دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

آنالیز و طراحی چیدمان نقاط گیره‌بندی فیکسچر برای قطعات منشوری‌شکل به‌کمک کامپیوتر

استاد راهنما :

دکتر محسن شاکری

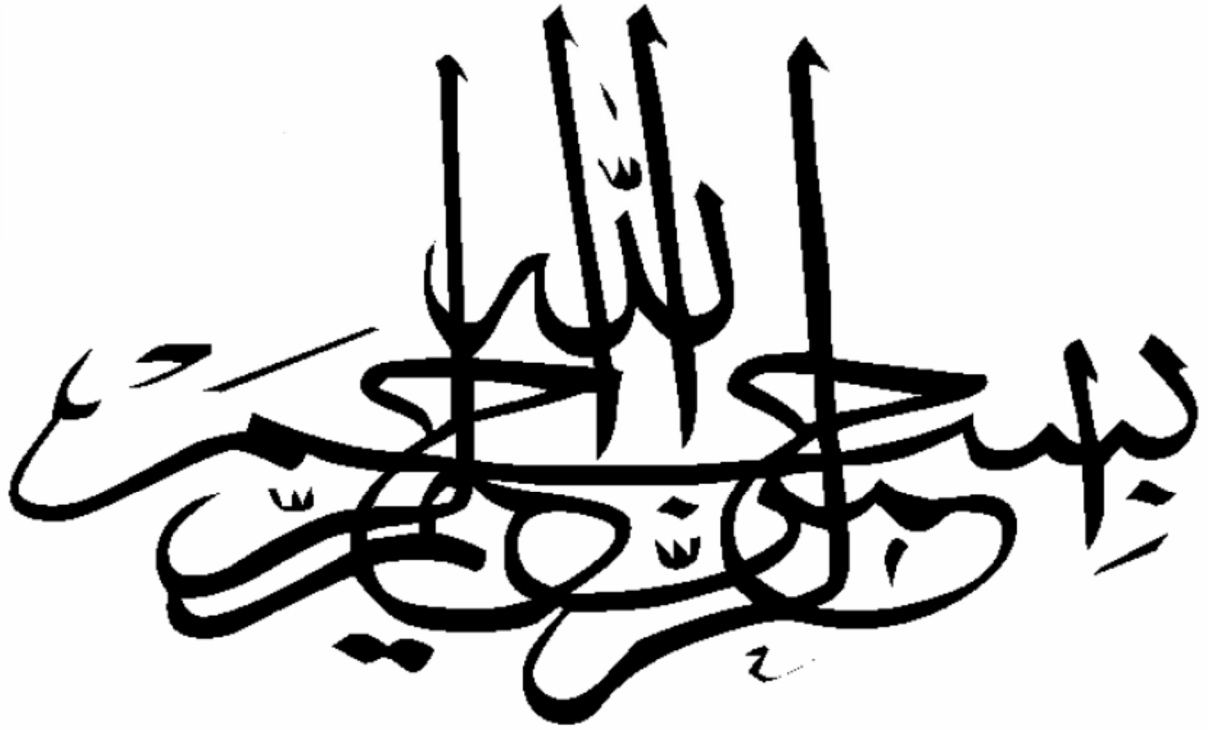
استاد مشاور:

مهندس وحید عابدینی

نام دانشجو:

حسین حاجی میری

شهریورماه 92


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک-ساخت وتولید

آنالیز و طراحی چیدمان نقاط گیره‌بندی فیکسچر برای قطعات منشوری‌شکل به کمک کامپیوتر

استاد راهنما :

دکتر محسن شاکری

استاد مشاور:

مهندس وحید عابدینی

اساتید داور:

دکتر محمد بخشی جویباری

دکتر عبدالحمید گرجی

نام دانشجو:

حسین حا جی میری

شهریور ماه 92

Small deeds done, are better than great deeds planned.

Peter Marshal

تشکر و قدرانی

مواجه شدن با مسائل و سختی‌ها، امری اجتناب‌ناپذیر است. نحوه مواجهه انسان‌ها با این مسائل، آنها را از یکدیگر متمایز می‌کند. در این مدت، هیچگاه بزرگ‌مردانی را از یاد نخواهم برد که همواره مرا تشویق به تلاش بیشتر می‌کردند. دکتر محسن شاکری که با جملات کوتاه و نافذ خود، تأثیر به سزایی در پیشبرد سریع‌تر کارها و ایجاد انگیزه بیشتر داشتند. مهندس وحید عابدینی که با حمایت‌های همیشگی خود، هر بار به من انرژی دوباره ای برای ادامه کار می‌دادند.

هر پایانی را آغازی لازم است که از یاد بردن آن، هیچ پایانی را در پی نخواهد داشت. پدر و مادرم که هر آنچه دارم، ثمره نفس گرم آنهاست و امیدوارم که سالیان درازی از حضور این گنج های گرانبها بهره مند باشم.

در نهایت از دوستان عزیزم آقایان صمد اسماعیلی، میرعماد حسینی، مهران قاسمپور، اصغر شمسی، حسین قربانی، صالح ابراهیم زاده، مجید اوصیا، روح اله شکری، کمال داودی، میلاد صدیقی، روزبه سقطچی، حمید قربانی، بهزاد اسکندری، علی عباسی، بابک طور، سید مجتبی هاشمی، سید اسماعیل موسوی، سید مصطفی کاظمی، محمدحسن ترحمی، مجید احمدیان، سبحان نظری، سینا یارمحمدی، علی زحمتکش، آرمان حسن‌پور، سید عسکری مهدوی، مصطفی حبیب نیا، سعید احمدی، امیر خزائی و رضا نوری که به هر نحوی مرا در مسیر انجام پایان نامه یاری دادند، کمال سپاسگزاری را دارم.

حسین حاجی میری

شهریور 92

تقدیم به

پدر و مادرم،

یگانه کسانی که به من عشق می‌ورزند.

چکیده

هدف اصـلی هر واحد تولیدی، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش کیفیت محصـول و نرخ تولید بالا اسـت. یکی از نیازمندی‌های رسـیدن به این هدف، موضـوع طراحی فیکسـچر اسـت. کار اصـلی فیکسـچرها، موقعیت‌دهی و گیره‌بندی مناسـب برای جلوگیری از جابجایی قطعه‌کار تحت نیروهای ماشینکاری و نیروهای خارجی است. از نکات مهم در طراحی فیکسچر کارآمد، تعیین بهترین چیدمان عناصر گیره‌بندی است. روشهای سنتی طراحی فیکسچر، عموماً مبتنی بر تجربه طراح یا استفاده از روش آزمون و خطا است و جوابگوی نیازمندیهای صنعت نیست. بنابراین، روشهای جدیدی بر مبنای اصول علمی در دهه های گذشته گسترش یافته‌اند.

خطاهای به وجود آمده در قطعه‌کار، رابطه مسـتقیمی با میزان تغییرشـکل آن در نقاط تماس با عناصـر فیکسـچربندی دارد. هدف محققین، یافتن بهترین چیدمان فیکسـچربندی، به منظور کاهش میزان تغییرشکل ایجادشده در قطعه‌کار است. بنابراین، روش هایی برپایه بدنه صـلب، مکانیک‌تماس و المان‌محدود، توسـط محققین ارائه شـده‌اند. روش اول و دوم به دلیل سـاده‌سـازیهایی که برای حل مسـئله اتخاذ می‌کنند، جواب‌های قابل اطمینانی را نمی‌دهند. جواب‌های بدسـت آمده توسـط روش سـوم نسـبت به دو روش قبلی، دارای دقت بالاتری است. با این وجود، زمان حل مسئله در این روش، نسبت به دو روش قبلی، طولانی‌تر است.

هدف از این پایان‌نامه، دسـتیابی به بهترین چیدمان فیکسـچربندی اسـت که منجر به تولید محصـولی در محدوده تلورانسی طراحی می‌شـود. این کار، با یکپارچه‌سـازی نرم افزارهای آباکوس و متلب (که الگوریتم ژنتیک در آن نوشـته شـده بود) انجام شد. تابع هدف، کاهش میزان تغییرشـکل قطعه‌کار (جابجایی گره‌ها در قطعه‌کار مش‌بندی شـده) بر اثر نیروهای گیره‌بندی و ماشین‌کاری است. در گام اول، مدل مربوطه در آباکوس تحلیل گشـته و فایل متنی ایجاد شـده، به عنوان ورودی الگوریتم ژنتیک قرار می‌گیرد. الگوریتم ژنتیک، تغییرات مربوط بـه چیدمانها را در این فایل متنی اعمال نموده و آن را برای تحلیل مجدد در آباکوس آماده می‌کند. با اتمام تحلیل، یک فایل خروجی از جابجایی گره‌های قطعه‌کار (با فرمت dat.) ایجاد می‌گردد که برای محاسـبه تغییرشـکل قطعه‌کار اسـتفاده می‌شـود. خروجی نهایی الگوریتم ژنتیک، چیدمانی از عناصر فیکسچربندی است که کمترین میزان تغییرشکل در قطعه‌کار را به همراه دارد. بدین ترتیب، قرار گرفتن قطعه‌کار در محدوده تلورانسی طراحی نیز تضمین می‌گردد.

واژه هـای کلیـدی: طراحی و سـاخـت بـه کمـک کـامپیوتر، چیـدمـان گیره‌بنـدی، نیروهـای گیره‌بنـدی، المـان محـدود، الگوریتم‌ژنتیک

فهرست مطالب

1فصل اول: پیشینه تحقیقات..... 1

1-1مقدمه ای بر اصول فیکسچربندی..... 1

۱-۱-۱انواع فیکسچر 1

۱-۱-۲نیازمندی‌های عمومی یک فیکسچر..... 2

۱-۱-۳حالت فرم-بسته و حالت نیرو-بسته..... 3

2-1 مروری بر تحقیقات گذشته..... 3

۱-۲-۱ مقدمه 3

۱-۲-۲ روش‌های بررسی بهترین چیدمان عناصر فیکسچربندی..... 4

1-2-2-1جابجایی بدنه صلب 4

2-2-2-1شاخص پایداری نقطه تماس 6

۱-۲-۳روش مکانیک تماس 8

3-2-2-1 1تئوری هرتز 9

1-1-3-2-1تماس بین یک نفوذکننده استوانه‌ای و یک نیم فضای الاستیک..... 10

2-3-2-1 تماس بین یک نفوذکننده کره‌ای و یک نیم فضای الاستیک..... 12

۱-۲-۴روش المان محدود 17

2 فصل دوم: نحوه پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک..... 24

2-1مقدمه 24

2-2مبانیGA 24

2-3عملگرهای اصلی GA 25

۲-۳-۱جمعیت اولیه 25

۲-۳-۲تابع برازندگی 26

۲-۳-۳انتخاب 26

۲-۳-۴پیوند 28

۲-۳-۵جهش 28

۲-۳-۶معیار همگرایی 30

2-4تفاوت GA با روش‌های مرسوم بهینه‌سازی 30

2-5 الگوریتم ژنتیک با نخبه سالاری ساده 30
2-6اعتبارسنجی الگوریتم نوشته‌شده 31
۲-۶-۱مسئله اعتبارسنجی اول 31
۲-۶-۲مسئله اعتبارسنجی دوم 32
2-7ساختار الگوریتم ژنتیک به‌کاررفته در این تحقیق 34
۲-۷-۱ایجاد جمعیت اولیه 36
۲-۷-۲انتخاب 38
۲-۷-۳عملگر پیوند 38
۲-۷-۴عملگر جهش 39
۲-۷-۵معیار و فاکتورهای تابع هدف 39
3 فصل سوم: نتایج و بحث 41
3-1 مقدمه 41
3-2معرفی قابلیتهای نرمافزار آباکوس 41
3-3اجرای کامپیوتری یک تحلیل المان محدود 43
۳-۳-۱ پیش‌پردازشگر 43
۳-۳-۲ پردازشگر 43
۳-۳-۳پس پردازشگر 44
3-4نکات کلیدی در مدل‌سازی اجزای محدود 44
3-5شرح مسئله 45
۳-۵-۱مقدمه و توضیحات 46
۳-۵-۲فرمول‌بندی تابع هدف 46
۳-۵-۳فرضیات مسئله 47
۳-۵-۴قیود حاکم بر مدل‌سازی 48
۳-۵-۵روش حل 49
3-6مثال‌های مورد مطالعه 50
۳-۶-۱مثال اول 50
3-6-1-1رویکرد و نتایج حاصل از تحقیق کریشناکومار و ملکوته 51
3-6-1-2رویکرد و نتایج حاصل از تحقیق کایا 52

3-1-6-3 روند به کار گرفته‌شده در این تحقیق..... 53
4-1-6-3بهینه‌سازی چیدمان عناصر فیکسچربندی و نیروهای گیره‌بندی در مدل اول..... 58
۳-۶-۲مثال دوم.....61
1-2-6-3رویکرد و نتایج حاصل از تحقیق کومار و پالراج [26].....61
2-6-6-3 روند به کار گرفته‌شده در این تحقیق برای حل مثال دوم.....63
4 نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... 71
1-4 نتیجه گیری 69
2-4 پیشنهادات 71
مراجع 72

فهرست اشکال

شکل 1-1 - عناصر تشکیل‌دهنده یک فیکسچر [1] 2
شکل 1-2 - مخروط اصطکاک کولمب [5] 5
شکل 1-3- شماتیکی از تماس استوانه سرتخت با نیم فضای الاستیک [14] 10
شکل 1-4-شماتیک منطقه‌ای از نیم فضای الاستیک (به حجم$3((2a)$ بیشترین تنش را تحمل می‌کند 10
شکل 1-5- نمایی از میزان نفوذ استوانه نفوذکننده در نیم فضای الاستیک [14] 11
شکل 1-6- شماتیکی از نفوذ یک جسم کروی به درون نیم فضای الاستیک [14] 12
شکل 1-7- روابط بین شعاع کره نفوذکننده (R)، عمق نفوذ (d) و شعاع سطح تماس ((a در منطقه نفوذ 13
شکل 1-8- مدل تماس فیکسچر – قطعه به صورت فنر [15] 15
شکل 1-9 - نوع مش‌بندی و محل قرارگیری موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌ها و مسیر اعمال نیروهای ماشین‌کاری در قطعه‌کار دوبعدی [22] 19
شکل 1-10- شکل مورد مطالعه در تحقیق کومار و پالراج [26]..... 21
شکل 1-11- تغییرشکل قطعه در چیدمان فیکسچر بهینه در تحقیق کومار و پالراج [26] 22
شکل 2-1 - نمودار گردشی CGA و BEGA [30] 25
شکل 2-2 - انتخاب چرخ گردان [30] 27
شکل 2-3- پیوند یک نقطه‌ای [30]..... 28
شکل 2-4 - جهش فرد a [30]..... 29
شکل 2-5 - شکل مربوط به مسئله اعتبارسنجی اول 31
شکل 2-6- نحوه همگرایی الگوریتم ژنتیک در مسئله اعتبارسنجی اول..... 32
شکل 2-7 - شکل مربوط به مسئله اعتبارسنجی دوم..... 33
شکل 2-8- نحوه همگرایی الگوریتم ژنتیک در مسئله اعتبارسنجی دوم 33
شکل 2-9 - فلوچارت مربوط به الگوریتم توسعه داده‌شده در این پژوهش..... 35
شکل 2-10 - یک چیدمان فیکسچر در قالب کروموزوم 36
شکل 2-11 – گره‌های قرار گرفته در منطقه موقعیت‌دهی اول 37
شکل 3-1- پارامترهای مربوط به ابعاد قطعه‌کار، نحوه فیکسچربندی و محل اعمال نیروهای ماشین‌کاری مثال اول [22و 24] 51
شکل 3-2- روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در مثال اول (روش به‌کاررفته در این تحقیق)..... 57
شکل 3-3 – چیدمان بهینه برای قطعه‌کار مثال اول (بدون در نظر گرفتن نیروی گیره‌بندی)..... 58
شکل 3-4 - چیدمان بهینه برای قطعه‌کار مثال اول (با در نظر گرفتن نیروی گیره‌بندی 59
شکل 3-5 - روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در مثال اول (با رویکرد بهینه‌سازی همزمان چیدمان فیکسچربندی و نیروهای گیره‌بندی) 60
شکل 3-6- نمایی از سطوح موقعیت‌دهی و گیره‌بندی قطعه‌کار مربوط به مثال دوم [26].....61
شکل 3-7 - نمایی از نقاط مربوط به سطوح اول، دوم و سوم موقعیت‌دهی قطعه‌کار مربوط به مثال دوم [26].....62
شکل 3-8- روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در مدل بررسی‌شده دوم توسط کومار و پالراج [26].....63
شکل 3-9 – تأثیر انتخاب نوع مش بندی بر زمان انجام تحلیل.....66

شکل 3-10 – تأثیر زمان گام بر زمان انجام تحلیل 66
شکل 3-11 – تأثیر زمان گام بر زمان انجام تحلیل 67
شکل 3-12 – نحوه همگرایی الگوریتم توسعه داده‌شده برای حل مثال دوم 67
شکل 3-13 – محل قرارگیری موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌ها در حالت بهینه به دست آمده در این تحقیق 68

فهرست جداول

جدول 1-1 – مروری بر تحقیقات انجام‌شده با فرض صلب بودن قطعه‌کار 8
جدول 1-2 – مروری بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه مکانیک تماس 17
جدول 1-3- مروری بر کارهای انجام‌شده در زمینه المان محدود 22
جدول 2-1- نتایج حاصل از 5 بار اجرای الگوریتم برای مسئله اعتبارسنجی اول 32
جدول 2-2- نتایج حاصل از 5 بار اجرای الگوریتم برای مسئله اعتبارسنجی دوم 33
جدول 3-1- محدوده پارامترهای تحت بررسی در مورد مطالعاتی اول [22 و 24] 51
جدول 3-2 - نتایج حاصل از رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش برای مثال اول (بهینه‌سازی چیدمان عناصر فیکسچربندی) 57
جدول 3-3 - نتایج حاصل از انتخاب تعداد گره‌های مختلف برای شبیه‌سازی مسیر حرکت ابزار 55
جدول 3-4 - پارامترهای به‌کاررفته در الگوریتم ژنتیک برای حل مثال اول 58
جدول 3-5 - نتایج حاصل از رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش برای مثال اول (بهینه‌سازی چیدمان عناصر فیکسچربندی و مقادیر نیروهای گیره‌بندی) 60
جدول 3-6- بازه‌های مربوط به مناطق موقعیت‌دهی و گیره‌بندی [26] 62
جدول 3-7- چیدمان اولیه و بهینه به دست آمده توسط کومار و پالراج [26] 62
جدول 3-8 – متغیرهای بررسی‌شده در شبیه‌سازی مدل مربوط به مثال دوم 65
جدول 3-9 - چیدمان اولیه و بهینه به دست آمده در این پژوهش برای مثال دوم 69

1 فصل اول: پیشینه تحقیقات

۱-۱ مقدمه ای بر اصول فیکسچربندی

فیکسچر[1] وسیله‌ای برای موقعیت‌دهی[2]، نگهداری[3] و حمایت[4] از قطعه‌کار در طول عملیات تولیدی است. فیکسچرها ضروری‌ترین عناصر یک فرایند تولیدی می‌باشند، چرا که نقش به سزایی در بسیاری از مراحل تولید، بازرسی و مونتاژ دارند. فیکسچر باید قطعه‌کار را به درستی در راستای تعیین‌شده نسبت به ابزار ماشین‌کاری، ابزار اندازه‌گیری، یا نسبت به یک قطعه دیگر در عملیات مونتاژ و جوشکاری موقعیت‌دهی کند. این موقعیت‌دهی باید در طول انجام عملیات، توسط گیره‌ها حفظ گردد. جیگ‌ها شبیه فیکسچرها هستند؛ با این تفاوت که نه تنها برای موقعیت‌دهی و نگهداری قطعه‌کار استفاده می‌شوند، بلکه به منظور هدایت ابزار سوراخ‌کاری و سوراخ تراشی نیز به کار می روند [1].

۱-۱-۱ انواع فیکسچر

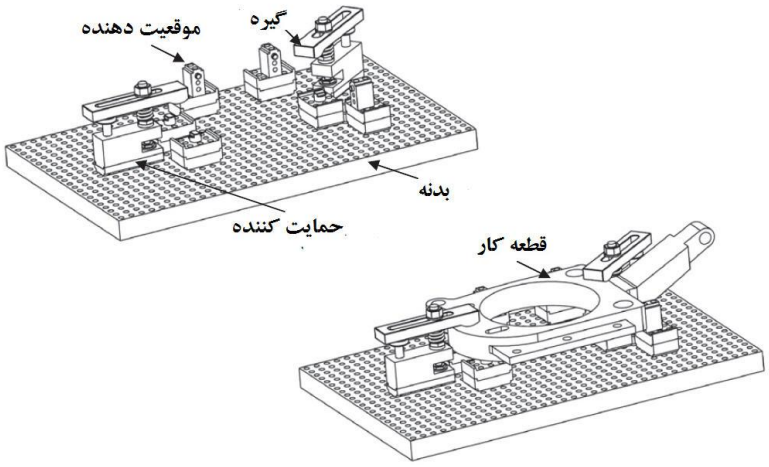
انواع متنوعی از فیکسچرهای سنتی وجود دارد. بر طبق شکل قطعه‌کارها و کاربردشان، آن‌ها را می‌توان در چهار دسته مجزا طبقه‌بندی نمود که عبارت‌اند از: فیکسچرهای صفحه‌ای مدولار[5]، فیکسچرهایی با صفحات زاویه‌دار، گیره‌ها و سه‌نظام‌ها. یک فیکسچر شامل موقعیت‌دهنده، گیره، حمایت کننده و بدنه[6] است.

موقعیت‌دهنده معمولاً جزء ثابتی از یک فیکسچر است که با مقید کردن جابجایی قطعه‌کار، موقعیت آن را در داخل فیکسچر ایجاد و حفظ می‌کند. گیره یک عملگر فیکسچر است که اعمال نیرو می‌کند. نیروی اعمال‌شده توسط گیره سبب حفظ موقعیت ایجادشده در قطعه‌کار، در مقابل نیروهای خارجی می‌شود. حمایت‌کننده یک

---

[1] - Fixture
[2] - Locating
[3] - Clamping
[4] - Supporting
[5] - Modular fixture
[6] - Body

عضو ثابت یا قابل تنظیم در فیکسچر است. اگر بر اثر اعمال نیروهای گیره‌بندی و یا خارجی، احتمال بروز تغییرشکل‌های شدید در قطعه‌کار وجود داشته باشد، حمایت‌کننده‌ها در زیر قطعه‌کار به کار گرفته می‌شوند تا مانع بروز تغییرشکل احتمالی شوند و یا از شدت آن بکاهند. باید حمایت‌کننده‌ها با موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌ها انطباق داشته باشند. اصلی‌ترین عضو یک فیکسچر، بدنه آن است. عناصر مختلف فیکسچربندی یعنی موقعیت‌دهنده‌ها، گیره‌ها و حمایت‌کننده‌ها بر روی بدنه فیکسچر سوار می‌شوند. ارتباط بین عناصر فیکسچربندی اشاره‌شده در فوق توسط بدنه فیکسچر برقرار می‌گردد. در شکل 1-1، تمامی عناصر اشاره‌شده در فوق را مشاهده می‌کنید [1].



شکل 1-1 - عناصر تشکیل‌دهنده یک فیکسچر [1]

۱-۱-۲ نیازمندی‌های عمومی یک فیکسچر

به منظور حفظ تعادل قطعه‌کار در طول عملیات ماشین‌کاری، یک فیکسچر باید چندین نیازمندی را برآورده کند. این نیازمندیها شامل موقعیت‌دهی دقیق، ایجاد قید هندسی، مقیدسازی سرتاسری قطعه‌کار و ایجاد تغییرشکل های محدود (در محدوده تلورانسی) در قطعه‌کار است [1].

۱-۱-۳ حالت فرم-بسته[7] و حالت نیرو-بسته[8]

به طور کلی، فرم-بسته بر آنالیز سینماتیک قطعه‌کار و نیرو- بسته بر تعادل استاتیکی قطعه‌کار تأکید دارند. هدف اصلی در فرم-بسته، محدود کردن حرکت قطعه‌کار، بدون اعمال نیرو است. از دید عملی، حالت فرم-بسته معادل سکون یا عدم لغزش است. به بیان دیگر، فرم- بسته بودن، خاصیتی هندسی است که در آن قطعه‌کار صلب، توسط نیروهای تماسی یک‌سویه مهار می‌گردد. این نیروهای یک‌سویه از سوی عناصر فیکسچربندی اعمال می‌شوند. هدف اصلی در حالت نیرو- بسته، حفظ تعادل قطعه‌کار در برابر نیروهای خارجی و ایجاد تعادل استاتیکی قطعه‌کار است. یعنی با اعمال نیروهای فیکسچربندی بر روی قطعه‌کار در نقاط دلخواه، تعادل نیرویی و گشتاوری را در سیستم فیکسچر-قطعه‌کار ایجاد می‌کنند. به طور کلی، گیره در حالت نیرو-بسته است اگر و فقط اگر در حالت فرم-بسته نیز باشد [2].

برنامه‌ریزی فیکسچر به انتخاب سطوح و نقاط موقعیت‌دهی و گیره‌بندی بر روی قطعه‌کار می‌پردازد [1]. به طوری که با انتخاب بهترین چیدمان عناصر فیکسچربندی، تعادل قطعه‌کار در طول فرایند ماشین‌کاری حفظ شود و دقت محصول تولید شده از محدوده تلورانسی مورد نظر طراح تجاوز نکند.

۱-۲ مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۲-۱ مقدمه

با توجه به اهمیت طراحی فیکسچر در سال‌های اخیر، این موضوع مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. دستیابی به قطعه‌کاری که دارای دقت بالایی باشد، به نوبه خود نیازمند طراحی یک فیکسچر مناسب است. چیدمان عناصر فیکسچربندی از قبیل موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای را در این راستا ایفا می‌کند.

---

[7] - Form Closure

[8] - Force Closure

نیکسون [3] بیان کرد که تقریباً 40 درصد قطعات برگشتی در کارخانه‌ها به دلیل خطاهای ابعادی آن‌ها است که ناشی از فیکسچربندی نامناسب است. حمایت‌کننده‌ها و موقعیت‌دهنده‌ها به منظور کاهش خطای ایجادشده (بر اثر تغییرشکل الاستیک) در قطعه‌کار به کار می‌روند. بهینه‌سازی موقعیت‌های مربوط به حمایت‌کننده‌ها، موقعیت‌دهنده‌ها و گیره‌ها یک مسئله حیاتی در کمینه کردن خطای هندسی قطعه‌کار تحت ماشین‌کاری است. بنابراین، هدف محققین یافتن بهترین چیدمان عناصر فیکسچربندی است؛ به گونه‌ای که در ضمن مهار کامل قطعه‌کار در طول فرایند ماشین‌کاری، کمترین تغییرشکل را در مناطق تماسی به وجود آورد. لازم به ذکر است که در گیره‌بندی، شاهد دو نوع نیرو هستیم که عبارت‌اند از:

1- نیروهای کنشی: نیروهایی که از سوی گیره‌ها بر قطعه‌کار اعمال گشته و از نظر اندازه، معلوم می‌باشند.

2- نیروهای واکنشی: نیروهایی که از سوی موقعیت‌دهنده‌ها بر قطعه‌کار اعمال گشته و از نظر اندازه مجهول می‌باشند. بر حسب چیدمان عناصر گیره‌بندی، مقادیر نیروهای واکنشی تغییر می‌کند.

در طول سالیان گذشته محققین، سه رویکرد را برای رسیدن به بهترین چیدمان عناصر فیکسچربندی در پیش گرفتند که شامل روش جابجایی بدنه صلب[1]، روش مکانیک تماس[2] و روش تحلیل المان محدود[3] می‌شود. می‌شود.

۱-۲-۲ روش‌های بررسی بهترین چیدمان عناصر فیکسچربندی

1-2-2-1 جابجایی بدنه صلب

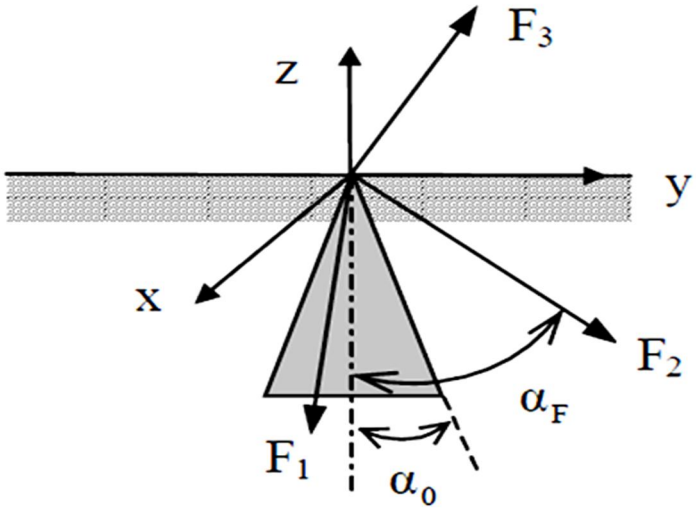
بیش از یک قرن پیش، رولیکس [4] نظریه‌ای را بیان کرد که شرایط مقید بودن قطعه‌کار را شرح می‌داد. این نظریه تحت عنوان فرم-بسته شناخته می‌شود. از آن زمان به بعد، بسیاری از تلاش‌های صورت‌گرفته در زمینه

[1] - Rigid-body displacement

[2] - Contact mechanics

[3] - Finite element method (FEM)

طراحی فیکسچر، با رویکرد فرم-بسته بوده است. روش جابجایی بدنه صلب، با فرض صلب بودن قطعه‌کار و عناصر فیکسچربندی و همچنین با به‌کارگیری معادلات تعادل استاتیکی، سعی در یافتن نیروهای واکنشی در مناطق موقعیت‌دهی و به حداقل رساندن این نیروها دارد. از آنجایی که این روش دارای فاصله زیادی با شرایط واقعی است، بنابراین نمی‌تواند جواب مطمئنی را به طراح فیکسچر ارائه کند. زیرا اگرچه جواب‌های نامحدودی را برای تعیین نیروها دارد؛ اما قادر به بررسی حالات نامعین استاتیکی نیست. همچنین نمی‌تواند به تغییرشکل ایجادشده در نقاط موقعیت‌دهی و گیره‌بندی بپردازد. بنابراین، در مورد کیفیت سطوح گیره‌بندی شده نمی‌تواند نظری بدهد. برخی از محققین مبنای حل مسئله را نیروهای اصطکاکی قرار دادند. آن‌ها بر این باور بودند که اگر نیروهای تماسی در داخل محدوده مربوط به مخروط اصطکاکی کولمب (شکل 1-2) قرار داشته باشد، حفظ تعادل قطعه‌کار در اثر اعمال نیروهای خارجی، تضمین‌شده‌تر است.



شکل 1-2 - مخروط اصطکاک کولمب [5]

شکل 1-2، مخروط اصطکاک کولمب را نمایش می‌دهد. شرایطی که یک نقطه تماس باید داشته باشد تا تماس خود را حفظ کند، این است که نیروی تماسی در داخل مخروط اصطکاک قرار گیرد. در شکل، سه نیرو در نقطه تماس بر سطح اعمال‌شده‌اند. F_1 در داخل مخروط اصطکاک قرار دارد (منطقه سایه‌دار)، این نیرو در تماس با سطح باقی خواهد ماند؛ F_2 در خارج از مخروط واقع‌شده است، اما کماکان به سمت قطعه‌کار است، این

نیرو سبب لغزش خواهد شد، F_3 به سمت خارج سطح است، این نیرو سبب جدا شدن از سطح می‌شود. کانگ [5] در پایان‌نامه دکترای خود، مفهوم شاخص پایداری نقطه تماس را به صورت زیر بیان کرد.

2-2-2-1 شاخص پایداری نقطه تماس[1]

برای تأیید پایداری در نقطه تماس، مطلوب است یک مقدار عددی داشته باشیم. همچنین بهتر است که این اندازه‌گیری، نرمال‌شده[2] باشد تا شاخص پایداری را از روی مقدار آن دانست. برای اندازه‌گیری پایداری تماس، شاخص پایداری نقطه تماس معرفی شد. این شاخص دارای ویژگی‌های زیر است [5]:

- خارج از مخروط اصطکاک کلمب، شرایط عدم تعادل:

رابطه (1-1) [5]
$$-1 \leq CSI \leq 0$$

- بر روی مخروط اصطکاک کلمب، شرایط تعادل مرزی:

رابطه (1-2) [5]
$$CSI = 0$$

- داخل مخروط اصطکاک کلمب، شرایط تعادل کامل:

رابطه (1-3) [5]
$$0 \leq CSI \leq 1$$

با توجه به شکل 2-1، برای برآورده شدن شرایط فوق،CSI به صورت فرمول زیر بیان می‌گردد:

رابطه (1-4) [5]
$$CSI = \begin{Bmatrix} 1 - \frac{\propto_F}{\propto_0} \\ -\frac{\propto_F - \propto_0}{\pi - \propto_0} \end{Bmatrix}$$

همان طور که در شکل 2-1 نشان داده‌شده است، α_0 زاویه (شعاع) مخروط اصطکاک است و α_F زاویه (شعاع) میان بردار نیرو و محور $-Z$ است. پس از به دست آمدن CSI، بررسی پایداری فیکسچر راحت است.

---

[1] - Contact Stability Index (CSI)

[2] - Normalized

فقط لازم است که همه نقاط تماس در تماس با قطعه‌کار باقی بمانند. این بدین معنی است که در همه نقاط تماس $CSI > 0$ باشد.

لازم به ذکر است که در برخی از معادلات ارائه‌شده توسط کانگ [5]، به منظور دستیابی به بهترین چیدمان عناصر فیکسچربندی، پارامترهایی لحاظ شده‌اند که دلایل علمی برای آن‌ها بیان نشده است و این امر موجب می‌شود که صحت روش ارائه‌شده توسط این محقق، در هاله‌ای از ابهام باقی بماند.

تائو و همکارانش[6] در تحقیقی که به منظور یافتن بهترین نقاط گیره‌بندی انجام دادند، مبنای کار خود را بر مبنای وجود اصطکاک میان عناصر گیره‌بندی و قطعه‌کار قرار دادند. روش آن‌ها بر اساس ملاک نیرو-بسته، یک ابزار ساده و درعین‌حال کارآمدی را برای تعیین مجموعه بهترین نقاط گیره‌بندی از میان چیدمان‌های مختلف ارائه می‌داد. ترتیب گیره‌بندی نیز در درون روش ارائه داده‌شده نهفته بود. روش آن‌ها قابلیت رویارویی با قطعه‌کار با هر شکل پیچیده را داشت. این روش برای حل مسائل مختلف فیکسچربندی، به اندازه کافی قدرت داشت. یکی دیگر از مزایای این روش، سهولت فرموله کردن و رسیدن به راه حل مناسب آن بود. عملکرد این الگوریتم توسط چند مثال کاربردی پیچیده مورد تأیید قرار گرفت. آن‌ها کل مجموعه فیکسچر-قطعه‌کار را صلب فرض کرده و ماهیت الاستیک/پلاستیک قطعه‌کار را نادیده گرفته بودند. همچنین، تماس بین عناصر فیکسچربندی و قطعه‌کار را از نوع نقطه‌ای فرض کردند. هدف آن‌ها یافتن مناطقی در داخل محدوده‌های اصطکاکی بود که بیشترین پایداری را در مقایسه با سایر نقاط ممکن، در قطعه‌کار ایجاد کند. چنین نقطه‌ای باید در مرکزی‌ترین بخش محدوده اصطکاکی واقع شده باشد. روش ارائه‌شده آن‌ها تنها نقاط گیره‌بندی را تحت پوشش قرار می‌داد و هیچ‌گونه راه‌حلی را برای انتخاب نقاط موقعیت‌دهی ارائه نمی‌کرد. همچنین روش آن‌ها برای حالت‌های نامعین استاتیکی جوابگو نبود.

روش جسم صلب دو محدودیت عمده دارد که عبارت‌اند از:

- مهم‌ترین محدودیت روش جسم صلب این است که وقتی تعداد مجهولات نیروی تماسی بیش از 6 باشد، از نظر استاتیکی نامعین می‌گردد. در نتیجه جابجایی قطعه‌کار را با این روش نمی‌توان به

دست آورد. پس تنها برای حالات سه بعدی که دارای مجهولات بیشتر از 6 تا نیست، کارایی دارد. این محدودیت را ممکن است با در نظر گرفتن الاستیسیته در سیستم فیکسچر – قطعه‌کار رفع کرد.

- علاوه بر این، با فرض صلب بودن قطعه‌کار، تغییرشکل پلاستیک یا الاستیک قطعه‌کار در نظر گرفته نمی‌شود.

کارهای صورت گرفته به روش جسم صلب را می‌توان به اختصار در جدول 1-1 مشاهده نمود.

جدول 1-1 – مروری بر تحقیقات انجام‌شده با فرض صلب بودن قطعه‌کار

توضیح	محققین	سال
استفاده از مدل سینماتیکی برای تحلیل موقعیت‌دهی؛ قابلیت باز و بسته کردن قطعه‌کار بر روی فیکسچر و مقیدسازی سرتاسری قطعه‌کار	آسادا و بای [7]	1985
استفاده از تحلیل بر پایه بدنه صلب برای تعیین چیدمان گیره‌بندی بر اساس تماس صفحه‌ای	دیمیتر [8]	1993
پیدا کردن بهترین چیدمان، با در نظر گرفتن سفتی نقاط تماس استفاده از بهینه‌سازی غیرخطی برای پیدا کردن پایداری قطعه‌کار	کینگ و هاتر[9]	1993
استفاده از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن چیدمانی که از نظر استاتیکی پایداری بالاتری دارند	وو و چان [10]	1996
بهینه‌سازی چیدمان بر اساس مقدار نیروی تماسی	دیمیتر [11]	1998
یافتن بهترین چیدمان فیکسچربندی که با پیش‌بینی مقادیر نیروی واکنشی، سعی در کمینه کردن نیروهای تماسی و کاهش خطای نهایی می‌شد	وانگ و پلینسکو [12]	2003

۱-۲-۳ روش مکانیک تماس

پس از آن که محققین با مشکلات مربوط به استفاده از روش جابجایی بدنه صلب (که در بخش فوق نیز به آن‌ها اشاره گردید) مواجه شدند؛ نیاز به رویکرد دیگری بود تا بتوان تغییرشکل‌های حاصل از اعمال نیرو را نیز در تحلیل‌ها لحاظ کرد. بنابراین، روش بر پایه مکانیک تماس به کار گرفته شد. مدلهایی که از این روش به دست می‌آمدند، قادر به پیش‌بینی نیروهای واکنشی موقعیت‌دهنده‌ها و همچنین تغییرشکل‌های موضعی بودند. در روش مکانیک تماس، نیازمند دانش اولیه در مورد نوع و نحوه تماس عناصر فیکسچربندی و قطعه‌کار هستیم. دانشی که

بتوان با کمک آن، تشخیص درستی در مورد حالات مختلف مربوط به تماس سطوح (از قبیل تماس کامل، تماس لغزنده و یا عدم وجود تماس) داشت [13]. بدین منظور، محققین با فرض صلب بودن عناصر گیره‌بندی و شکل‌پذیری قطعه‌کار، از تئوری هرتز[3] بهره می‌گیرند. آن‌ها در این روش، عموماً عناصر فیکسچربندی را یا به صورت سرتخت و یا به صورت نوک کروی فرض کرده و سپس با کمک روابط ریاضی، به تحلیل مناطق تماس می‌پردازند.

1-3-2-1 تئوری هرتز

از آنجایی که عناصر گیره‌بندی را در تحلیل‌ها از نوع سرتخت یا نوک کروی در نظر می‌گیرند؛ محققین از روابط مکانیک تماس هرتز برای محاسبه میزان تغییرشکل ایجادشده در سطوح تماس بهره می‌گیرند [14]. در زیر به روابط ریاضی حاکم بر این دو نوع تماس اشاره‌ای می‌شود. فرضیاتی که در تئوری هرتز اعمال می‌گردد شامل موارد زیر است:

1- تنش‌ها کم بوده و در محدوده الاستیک قرار دارند؛

2- هر کدام از جسم‌های در حال تماس می‌توانند به عنوان نیم فضای الاستیک[4] شناخته شوند. یعنی سطوح تماسی در مقایسه با ابعاد قطعات در حال تماس، دارای ابعاد بسیار کوچکی می‌باشند؛

3- سطوح تماسی به صورت پیوسته می‌باشند؛

4- سطوح تماسی بدون اصطکاک هستند.

[3] - Hertzian Theory

[4] - Elastic half- space