

# معرفی گرایش شکل دادن فلزات



میینا نجفی ،

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تهران



گرایش شکل دادن فلزات<sup>۱</sup> یکی از گرایش‌های مهندسی مواد و متالورژی است که در مقطع کارشناسی ارشد ارائه می‌شود. علم شکل دادن فلزات علمی است که در آن اصول و روش‌های تغییر شکل فلزات شکل پذیر، با اعمال نیرو به آن‌ها بررسی می‌شود. گرایش شکل دادن فلزات، نزدیک‌ترین گرایش مجموعه‌ی مهندسی مواد به مجموعه‌ی مهندسی مکانیک به حساب می‌آید؛ به طوری که دانشجویان این گرایش جهت موفقیت در ادامه‌ی روند تحصیلی و شغلی، باید یادگیری اکثر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مکانیکی و طراحی مکانیکی را مدنظر داشته باشند. به‌عنوان تعریف دیگر، می‌توان گفت شکل دادن فلزات یعنی آشنایی با روش‌های ساخت قطعات مانند **نورد<sup>۲</sup>**، **اکستروژن<sup>۳</sup>**، **آهنگری<sup>۴</sup>** و **کشش سیم<sup>۵</sup>** بر اساس انجام محاسبات و شبیه‌سازی که البته این اعمال باید با در نظر گرفتن خواص ماده‌ی مورد نظر و پارامترهای مهم اثرگذار بر قطعه‌ی نهایی، انجام گیرند.

هدف اصلی فرایندهای شکل دادن فلزات، ایجاد یک تغییر شکل مطلوب از ماده‌ی اولیه با یک هندسه‌ی مشخص است. مسلماً محصول باید از لحاظ خواص مکانیکی، سطح خارجی و دقت ابعادی کیفیت مطلوب را داشته باشد. رسیدن به این اهداف، وابستگی نزدیکی به تکنولوژی فرایند شکل دهی دارد. دانشجویان در این گرایش به راه‌های شکل دادن فلزات بر مبنای پارامترهای مورد نیاز از قبیل شکل دهی گرم و سرد فلزات، روش‌های سریع شکل دهی و سوپرپلاستیک می‌پردازند. در این گرایش شما با انواع فرایندهای شکل دادن فلزات و تکنولوژی‌های مرتبط با آن آشنا می‌شوید و محاسبات ریاضی تمامی فرایندها را به‌طور کامل می‌آموزید.

## چگونگی شکل دادن فلزات

امروزه پژوهش‌ها و تجربیات همواره به پیشرفت علم و دانش کمک می‌کنند؛ از این‌رو در زمینه‌ی شکل دادن فلزات تجربیات به‌دست‌آمده از دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و صنعتی بر بالابردن بهره‌وری و توسعه‌ی فناوری و کیفیت و کمیت محصولات تأثیر بالایی گذاشته است. به‌طور کلی شکل دادن فلزات به ۵ روش پایه تقسیم می‌شود:

**شکل دادن تحت شرایط فشاری<sup>۱</sup>**: تشکیل یک قطعه‌ی فلزی با اعمال نیرو و فشار که ضخامت را کاهش داده و قطعاتی با طول زیاد و ضخامت کم تولید می‌شود؛ مانند فرایند نورد.

**شکل دادن تحت شرایط کششی<sup>۲</sup>**: تشکیل یک ورق فلزی مسطح به شکل توخالی یا مخروطی مانند فنجان که با کشش فلز در برخی مناطق انجام می‌شود؛ مانند فرایند اکستروژن.

**شکل دادن تحت شرایط ترکیبی فشاری و کششی<sup>۳</sup>**: روشی ترکیبی از اعمال فشار و کشش برای تغییر شکل قطعات است.

**شکل دادن با خم‌کاری<sup>۴</sup>**: در این روش، قطعاتی که قبلاً توسط پانچ صاف شده‌اند، با اعمال نیرو به یک قطعه‌ی خمیده با یک زاویه‌ی مشخص در راستای محور مستقیم تبدیل می‌شوند.

**شکل دادن با برش‌کاری<sup>۵</sup>**: این روش شامل بریدن ورق‌ها با عمل برشی است.

<sup>۱</sup>Metal Forming

<sup>۱</sup>Compressive Forming

<sup>۲</sup>Rolling

<sup>۲</sup>Tensile Forming

<sup>۳</sup>Extrusion

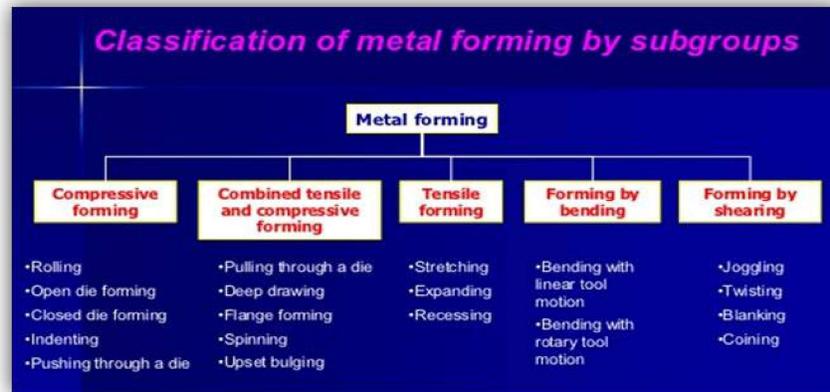
<sup>۳</sup>Combined Tensile and Compressive Forming

<sup>۴</sup>Forging

<sup>۴</sup>Forming By Bending

<sup>۵</sup>Wire Drawing

<sup>۵</sup>Forming By Shearing



شکل ۱- طبقه‌بندی عملیات‌های شکل‌دهی فلزات

در صنعت، مجموعه‌ی بزرگی از فرایندهای تولیدی انجام می‌پذیرد که در آن‌ها مواد به صورت پلاستیکی تغییر شکل می‌دهند تا به شکل هندسه‌ی قطعه‌ی مورد نظر برسند. برای این کار از یک سری ابزارهای خاص و روش‌های ساخت استفاده می‌شود که به مختصر هر یک را توضیح خواهیم داد.

**اکستروژن:** قسمت عمده‌ای از فرایند شکل‌دادن فلزات از طریق اکستروژن انجام می‌شود که در آن قطعه‌ای که روی آن کارسختی انجام شده، فشرده می‌شود تا از حفره قالب عبور کند و شکل قطعه‌ی مورد نظر تولید شود. این عمل مانند فشردن خمیردندان می‌ماند و به دو طریق **گرم** یا **سرد** انجام می‌گیرد. مزایای استفاده از این روش:

(۱) برای انواع قطعات (به خصوص با استفاده از اکستروژن داغ) قابل استفاده است.

(۲) ساختار دانه و خواص مکانیکی قطعه، در اثر اکستروژن سرد و گرم افزایش می‌یابد.

(۳) عمدتاً در اکستروژن‌های سرد، سطح تحمل فشار و مقاومت افزایش می‌یابد.

انواع اکستروژن: **اکستروژن‌های مستقیم** و **اکستروژن‌های غیرمستقیم**

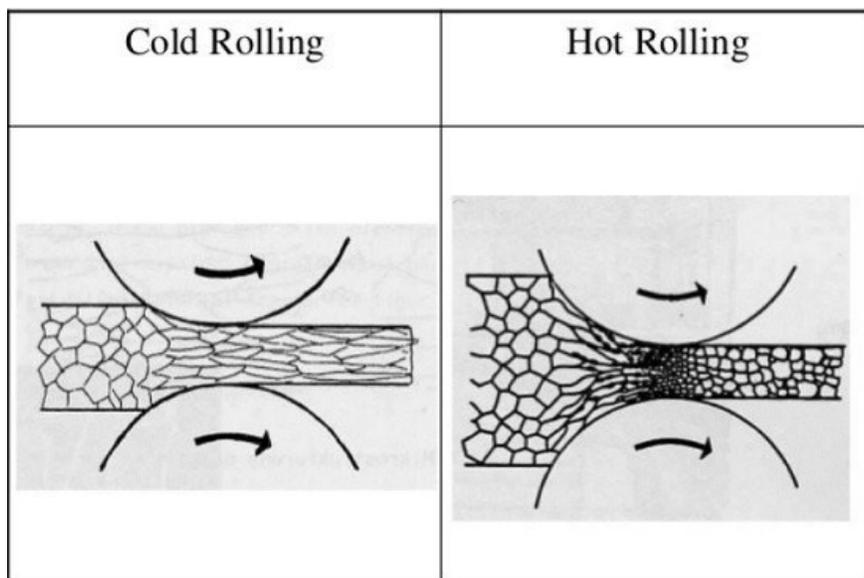
**اکستروژن مستقیم:** در این فرایند، ابتدا یک قطعه‌ی فلزی درون یک قالب که دارای چندین حفره (سوراخ) است، قرار می‌گیرد. سپس یک فشاردهنده‌ی چکش‌مانند، مواد را فشرده کرده و کمک می‌کند تا مواد از داخل حفره عبور کنند. **اکستروژن غیر مستقیم:** در این روش، حفره (سوراخ) بر روی فشاردهنده قرار گرفته و برعکس اکستروژن مستقیم، حفره درون قالب و ظرف قرار ندارد. زمانی که فشاردهنده (سفت‌کننده‌ی قطعات)، قطعه‌ی مورد نظر را فشرده می‌کند، مواد از داخل حفره‌ای که روی آن قرار گرفته عبور می‌کنند که این حرکت دقیقاً مخالف حرکت خود فشاردهنده است.



شکل ۲- تغییر شکل فلزات توسط فرایند اکستروژن گرم

**نورد:** یک فرایند شکل‌دهی فلزی است که در آن ضخامت قطعه توسط نیروهای فشاری اعمال‌شده توسط دو رول که در جهت مخالف می‌چرخند، کاهش می‌یابد. نورد، متداول‌ترین و پررونق‌ترین روش تولید فرآورده‌های فلزی، به‌ویژه فولادها است؛ به‌گونه‌ای که بیش از ۸۰٪ از فرآورده‌های فلزی در سطح جهان، از قبیل تیرآهن و نبشی با مقاطع مختلف،

با این روش تولید می‌شوند. معمولاً این روش با فرایند آهنگری در رقابت بوده و برتری هر کدام بستگی به پیشرفته‌تر بودن فناوری آن دارد ولی به‌طور کلی از نظر حجم و کمیت تولیدات، این فرایند در مقام اول فرایندهای شکل دادن فلزات قرار دارد. فرایند اصلی نورد فلزات به دو دسته **نورد گرم** و **نورد سرد** تقسیم می‌شود.



شکل ۳ - مقایسه‌ی نورد گرم و نورد سرد

**نورد گرم:** نورد گرم، یک فرایند کارسختی است که در آن فلز در دمایی بالاتر از دمای تبلور مجدد گرم می‌شود تا به‌صورت تغییر شکل پلاستیک تغییر شکل دهد. سپس فلز داغ را از بین دو رول عبور می‌دهند تا پهن و طول آن زیاد شود و سطح مقطع کاهش یابد تا زمانی که به ضخامت یکنواخت برسد. فولاد نورد گرم رایج‌ترین محصول فرایند نورد گرم است و به‌طور گسترده‌ای در صنعت فلزات به‌عنوان یک محصول نهایی یا به‌عنوان مواد اولیه برای عملیات بعدی استفاده می‌شود. ساختار دانه‌ی اولیه‌ی فلز، غیریکنواخت است و در جهت جامدشدن شامل دانه‌های بزرگ در حال رشد است. مرزهای ضعیف دانه شکننده هستند و همچنین ممکن است دانه حاوی نقص‌هایی مانند حفره‌های کوچک و متخلخل ناشی از گازها و مواد خارجی مانند اکسیدهای فلزی باشد. نورد گرم ساختارهای دانه‌ای را می‌شکند و مرزها را از بین می‌برد که به شکل‌گیری دانه‌های جدید با مرزهای قوی و یکنواخت شدن ساختارهای دانه‌ای منتهی می‌شود.



شکل ۴ - تغییر شکل فلزات توسط فرایند نورد گرم

**نورد سرد:** این فرایند در واقع همان نورد گرم است با این تفاوت که در نورد سرد، کار بیشتری بر روی قطعه مورد نظر صورت می‌گیرد. در این حالت، محصول در شرایط دمایی پایین قرار گرفته و تا دمایی اتاق سرد می‌شود. به‌عنوان تفاوتی مهم بین حالت سرد و گرم باید گفت محصولاتی که با این روش تولید می‌شوند، سطحی بهتر و صاف‌تر و ابعادی دقیق‌تر خواهند داشت. در واقع هدف از نورد سرد کاهش ضخامت محصول و افزایش دقت در ابعاد محصول است. به‌دلیل شکل‌پذیری کمتر قطعه در این حالت، نیاز به اعمال قدرت بیشتری وجود دارد و از آنجایی که این فرایند ادامه‌ی فرایند نورد گرم است، پس نیاز به دستگاه‌های بیشتری برای نورد سرد وجود دارد.



شکل ۵- تغییر شکل فلزات توسط فرایند نورد سرد

**آهن‌گری:** یک فرایند تغییر شکل است که در آن فلز مورد نظر بین دو قطعه (چکش) فشرده می‌شود و با استفاده از بار هیدرولیکی و تدریجی تغییر شکل می‌دهد. از آن برای ساخت انواع قطعات با قدرت بالا مثلاً برای خودرو، هوافضا و کاربردهای دیگر استفاده می‌شود. همچنین ساخت قطعاتی شامل میل‌لنگ موتور، میله‌های اتصال، چرخ‌دنده‌ها، قطعات ساختاری هواپیما، قطعات توربین موتور جت و غیره از کاربردهای این روش است. فرایند آهن‌گری می‌تواند قطعاتی با خواص مکانیکی عالی و ضایعات پایین تولید کند؛ چرا که با تغییر شکل فلز اولیه به شکل هندسی دیگر، مقاومت خستگی و استحکام قطعه تا حدود زیادی افزایش می‌یابد و علت آن دانه‌بندی داخلی قطعه است که تغییر شکل می‌دهد تا به بافت مدنظر برسد.



شکل ۶- تغییر شکل فلزات توسط فرایند آهن‌گری

**کشش سیم:** در این فرایند، سیم، میله یا نوار از حفره‌ای بین دو قطعه عبور کرده و کشیده می‌شود که در نتیجه‌ی آن، سطح مقطع سیم و میله کاهش می‌یابد. کاربردهای زیادی برای کشش سیم وجود دارد؛ از جمله سیم‌کشی الکتریکی، کابل‌ها، اجزای ساختاری پرتنش، فنر، چرخ‌ها و سازه‌های موسیقی زهی.

کشش سیم معمولاً در دمای اتاق انجام می‌شود و به این ترتیب به‌عنوان یک فرایند سردکاری طبقه‌بندی می‌شود اما ممکن است جهت کاهش نیروی مورد نیاز برای سیم‌های بزرگ، در دماهای بالا نیز انجام شود.

متغیرهای ورودی در هر فرایند شکل‌دهی فلزات شامل: جنس قطعه یا شمش

اولیه و هندسه‌ی آن، ابزار شکل‌دادن از لحاظ ماده و هندسه‌ی آن، شرایط موجود در فصل مشترک ابزار و ماده، حالت تنش در منطقه‌ی تغییر شکل، نوع و نحوه‌ی کاربرد ابزار، خصوصیات محصول نهایی و در نهایت شرایط محیط کارگاه می‌شود.

در فرایند شکل‌دادن فلزات لازم است ارتباط بین ورودی و خروجی،

تأثیر متغیرهای فرایند بر کیفیت محصول و مسائل اقتصادی آن مورد توجه قرار گیرد. در نهایت کلید دستیابی به عملیات شکل‌دهی موفق، یعنی کسب محصول سالم با شکل و خواص مطلوب، شناخت کافی در مورد سیلان فلز و کنترل آن است. عواملی مانند جهت سیلان فلز، مقدار تغییر شکل، درجه‌ی حرارت و سرعت تغییر شکل تأثیر فراوانی بر ریزساختار و خواص محصول دارند.



شکل ۷- تغییر شکل فلزات توسط فرایند کشش سیم

## مراحل یک پروژه‌ی شکل‌دهی فلزات و مصاحبه با یکی از دانشجویان این گرایش

جهت‌گیری‌های کاملاً تصادفی باشد، نمونه‌ای گفته می‌شود که بافت متمایزی ندارد؛ اما اگر جهت‌گیری‌های کریستالوگرافی تصادفی نباشند و جهت‌گیری ترجیحی داشته باشند، آنگاه نمونه دارای بافت ضعیف، متوسط یا قوی است. بافت تقریباً در تمام مواد مهندسی شده دیده می‌شود و می‌تواند تأثیر زیادی بر خواص مواد داشته باشد. به این صورت که در هنگام انجام تغییر شکل پلاستیک، یک‌سری جهات ترجیحی کریستالوگرافی در جهتی حاصل می‌شود که تصادفی نیستند؛ به‌طور مثال در جهت [۱۱۱]، اکثر دانه‌ها در یک قطعه، موازی جهت‌ها قرار گرفته‌اند که این موضوع تأثیر بافت را روی تغییر شکل دادن فلزات نشان می‌دهد.

در مرحله‌ی بعد، باید متالوگرافی (بررسی و مطالعه‌ی ساختار فلزات و آلیاژهای مختلف) انجام شود و با توجه به نوع پروژه، باید انواع تست‌های ویژه نظیر کشش، خستگی و خزشی روی فلز انجام گیرد. در نهایت، باید نتایج این آنالیز و تست‌ها را مورد بررسی و تحلیل قرار داد.

طی مصاحبه‌ای که با مهندس محسن دره در رابطه با پروژه‌ی شکل‌دهی فلزات انجام پذیرفت، از ایشان سوال شد که در صنعت برای شکل دادن یک فلز باید چه مراحل را طی کرد و ایشان توضیح دادند که ابتدا باید آن فلزی که قرار است روی آن عملیات شکل‌دهی انجام شود را تهیه کرد که معمولاً در کارخانه‌ها یا کارگاه‌ها یافت می‌شود ولی در شرایطی که به دنبال انجام عملیات روی فلز خاصی هستیم، گاهی خود باید با استفاده از عملیات ریخته‌گری، فلز را تولید کنیم. سپس با استفاده از دستگاه برش، نمونه‌های مورد نیاز را از فلز به دست آمده جدا می‌کنیم. در نهایت روی برخی از این نمونه‌ها، عملیات شکل دادن نظیر نورد، اکستروژن، فشار یا کشش انجام می‌شود. پس از انجام عملیات‌ها، یکی از مهم‌ترین اقدامات، تست نمونه‌های مختلف است. تست‌های مختلفی برای شناسایی بافت و همچنین بررسی سطح نمونه انجام می‌شود. تعریف بافت در علم مواد، توزیع جهت‌گیری‌های کریستالوگرافی یک نمونه‌ی پلی کریستالی است. به نمونه‌ای که دارای



شکل ۸ - نمونه‌هایی از فلزات شکل‌دهی شده

## علاقه‌مندی‌ها و دروس مرتبط با گرایش شکل‌دادن فلزات

گرایش شکل‌دهی در کارشناسی ارشد، وارد دنیای مهندسی مکانیک مانند جامدات و فضا‌سازی‌های پیوسته می‌شود و از آنجا که ماهیت دروس این گرایش عموماً به‌صورت محاسباتی و خواص مکانیکی است، علاقه‌مندان به این نوع دروس، در این گرایش موفق‌تر خواهند بود.

دروس گرایش شکل‌دادن فلزات در کارشناسی ارشد جمعاً در ۳۲ واحد به شرح زیر ارائه می‌شود:

دروس اجباری: ۱۷ واحد

دروس اختیاری: ۷ واحد

پایان‌نامه: ۶ واحد

سمینار: ۲ واحد

می‌توان از دروس مهم این گرایش به مکانیک محیط‌های پیوسته، تئوری پلاستیسیته، ریاضیات مهندسی پیشرفته، شکل‌پذیری فلزات، شبیه‌سازی روش‌های المان محدود خطی و غیرخطی، روش‌های شکل‌دهی، تئوری نابجایی‌ها و غیره اشاره کرد.

## موقعیت‌های شغلی گرایش شکل‌دادن فلزات (بازار کار)

مواد با صنعت بسیار مانوس بوده و از اطلاعات و آموزش‌های دروس این گرایش در صنعت تولید میل‌گرد، ورق، لوله، سیم و غیره به‌طور مستقیم استفاده می‌شود. صنعت شکل‌دادن فلزات روز به روز در حال پیشرفت و گسترش بوده و نیروی محرکه این پیشرفت، کاهش هزینه‌ها، افزایش راندمان، رسیدن به محصولی با دقت ابعادی بالا و کیفیت سطحی بالا است.

در انتها می‌توان گفت این گرایش برای کسانی که علاقه‌مند به شبیه‌سازی هستند، گزینه‌ی خوبی در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد است؛ زیرا ایشان می‌توانند هم پروژه‌های عملی و هم پروژه‌های شبیه‌سازی را به‌عنوان فعالیت و شغل انجام دهند.

امروزه نرم‌افزارهای مهندسی، به‌علت اینکه باعث پیشرفت در علم و تکنولوژی شده‌اند، اهمیت بسیار زیادی دارند. نرم‌افزارهایی وجود دارد که کمک می‌کند مهندسان به‌راحتی شبیه‌سازی نموده و به نقطه‌ی قوت و ضعف اجزای طراحی شده پی ببرند.

به‌طور مثال نرم‌افزار Transvalor Forge که به‌منظور شبیه‌سازی فرایندهای شکل‌دهی گرم و سرد قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مهندسان موادی که در گرایش شکل‌دادن فلزات در مقطع کارشناسی ارشد تحصیل کرده و فارغ‌التحصیل شده‌اند، توانایی‌هایی زیر را دارا هستند:

- تحلیل و طراحی فرایندهای شکل‌دهی فلزات مانند نورد، آهنگری، اکستروژن، شکل‌دادن ورق و سایر
- تحلیل پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر فرایندهای شکل‌دهی فلزات

- تحلیل رفتار فلزات در مقیاس میکرو و ماکرو در هنگام شکل‌دهی و کنترل ساختار و بهبود خواص مکانیکی

- تحلیل قابلیت شکل‌پذیری و کارپذیری سرد و گرم فلزات و آلیاژها

از طرفی دیگر تولید قطعات فلزی با استفاده از عملیات شکل‌دهی فلزات نیاز به سرمایه‌گذاری زیادی دارد و این روش جزو روش‌های گران‌قیمت است؛ بنابراین برای شروع کار مستقل، سرمایه‌ی بالایی نیاز است اما فارغ‌التحصیلان این رشته می‌توانند با شرکت‌هایی مانند فولاد مبارکه و صنایع خودروسازی نیز همکاری کنند و پروژه‌های شکل‌دهی این کارخانه‌ها را پیش ببرند و مشکلات موجود را برطرف کنند.

همچنین گرایش شکل‌دادن فلزات رشته‌ی مهندسی



- [1] Link: [MetalForming Inc. of USA](#)
- [2] Book: Fundamental of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems by M.P. Groover
- [3] Article: [Forming Processes by K.G. Swift and J.D. Booker](#)
- [4] لینک: [شکل دادن فلزات توسط گروه mavadeng](#)