بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

بررسی مکانیکی - حرارتی فرآیند چرخکاری با استفاده از شبیه سازی اجزای محدود و کار تجربی

استاد راهنما:
دکتر یعقوب طادی بنی

استاد مشاور:
دکتر مهدی سلمانی تهرانی

پژوهشگر:
ایمان سلیمانی مرغملکی

مهر ۱۳۹۰

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه آقای **ایمان سلیمانی مرغملکی** جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی با عنوان: « **بررسی مکانیکی- حرارتی فرآیند چرخکاری با استفاده از شبیه سازی اجزای محدود و کار تجربی** » در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۱۸ با حضور هیات داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۹۰ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه دکتر یعقوب طادی بنی با مرتبه علمی استادیار **امضاء**

۲. استاد مشاور پایان نامه دکتر مهدی سلمانی تهرانی با مرتبه علمی استادیار **امضاء**

۳. استاد داور پایان نامه دکتر حسین گلستانیان با مرتبه علمی دانشیار **امضاء**

۴. استاد داور پایان نامه دکتر شهرام هادیان جزی با مرتبه علمی استادیار **امضاء**

دکتر بهزاد قاسمی

رئیس تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی ومهندسی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی

خدایا

از دست و زبان که برآید که از عهده شکرت به درآید؟

و

سپاس و درود بیکران به رسول رحمت، اسوه حسنه خلقت، شجره طیبه نبوت، فرودگاه رسالت، امین امت، حضرت ختمی مرتبت که یکی از صمیمی‌ترین و برجسته‌ترین الگوهای رفتاری و سیر سلوک معنوی در عصر یخبندان عاطفه‌ها و سیماهای سیمانی عصر حاضر است؛ پیامبری که چشمه‌های حکمت و معرفت را در کویر جهل و ظلمت شبه جزیره جاری کرد.

اکنون که با یاری خداوند متعال پس از طی مسیر شیرین مطالعه و تحقیق در این مقطع از تحصیلات موفق به اتمام این پایان‌نامه شده‌ام، در ابتدا از استاد عزیز، با تجربه، متخصص، صبور و توانا جناب آقای **دکتر یعقوب طادی بنی** که با صبری مثال زدنی مرا در این راه همراهی نمودند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمایم. حقیقتا" اگر راهنمایی‌های به‌موقع و دید علمی ایشان نبود، موفق به طی این مسیر نمی‌شدم. همچنین از استاد مشاور خود، جناب آقای **دکتر مهدی سلمانی تهرانی** به واسطه همراهی بی‌دریغشان در به پایان رساندن این پایان‌نامه، قدردانی می‌نمایم. از اعضای خانواده‌ام به خصوص پدر و مادر عزیز، مهربان و بزرگوارم که دعای خیر ایشان همیشه یار و یاور من بوده و هست، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین لازم است از جناب آقای دکتر حامد رضوی که با راهنمایی‌های خویش بنده را در طول مدت انجام تست‌های آزمایشگاهی مدد رساندند و از کلیه اساتید گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهرکرد به خصوص جناب آقای دکتر حسین گلستانیان ، دکتر شهرام هادیان جزی، دکتر هادی همایی بروجنی و دکتر بهزاد قاسمی که همیشه مشوق من بوده‌اند تشکر نمایم. در پایان از کلیه دوستان عزیزم بخصوص آقای مهندس محمد هاشمی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

به نام او که هر آنچه قلم بر کاغذ می‌نگارم خواست و اراده اوست

و سپاس از لطف بیکرانش که تا این مرحله یار و یاورم بوده است.

به تماشا سوگند

و به آغاز کلام

و به پرواز کبوتر از ذهن

واژه‌ای در قفس است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که وجودشان مایهٔ آرامش و تکیه‌گاه امن زندگی و
پیوسته دعای خیرشان بدرقه راه من و چشمان پر امیدشان روحیه‌بخش من
است.

چکیده:

یکی از فرآیندهای شکل‌دهی که سابقه‌ای طولانی داشته و در آن قابلیت تولید قطعات توخالی بدون درز با محور تقارن مرکزی در اثر اعمال نیروی نقطه‌ای و چرخشی وجود دارد را شکل‌دهی چرخشی یا چرخکاری می‌نامند که در آن برای فرم‌دهی، ترکیبی از نیروی موضعی و چرخشی استفاده می‌شود. در این روش قطعاتی توخالی به شکل مخروط، نیم کره، بیضوی، لوله، استوانه و یا ترکیبی از اینها در اندازه‌های متنوع ساخته می‌شود. در مواردی که جهت تولید یک قطعه از نظر اندازه یا ساختار پیچیده و یا هزینه زیاد ابزار و قالب نتوان از فرآیند کشش عمیق استفاده کرد شکل‌دهی چرخشی روش جایگزین مناسبی محسوب می‌شود.

دما یکی از پارامترهای بسیار مهم در فرآیندهای صنعتی است. در حقیقت کمتر فرآیند کنترلی بدون کنترل دما را می‌توان در نظر گرفت. در خصوص تحلیل همزمان مکانیکی و حرارتی فرآیند چرخکاری، تاکنون فعالیتی صورت نگرفته و تنها در خصوص تحلیل صرفا مکانیکی مطالعاتی انجام شده است.

در این تحقیق فرآیند چرخکاری برای صفحه‌ی آلومینیومی به صورت عددی شبیه‌سازی گردیده که برای این کار از روش اجزای محدود و نرم افزار آباکوس استفاده شده است. قطعه انتخابی به شکل نیمکره و مخروط ناقص در نظر گرفته شده است. برای رسیدن به نتایج واقعی‌تر، فرآیند چرخکاری با تحلیل همزمان مکانیکی و حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاصل از این نوع تحلیل با نتایج حاصل از تحلیل صرفا مکانیکی و آزمایشگاهی انجام گرفته مقایسه شده است.

با توجه به اینکه تست‌های مربوط به محاسبه کرنش در تغییر شکل‌های به وجود آمده در فرآیند چرخکاری قبلا توسط محققین انجام شده است، در ادامه تحقیق، تست‌های آزمایشگاهی بر روی دمای ایجاد شده در فرآیند انجام گرفته است تا بتوان نتایج تحلیل عددی ترمومکانیکی فرآیند چرخکاری را از نظر کرنش، تنش و دما صحت‌سنجی نمود. با مقایسه نتایج تحلیل عددی و آزمایشگاهی مشاهده می‌گردد که نتایج به دست آمده همگرایی مناسبی دارا می‌باشند.

کلمات کلیدی: تحلیل ترمومکانیکی، فرآیند چرخکاری، روش اجزای محدود، نتایج آزمایشگاهی

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فهرست شکل‌ها	4
فهرست جدول‌ها	7
فهرست نمادها	8
فصل اول- مقدمه	10
1-1 پیشگفتار	10
2-1 شکل‌دهی چرخکاری	11
1-2-1 مزایای چرخکاری	12
1-1-2-1 کاهش هزینه تولید	12
2-1-2-1 کاهش قیمت ابزار	13
3-1-2-1 تلورانس ابعادی دقیق	13
4-1-2-1 سطح تمام شده محصول	13
5-1-2-1 بهبود خواص مکانیکی	13
2-2-1 محدودیتها	13
1-2-2-1 بهره‌وری	14
2-2-2-1 تغییرات خواص	14
3-2-2-1 اعوجاج قطعه کار	14
3-2-1 پارامترهای کاربردی در این روش	14
3-1 مروری بر انواع فرآیندهای چرخکاری فلزات	14
1-3-1 چرخکاری دستی	15
2-3-1 چرخکاری قدرتی	18
3-3-1 شکل‌دهی برشی	20
4-3-1 چرخکاری لوله	22
5-3-1 مقایسه چرخکاری دستی با شکل‌دهی برشی	24
6-3-1 فرآیند چرخکاری مورد استفاده در این تحقیق	25
4-1 مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه فرآیند چرخکاری	25
5-1 هدف از انجام این تحقیق	29
فصل دوم- تحلیل تئوری فرآیند چرخکاری از لحاظ مکانیکی و ترمومکانیکی	31

2-1 پیشگفتار 31
2-2 تحلیل تئوری کرنش در فرآیند چرخکاری ورق آلومینیومی 32
2-2-1 چرخکاری معمولی 32
2-2-2 تحلیل کرنش در فرآیند شکل‌دهی برشی 34
2-3 روش حل مسائل ترمومکانیکی 36

فصل سوم- شبیه سازی اجزای محدود به کمک نرم افزارآباکوس و بررسی نتایج شبیه‌سازی 38
3-1 پیشگفتار 38
3-2 معرفی نرم افزار المان محدود آباکوس 38
3-3 روش‌های آنالیز موجود در نرم افزار آباکوس 39
3-4 طریقه انتخاب مواد در نرم‌افزار آباکوس 40
3-5 تعیین نوع المان و مش‌بندی 40
3-6 شبیه‌سازی المان محدود فرآیند چرخکاری توسط نرم‌افزار آباکوس 42
3-6-1 مراحل مدلسازی توسط نرم افزار 42
3-6-1-1 شبیه سازی اجزا محدود جسم مخروطی شکل 44
3-6-1-2 شبیه سازی اجزا محدود جسم نیم‌کروی شکل 48

فصل چهارم- تحلیل فرآیند چرخکاری به کمک تست‌های آزمایشگاهی 60
4-1 پیشگفتار 60
4-2 اندازه‌گیری دما 61
4-2-1 دماسنج‌های انبساطی 61
4-2-2 دماسنج‌های مقاومتی 61
4-2-3 سنسورهای دما 61
4-3 دماسنج‌های لیزری 62
4-3-1 اساس کار دماسنج غیرتماسی، دماسنج لیزری 62
4-4 روش و مراحل آزمایشگاهی انجام گرفته برای اندازه‌گیری تجربی دما وکرنش در نمونه چرخکاری شده 65
4-4-1 روش و مراحل انجام تست 65
4-4-2 نتایج حاصل از تست‌های آزمایشگاهی 70

فصل پنجم- بحث بر روی نتایج و مقایسه با مراجع 73
5-1 پیشگفتار 73
5-2 مقایسه نتایج حاصل از حل عددی با نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی 73
5-3 مقایسه و بحث بر روی نتایج برای قطعه به شکل مخروط ناقص 74

4-5 مقایسه و بحث بر روی نتایج برای قطعه به شکل نیم‌کره 76

فصل ششم- جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات 82
6-1 جمع‌بندی 82
6-2 ارائه پیشنهادات 83

مراجع 84

فهرست شکل‌ها

شکل 1-1: انواع روش‌های چرخکاری 15
شکل 1-2: فرآیند چرخکاری دستی 16
شکل 1-3: چرخکاری دستی با ابزار بازویی 16
شکل 1-4: چرخکاری دستی با ابزار قیچی مانند 17
شکل 1-5: چرخکاری فشاری یا بشقابی کردن 17
شکل 1-6: بشقابی کردن به کمک خلاء 18
شکل 1-7: قالب چرخکاری قطعه مخروطی 19
شکل 1-8: متعلقات یک ماشین چرخکاری 20
شکل 1-9: چگونگی مکانیزم شکل‌دهی برشی 21
شکل 1-10: چگونگی شکل دهی برشی در تک مرحله 22
شکل 1-11: چرخکاری لوله 23
شکل 1-12: مقایسه چرخکاری دستی با شکل‌دهی برشی 24
شکل 1-13: نتایج گزارشات اسلاتر 27
شکل 2-1: طرح شماتیک مکانیزم شکل‌دهی ایده‌آل در فرآیند چرخکاری معمولی 32
شکل 2-2: توزیع کرنش شعاعی حاصل از تحلیل تئوری در فرآیند چرخکاری معمولی 33
شکل 2-3: توزیع کرنش محیطی حاصل از تحلیل تئوری در فرآیند چرخکاری معمولی 34
شکل 2-4: طرح شماتیک مکانیزم شکل‌دهی ایده‌آل در فرآیند شکل‌دهی برشی 34
شکل 2-5: توزیع کرنش شعاعی حاصل از تحلیل تئوری فرآیند شکل‌دهی برشی 36
شکل 2-6: توزیع کرنش در راستای ضخامت حاصل از تحلیل تئوری فرآیند شکل‌دهی برشی 36
شکل3-1: مراحل تحلیل کامل در برنامه آباکوس 39
شکل3-2: نحوه نامگذاری المان‌ها در نرم افزار آباکوس 41
شکل3-3: نمایش مدل ساخته شده پوسته مخروطی شکل به شکل سه بعدی 43
شکل3-4: نمایش مدل ساخته شده پوسته نیم‌کروی به شکل سه بعدی 43
شکل3-5: شبیه سازی اجزا محدود جسم مخروطی شکل به صورت شماتیکی 44
شکل3-6: اجزاء به کار رفته در مدلسازی 44
شکل3-7: نوع مش بندی اعمال شده بر ورق 46
شکل3-8: توزیع تنش در شبیه سازی جسم مخروطی شکل 46
شکل 3-9: تغییرات دمایی به وجود آمده در شبیه سازی جسم مخروطی شکل 47
شکل 3-10: تغییرات دمایی به وجود آمده در شبیه سازی جسم مخروطی شکل 47
شکل 3-11: اجزاء به کار رفته در مدلسازی 48

شکل 3-12: مسیر حرکت ابزار در شبیه‌سازی 49
شکل 3-13: نمایش بخش‌های مسیر حرکت ابزار 49
شکل 3-14: طرح شماتیک فرایند شبیه‌سازی شده 49
شکل 3-15: تعیین خواص ماده 50
شکل 3-16: تعیین مراحل مستقل از نوع حل صریح ترمودینامیکی 51
شکل 3-17: نوع تماس بین اجزاء در مراحل مختلف 51
شکل 3-18: اعمال شرایط مرزی 52
شکل 3-19: شماتیک نحوه بارگذاری و حرکت ابزارها 53
شکل 3-20: نوع مش بندی اعمال شده بر ورق 53
شکل 3-21: نوع مش بندی اعمال شده بر ورق 54
شکل 3-22: حل مسئله 54
شکل 3-23: مراحل شکل‌دهی قطعه نیم‌کروی شکل 55
شکل 3-24: منحنی کرنش ضخامتی e_r در قطعه بر حسب فاصله شعاعی 56
شکل 3-25: منحنی کرنش محیطی e_q در قطعه بر حسب فاصله شعاعی 56
شکل 3-26: منحنی کرنش شعاعی e_f در قطعه بر حسب فاصله شعاعی 57
شکل 3-27: کانتور تنش فون میزز همراه با مش‌بندی برای ورق آلومینیوم 57
شکل 3-28: کانتور دما برای ورق آلومینیوم 58
شکل 3-29: مقادیر نیروهای اعمال شده در فرآیند چرخکاری بر حسب زمان 58
شکل 4-1: اساس کار دماسنج لیزری 63
شکل 4-2: اساس کار دماسنج لیزری 63
شکل 4-3: انتخاب مقدار قابلیت نشر مناسب در تنظیمات دستگاه دماسنج 64
شکل 4-4: قرارگیری در فاصله مناسب از سطح 64
شکل 4-5: قالب نیم‌کروی به همراه پایه‌ی درگیر در سه نظام 65
شکل 4-6: ورق‌ها در ابعاد 18*18 (سانتی‌متر مربع) برش داده می‌شوند 65
شکل 4-7: ورق‌ها به وسیله دستگاه گردُبر به شکل گرده تبدیل می‌شوند 66
شکل 4-8: گردُبر شدن ورق‌ها 66
شکل 4-9: تعدادی از نمونه‌های آماده شده برای تست‌های آزمایشگاهی 66
شکل 4-10: ترتیب نقاط اندازه‌گیری دما 67
شکل 4-11: دماسنج لیزری مورد استفاده در آزمایشگاه 67
شکل 4-12: ابزار تولید شده برای انجام فرآیند چرخکاری 68
شکل 4-13: مراحل مختلف جوش دادن ساچمه‌ی فولادی به قطر 22 میلیمتر به پیچ چپ گرد آلن 68
شکل 4-14: سر استوانه که پیچ در آن قرار خواهد گرفت به شکل چپ گرد رزوه شده 68

شکل 4-15: ورق به کمک یک واشر و پیچ به قالب متصل گردیده 69
شکل 4-16: پروفیل قالب و ابزارهای مورد استفاده 69
شکل 4-17: ماشین CNC مورد استفاده 69
شکل 4-18: قطعات تولید شده از عملیات چرخکاری 70
شکل 4-19: تغییرات دمایی نقطه قرار گرفته در فاصله شعاعی 15 میلیمتری 70
شکل 4-20: تغییرات دمایی نقطه قرار گرفته در فاصله شعاعی 25 میلیمتری 71
شکل 4-21: تغییرات دمایی نقطه قرار گرفته در فاصله شعاعی 35 میلیمتری 71
شکل 4-22: تغییرات دمایی نقطه قرار گرفته در فاصله شعاعی 45 میلیمتری 71
شکل 4-23: تغییرات دمایی نقطه قرار گرفته در فاصله شعاعی 55 میلیمتری 72
شکل 5-1: تغییرات دمایی به وجود آمده در شبیه سازی جسم مخروطی شکل 74
شکل 5-2: تغییرات دمایی به وجود آمده در شبیه سازی جسم مخروطی شکل [21] 75
شکل 5-3: منحنی تغییرات دمایی نود 1189 (واقع در شعاع 115/4 میلیمتری) حاصل از حل عددی 75
شکل 5-4: تغییرات دمایی به وجود آمده در شبیه سازی جسم نیم‌کروی شکل 76
شکل 5-5: منحنی تغییرات دمایی حاصل از تحلیل عددی و تجربی حین انجام فرآیند برای نود شماره 672 قرار گرفته در فاصله شعاعی 35 میلیمتری (قطعه نیم‌کروی شکل) 77
شکل 5-6: منحنی توزیع کرنش شعاعی حاصل از تحلیل ترمومکانیکی، تست‌های آزمایشگاهی و تحلیل مکانیکی [20] 78
شکل 5-7: منحنی توزیع کرنش محیطی حاصل از تحلیل ترمومکانیکی، تست‌های آزمایشگاهی و تحلیل مکانیکی [20] 79
شکل 5-8: منحنی توزیع کرنش کروی حاصل از تحلیل ترمومکانیکی و تحلیل مکانیکی 80
شکل 5-9: منحنی توزیع کرنش شعاعی حاصل از تحلیل ترمومکانیکی برای دو نوع شبکه‌بندی 81
شکل 5-10: منحنی توزیع کرنش کروی حاصل از تحلیل ترمومکانیکی برای دو نوع شبکه‌بندی 81

فهرست جداول

جدول 3-1: خواص پلاستیک صفحه‌ی آلومینیومی 45
جدول 3-2: تعیین مراحل برای هر دو حل مکانیکی و ترمومکانیکی 50

فهرست نمادها

نموّ کرنش پلاستیک موثر	$d\bar{E}$
نرخ کرنش موثر واقعی	$d\bar{\varepsilon}$
مدول یانگ	E
مدول برشی	G
اندازه کوچکترین المان موجود در مش	L_{min}
توان کرنش سختی	n
شعاع بلانک اولیه	r
شعاع قالب (ماندرل)	R
تنش موثر در تغییر شکل‌های زیاد	$\bar{S}$
تنش موثر در لحظه $t = t_0$	$\bar{S}_0$
ضخامت بلانک اولیه	t
بردار تغییر مکان	u
تنش تسلیم	Y
زاویه بین محور چرخکاری و بردار نرمال بر قطعه	a
زاویه بین سطح قطعه با محور قالب	β
دلتای کرونکر	δ_{ij}
کرنش محیطی مهندسی	ε_h
کرنش ضخامتی مهندسی	ε_t
تانسور کرنش‌های کوچک اویلری	ε_{ij}
تانسور جایگشت	ε_{ijk}
کرنش حقیقی	ε_1 , ε_2
کرنش کروی	e_r
کرنش محیطی	e_q
کرنش شعاعی	e_f
نرخ کرنش	$\dot{\varepsilon}$
کرنش شعاعی	ε_r

ε_w	کرنش عرضی
φ	زاویه مخروطی
μ	ضریب اصطکاک
ν	نسبت پواسون
ρ	چگالی ماده در المان
s	تنش حقیقی کل

فصل اول

مقدمه

1-1 پیشگفتار

یکی از فرآیندهای شکل‌دهی که سابقه‌ای طولانی داشته و در آن قابلیت تولید قطعات توخالی بدون درز با محور تقارن مرکزی در اثر اعمال نیروی نقطه‌ای و چرخشی وجود دارد را شکل‌دهی چرخشی یا چرخکاری می‌نامند. این فرآیند بر اساس مکانیزم تغییر شکل به 4 گروه دستی، قدرتی، لغزشی و فلوفرمینگ تقسیم می‌شود. در چرخکاری دستی که گاهی آن را خمکاری نیز می‌نامند، ضخامت تغییر محسوسی نمی‌کند.

اساس چرخکاری قدرتی شبیه نوع دستی آن است با این تفاوت که تغییر شکل با استفاده از ماشین‌های مخصوص انجام می‌گیرد. در چرخکاری برشی، مکانیزم شکل‌دهی لغزش دانه‌های فلز می‌باشد و با کاهش ضخامت در دیسک اولیه همراه است. یکی از مهمترین و حساس‌ترین نوع از انواع این روش‌ها، فرآیند فلوفرمینگ یا چرخکاری لوله می‌باشد که طی آن طول یک پیش شکل ضخیم افزایش یافته و ضخامت آن کاهش می‌یابد. از مزایای شکل‌دهی چرخکاری، بالا بودن دقت ابعادی، تولید قطعات با سطح مقطع‌های نازک، تولید قطعات متقارن محوری به صورت یک‌پارچه و بدون درز، صرفه جویی اقتصادی و زمانی را می‌توان ذکر کرد. متغیرهای مهمی نظیر هندسه، غلتک‌ها، نرخ تغذیه، هندسه قطعه کار و ماندرل، سرعت دورانی ماندرل، جنس اجزا و شرایط متالوژیکی آن بر نحوه سیلان، ایجاد عیوب، نیروها و توان در این فرآیند تأثیرمی‌گذارد. در هر فرآیند تغییر شکل یا پیش‌بینی رفتار نمونه تحت تنش‌ها و کرنش‌های اعمالی و میزان پایداری فلز تا قبل از رسیدن به شکست امری مطلوب می‌باشد. لازم به ذکر است که این فرآیند در وضعیت‌های خاص کاری، با اصطلاحات فنی مختلفی از قبیل چرخکاری داغ، فلوفرمینگ و غیره شناخته می‌شوند.

2-1 شکل‌دهی چرخکاری

یکی از فرآیندهای قدیمی جهت ساخت قطعات توخالی متقارن بدون نیاز به تراشکاری که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد فرآیند چرخکاری است. اسناد نشان می‌دهد این فرآیند در مصر باستان جهت ساخت ظروف تزئینی و مصرفی (کوزه‌های گلی) به کار برده شده است. اما بعد از سال‌ها این فرآیند نسبت به دیگر فرآیندهای شکل‌دهی مانند کشش عمیق و آهنگری کم رنگ‌تر شد. و لیکن مزایای ذاتی و انعطاف پذیری فرآیند از قبیل ابزار ساده، نیاز به فرم‌دهی کم و همچنین پدیدار شدن صنایع مدرن در ساخت قطعات سبک با مقطع نازک باعث ایجاد یک دوره جدید برای این فرآیند شد.

در ابتدای قرن دهم میلادی این روش به صورت یک صنعت توسط چینی‌ها بکار گرفته شد. پس از گذشت سال‌های زیاد این فرآیند شکل‌دهی به جهان غرب آورده شد. این صنعت در قرون وسطی در زمان ادوارد سوم به انگلیس آمد و پس از یک دوره‌ی پانصد ساله در حدود سال 1840 میلادی فردی به نام جردن این صنعت را به آمریکا وارد کرد [1].

در ابتدا این فرآیند توسط دستگاه‌های ساده‌ای انجام می‌گرفت و به علت دستی بودن هدایت ابزار نقش اپراتور بسیار مهم بود و اپراتور باید مهارت زیاد و تجربه‌ی طولانی در این کار می‌داشت. سال‌های متمادی فرآیند فلزات به طور اصولی غیر قابل تغییر باقی ماند. در آن سال‌ها اصولاً از فلزات نرم مانند نقره، آلومینیوم و مس با ضخامت کم برای چرخکاری استفاده می‌شد [2].

فلزات سخت و ورق‌های ضخیم با این روش قابل تغییر شکل نبودند. در شروع قرن بیستم چرخکاری به عنوان یک هنر به جای علم مطرح شد، به طوری که تولید قطعات به اپراتور ورزیده و ماهر نیاز داشت. در این زمان انحراف از تلرانس‌های ابعادی زیاد مهم نبود و اگر چه هزینه به علت نیاز به مهارت اپراتور بالا بود، این هزینه به طور قابل ملاحظه‌ای توسط قیمت پایین ابزار جبران می‌شد.

با صنعتی شدن ملل در میانه قرن بیستم، فرآیند چرخکاری از حالت دستی به ماشینی تبدیل شد و امکان شکل‌دهی فلزات سخت و ضخیم‌تر در چرخکاری به وجود آمد. این نوع جدید را چرخکاری قدرتی نامیدند. از سال 1980 با تغییر طراحی ماشین‌ها، دگرگونی در توان بالا، استفاده از ماشین‌های اتوماتیک با نوآوری در سیستم‌های کنترل و بهبود فرآیندها، تکنولوژی چرخکاری به طور قابل ملاحظه‌ای پیشرفت کرد و روش‌های دیگری از این نوع فرآیند مانند شکل‌دهی برشی و چرخکاری لوله یا فلوفرمینگ در چندین کشور از جمله سوئد، آلمان، انگلستان، ژاپن و ایالات متحده آمریکا معرفی شدند [3].

اگر چه در ابتدا از این روش‌ها بیشتر برای تولید قطعات نظامی استفاده می‌شد، اما امروزه تولید برخی از قطعات خودروها مانند قطعاتی از کلاچ یا چرخ تنها توسط این فرآیندها مقرون به صرفه است.

این فرآیند روشی جهت شکل‌دهی قطعات توخالی بدون درز با محور تقارن است که برای فرم دهی ترکیبی از نیروی موضعی و چرخشی استفاده می‌شود. در این روش مواد اولیه به صورت ورق گرد می‌باشد، این قطعه بین قالب و مرغک قرار گرفته، توسط نیروی فشاری اعمالی از مرغک بر روی قالب مهار می‌شود. گشتاور چرخشی از قالب به بلانک منتقل شده باعث چرخش آن می‌شود. در این حال ورق توسط ابزار شکل‌دهی تحت فشار قرار گرفته در یک یا چند مرحله بر روی قالب (در سه حالت متفاوت) کشیده می‌شود. در این فرآیند محدوده پلاستیک ناحیه کوچک بین ابزار غلتکی و قالب می‌باشد که این امر باعث کاهش نیروی تغییر شکل پلاستیک و درنتیجه کاهش مقدار توان مصرفی می‌گردد.

با استفاده از این روش، قطعاتی توخالی به شکل مخروط، نیم کره، لوله، استوانه و یا ترکیبی از اینها در اندازه و کانتورهای متنوع ساخته می‌شود. همچنین در این فرآیند با روش‌های خاص می‌توان قطعات بیضوی توخالی تولید کرد. در مواردی که جهت تولید یک قطعه از نظر اندازه یا ساختار پیچیده و یا هزینه زیاد ابزار و قالب نتوان از فرآیند کشش عمیق استفاده کرد شکل‌دهی چرخشی روش جایگزین مناسبی محسوب می‌شود.
قطعاتی با قطرهای 7 تا 7900 میلیمتر و تا ضخامت 76 میلیمتر را می‌توان در این فرآیند شکل‌دهی کرد. کار مکانیکی بر روی فلز در حین فرآیند چرخکاری مزایای طبیعی متالوژیکی پدید می‌آورد. بدین صورت که در یک بافت با ساختاری نیرومند در اثر فشار زیاد یک بافت موازی با محور اصلی معلول ایجاد جریان پلاستیک فلز بوجود می‌آید که وضعیت این بافت شباهت زیادی به فورجینگ دارد. به علاوه کار سرد انجام شده بر روی فلز در حین فرآیند مشخصات کششی آن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. به طوری‌که برای آهن نرم استحکام تسلیم بعد از فرآیند از 3300 به 60000 psi افزایش یافته است. یک‌پارچه بودن مواد از مزایای دیگر فرآیند چرخکاری می‌باشد که باعث بالا بردن درجه قابلیت کار کرد ماده می‌شود. در این فرآیند بر خلاف ریخته‌گری، قطعه تولیدی نیاز به ماشین‌کاری‌های بعدی نداشته و هیچ گونه دور ریز مواد مشاهده نمی‌شود. تقریباً تمام مواد نرم با چقرمگی پایین قابل شکل‌دهی در فرآیند چرخکاری می‌باشند. به شرط آنکه مینیمم نرمی را به ازاء ازدیاد طول 2% داشته باشند [1].
بعضی از آلیاژهای مورد استفاده در ساخت قطعات در فرآیند چرخکاری به شرح زیر است:
فولاد زنگ نزن[1] سری 400، 300
سوپر آلیاژ آهن- نیکل
سوپر آلیاژ با پایه نیکل
آلیاژهای پایه کبالت
آلیاژهای آلومینیوم همچون 1100و 2014و6061
دیگر آلیاژهای غیر آهنی همچون مس، برنج و پلاتینیوم

1-2-1 مزایای چرخکاری

مزایای اصلی چرخکاری عبارتند از: قیمت پایین تولید برای بسیاری از کاربردها، هزینه پایین ابزار، سطوح هموار و تلرانس‌های دقیق و بهبود خواص مکانیکی.

1-2-1-1 کاهش هزینه تولید

اغلب چرخکاری باعث می شود که قطعه خیلی ساده تر و به علاوه بصورت یک تکه ساخته شود و طبیعتا نیازی به استفاده از جوشکاری و یا روشهای دیگر برای سوار کردن قطعات بر روی هم نیست، بنابراین قیمت تمام شده کاهش یافته و به علاوه اعوجاج هایی که ناشی از جوشکاری است نیز از بین می رود. کاهش هزینه تولید از طریق سرمایه گذاری کمتر مورد نیاز در تجهیزات اصلی، ابزارهای ساده و ارزان مورد استفاده، صرفه جوئی در ماده اولیه و توانایی تغییر در طراحی با حداقل قیمت نیز قابل دست‌یابی است [4].

[1] Stainless steel