مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۴، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۱۳۹-۱۴۳

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۹۴

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

مدل‌سازی ریاضی تأثیر پارامتر ماشین‌ابزار در طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت در قطعه‌های منشوری

داود منافی[۱]، محمدجواد ناطق[۲*]

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق‌پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵، nategh@modares.ac.ir

چکیده

سامانه‌های طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه پلی برای یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و تولید به‌کمک رایانه می‌باشند که طرح‌ریزی ستاپ‌ها مهم‌ترین قسمت آن می‌باشد. فیچرهای که درون یک ستاپ قرار می‌گیرند؛ علاوه بر مشترک بودن در جهت ابزار و رعایت قواعد ماشین‌کاری هندسی و تکنیکی، باید در ماشین‌ابزار و تجهیزات موردنیاز برای ماشین‌کاری نیز مشترک باشند. درصورتی‌که فیچرهای درون یک ستاپ به تجهیزات یا ماشین‌ابزارهای متفاوتی نیاز داشته باشند؛ باید طرح‌ریزی ستاپ‌ها دوباره انجام شود. ازاین‌رو ضروری است که تأثیر تجهیزات ماشین‌کاری ازجمله ماشین‌ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها نیز در نظر گرفته شود تا نیازی به طرح‌ریزی مجدد ستاپ‌ها نباشد. بنابراین در این مقاله چگونگی اضافه کردن پارامتر ماشین‌ابزار به روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت مطالعه و روابط ریاضی حاکم بر آن ارائه شده است. همچنین بعد از بدست آوردن روابط ریاضی، الگوریتم طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت برای این کار توسعه داده و در برنامه پایتون اوسی‌سی پیاده‌سازی و روی یک قطعه‌کار آزمایش گردیده است.

کلید واژگان: طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه، طرح‌ریزی ستاپ‌ها، ماشین‌ابزار، مدل‌سازی ریاضی، جایگشت

Mathematical modeling for effect of machine tools in setup planning method based on permutation for prismatic parts

Davood Manafi, Mohammad Javad Nategh*

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O.B. 14115-143 Tehran, Iran, nategh@modares.ac.ir

ABSTRACT

Setup planning is an important function in CAPP systems which is a bridge for integration of CAD and CAPP systems. All features in a specific setup must have the same TAD and satisfy the technical and geometrical rules. Also, these features must be machined in one machine tool. Setup planning must be regenerated if features in a specific setup need different equipment and machine tools. So, it is important for machine tools to be considered during the setup planning to avoid the setup replanning. In this paper, the effect of machine tools on the setup planning was studied and the mathematical formulas were introduced for this purpose. Finally, setup planning method was developed based on these mathematical formulas. The algorithm was programmed and verified in PythonOCC.

Keywords: CAPP, Machine Tools, Mathematical modeling, Permutation, Setup Planning.

۱- مقدمه

طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه پلی برای یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و تولید به کمک رایانه می‌باشد که طرح‌ریزی ستاپ‌ها مهم‌ترین قسمت آن است. وظایف طرح‌ریزی ستاپ‌ها شامل شناسایی جهت ابزار، شناسایی سطوح مرجع ماشین‌کاری، تعیین ستاپ‌ها، تعیین توالی ستاپ‌ها، تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها درون هر ستاپ، طراحی قیدوبند و/یا راهنمایی برای طراحی قیدوبند برای هر ستاپ می‌باشد[۲,۱].

پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی طرح‌ریزی ستاپ‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند که دسته‌ی اول به ارائه روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها و دسته‌ی دوم به بررسی پارامترهای مؤثر بر طرح‌ریزی ستاپ‌ها می‌پردازند. در دسته‌ی اول، ژانگ و لین [۳] روش گراف ترکیبی را برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها معرفی کرده‌اند. لبه‌ها در گراف ارتباط تلرانسی را نشان می‌دهند که به‌عنوان قواعد ماشین‌کاری در طرح‌ریزی ستاپ‌ها استفاده می‌شوند. هبال و مهتا [۴] به یکپارچه‌سازی طرح‌ریزی ستاپ‌ها با طراحی قیدوبند پرداخته‌اند. آن‌ها با گروه‌بندی مرحله به مرحله به طرح‌ریزی ستاپ مناسبی دست پیدا کرده‌اند. سان و همکاران [۵] روش تئوری گراف را برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بهبود داده‌اند. آن‌ها از ماتریس درجه نامتشابه‌ی برای اعمال یکسان بودن ماشین‌ابزار بین فیچرهای درون یک ستاپ استفاده کرده‌اند. عابدینی و همکاران [۷,۶] روشی برای طرح‌ریزی ستاپ‌های قطعات منشوری معرفی کرده‌اند که در آن سطوح مرجع نیز در نظر گرفته می‌شود. آن‌ها برای این کار دو اصطلاح سطح کنترل و سطح پیرو را معرفی نموده‌اند. منافی [۸] روشی برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها برپایه جایگشت ارائه داده است که در آن پارامترهای

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

N. Surname, Title Title Title Title Title Title Title Title Title, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 139-143, 2015 (in Persian فارسی)

طرح‌ریزی ستاپ‌ها، حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شود.

برخی دیگر از پژوهشگرها نیز با استفاده از هوش مصنوعی و تعریف تابع‌های هدف مثل کمترین زمان/هزینه به حل مسائل طرح‌ریزی ستاپ‌ها پرداخته‌اند [۹-۱۱]. در اکثر این روش‌ها، تنها قواعد ماشین‌کاری در نظر گرفته شده و به دیگر پارامترهای ستاپ از جمله قیدوبند توجهی نشده است.

در دسته دوم، ژانگ و همکاران [۱۲] هفت قاعده برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بیان کرده‌اند که یکی از این قواعد، یکسان بودن ماشین‌ابزار فیچرهای درون یک ستاپ می‌باشد. هوانگ و خو [۱۳] چهار شرط برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها به زبان ریاضی بیان کرده‌اند که شامل ماشین‌کاری تمام سطوح قطعه‌کار، یکسان بودن جهت ابزار فیچرهای درون ستاپ با جهت ابزار ستاپ، نبودن سطح جاساز بین سطوح ماشین‌کاری ستاپ و انتخاب سطوح جاساز از بین سطوح ماشین‌کاری شده می‌باشند. وانگ و همکاران [۱۴] پنج قاعده‌ی هندسی براساس حجم ماشین‌کاری فیچرها برای تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها معرفی کرده‌اند. آن‌ها از این قواعد برای تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها و ستاپ‌ها استفاده نموده‌اند. لی‌یو و وانگ [۱۵] به بررسی تعیین توالی فیچرها و طرح‌ریزی ستاپ‌ها براساس قواعد ماشین‌کاری هندسی و تکنیکی پرداخته‌اند.

در بیشتر پژوهش‌های انجام شده، به پارامتر ماشین‌ابزار کمتر توجه شده است؛ به‌طوری‌که به بیان تأثیر این پارامتر بسنده و کمتر به ارائه روشی برای اعمال آن در طرح‌ریزی ستاپ‌ها پرداخته شده است. همچنین در برخی پژوهش‌ها پارامتر ماشین‌ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته نشده است. از این‌رو در این مقاله به ارائه روشی پرداخته می‌شود که پارامتر ماشین‌ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر شود. همچنین روابط ریاضی حاکم بر آن نیز بیان می‌شود.

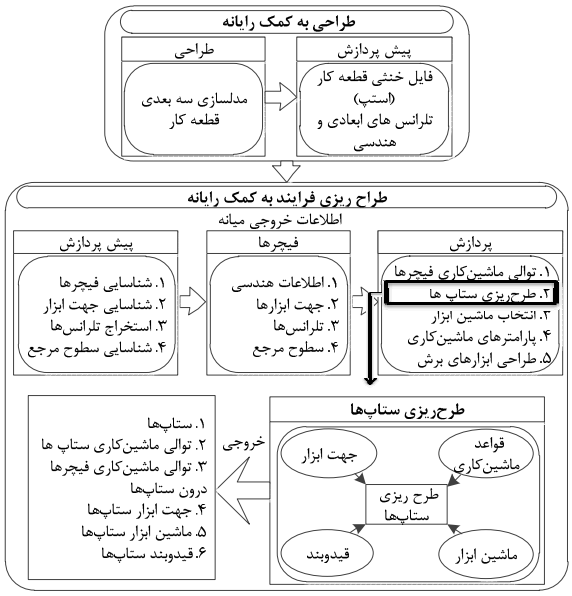
۲- یکپارچه‌سازی سامانه‌های کَد[1] و کَپ[2]

نحوه‌ی یکپارچه‌سازی سامانه‌های کَد و کَپ در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا قطعه‌کار در سامانه‌های کَد طراحی و سپس اطلاعات طراحی قطعه‌کار به سیستم کَپ ارسال می‌شود. اطلاعات طراحی یک سری اطلاعات سطح پایینی هستند که برای تولید مناسب نیستند؛ ازاین‌رو پیش‌پردازش‌هایی مثل شناسایی فیچرها و جهت ابزار روی این اطلاعات انجام می‌گیرد و این اطلاعات را به اطلاعات تولیدی مثل فیچرها تبدیل می‌کند(خروجی میانه در شکل ۱). این اطلاعات تولیدی به قسمت پردازش ارسال می‌شود تا طرح‌ریزی فرایند برای قطعه‌کار صورت گیرد.

در این مقاله از روش گرف- مبنا [۱۶] برای شناسایی فیچرها استفاده و ده نوع فیچر ماشین‌کاری شناسایی شده است(جدول ۱). همچنین هر فیچر با توجه به نوعش، تعداد معینی سطح دارد که به این تعداد سطوح، "تعداد سطوح تشکیل دهنده‌ی فیچر[3]" گفته می‌شود. از *NSSF* برای شناسایی قواعد ماشین‌کاری هندسی استفاده می‌شود [۸].

۳- پارامترهای مؤثر بر طرح‌ریزی ستاپ‌ها

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است طرح‌ریزی ستاپ‌ها به پارامترهایی همچون قواعد ماشین‌کاری، جهت ابزار فیچرها، ماشین‌ابزار و طراحی قیدوبند بستگی دارد و همه‌ی آن‌ها باید هنگام طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته شوند.



شکل ۱ یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و طرح‌ریزی فرایند

فیچرهای درون یک ستاپ باید روی یک ماشین‌ابزار ماشین‌کاری شوند [۱۲]. بنابراین فیچرهایی که به تجهیزات و ماشین‌ابزار متفاوتی نیاز دارند نباید درون یک ستاپ قرار داده شوند. همچنین برای هر ستاپ نیز باید ماشین‌ابزارهای جایگزین تعیین شود تا در صورت خرابی ماشین‌ابزار انتخاب شده، ماشین‌ابزار دیگری جایگزین آن گردد.

طراحی قیدوبند مناسب برای هر ستاپ ضروری است؛ در غیر این صورت طرح‌ریزی ستاپ‌ها باید دوباره انجام گیرد. یکپارچه‌سازی طرح‌ریزی ستاپ‌ها با قیدوبند یکی از چالش‌های پیش روی سامانه‌های کَپ می‌باشد که در پژوهش‌های آینده به آن پرداخته خواهد شد.

۳-۱- توالی ماشین‌کاری فیچرها

توالی ماشین‌کاری فیچرها براساس قواعد ماشین‌کاری تکنیکی و هندسی تعیین می‌گردد. قواعد ماشین‌کاری تکنیکی براساس دانش فنی بین فیچرها به وجود می‌آیند. برخی از قواعد ماشین‌کاری تکنیکی بدین‌صورت می‌باشند:

TR_1= اگر سطوح تکیه‌گاه یا بست موردنیاز برای ماشین‌کاری فیچر ۱، با ماشین‌کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آن‌گاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین‌کاری شود [۱۵].

TR_2= اگر سطح موقعیت‌دهی ابزار فیچر ۱ با ماشین‌کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آنگاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین‌کاری شود [۱۷].

TR_3= اگر سطوحی از فیچر ۱، جزء سطوح مرجع فیچر ۲ باشد؛ آن‌گاه فیچر ۱ زودتر از فیچر ۲ ماشین‌کاری می‌شود [۱۸].

قواعد ماشین‌کاری هندسی زمانی بین فیچرها ایجاد می‌گردد که فیچرها با یکدیگر تداخل هندسی داشته باشند. در تداخل‌های هندسی، فیچرها تنها در برخی لبه‌ها با یکدیگر اشتراک دارند. تداخل‌های هندسی به دو نوع سطحی و حجمی تقسیم می‌شوند. برای تداخل‌های هندسی سطحی، قاعده‌ی ماشین‌کاری ۱ رعایت می‌شود که در آن فیچر پایه، فیچری است که در آن همه‌ی لبه‌های مشترک در یک سطح فیچر قرار دارد. برای تداخل‌های حجمی نیز قاعده ماشین‌کاری ۲ رعایت می‌شود [۸].

1. CAD
2. CAPP
3. Number of Constituting Surfaces of Feature

جدول ۱ فیچرهای ماشین‌کاری

نوع فیچر	*NSSF*	نوع فیچر	*NSSF*
روتراشی	۱	پله	۲
شیار سرتاسری	۳	شیار نیمه‌کور	۴
شیار کور	۵	پاکت ۲-طرفه	۳
پاکت ۳-طرفه	۴	پاکت ۴-طرفه	۵
سوراخ سرتاسری	۲	سوراخ کور	۳

GR_1= اگر فیچرهای F_1 و F_2 تداخل هندسی سطحی داشته باشند و F_1 فیچر پایه باشد؛ آنگاه فیچر F_1 زودتر از فیچر F_2 ماشین‌کاری می‌شود.

GR_2= اگر فیچرهای F_1 و F_2 تداخل حجمی داشته باشند و تعداد سطوح فیچر F_1 بیشتر از تعداد استاندارد سطح آن فیچر باشد؛ آنگاه فیچر F_1 زودتر از فیچر F_2 ماشین‌کاری می‌شود.

برای آن دسته از فیچرها که تداخل‌های هندسی و تکنیکی ندارند و درنتیجه نمی‌توان برای آن‌ها توالی ماشین‌کاری در نظر گرفت، از قواعد ماشین‌کاری استفاده می‌شود که رعایت کردن آن‌ها سبب تولید محصولی باکیفیت بهتر و زمان تولیدی کم می‌شود. دو قاعده زیر برای فیچرهای بدون تداخل رعایت می‌شود [۱۵،۱۴].

OR_1= فیچرهای که ابزار مشابه‌ی دارند کنار یکدیگر قرار داده می‌شوند.

OR_2= فیچری که حجم ماشین‌کاری بیشتری دارد زودتر ماشین‌کاری می‌شود.

۳-۲- جهت ابزار فیچرها

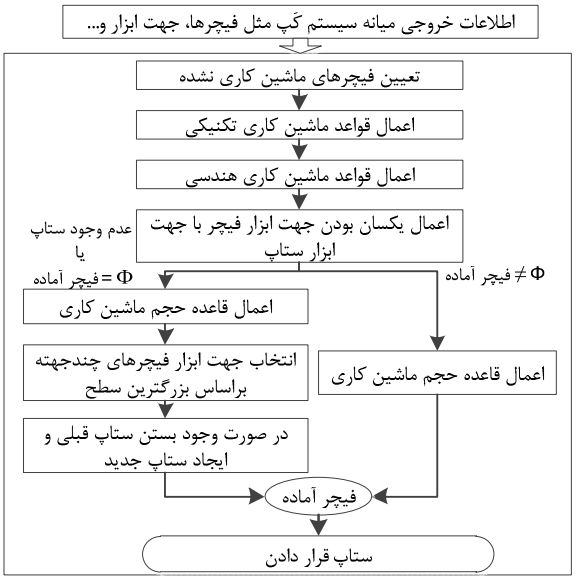
جهت ابزار برای یک فیچر، جهتی است که ابزار بتواند بدون هیچ مانعی به تمام نقاط فیچر در قطعه‌کار دسترسی پیدا کند. فیچرها با توجه به جهت ابزارشان به دو نوع تک‌جهته و چندجهته تقسیم می‌شوند. همه‌ی فیچرهایی که درون یک ستاپ قرار می‌گیرند؛ باید در یک جهت ابزار مشترک باشند که به این جهت ابزار مشترک، جهت ابزار ستاپ گفته می‌شود[۱۹،۳].

فیچرهای یک‌جهته در ستاپی قرار می‌گیرند که جهت ابزار ستاپ با جهت ابزار آن یکسان باشد. همچنین برای آن‌ها فقط عدم تداخل ابزار با قطعه‌کار و تجهیزات ماشین‌کاری بررسی می‌شود. این در حالی است که برای فیچرهای چندجهته علاوه‌بر بررسی عدم تداخل ابزار، تعیین جهت ابزار مناسب نیز مطرح می‌باشد؛ زیرا با انتخاب هر یک از جهت‌های ابزار فیچر چندجهته، فیچر می‌تواند در ستاپ‌های متفاوتی قرار گیرد. جهت ابزار مناسب برای فیچرهای چند جهته با توجه به پارامترهایی همچون ارتباط با دیگر فیچرها، کمینه شدن تعداد ستاپ‌ها، تداخل با قیدوبند/سایر اجزای ماشین‌ابزار و بیشترین پایداری فیچر در آن راستا تعیین می‌شود.

۴- روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها با در نظر گرفتن ماشین‌ابزار

در روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت، طرح‌ریزی ستاپ‌ها مرحله به مرحله انجام و پارامترهای مؤثر بر آن، حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. شکل شماتیکی این روش در شکل ۲ آورده شده است. به دلیل اینکه پارامترها حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شود از مزیت‌هایی همچون عدم ایجاد سیکل بین ستاپ‌ها و انتخاب خودکار جهت ابزار برای فیچرهای چندجهته برخوردار می‌باشد. همچنین قابلیت توسعه دادن آن نیز از دیگر مزیت‌های این روش می‌باشد. در این روش توالی ماشین‌کاری فیچرها و ستاپ‌ها همراه با ایجاد ستاپ‌ها تعیین می‌گردد [۸].

روندکلی در این روش بدین صورت است که در هر مرحله ابتدا بین فیچرهایی که نیاز به ماشین‌کاری دارند، قواعد ماشین‌کاری تکنیکی و سپس



شکل ۲ طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت برای یک مرحله

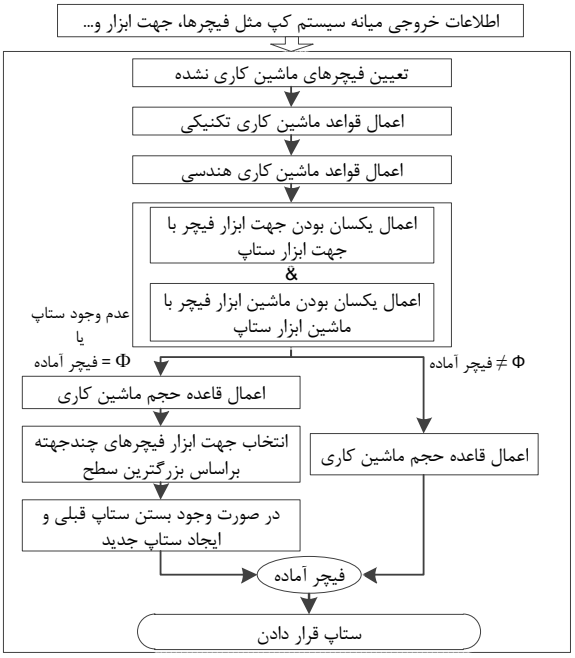
قواعد ماشین‌کاری هندسی اعمال می‌شود تا فیچرهایی مشخص شوند که آماده‌ی ماشین‌کاری هستند. حال اگر ستاپی قبلاً ایجاد شده باشد جهت ابزار فیچر با جهت ابزار ستاپ مقایسه می‌شود و اگر یکی از جهت ابزارهای فیچر با جهت ابزار ستاپ مشترک باشد فیچر درون ستاپ قرار داده می‌شود. در غیر این صورت اگر جهت ابزار فیچر با جهت ابزار ستاپ مشترک نباشد یا ستاپی قبلاً ایجاد نشده باشد (مرحله اول) ستاپی ایجاد می‌شود که جهت ابزار ستاپ با فیچر آماده برای ماشین‌کاری یکسان باشد و فیچر درون ستاپ ایجاد شده قرار داده می‌شود. این مراحل تا تعیین ستاپ همه‌ی فیچرها تکرار می‌شوند. به عبارت دیگر این مراحل به تعداد فیچرها تکرار خواهند شد.

برای اضافه کردن تأثیر ماشین‌ابزار در این روش، شرط مشترک بودن ماشین‌ابزار بین فیچرها و ستاپ نیز باید به مجموع شرایط اضافه شود. در شکل ۳ نحوه‌ی اضافه شدن این پارامتر به روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است در این حالت فیچری در ستاپ i قرار می‌گیرد که هر دو شرط مشترک بودن در جهت ابزار و ماشین‌ابزار فیچر را با جهت ابزار و ماشین‌ابزار ستاپ داشته باشد. برای این‌که فیچری شرط لازم برای قرارگیری در ستاپ i را از نظر مشترک بودن ماشین‌ابزار را داشته باشد کافی است رابطه (۱) برقرار باشد؛ در غیر این صورت فیچر براساس شرط ماشین‌ابزار درون ستاپ قرار نمی‌گیرد.

$$\left(MT_{setup}\right)_i \cap MT_F \neq \emptyset \qquad (1)$$

که در آن MT_F ماشین‌ابزارهای فیچر، MT_{setup} ماشین‌ابزارهای ستاپ و i شماره ستاپ می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد در این روش ستاپ برپایه‌ی فیچری ایجاد می‌شود که آماده ماشین‌کاری است. بنابراین موقع ایجاد ستاپ، ماشین‌ابزارهای فیچر آماده به ستاپ نسبت داده می‌شود(j=1). در مراحل بعدی که فیچرهای بیشتری درون ستاپ قرار داده می‌شود؛ ماشین‌ابزارهای ستاپ بروز رسانی می‌شوند که این بروز رسانی از طریق اشتراک‌گیری بین ماشین‌ابزارهای فیچرها و ستاپ انجام می‌گیرد. با این کار علاوه بر در نظر گرفتن ماشین‌ابزار حین طرح‌ریزی ستاپ‌ها، برای آن‌ها ماشین‌ابزار و ماشین‌ابزارهای جایگزین نیز تعیین می‌گردد. رابطه‌ی ریاضی مربوطه در رابطه‌ی (۲) آورده شده است.



شکل ۳ طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت با در نظر گرفتن ماشین‌ابزار برای یک مرحله

$$\left(MT_{setup}\right)_i = \begin{cases} MT_F & j = 1 \\ \prod_{j=1}^{m_i} (MT_F)_j & j \neq 1 \end{cases} \quad (۲)$$

که در آن j گام‌های درون ستاپ i و m_i تعداد فیچرهای درون ستاپ i می‌باشند.

الگوریتم توسعه داده شده برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه‌ی جایگشت با در نظر گرفتن پارامتر ماشین‌ابزار بدین صورت می‌باشد:

۱- شروع.

۲- اطلاعات مربوط به فیچرها، جهت ابزارها، قواعد ماشین‌کاری تکنیکی، قواعد ماشین‌کاری هندسی، حجم ماشین‌کاری فیچرها و ماشین‌ابزارها را دریافت کن.

۳- فیچرهای که نیاز به ماشین‌کاری دارند را شناسایی کن و در F ذخیره کن.

۴- اگر $F=\Phi$ برنامه را تمام کن.

۵- روی F قواعد ماشین‌کاری تکنیکی را اعمال کن و آن‌هایی را در RF_1 ذخیره کن که از این لحاظ، آماده ماشین‌کاری هستند.

۶- روی فیچرهای RF_1 قواعد ماشین‌کاری هندسی را اعمال کن و آن‌های را در RF_2 ذخیره کن که از این لحاظ آماده ماشین‌کاری هستند.

۷- اگر تاکنون ستاپ ایجاد نشده است/ نیاز به ایجاد ستاپ جدید می‌باشد مراحل ۷-أ تا ۷-ه را اجرا کن

أ- فیچری که بیشترین حجم ماشین‌کاری بین RF_2 دارد را شناسایی و در RF ذخیره کن.

ب- اگر RF چندجهته باشد راستایی را به عنوان جهت ابزار فیچر انتخاب کن که در آن راستا بیشترین مساحت سطح را دارد.

ج- ستاپی هم‌جهت با RF ایجاد کن و فیچر RF را در آن قرار بده.

د- ماشین‌ابزارهای ستاپ ایجاد شده را همان ماشین‌ابزارهای فیچر RF در نظر بگیر.

ه- برو به مرحله ۳.

۸- ستاپ‌های قبلاً ایجاد شده است درنتیجه مراحل ۸-أ تا ۸-ز را اجرا کن.

أ- فیچرهای از RF_2 را شناسایی کن که جهت ابزاری مشترکی با ابزار ستاپ فعلی دارد و در RF_3 ذخیره کن.

ب- فیچرهای از RF_3 را شناسایی که ماشین‌ابزارهای مشترکی با ماشین‌ابزارهای ستاپ فعلی دارد و در RF_4 ذخیره کن.

ج- اگر $RF_4=\Phi$ آنگاه مراحل ۷-أ تا ۷-ه انجام بده.(فیچر آماده‌ی برای قرارگیری در ستاپ وجود ندارد)

د- فیچری را شناسایی کن که بیشترین حجم ماشین‌کاری را بین فیچرهای RF_4 دارد و در RF ذخیره کن.

ه- RF را در ستاپ قرار بده

و- اشتراک ماشین‌ابزارهای ستاپ را با ماشین‌ابزارهای فیچر RF حساب کن و این اشتراک را به‌عنوان ماشین‌ابزارهای ستاپ در نظر بگیر(بروز رسانی ماشین‌ابزارهای ستاپ).

ز- برو به مرحله ۳.

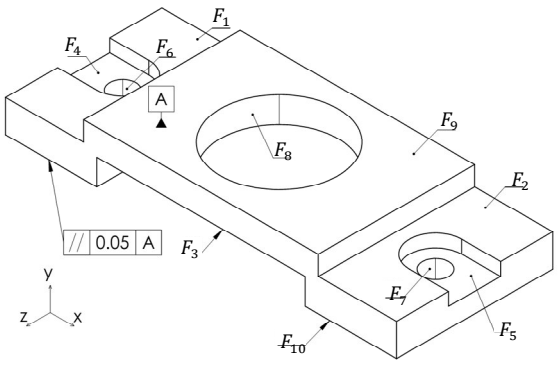
۹- پایان.

۵- آزمایش مدل

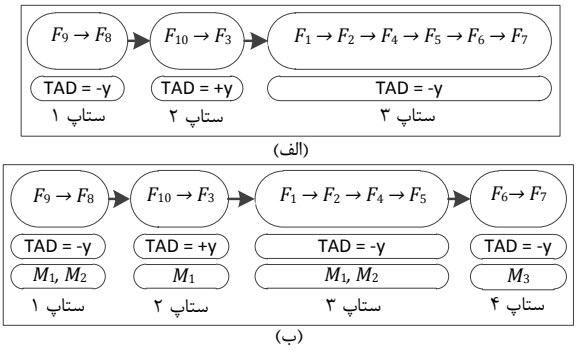
برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی از قطعه‌کار شکل ۴ استفاده شده است. شماره فیچرهای که نیاز به ماشین‌کاری دارند نیز در شکل ۴ آورده شده است. همچنین جهت ابزار فیچرها، نتایج حاصل از قواعد ماشین‌کاری و ماشین‌ابزارهای کاندید برای ماشین‌کاری فیچرها در جدول ۲ آورده شده است. M_1 ماشین‌ابزار فرز سه محوره CNC، M_2 فرز سه محوره و M_3 دریل می‌باشد.

طرح‌ریزی ستاپ‌ها بدون در نظر گرفتن ماشین‌ابزار در شکل ۵-(الف) و طرح‌ریزی مجدد ستاپ‌ها با در نظر گرفتن ماشین‌ابزار با روش پیشنهادی در شکل ۵-(ب) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر ماشین‌ابزار روی ستاپ‌ها هم زمان با طرح‌ریزی ستاپ‌ها اعمال شده و فیچرهایی که به ماشین‌ابزار متفاوتی نیاز دارند در ستاپ‌های متفاوتی قرار داده شده‌اند. برای مثال فیچرهای F_9 و F_7 که ماشین‌ابزار متفاوتی نسبت به فیچرهای درون ستاپ‌ها ۳ شکل ۵- (الف) دارند از این ستاپ‌ها جدا و در ستاپ ۴ شکل ۵- (ب) جای داده شده‌اند.

با روش پیشنهادی علاوه بر اعمال تأثیر ماشین‌ابزار روی ستاپ‌ها، ماشین‌ابزار آن‌ها نیز مشخص می‌شود. ماشین‌ابزارهای هر یک از این ستاپ‌ها که به کمک روش پیشنهادی تعیین شده‌اند نیز در شکل ۵- (ب) آورده شده است. در این روش برای ستاپ‌ها، تمام ماشین‌ابزارهای ممکن تعیین می‌شوند.



شکل ۴ قطعه‌کار آزمایش شده و شماره فیچرها



شکل ۵ طرح‌ریزی ستاپ‌ها (الف) بدون در نظر گرفتن ماشین‌ابزار (ب) با در نظر گرفتن ماشین‌ابزار

جدول ۲ جهت ابزار، قواعد ماشین‌کاری و ماشین‌ابزارهای فیچرها

شماره فیچر	TAD	قواعد هندسی	قواعد تکنیکی	ماشین‌ابزار کاندید
F_1	x, -y, ±z	بعد از F_9	قبل از F_3	M_1, M_2
F_2	-x, -y, ±z	بعد از F_9	قبل از F_3	M_1, M_2
F_3	y, ±z	بعد از F_{10}	بعد از F_8	M_1, M_2
F_4	-y	بعد از F_1	–	M_1, M_2
F_5	-y	بعد از F_2	–	M_1, M_2
F_6	±y	بعد از F_4	–	M_3
F_7	±y	بعد از F_5	–	M_3
F_8	±y	بعد از F_3 و F_9	–	M_1
F_9	±x, -y, ±z	-	–	M_1, M_2
F_{10}	±x, y, ±z	-	بعد از F_9	M_1, M_2

این کار تعیین ماشین‌ابزارهای جایگزین را آسان می‌کند. برای مثال در شکل۵- (ب) دو ماشین‌ابزار برای ستاپ‌ها ۱ و یک ماشین‌ابزار برای ستاپ‌ها ۲ تعیین شده است. لازم به ذکر می‌باشد که برای ستاپ‌هایی که بیش از یک ماشین‌ابزار تعیین شده است یکی از آن‌ها به عنوان ماشین‌ابزار اصلی انتخاب و بقیه به عنوان ماشین‌ابزار جایگزین معرفی می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

طرح‌ریزی ستاپ‌ها هسته‌ی اصلی سامانه‌های کَپ می‌باشد که به جهت ابزار، قواعد ماشین‌کاری، ماشین‌ابزار و طراحی قیدوبند وابسته است. در این مقاله چگونگی اضافه شدن پارامتر ماشین‌ابزار به طرح‌ریزی ستاپ بر پایه جایگشت بحث و روابط ریاضی حاکم بر آن بیان شده است. روش پیشنهادی به‌طور هم زمان ماشین‌ابزارهای مناسب برای ستاپ‌ها را از بین ماشین‌ابزارهای فیچر انتخاب و تأثیر ماشین‌ابزار را روی طرح‌ریزی ستاپ‌ها اعمال می‌کند؛ به‌طوری که اگر فیچرهایی دارای جهت ابزار مشترک باشند اما در ماشین‌ابزار اشتراکی نداشته باشند درون یک ستاپ قرار داده نمی‌شوند. با این کار از طرح‌ریزی مجدد ستاپ‌ها جلوگیری می‌شود. در این روش تمام ماشین‌ابزارهای ممکن برای ستاپ انتخاب می‌شود و سپس از بین این ماشین‌ابزارها، یکی به عنوان ماشین‌ابزار اصلی ستاپ انتخاب و بقیه به عنوان ماشین‌ابزار جایگزین معرفی می‌شوند. علاوه بر به‌دست آوردن روابط ریاضی، الگوریتم طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت برای این کار توسعه داده شده است. این الگوریتم در برنامه پایتون اوسی‌سی پیاده‌سازی و روی یک قطعه‌کار آزمایش شده است.

۷- مراجع

[1] N. Xu, S. H. Huang, Y. K. Rong, Automatic setup planning: current state-of-the-art and future perspective, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 193-208, 2007.

[2] X. Xu, L. Wang, S. T. Newman, Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future trends, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing,* Vol. 24, No. 1, pp. 1-31, 2010.

[3] H.-C. Zhang, E. Lin, A hybrid-graph approach for automated setup planning in CAPP, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* Vol. 15, No. 1, pp. 89-100, 1999.

[4] S. S. Hebbal, N. K. Mehta, Setup planning for machining the features of prismatic parts, *International Journal of Production Research,* Vol. 46, No. 12, pp. 3241-3257, 2008.

[5] X. Sun, X. Chu, Y. Su, C. Tang, A new directed graph approach for automated setup planning in CAPP, *International Journal of Production Research,* Vol. 48, No. 22, pp. 6583-6612, 2010.

[6] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, H. Baseri, Automated process planning system: A new method for setup planning and a mathematical model for fixture design, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, pp. 1849–1859, 2013.

[7] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, Automatic Machining Setup Generation for Prismatic Components, *Advanced Materials Research,* Vol. 445, pp. 953-958, 2012.

[8] D. Manafi, *Development of an automatic system for setup planning and determining the sequence of operation in machining parts*, M.S. Thesis Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, 2015. (In Persian)

[9] M. Salehi, A. Bahreininejad, Optimization process planning using hybrid genetic algorithm and intelligent search for job shop machining, *Journal of Intelligent Manufacturing,* Vol. 22, No. 4, pp. 643-652, 2011.

[10] S. Kafashi, M. Shakeri, V. Abedini, Automated setup planning in CAPP: a modified particle swarm optimisation-based approach, *International Journal of Production Research,* Vol. 50, No. 15, pp. 4127-4140, 2011.

[11] N. Cai, L. Wang, H.-Y. Feng, GA-based adaptive setup planning toward process planning and scheduling integration, *International Journal of Production Research,* Vol. 47, No. 10, pp. 2745-2766, 2009.

[12] Y. Zhang, W. Hu, Y. Rong, D. W. Yen, Graph-based set-up planning and tolerance decomposition for computer-aided fixture design, *International Journal of Production Research,* Vol. 39, No. 14, pp. 3109-3126, 2001.

[13] S. H. Huang, N. Xu, Automatic set-up planning for metal cutting: an integrated methodology, *International Journal of Production Research,* Vol. 41, No. 18, pp. 4339-4356, 2003.

[14] L. Wang, N. Cai, H. Y. Feng, Z. Liu, Enriched machining feature-based reasoning for generic machining process sequencing, *International Journal of Production Research,* Vol. 44, No. 8, pp. 1479-1501, 2006.

[15] Z. Liu, L. Wang, Sequencing of interacting prismatic machining features for process planning, *Computers in Industry,* Vol. 58, No. 4, pp. 295-303, 2007.

[16] S. Joshi, T. C. Chang, Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, *Computer-Aided Design,* Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.

[17] A. C. Lin, S.-Y. Lin, D. Diganta, W. F. Lu, An integrated approach to determining the sequence of machining operations for prismatic parts with interacting features, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 73, No. 1–3, pp. 234-250, 1998.

[18] Y. F. Zhang, A. Y. C. Nee, S. K. Ong, A hybrid approach for set-up planning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 10, No. 3, pp. 183-190, 1995. English

[19] N. Cai, L. Wang, H.-Y. Feng, Adaptive setup planning of prismatic parts for machine tools with varying configurations, *International Journal of Production Research,* Vol. 46, No. 3, pp. 571-594, 2008.