نیز بهره می‌گیرد. می‌توان سرامیکها را با ایجاد پیوند نفوذی به یکدیگر، به شیشه‌ها و یا به فلزات متصل کرد.



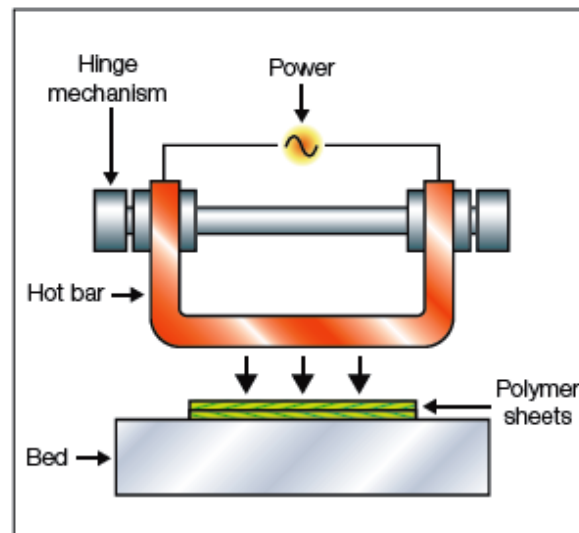
Adhesives



Fasteners



Welding: manual metal arc



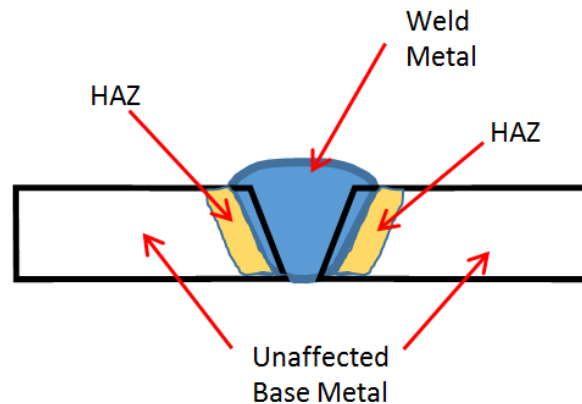
Welding: hot bar polymer welding

- در ایجاد اتصال با **چسب**، لایه نازکی از چسب روی یک سطح قرار می‌گیرد و سپس به دیگری پرس می‌شود.

- از اتصالات **مکانیکی** می‌توان به پیچ، پرچ، گیره، اتصالات فشاری (به داخل یا روی قطعه) و همچنین فشردن میله به داخل ورق اشاره کرد.

- در **جوشکاری با الکتروود دستی** مقداری از فلز پایه ذوب می‌شود و اتصال مناسب را به کمک یک فلز پر کننده ایجاد می‌کند.

- در **جوشکاری پلیمر گرمانرم**، حرارت به یک قطعه پلیمری اعمال و همزمان به دیگری فشرده می‌شود اتصال مورد نظر شکل گیرد.



مناطق قطعه جوشکاری شده

برای اتصال قطعات از طریق فرایند جوشکاری، باید "قابلیت جوش پذیری" آنها زیاد باشد. مانند قابلیت ماشینکاری، قابلیت جوش پذیری، نزدیکی خواص جوش به خواص مورد نیاز حین سرویس دهی و در واقع نزدیکی به خواص فلزات پایه مورد اتصال.

اگر رسانش حرارتی کم باشد، می توان با نرخ حرارت دهی کمتری جوشکاری کرد؛ اما امکان ایجاد اعوجاج در اثر سرمایش بیشتر می شود (فولادهای زنگ نزن آستنیتی). در صورتی که انبساط حرارتی کم باشد، مقادیر کرنشهای حرارتی نیز کمتر می شود و خطر ایجاد اعوجاج کاهش می یابد.

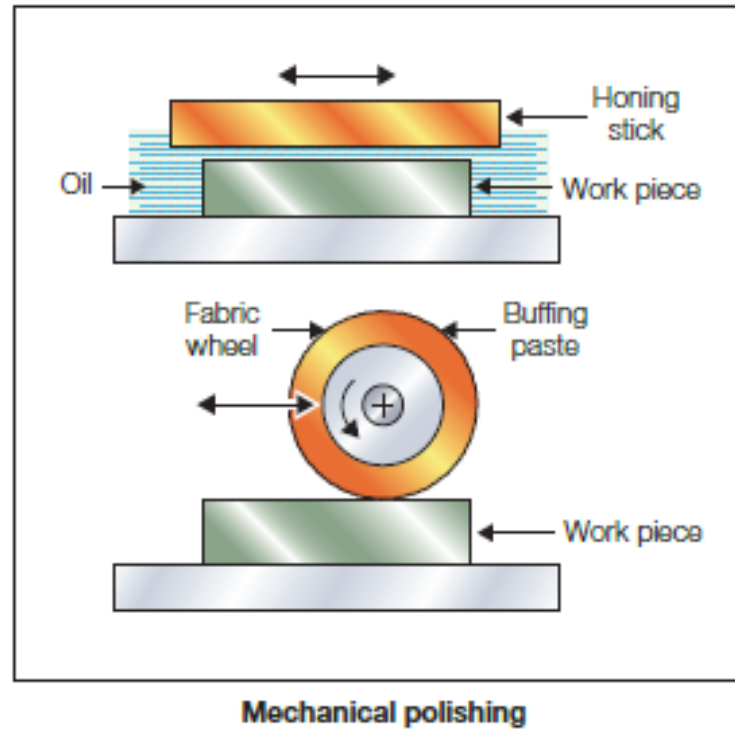
- در جوشکاری، یک محلول جامد بهتر از یک آلیاژ **پیرسختی شده** عمل می‌کند؛ زیرا در ناحیه‌ای که تحت تأثیر حرارت جوش قرار گرفته است (ناحیه متأثر از حرارت یا HAZ)، امکان پیرشدگی بیش از حد و نرم شدگی وجود دارد، مثل آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴.
- همواره پس از انجام فرایند جوشکاری، **تنش‌های داخلی (پسماند)** باقی می‌ماند و تقریباً مقدار آن‌ها برابر با استحکام تسلیم فلز پایه است.
- با انجام **عملیات حرارتی PWHT** می‌توان این گونه تنش‌ها را بر طرف کرد؛ اما با توجه به هزینه زیاد عملیات حرارتی، بهتر است اثر نامطلوب تنش‌ها را با یک طراحی مناسب به حداقل مقدار ممکن رساند. برای این منظور باید **ضخامت** اجزایی که قصد جوشکاری آنها را داریم، تا حد امکان یکسان باشند؛ جوش‌ها را در مناطقی قرار دهیم که از لحاظ تنشی یا خم شدگی خطر کمتری داشته باشند و حداقل تعداد جوش را به کار ببریم.

(۵) فرآیندهای تکمیلی

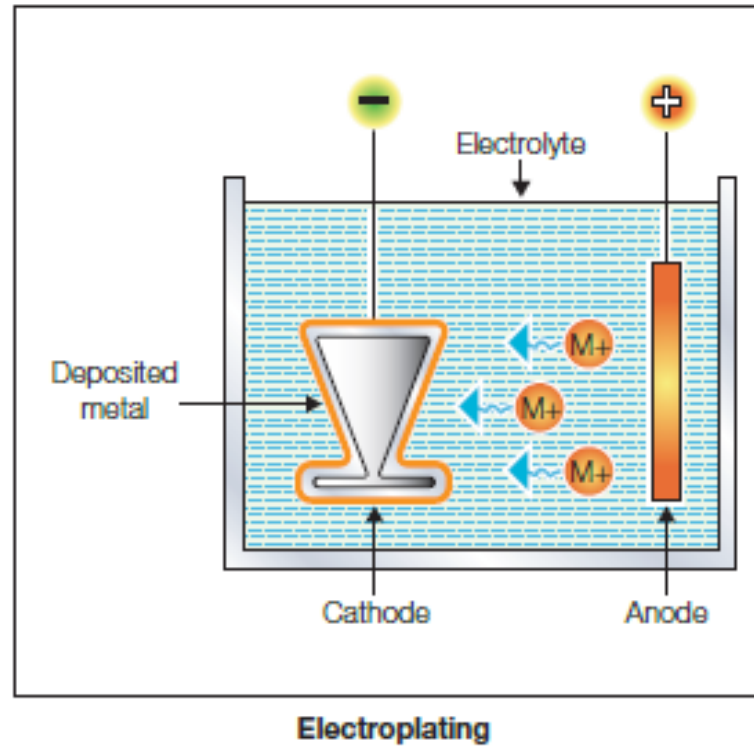
فرآیندهای تکمیلی، عملیاتی هستند که روی سطح قطعه یا جزء مونتاژ شده انجام می‌شوند.

هدف از انجام این فرآیندها:

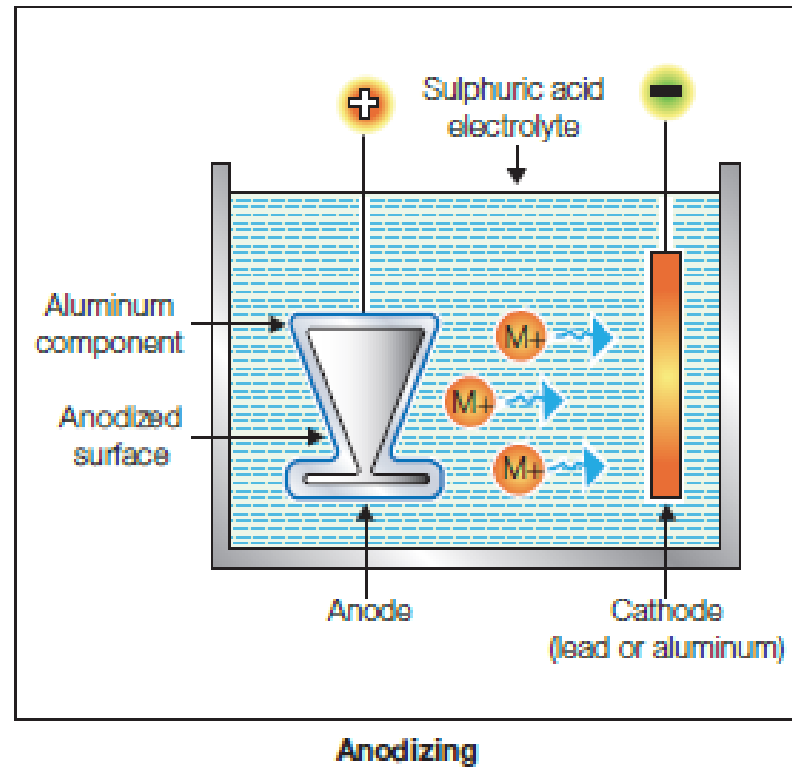
- بهبود خواص مهندسی
- بهبود ظاهر قطعه



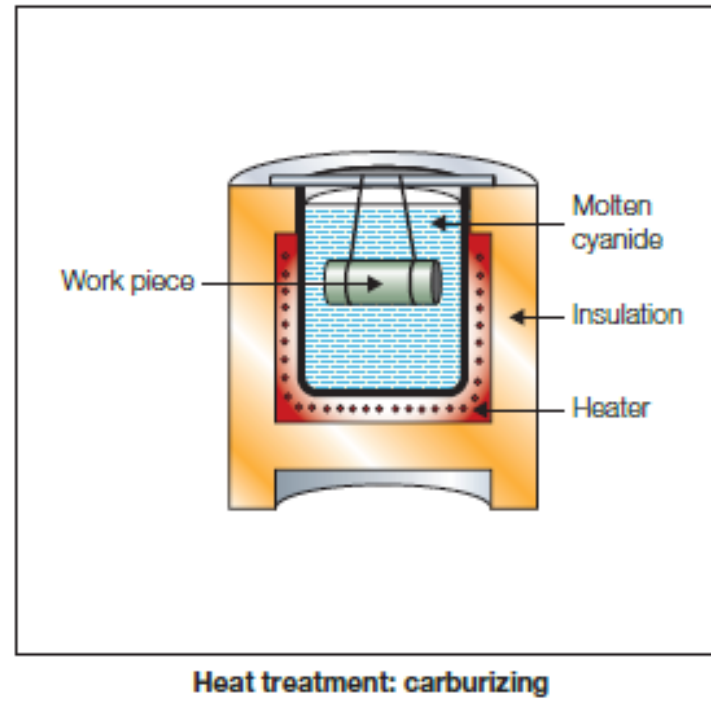
- دقت و صافی سطح قطعه با **سنگ زنی، پرداخت و صیقل کاری** آن افزایش می یابد (این مورد برای سطوح تحت نیرو اهمیت ویژه ای دارد). در صیقل کاری مکانیکی، زبری یک سطح با براده برداری از طریق سنباده زنی کاهش و دقت آن افزایش می یابد.



- در فرایند **آبکاری الکتریکی** با ایجاد یک لایه نازک از فلز روی سطح قطعه، مقاومت در برابر خوردگی و سایش آن افزایش می‌یابد. هر دو روش آبکاری و رنگ‌زنی را میتوان به آسانی روی قطعاتی با شکل ساده و سطوح محدب اعمال کرد؛ اما در مجاری، شکافها و درزها به سختی قابل انجام است. در آبکاری الکتریکی، یک فلز از حمام آبکاری روی یک قطعه کار رسانا قرار می‌گیرد.



- با آندایز کردن، فسفات‌ه کردن و کرومات‌ه کردن قطعه مورد نظر، لایه نازکی از اکسید، فسفات یا کرومات روی سطح آن شکل می‌گیرد و مقاومت به خوردگی آن را افزایش می‌دهد. در آندایز، یک لایه اکسید سطحی توسط اعمال یک شیب پتانسیل الکتریکی در حمام اکسید کننده، روی قطعه کار شکل می‌گیرد (باید جنس این قطعه از آلومینیوم، منیزیم، تیتانیوم یا روی باشد).



عملیات حرارتی از جمله فرایندهای ضروری تولید بسیاری از مواد است.

تعریف: گرم و سرد کردن کنترل شده برای رسیدن به ریزساختار و خواص مشخص

مهمترین عملیات حرارتی: ۱- پیرسختی ۲- مارتنزیت‌زدن

• **پیرسختی:** با **پیرسختی** آلیاژهای آلومینیوم، تیتانیوم و نیکل تشکیل رسوب هایی می‌شوند و استحکام را افزایش می‌دهند: سرمایش سریع از یک دمای بالا به دمای پایین، افزایش دما تا دمای پیری، نگهداری در آن دما به مدت زمان کافی و سپس سرد کردن تا دمای محیط.

• **مارتنزیت‌کردن:** با روش مشابهی میتوان سختی و چقرمگی فولاد را کنترل کرد: **سرمایش سریع** از دمای "آستنیت" (حدود 800°C) و انجام **عملیات باز پخت**. می‌توان این عملیات را روی کل قطعه انجام داد (مانند کربوره کردن حجمی) و یا تنها به یک لایه سطحی اکتفا کرد (مانند سختکاری شعله‌ای، القایی یا سختکاری سطحی با لیزر). در اثر حرارت‌دادن لایه‌ای از سطح قطعه طی عملیات حرارتی، مقاومت به خوردگی آن با نفوذ کربن، نیتروژن، فسفر یا آلومینیوم از بستری از پودر یا حمام مذاب افزایش می‌یابد.

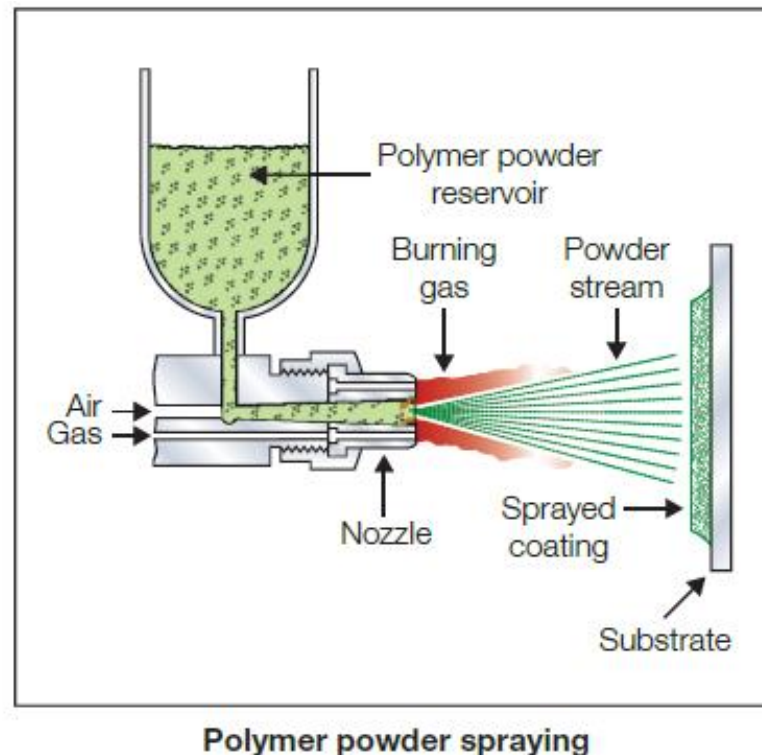
نکات مهم قابل توجه در عملیات حرارتی

- **سرمایش شدید**، یک رویداد با عوارض جانبی قابل توجه است؛ زیرا با انقباض حرارتی، تنش کافی را برای اعوجاج یا ترک برداشتن قطعه فراهم می‌کند. این تنشها به دلیل **توزیع غیر یکنواخت حرارت** (ناشی از هندسه قطعه) به وجود می‌آیند. باید از **تمرکز تنش** نیز خودداری کرد، زیرا خود به عنوان یک منبع ایجاد ترک عمل می‌کند.
- برای پیشگیری از ایجاد این تنشها باید مقاطع تا حد **امکان یکنواخت** باشند و بیش از حد حجیم نباشند؛ زیرا ممکن است با کاهش نرخ سرمایش به نرخ سرمایش بحرانی نرسند و عملیات مارتنزیت‌کردن با موفقیت انجام نشود.
- برای رفع یا کاهش میزان این تنشها باید **عملیات حرارتی** (مانند **تنش زدایی**) روی آن‌ها انجام شود.

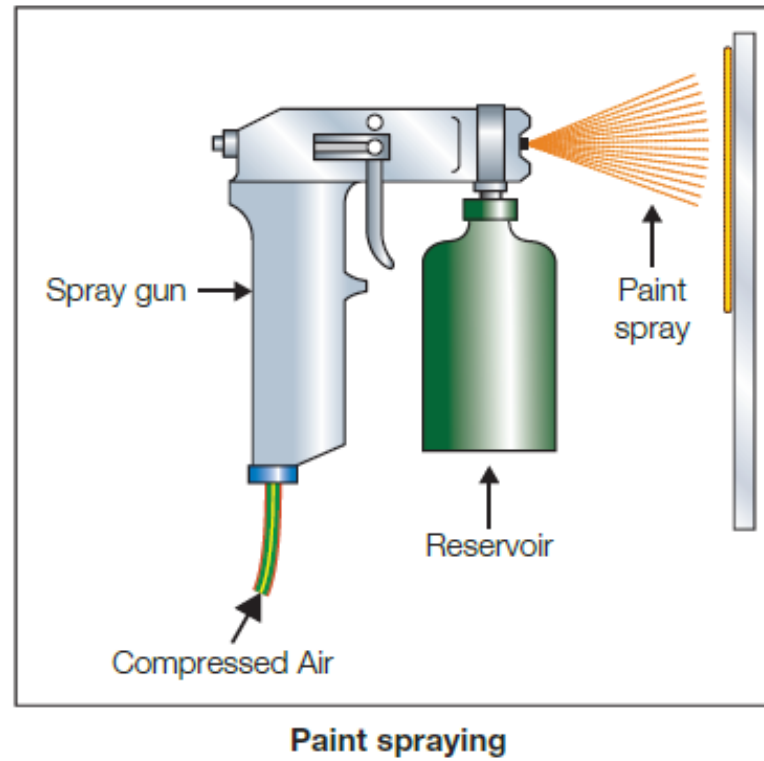
عملیات تکمیلی برای ارتقای ظاهری و زیبایی

از این فرآیندها برای **بهبود خصوصیات ظاهری و لمسی ماده** استفاده می‌شود: مانند آبکاری الکتریکی،
آندایز کردن و یا از همه متداول‌تر، رنگ‌زنی.

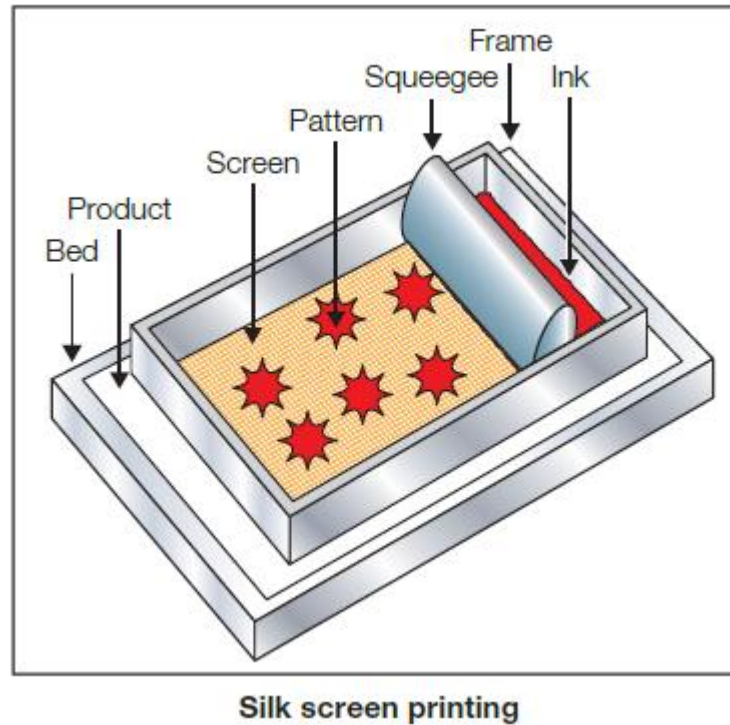
رنگ‌های با حلال آلی، یک **پوشش بادوام و سطح نهایی مناسب** را ایجاد می‌کنند، اما استفاده از این حلال‌ها
موجب ایجاد **مشکلات زیست محیطی** نیز می‌شود. این مشکل را رنگ‌های پایه آب برطرف می‌کنند؛ اما این
رنگ‌ها با **سرعت کمتری خشک** می‌شوند و **پوشش ضعیف‌تری** ایجاد می‌کنند.



- در روش‌های پوشش‌دهی پودر پلیمری و اسپری پودر پلیمری، یک لایه نازک از ماده گرمانرم (مانند نایلون، پلی پروپیلن یا پلی اتیلن) روی سطح شکل می‌گیرد. چنین پوششی علاوه بر ایجاد یک سپر حفاظتی، قابلیت رنگ آمیزی نیز دارد.

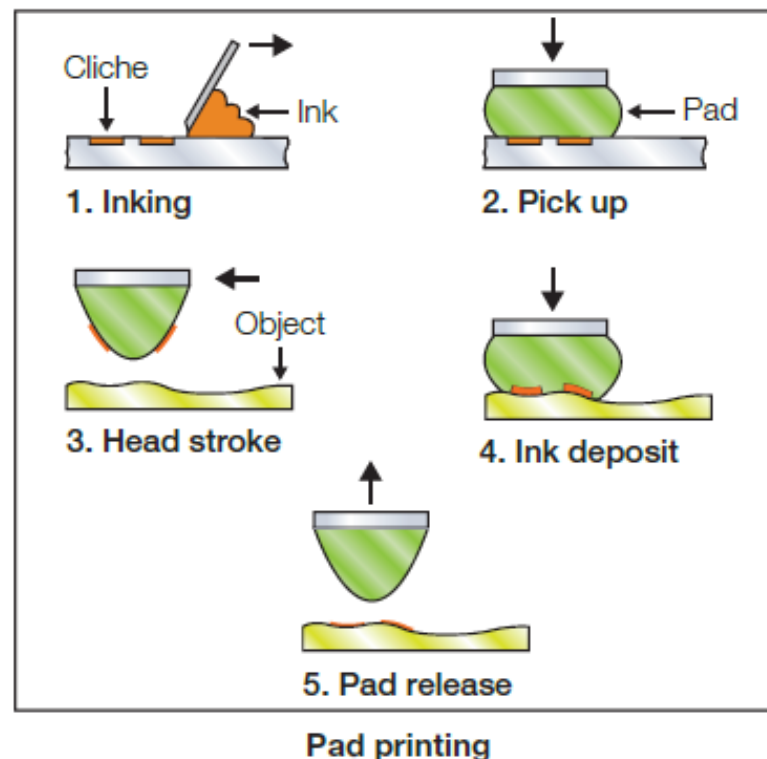


- در **اسپری رنگ**، رنگ دانه موجود در یک حلال آلی یا آبی به سطح قطعه اسپری می شود تا آن را رنگی کند. در **پوشش با پودر پلیمری**، با اسپری مستقیم یا با غوطه‌وری یک قطعه کار داغ در بستری از پودر، لایه ای از یک پلیمر گرمانرم در سطح آن شکل می گیرد.



Silk screen printing

- در فرآیند چاپ با توری ابریشمی، یک رنگ روغنی از سوراخ‌های از پیش تعیین شده یک توری عبور می‌کند و روی بستر مورد نظر قرار می‌گیرد (در ضمن یک غشاء نازک نیز مانع ورود رنگ به نقاط ناخواسته می‌شود). برای انجام موفقیت‌آمیز این فرآیند، تا چهار صفحه توری استفاده می‌شود. این فرآیند کاربرد گسترده‌ای در چاپ الگو روی سطوح صاف دارد. در چاپ با توری ابریشمی، رنگ روی سطح پارچه مالیده می‌شود تا تنها از طریق الگوهای انحنادار یا نامنظم به سطح منتقل شود.



- برای سطوح انحنادار باید از روش **چاپ بالشتکی** استفاده کرد: نخست یک الگو روی یک صفحه فلزی حکاکی می‌شود و پس از رنگ آمیزی آن، با یک بالشتک نرم لاستیکی برداشته می‌شود و به سطح مورد نظر انتقال می‌یابد. باید این بالشتک لاستیکی به حد کافی انعطاف‌پذیر باشد تا به راحتی روی سطوح انحنادار فشرده شود.