



روش‌های تولید

(رشته مهندسی مکانیک)

دکتر کاظم طهماسبی

هیأت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان

دکتر عبدالله اسکندری

هیأت علمی دانشگاه پیام نور

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	سیزده
فصل اول. مفاهیم اساسی	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۱
۱-۱ تاریخچه	۲
۲-۱ سیستم و فرایندهای تولید و ساخت	۵
۱-۲-۱ فرایندهای تولید	۵
۲-۲-۱ مهندسی ساخت	۵
۳-۲-۱ برنامه‌ریزی فرایند	۶
۴-۲-۱ فرایند ساخت	۷
۵-۲-۱ ساده‌سازی محصول و استانداردسازی	۱۰
۶-۲-۱ کنترل کیفیت و بازرسی	۱۱
۷-۲-۱ مکانیزاسیون و اتوماسیون	۱۲
۸-۲-۱ سیستم ساخت	۱۵
۹-۲-۱ شکل‌گیری محصول	۱۸
۳-۱ طرح‌بندی کارگاه‌های تولیدی	۱۹
۱-۳-۱ طرح‌بندی ثابت یا مکانی	۲۰
۲-۳-۲ طرح‌بندی فرایندی یا کارکردی	۲۱
۳-۳-۱ طرح‌بندی خطی یا تولیدی	۲۱
۴-۱ ایمنی در صنعت	۲۳
۱-۴-۱ مبانی ایمنی	۲۴
۲-۴-۱ برنامه‌ریزی برای ایمنی صنعتی	۲۵
۳-۴-۱ هدف‌های ایمنی در محیط‌های صنعتی	۲۶

۴-۱-۴ حوادث و انواع آن	۲۶
۴-۱-۵ علل حوادث در واحدهای صنعتی	۲۷
۵-۱-۵ مواد ساخت	۲۸
۵-۱-۱ فلزات آهنی	۳۰
۵-۱-۲ فلزات غیر آهنی	۳۵
۶-۱ انتخاب فرایند ساخت	۴۰
خلاصه فصل اول	۴۱
خودآزمایی تشریحی فصل اول	۴۱
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول	۴۱
فصل دوم. ریخته‌گری	۴۳
هدف کلی	۴۳
هدف‌های یادگیری	۴۳
مقدمه	۴۳
۱-۲ پارامترهای اساسی	۴۴
۱-۲-۱ مدل و قالب	۴۴
۱-۲-۲ ذوب و ریختن	۴۵
۱-۲-۳ انجماد و سردشدن	۴۷
۱-۲-۴ خارج کردن، تمیزکاری، پرداخت سطح و بازرسی قطعه	۴۷
۲-۲ دسته‌بندی فرایندهای ریخته‌گری	۴۸
۳-۲ ریخته‌گری با قالب یک‌بار مصرف (ریخته‌گری با قالب ماسه‌ای)	۴۸
۳-۲-۱ آماده‌سازی قالب ماسه‌ای	۴۹
۳-۲-۲ مدل‌ها	۵۰
۳-۲-۳ حجم مازاد	۵۰
۳-۲-۴ ماده قالب‌گیری	۵۲
۳-۲-۵ ذوب و ریخته‌گری	۵۴
۳-۲-۶ سیستم راهگاهی	۵۵
۳-۲-۷ سردشدن و سیستم انجماد	۵۹
۳-۲-۸ زمان انجماد	۶۳
۳-۲-۹ تمیزکاری و پرداخت سطح	۶۴
۳-۲-۱۰ عیوب قطعات ریخته‌گری	۶۵
۴-۲ ریخته‌گری با قالب‌ها و مدل‌های مصرفی	۶۸
۵-۲ ریخته‌گری با قالب دایمی	۷۰
۵-۲-۱ ریخته‌گری با قالب دایمی با نیروی جاذبه	۷۱
۵-۲-۲ ریخته‌گری با قالب دایمی تحت فشار پایین	۷۱
۵-۲-۳ فرایند ریخته‌گری تحت فشار (دایکست)	۷۲
۵-۲-۴ ریخته‌گری پیوسته	۷۴
۵-۲-۵ ریخته‌گری گریز از مرکز	۷۵
۶-۲ مقایسه فرایندهای مختلف ریخته‌گری	۷۶

۷۶	خلاصه فصل دوم
۷۷	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۷۷	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم

۸۱	فصل سوم. شکل دهی فلزات
۸۱	هدف کلی
۸۱	هدف‌های یادگیری
۸۱	مقدمه
۸۲	۱-۳ آزمون کشش
۸۸	۲-۳ استحکام فشاری
۸۹	۳-۳ استحکام خمشی
۸۹	۴-۳ آزمون سختی
۹۰	۵-۳ آزمون ضربه
۹۲	۶-۳ آزمون خستگی
۹۳	۷-۳ آزمون خزش
۹۵	۸-۳ ساختار بلوری فلزات
۹۶	۹-۳ مکانیزم تغییر شکل پلاستیک
۹۹	۱۰-۳ کار سرد و کار گرم
۱۰۲	۱۱-۳ فرایندهای اولیه شکل دهی فلزات
۱۰۲	۱-۱۱-۳ فورجینگ (پتک‌کاری)
۱۰۴	۲-۱۱-۳ نورد
۱۰۷	۳-۱۱-۳ اکستروژن
۱۰۹	۴-۱۱-۳ کشش
۱۱۰	۵-۱۱-۳ کشش عمیق
۱۱۱	۶-۱۱-۳ پانچ و منگنه
۱۱۵	خلاصه فصل سوم
۱۱۵	خودآزمایی تشریحی فصل سوم
۱۱۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم

۱۱۹	فصل چهارم. فراوری پلاستیک‌ها
۱۱۹	هدف کلی
۱۱۹	هدف‌های یادگیری
۱۱۹	مقدمه
۱۲۰	۱-۴ شکل دهی پلاستیک‌ها
۱۲۲	۱-۱-۴ اکستروژن
۱۲۳	۲-۱-۴ قالب‌گیری تزریقی
۱۲۴	۳-۱-۴ قالب‌گیری دمشی
۱۲۴	۴-۱-۴ شکل دهی حرارتی
۱۲۶	۵-۱-۴ قالب‌گیری فشاری

۱۲۷	۶-۱-۴ قالب‌گیری انتقالی
۱۲۸	۷-۱-۴ ریخته‌گری
۱۲۸	خلاصه فصل چهارم
۱۲۹	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۱۲۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۱۳۱	فصل پنجم. فرایند متالورژی پودر
۱۳۱	هدف کلی
۱۳۱	هدف‌های یادگیری
۱۳۱	مقدمه
۱۳۳	۱-۵ تولید پودر
۱۳۴	۲-۵ توزین و مخلوط‌کردن
۱۳۴	۳-۵ فشردن
۱۳۶	۴-۵ تفجوشی
۱۳۹	۵-۵ عملیات تکمیلی
۱۴۰	۶-۵ خواص فرایند متالورژی پودر
۱۴۰	خلاصه فصل پنجم
۱۴۱	خودآزمایی تشریحی فصل پنجم
۱۴۱	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم
۱۴۳	فصل ششم. عملیات حرارتی فلزات
۱۴۳	هدف کلی
۱۴۳	هدف‌های یادگیری
۱۴۳	مقدمه
۱۴۴	۱-۶ دیاگرام‌های فازي
۱۴۴	۱-۱-۶ نمودار فازي آهن-کربن
۱۴۹	۲-۶ دیاگرام TTT برای فولادهای کربنی
۱۵۱	۳-۶ عملیات حرارتی
۱۵۱	۱-۳-۶ سخت‌کردن
۱۵۲	۲-۳-۶ آئیل‌کردن
۱۵۴	۳-۳-۶ نرمالیزه‌کردن
۱۵۴	۴-۳-۶ تمپرکردن
۱۵۵	۵-۳-۶ سخت‌کردن سطحی
۱۵۸	خلاصه فصل ششم
۱۵۸	خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۱۵۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۱۶۱	فصل هفتم. ماشین‌کاری و پرداخت سطح
۱۶۱	هدف کلی

۱۶۱	هدف‌های یادگیری
۱۶۱	مقدمه
۱۶۳	۱-۷ فرایندهای برداشت جرم از قطعه
۱۶۵	۱-۱-۷ ابزار برش یک نقطه‌ای
۱۶۵	۲-۱-۷ ماشین کاری چند نقطه‌ای
۱۶۷	۲-۷ ابزار برش
۱۶۹	۳-۷ مکانیک ماشین کاری
۱۶۹	۴-۷ جنس ابزار برش
۱۷۳	۵-۷ انواع براده
۱۷۴	۶-۷ توزیع دما و مایع خنک‌کننده
۱۷۷	۷-۷ انواع فرایندهای مکانیکی برداشت جرم از قطعه
۱۷۷	۱-۷-۷ تراشکاری (Turning)
۱۸۲	۲-۷-۷ فرزکاری (Milling)
۱۸۹	۳-۷-۷ ماشین کاری‌های خاص
۱۹۲	۴-۷-۷ ماشین کاری‌های سایشی
۱۹۹	۵-۷-۷ فرایندهای پرداخت سطح
۲۰۵	خلاصه فصل هفتم
۲۰۶	خودآزمایی تشریحی فصل هفتم
۲۰۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم
۲۰۹	فصل هشتم. جوشکاری و فرایندهای مربوط به آن
۲۰۹	هدف کلی
۲۰۹	هدف‌های یادگیری
۲۰۹	مقدمه
۲۱۰	۱-۸ فرایندهای جوشکاری حالت جامد
۲۱۰	۱-۱-۸ جوشکاری فورجی
۲۱۱	۲-۱-۸ جوشکاری اصطکاکی
۲۱۲	۳-۱-۸ روش جوشکاری انفجاری
۲۱۲	۲-۸ جوشکاری حالت مایع (جوشکاری ذوبی)
۲۱۳	۱-۲-۸ جوشکاری با گاز فولادن
۲۱۵	۲-۲-۸ روش جوشکاری قوس الکتریکی
۲۲۰	۳-۲-۸ جوشکاری مقاومتی
۲۲۲	۴-۲-۸ جوشکاری لیزری
۲۲۳	۵-۲-۸ جوشکاری ترمیتی
۲۲۴	۳-۸ اتصال حالت جامد-مایع
۲۲۵	۴-۸ مقایسه فرایندهای مختلف جوشکاری و اتصال
۲۲۶	خلاصه فصل هشتم
۲۲۷	خودآزمایی تشریحی فصل هشتم
۲۲۷	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم

فصل نهم. فرایند ساخت سرامیک‌ها	۲۲۹
هدف کلی	۲۲۹
هدف‌های یادگیری	۲۲۹
مقدمه	۲۲۹
۹-۱ فرایندهای شکل‌دهی سرامیک‌ها	۲۳۲
۹-۱-۱ ریخته‌گری دوغابی	۲۳۲
۹-۱-۲ اکستروژن	۲۳۴
۹-۱-۳ قالب‌گیری تزریقی	۲۳۴
۹-۱-۴ ریخته‌گری نواری	۲۳۶
۹-۱-۵ پرس‌کردن	۲۳۷
خلاصه فصل نهم	۲۴۰
خودآزمایی تشریحی فصل نهم	۲۴۰
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل نهم	۲۴۰
فصل دهم. فناوری‌های نوین ساخت و تولید	۲۴۳
هدف کلی	۲۴۳
هدف‌های یادگیری	۲۴۳
مقدمه	۲۴۳
۱۰-۱ تولید دستی و مکانیزاسیون	۲۴۴
۱۰-۲ اتوماسیون سخت	۲۴۴
۱۰-۳ اتوماسیون نرم	۲۴۵
۱۰-۳-۱ NC/CNC/DNC	۲۴۶
۱۰-۳-۲ ربات‌های صنعتی	۲۴۹
۱۰-۳-۳ سلول و سیستم تولید انعطاف‌پذیر FMC/FMS	۲۵۰
۱۰-۳-۴ طراحی رایانه‌ای / تولید رایانه‌ای	۲۵۳
۱۰-۴ مدل‌سازی سریع	۲۵۵
۱۰-۵ تولید جامع رایانه‌ای (CIM)	۲۵۷
خلاصه فصل دهم	۲۵۸
خودآزمایی تشریحی فصل دهم	۲۵۹
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دهم	۲۵۹
فصل یازدهم. روش‌های نوین ماشین‌کاری	۲۶۱
هدف کلی	۲۶۱
هدف‌های یادگیری	۲۶۱
مقدمه	۲۶۱
۱۱-۱ ماشین‌کاری غیرستتی	۲۶۲
۱۱-۱-۱ ماشین‌کاری غیرستتی تک‌فرایند	۲۶۴
۱۱-۲ فرایندهای مکانیکی	۲۶۵
۱۱-۲-۱ ماشین‌کاری فراصوتی	۲۶۵

۲۶۷	 ماشین کاری جت آبی
۲۶۹	 ماشین کاری با مواد ساینده
۲۷۱	 فرایندهای حرارتی
۲۷۱	 ماشین کاری با تخلیه الکتریکی
۲۷۳	 ماشین کاری با پرتو لیزری
۲۷۶	 خلاصه فصل یازدهم
۲۷۶	 خودآزمایی تشریحی فصل یازدهم
۲۷۷	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل یازدهم
۲۷۹	 پاسخنامه خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای
۲۸۱	 واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۲۸۵	 واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۲۸۹	 مراجع

پیشگفتار

تولید، همانند ستون فقرات هر جامعه صنعتی است و گروه‌های فنی و متخصص در صنعت باید با فرایندهای گوناگون تولید، مواد مصرفی، ابزار و تجهیزات لازم برای ساخت قطعات یا محصولات آشنا باشند که خود مستلزم به‌کارگیری برنامه بهینه‌ای است که از تمهیدات مناسب و قوانین ایمنی ویژه‌ای برای اجتناب از تصادفات احتمالی بهره می‌گیرد. علاوه بر این، در آینده تمامی مهندسان (مستقل از رشته تخصصی خود)، باید به ملزومات اولیه هر فعالیت کارگاهی اعم از نیروی انسانی، تجهیزات، مواد، روش کار، سرمایه و امکانات زیرساختی متناسب با طرح کلی هر کارگاه تولیدی اشراف داشته باشند و از خدمات پشتیبانی مستقر در هر کارخانه صنعتی در قالب یک سازمان تولیدی برنامه‌ریزی شده آگاه باشند.

حتی از فردی که مدعی است تجربه فراوانی دارد نیز به‌سختی می‌توان پذیرفت که فهم کاملی از تمامی فرایندهای اساسی تولید و فناوری‌های کارگاهی داشته باشد. زیرا حوزه‌ای است که شامل تمامی جنبه‌های فعالیت کارگاهی می‌شود و نیازمند اطلاع داشتن از دانش کار با مواد اولیه، ابزار، تجهیزات، فرایندها و معیارهای تولید، استفاده از تجهیزات متنوع تست، اندازه‌گیری و بازرسی قطعات در کارخانه‌های تولیدی است. این دانش همچنین به نحوه استفاده از ابزارهای دستی (شامل ابزارهای اندازه‌گیری، علامت‌گذاری، نگهداری، برش و غیره)، تجهیزات، ماشین‌آلات و روش‌های مختلف تولید که در کارهای شکل‌دهی مواد خام اولیه در رساندن آن‌ها به شکل‌های نهایی مدنظر دخیل هستند نیز می‌پردازد. برخی دیگر از فعالیت‌ها که در این دانش باید به آن‌ها پرداخته شود عبارت‌اند از: پرس‌کاری، ورق‌کاری، قالب‌سازی، مذاب‌ریزی، ریخته‌گری، آهنگری، فورج، فلزکاری، عملیات حرارتی، جوشکاری، آچارکشی، ماشین‌کاری، پرداخت، پوشش‌دهی، سوارکاری و کنترل کیفیت. همچنین باید بر دانش فنی

مرتبط با ساختار شیمیایی و فیزیکی مواد اولیه، فرایندهای مختلف تولید و جایگزین کردن روش‌های قدیمی و سستی با تکنیک‌های سریع و مکانیزه، طراحی‌های بهینه، دقت در اندازه‌ها، پرداخت‌کاری‌های بهتر، به‌کارگیری ابزار و مواد جدید و سیستم‌های کنترل عددی و اتوماسیون، مکانیزم‌های پیشرفته‌تر، و درنهایت تولید محصولات بیشتر تأکید ویژه‌ای صورت گیرد.

امروزه، شیوه ساخت و کار کارگاهی در بخش صنایع تولیدی و خدماتی اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند. اطلاع از این روش‌ها برای تمامی مهندسين و تکنسین‌ها بسیار ضروری است تا بتوانند با مفاهیم فناوری در ساخت آشنا شوند؛ در نتیجه، فراهم آوردن زمینه‌ای برای شناخت نظری و عملی فرایندهای ساخت و فناوری‌های کارگاهی برای تمامی دانشجویان رشته‌های فنی و مهندسی ضروری است. به همین دلیل، در این کتاب هم به جنبه‌های عملی و هم به مفاهیم نظری امر ساخت توجه شده‌است. دانشجویان رشته‌های مهندسی هنگام تحصیل به‌ندرت با ماشین‌ابزار و تجهیزات کارگاهی و طراحی‌های تولیدی سروکار دارند. به همین دلیل سعی شده‌است تا فصل‌هایی را برای شناساندن فرایندها و فناوری‌های ساخت و نیز روش‌های کار کارگاهی اختصاص دهیم. همچنین سعی شده‌است تا بیان مطالب فنی و تخصصی به زبانی ساده ادا شود و از ورود به جزئیات دقیق و تخصصی در زمینه‌های مختلف خودداری شود تا یکدستی و هماهنگی سطح مطالب متناسب با دوره کارشناسی تنظیم شود و درعین حال از جامعیت و تنوع مطالب مورد نیاز کاسته نشود. پرواضح است که در تهیه مطالب هر بخش به مراجع تخصصی در آن زمینه مراجعه شده‌است و درعین حال از تجربیات عملی مؤلفین در آن موضوع استفاده شده‌است.

کتاب رویکردی اجمالی به مفاهیم جدید فناوری‌های ساخت دارد و از ورود به جزئیات موضوعات مرتبط به ساخت همانند مشخصات مواد خام، روش‌های تولید و ماشین‌آلات ساخت و... اجتناب شده‌است تا ابتدا خواننده با کلیات کار تولید، نحوه مواجهه با آن به مثابه یک علم مدرن که شامل جنبه‌های اقتصادی، مدیریتی، مهندسی و حتی زیست‌محیطی می‌شود آشنا شود. این نگاه که از ارتفاع بالاتری صورت می‌گیرد باعث می‌شود تا خواننده مفاهیمی مانند بهره‌وری، کارآمدی، ارزش افزوده، راندمان، رقابت‌پذیری، توسعه پایدار و نهایتاً کارآمدی اقتصادی را در سطح کلان مهندسی نماید، و سپس به جزئیات فنی مسائل ساخت بپردازد.

کاظم طهماسبی

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان

عبدالله اسکندری ثانی

فصل اول

مفاهیم اساسی

هدف کلی

آشنایی با تاریخچه علم مواد و فرایندهای ساخت.

هدف‌های یادگیری

پس از مطالعه این فصل، شما باید بتوانید:

۱. به صورت اجمالی انواع فرایندهای تولید و نحوه برنامه‌ریزی برای آنها را ذکر کنید.
۲. سیستم‌های کنترل کیفیت محصول و استانداردسازی را برشمارید.
۳. مفاهیم جدید اتوماسیون در تولید را شرح دهید.
۴. طرح‌بندی کارگاه‌های تولید را بشناسید.
۵. ویژگی‌های فیزیکی و متالورژیکی مواد مورد استفاده و نحوه انتخاب آنها را ذکر کنید.

مقدمه

امروزه به عصر فعالیت‌های تولیدی رقابتی که از توسعه و تحقیقات صنعتی بالایی برخوردار هستند، عصر تولید مکانیزه، خودکار و تمام کامپیوتری می‌گویند. به دلیل استفاده از تحقیقات جدید در حوزه تولید، پیشرفت‌ها به حدی گسترده شده‌است که هر جنبه از این فناوری، خود به دانشی اساسی و پیشرفته بدل شده‌است. این روند به معرفی طراحی و تولید بهینه محصولات جدید انجامیده و منجر به استفاده بیشتر از قابلیت‌های ماشین و کاهش قابل توجه کار نیروی انسانی شده‌است. نکته‌ای که باید در اینجا بر آن تأکید نماییم، تفاوت واژه‌های تولید و ساخت است که ما آنها را در این کتاب به ترتیب معادل

واژه‌های Production و Manufacturing قرار می‌دهیم. پرواضح است که در این کتاب رویکرد اصلی به فرایندهای تولیدی از نوع ساخت^۱ است. بر این اساس، فرایندهای ساخت را می‌توان به سه دسته الف) ثابت نگهدارنده جرم (ریخته‌گری و عملیات حرارتی)، ب) کاهنده جرم (ماشین‌کاری و تراشکاری) و ج) افزایش جرم (جوش‌کاری و لحیم‌کاری) تقسیم‌بندی کرد که در فصل ۱ بخش ۱-۳ به آن اشاره شده است.

۱-۱ تاریخچه

ساخت، از دیرباز به عنوان یکی از فعالیت‌های اصلی بشر به شمار می‌آمده است و سابقه آن به عصر حجاری با ابزارهای ابتدایی توسط انسان‌های نخستین بازمی‌گردد. کلمه ساخت^۲ خود از کلمه لاتین به معنی ساخت شیء به وسیله دست مشتق شده است. این هنر تا قرن‌ها در اختیار صنعتگران بوده است و همه پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های ساخت توسط همین گروه صورت گرفته است تا بتوانند نیازها و خواسته‌های خود را برآورده سازند. جدول ۱-۱ روند توسعه فرایندهای ساخت را نشان می‌دهد.

بسیاری از فرایندهای جدول ۱-۱ نشان می‌دهد که از زمان‌های بسیار دور بشر با ابزارها و روش‌های ساخت متناسب با زمان و امکانات در دسترس خود آشنا بوده است؛ به عنوان مثال، هنر استفاده از ریخته‌گری و قالب‌گیری به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد برمی‌گردد و یا تراشکاری با چوب و سنگ برای ساخت مجسمه‌ها و ظروف، از هنرهای دستی مورداحتیاج از ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد بوده است. مصریان در این دوره با فلزاتی نظیر مس و آهن به ساخت ابزار و سلاح می‌پرداختند.

شاید بتوان ساعت‌سازان را از پیش‌گامان توسعه ابزارهای ساخت به معنای امروزی آن در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۷۰۰ بعد از میلاد دانست. اولین دستگاه پیچ‌تراشی در حدود سال‌های ۱۷۸۰ بعد از میلاد ساخته شد. البته نوآوری‌های پراکنده‌ای مانند ساخت زمان‌سنج‌های دریایی و پمپ‌های معدنی صورت گرفت؛ اما مهم‌ترین اتفاق در این راستا، اختراع دستگاه بخار در سال‌های پایانی ۱۸۰۰ میلادی بود که باعث دسترسی به توان مصرفی موردنیاز در ساخت و مکانیزه کردن آن شد و به معنی واقعی، آغاز عصر انقلاب صنعتی بود.

جدول ۱-۱. خلاصه‌ی روند توسعه فرایندهای ساخت

سال	ماده	ریخته گری	شکل دهی	ماشینکاری	جوشکاری
۴۰۰۰ ق.م	طلا-نقره-مس	قالب رسی	آهنگری سرد	ابزار حجاری	
۲۵۰۰ ق.م	برنز	مدل مومی	ورقکاری	منه کاری	لحیمکاری
۱۰۰۰ ق.م	آهن		آهنگری گرم	اره آهنی	
زمان میلاد	برنج			چوب بری، تراشکاری سنگ	جوشکاری آهن
۱۰۰۰ ب.م			کشش سیم	تراشکاری چوب	
۱۴۰۰ ب.م		ریخته گری با ماسه	ضربه قوچ	تراشکاری چرخ	
۱۶۰۰ ب.م		مذاب دائم	نورد سرب		
۱۸۰۰ ب.م	فولاد کربنی		نورد فولاد - اکستروژن	کف تراشی، سوراخکاری و پیچ تراشی	
۱۹۰۰ ب.م	اکسید آلومینیوم HSS		اکستروژن لوله	چرخ دنده تراشی - هاب زنی اتومات	جوشکاری با گاز و قوس الکتریکی
۱۹۲۰ ب.م	تنگستن کاربید	ریخته گری تحت فشار		ماشین های کاربرد خاص	پوشش الکترودی
۱۹۴۰ ب.م	پلاستیک		اکستروژن گرم	ماشینهای برقی - شیمیای و فراصوتی	جوشکاری با قوس الکتریکی تنگستن
۱۹۵۰ ب.م			اکستروژن سرد	رباتهای صنعتی - کنترل شونده با کامپیوتر	

کارخانه‌های مهندسی و ماشین‌ابزارهایی که با توان بخار کار می‌کردند یکی پس از دیگری راه‌اندازی و ساخته می‌شدند. هم‌زمان، نیاز به استفاده از فلزات با استحکام بالا، باعث پیشرفت‌هایی در حوزه علم مواد شد و فلزات کربنی و میزان تأثیرگذاری مقدار کربن در ترکیب آن‌ها مورد توجه قرار گرفت که شروع عصر فولاد را موجب شد. در اختیار داشتن فولادهای مستحکم به ساخت ماشین‌ابزارهای دقیق و مقاوم کمک زیادی کرد. ماشین‌های تراش به معنای امروزی آن در سال ۱۷۹۴ میلادی ساخته شدند و در پی آن برای به‌دقت آوردن و مقایسه دقت آن‌ها، ابزارهای اندازه‌گیری دقیقی مانند میکرومتر ساخته شدند. توسعه راه‌آهن عمومی و نیاز به تولید موتورهای لوکوموتیو و نیز احداث ریل‌های آهنی، مفهوم تولید انبوه را پایه‌ریزی کرد که خود باعث تولید ماشین‌های اتوماتیک و نیمه اتوماتیک شد.

یکی از ایده‌های مهم دیگری که در صنعت ساخت تأثیرگذار بود مفهوم تعویض‌پذیری قطعات دستگاه‌های مختلف^۱ بود که این امکان را ایجاد می‌کرد که از قطعه‌ی یکی یک ماشین بتوان در ماشین‌های دیگری نیز استفاده کرد. برای نیل به این هدف لازم بود تا قطعات تولیدی، دارای دقت ساخت و تolerانس‌های اندازه‌ای و شکلی دقیقی باشند. این مهم مستلزم ساخت ابزارهای فولادی سرعت‌بالا بود که در سال‌های ۱۹۰۰ میلادی تولید آن‌ها آغاز شد.

روش‌های جوشکاری مانند قوس الکتریکی و جوش گاز در آغاز قرن بیستم توسعه پیدا کردند و در سال‌های بعد الکترودهای روکش‌دار جوشکاری ساخته شدند. در سال‌های ۱۹۲۵ تا ۱۹۵۰ میلادی، محصولات پلیمری و روش‌های ساخت آن‌ها در ریخته‌گری گسترش یافت. در دهه ۱۹۶۰ میلادی، آشنایی با فلزات مقاوم در برابر دماهای بالا و سخت به روش‌های ویژه‌ای در ماشین‌کاری آن‌ها مانند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی^۲، الکتریکی شیمیایی^۳، مافوق صوت و ماشین‌کاری با اشعه لیزر انجامید.

شاید ظهور کامپیوترها در نیمه دوم قرن بیستم را بتوان انقلاب صنعتی دوم نامید. تجهیزاتی که به کمک ابزارهای الکترونیکی امکان ساخت دستگاه‌هایی با قابلیت تطبیق بالا را فراهم آورده است که می‌توانند برنامه‌های ساخت تعریف‌شده را با سرعت بالا و هزینه کم انجام دهند؛ دوره‌ای که تلاش آن معطوف به ارتقاء (و در برخی اوقات جایگزین‌کردن) نیروی انسانی است. این روند امروزه به اتوماسیون انعطاف‌پذیر معروف است و خصوصیت اصلی آن این است که تغییر برنامه ساخت از یک محصول به محصول دیگر تا حد ممکن کوچک و سریع است. این بدان معناست که محصولات بیشتری به بازار معرفی می‌شوند و به تبع آن محصولات قدیمی بیشتری نیز از چرخه مصرف خارج می‌شوند که خود باعث می‌شود تعداد سفارشات از هر نوع محصول کمتر شود. در نتیجه، عصر تولید انبوه و اتوماسیون غیرقابل انعطاف به سر آمده و تولید دسته‌ای^۴ یا اتوماسیون انعطاف‌پذیر شروع شده است.

اولین گام در این راستا ساخت ماشین‌ابزارهای کنترل عددی است که در آن فرایندها توسط اعداد و کدهای کامپیوتری کنترل می‌شوند. علاوه بر این به‌کارگیری

1. Interchangeability

2. Electro-Discharge Machining

3. Electro-Chemical Machining

4. Batch Production

سیستم‌هایی که از ریزپردازنده‌ها استفاده می‌کنند باعث شده‌است تا حسگرها از بازخورد سیستم در جهت هوشمندسازی فرایند عمل کنند.

۱-۲ سیستم و فرایندهای تولید و ساخت

۱-۲-۱ فرایندهای تولید

به فرایندی که طی آن در یک کارگاه (یا کارخانه) محصولی نیمه کاره یا ماده اولیه به محصول نهایی تبدیل می‌شود، فرایند تولید می‌گویند. بدیهی است که در این مسیر از ابزارهای گوناگون، تجهیزات، ماشین‌آلات، و فرایندهای ساخت مختلفی بهره می‌گیرند. به‌طور عام، سه روش اصلی تولید وجود دارد:

الف) تولید وابسته به کار^۱

ب) تولید بسته‌ای^۲

ج) تولید انبوه^۳

در تولید نوع اول، گروهی از کارگران کار مشخصی را قبل از اینکه کار دیگری را انجام دهند، به اتمام می‌رسانند. در این روش، ملزومات تولید بسیار اندک است و به یک نوع ثابت و ساده‌ای از طرح تولید برای محصولات مشابه نیاز دارد.

تولید نوع دوم، ساخت محصولاتی با اندازه و شکل‌هایی کم‌ویش یکسان در بسته‌های بین ۲۰۰ تا ۸۰۰ عدد را شامل می‌شود. هرگاه تولید یک بسته به اتمام برسد، می‌توان از همان امکانات برای تولید سایر بسته‌ها استفاده نمود. تولید این بسته‌ها می‌تواند به‌صورت متناوب (یا در بازه‌های زمانی نامنظم) تکرار شود. مفهوم تولید به این روش به فناوری سیستم تولید انعطاف‌پذیر^۴ منجر خواهد شد.

در روش تولید انبوه، ساخت تعدادی زیادی محصول (غالباً بیش از ۵۰۰۰۰ عدد) مورد توجه است که نیازمند طرح کار کاملاً ثابت (شامل اتوماسیون، و سرمایه‌گذاری زیاد در نصب ماشین‌های با کاربرد خاص) است.

۱-۲-۲ مهندسی ساخت

ممکن است طراحی یک محصول به‌گونه‌ای صورت گرفته باشد که منجر به کیفیت

1. Job Production

2. Batch Production

3. Mass Production

4. Flexible Manufacturing System (FMS)

بالایی شود اما عاملی که در نهایت رضایت مشتری را به دنبال خواهد داشت این است که بتوان آن را با قیمتی قابل رقابت و در زمانی قابل قبول عرضه کرد. به‌عنوان مهندسی که با تولید از نوع ساخت سروکار خواهیم داشت لازم است آشنایی کاملی با فرایندهای یادشده داشته باشیم که در بخش‌های بعدی به آن‌ها به‌طور تفصیلی خواهیم پرداخت.

در مفهوم جدید، ساخت شامل فرایندهایی می‌شود که ماده خام را به محصول نهایی تبدیل می‌کنند. در نتیجه، مطالعه در مورد آن به شناخت فرایندهای موردنیاز برای تولید قطعات و سوارکردن آن‌ها در یک مجموعه نیاز دارد. در صنعت، مهندسی فرایند، به مسائل مختلفی می‌پردازد که برای ایجاد یا توسعه ماشین‌های گوناگون باید مورد بررسی قرار گیرند که در این راستا باید قوانین حاکم بر فرایندهای ساخت مورد توجه قرار گیرد. این کار منجر به شناخت پارامترهایی می‌شود که عمیقاً بر افزایش تولید و دقت ساخت تأثیرگذارند. مهندسی ساخت (در شکل امروزی آن) به مفاهیم زیر توجه دارد:

- (الف) برنامه‌ریزی فرایند^۱
- (ب) نقشه فرایند^۲
- (ج) نقشه مسیر^۳
- (د) تجهیز
- (ه) ماشین آلات
- (و) قیدوبندها^۴
- (ز) برنامه برای بخش CNC
- (ح) برنامه‌ریزی برای کار با ربات‌ها
- (ی) سیستم ساخت انعطاف‌پذیر (FMS) و سیستم ساخت یکپارچه کامپیوتری

۱-۲-۳ برنامه‌ریزی فرایند

برنامه‌ریزی فرایند، شامل انتخاب تجهیزات ساخت (ابزار ماشین‌کاری، ابزار برش، پرس‌ها، قیدوبندها، ابزارهای اندازه‌گیری و غیره)، راه‌اندازی بهترین چیدمان در ترتیب

عملیات ساخت، محاسبه تغییر در اندازه، شکل و میزان دقت ابزارهای ماشین کاری، علاوه بر مشخصات کاری هر ماشین کاری است. این مشخصات شامل زمان ماشین کاری و نیز مهارت در انجام کار است. همان گونه که اشاره شد دقت در نحوه قرارگیری گام های متوالی ساخت در به حداقل رساندن هزینه های تولید و بالابردن میزان بهره وری نقش به سزایی دارد که باید در برنامه ریزی تولید مدنظر قرار گیرد.

۱-۲-۴ فرایند ساخت

فرایند ساخت بخشی از فرایند تولید است که مستقیماً با تغییر شکل یا ابعاد قطعه تولیدی سروکار دارد. در نتیجه مواردی مانند انتقال، جابه جایی، انبارکردن، که مستقیماً به تغییر در شکل یا ابعاد قطعه مربوط نمی شوند جزء فرایند ساخت محسوب نمی شوند.

فرایندهای تولید از نظر ماهیت کار به سه دسته اصلی تقسیم بندی می شوند:

۱. تولید فرایندی
 ۲. تولید از نوع ساخت^۱
 ۳. تولید مونتاژی
- در تولید فرایندی، مواد اولیه در جریانی پیوسته از فرایندها از شکل اولیه به محصول نهایی تبدیلی می شود. برای مثال در تولید محصولات شیمیایی از این روش استفاده می شود.

تولید از نوع ساخت یا همان سیستم ساخت که در این بخش می خواهیم به آن پردازیم، شامل ساخت قطعات مجزا یا مجموعه هایی است که از چندین عملیات متوالی مانند نورد، ماشین کاری و جوشکاری استفاده می کند. در تولید مونتاژی، قطعات یا مجموعه ها را به عنوان یک ماشین بر روی یکدیگر سوار می کنند. در تولید از نوع ساخت (نوع دوم تولید)، عملیات اصلی شامل مراحل زیر می شود:

۱. ریخته گری (Casting)
۲. شکل دهی (Forming)
۳. ماشین کاری (Machining)

۱. به این نوع از تولید Fabricating type manufacturing هم گفته می شود.