ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):167-171.

Mathematical Modeling of Setup Planning Rules in the Permutation-Based Setup Planning

ARTICLE INFO

Authors
Manafi D.[1],
Nategh MJ.[1*]

[1] Mechanical Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*** Correspondence**
Address: Mechanical Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Nategh@modares.ac.ir

How to cite this article
Manafi D, Nategh MJ. Mathematical Modeling of Setup Planning Rules in the Permutation-Based Setup Planning. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):167-171.

ABSTRACT

Computer-aided process planning is one of the challenges for researchers to achieve computer-integrated manufacturing, and setup planning is the core of the CAPP system. Based on the literature survey, it has been observed that researchers use different methods for setup planning, and there is a lack of mathematical models in their methods. However, the mathematical model is necessary to implement and develop the setup planning method. Therefore, in this paper, the permutation-based setup planning was selected to determine the setups, and then the setup planning rules were cast into the mathematical model. Finally, the mathematical model is implemented and evaluated in MATLAB software to ensure the accuracy of this model.

Keywords Process Planning, Setup planning, Machining Sequence, Mathematical Modelling

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۶۷-۱۷۱.

مدل‌سازی ریاضی قوانین تعیین ستاپ‌ها در روش طرح‌ریزی ستاپ برپایه جایگشت

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
داود منافی[۱]
محمدجواد ناطق[۱*]

[۱] دانشکده مهندسی مکانیک، گروه ساخت و تولید، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*** نویسنده مسئول**
آدرس:
Nategh@modares.ac.ir

چکیده

طرح‌ریزی فرایند به‌کمک رایانه یکی از چالش‌های پیش روی محققین برای دستیابی به سامانه‌ای یکپارچه تولیدی است که هسته‌ی اصلی آن طرح‌ریزی ستاپ‌ها است. با بررسی پیشنه پژوهشی، مشاهده شد که محققین از روش‌های مختلفی برای طرح‌ریزی ستاپ استفاده و برای روش‌های پیشنهادی خود، کمتر مدل ریاضی بیان کرده‌اند. این در حالی است که برای پیاده‌سازی و توسعه روش طرح‌ریزی ستاپ، وجود مدل‌های ریاضی ضروری است. از این رو در این مقاله روش طرح‌ریزی ستاپ برپایه جایگشت برای تعیین ستاپ‌ها انتخاب و سپس قوانین لازم برای تعیین ستاپ‌ها بصورت مدل‌های ریاضی درآورده شده است. درنهایت مدل ریاضی در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است تا از صحت این مدل اطمینان به عمل آید.

کلیدواژه‌ها طرح‌ریزی فرایند، طرح‌ریزی ستاپ، توالی ماشین‌کاری، مدل ریاضی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.26.9]

۱- مقدمه

طرح‌ریزی ستاپ هسته‌ی اصلی طرح‌ریزی فرایند به‌کمک رایانه است که از یک سری قوانین برای تعیین ستاپ‌ها پیروی می‌کند. از مهمترین قوانین طرح‌ریزی ستاپ‌ها می‌توان به یکسان بودن راستای ابزار و ماشین‌ابزار فیچرهای درون یک ستاپ، رعایت قواعد ماشین‌کاری تکنیکی و هندسی اشاره کرد[1,2].

برخی پژوهشگران روشی برای طرح‌ریزی ستاپ پیشنهاد کرده‌اند. برای نمونه ژانگ و همکاران[3] از روش تئوری گراف برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بهره جستند. همچنین سان و همکاران[4] سعی کردند این روش را بهبود و برای یکپارچه‌سازی با طرح‌ریزی قیدوبند استفاده کنند. منافی و ناطق[5] از روش جایگشت برای تعیین ستاپ‌ها و توالی ماشین‌کاری آنها استفاده کردند. در این روش طرح‌ریزی ستاپ مرحله مرحله انجام شده و قوانین طرح‌ریزی ستاپ در هر مرحله اعمال می‌شود.

برخی دیگر نیز به بیان قوانین طرح‌ریزی ستاپ پرداخته‌اند که می‌توان به کار سورماز و خوشنویش[6] اشاره کرد. آنها روی تداخل تکنیکی فیچرها مطالعه کردند و سه الگوریتم برای بکارگیری تداخل تکنیکی فیچرها برای تعیین توالی فیچرها پیشنهاد دادند. وانگ و همکاران[7] پنج قواعد هندسی براساس حجم ماشین‌کاری فیچرها برای تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها معرفی کردند و از آنها برای تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها و ستاپ‌ها استفاده کردند. لی‌یو و وانگ[8] قواعد ماشین‌کاری هندسی و تکنیکی را در قالب عبارات شرطی بیان و از آنها برای تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها و ستاپ‌ها استفاده کردند. منافی و ناطق[9] روی قواعد ماشین‌کاری هندسی مطالعه و دو قاعده‌ی هندسی جدید که به راحتی قابل شناسایی بود را معرفی کردند.

درمجموع می‌توان بیان کرد که علارغم پیشنهاد روش‌ها و یا قوانین طرح‌ریزی ستاپ، کمتر مشاهده شده است که این قوانین در قالب مدل‌های ریاضی بیان شود. از این رو در این مقاله مدل ریاضی قوانین طرح‌ریزی ستاپ‌ها بیان می‌شود. برای اینکار از روش طرح‌ریزی ستاپ به روش جایگشت بهره گرفته شده است.

۲-طرح‌ریزی ستاپ به روش جایگشت

هدف از طرح‌ریزی ستاپ، تعیین ستاپ‌ها و توالی ماشین‌کاری آن‌ها و فیچرهای درون آن‌ها است. با در نظر گرفتن پارامترهایی همچون راستای ابزار، ماشین‌ابزار و سیستم قیدوبند، برای ایجاد ستاپ‌ها از قاعده‌ی زیر استفاده می‌شود:

- قاعده تعیین ستاپ: فیچرهای درون هر ستاپ باید راستای ابزار، ماشین‌ابزار و سیستم قیدوبند مشترکی داشته باشند.

همچنین برای تعیین توالی ماشین‌کاری ستاپ‌ها و فیچرهای درون آن‌ها از قواعد ماشین‌کاری تکنیکی، هندسی و ستاپ استفاده می‌شود که در جدول ۱ آورده شده است.

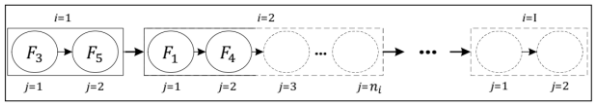
جدول ۱) قواعد ماشین‌کاری برای تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها و ستاپ‌ها

قواعد تکنیکی	
۱	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[8].
۲	اگر سطح موردنیاز برای موقعیت دهی ابزار ماشین‌کاری فیچر ۱ با ماشین‌کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آنگاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین‌کاری شود[10].
۳	اگر سطوحی از فیچر ۱، جزء سطوح مرجع فیچر ۲ باشد؛ آنگاه فیچر ۱ زودتر از فیچر ۲ ماشین‌کاری می‌شود[11].
۴	اگر ماشین‌کاری دو فیچر، باعث ایجاد پلیسه در یکدیگر شوند و حذف پلیسه در فیچر ۱ سخت‌تر از فیچر ۲ باشد؛ آنگاه فیچر ۱ زودتر ماشین‌کاری می‌شود[6].
۵	فیچری که حجم ماشین‌کاری بیشتری دارد زودتر ماشین‌کاری می‌شود[7].
قواعد هندسی	
۱	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. فیچر پایه، فیچری است که در آن همه‌ی لبه‌های مشترک در یک سطح فیچر قرار دارد[9].
۲	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. منظور از "تعداد سطوح تشکیل دهنده‌ی فیچر($NSSF$)" تعداد سطوح آن فیچر می‌باشد[9].
قواعد ستاپ	
۱	اگر فیچری از ستاپ A برای ماشین‌کاری مقدم بر فیچر از ستاپ B باشد؛ آنگاه ستاپ A زودتر از ستاپ B ماشین‌کاری می‌شود[8].
۲	در صورتی که دو ستاپ A و B اولویت ماشین‌کاری نداشته باشند و حجم ماشین‌کاری ستاپ A بیشتر از حجم ماشین‌کاری ستاپ B باشد؛ آنگاه ستاپ A زودتر از ستاپ B ماشین‌کاری می‌شود[8].

شمای کلی طرح‌ریزی ستاپ به روش جایگشت در شکل ۱ نشان داده شده است که در آن N_{SU} ستاپ و درون ستاپ iام n_i فیچر وجود دارد. در شکل ۱ طرح‌ریزی ستاپ تا مرحله‌ی که خطوط پیوسته است انجام شده و بقیه مراحل (خطوط خط چین) هنوز انجام نشده است. در این روش طرح‌ریزی ستاپ مرحله به مرحله انجام می‌شود؛ درنتیجه ستاپ‌ها در صورت نیاز براساس فیچر آماده‌ی ماشین‌کاری ایجاد می‌شود. منظور از ایجاد ستاپ برپایه فیچر آماده‌ی ماشین‌کاری این است که راستای ابزار ستاپ آن براساس راستای ابزار فیچر آماده‌ی ماشین‌کاری تعیین شود.

هر ستاپ بصورت مجموعه SU_i تعریف می‌شود که دارای مجموعه فیچرهای ماشین‌کاری(SF_i)، راستای ابزار(ST_i) و ماشین‌ابزار (SMT_i) است. مجموعه فیچرهای ستاپ iام شامل فیچرهایی است که در آن ستاپ به همان توالی که در مجموعه قرار دارند ماشین‌کاری می‌شوند.

$$SU_i = \{SF_i, ST_i, SMT_i\} \quad (1)$$



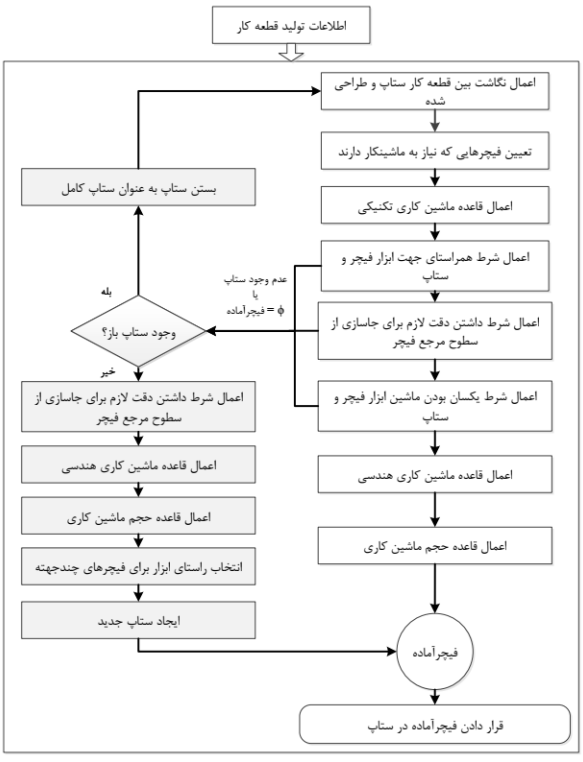
شکل ۱) شمای کلی طرح‌ریزی ستاپ برپایه جایگشت

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.26.9]

فلوچارت طرح‌ریزی ستاپ برپایه جایگشت در شکل ۲ نشان داده شده است که این فلوچارت برای هر مرحله از طرح‌ریزی ستاپ تکرار می‌شود. در هرمرحله ابتدا نگاشتی بین قطعه‌کار طراحی و ستاپ انجام و فیچرهایی که نیاز به ماشین‌کاری دارند شناسایی می‌شوند. با فرض ایجاد شدن ستاپ در مرحله قبل، بین این فیچرها قواعد ماشین‌کاری تکینکی، راستای ابزار، داشتن دقت لازم برای جاسازی سطوح مرجع، قواعد ماشین‌کاری هندسی و حجم ماشین‌کاری اعمال می‌شود تا فیچری مشخص شود که مناسب این ستاپ است و درون ستاپ قرار داده می‌شود(مسیر سمت راست فلوچارت).

در صورتی که با اعمال این قواعد، هیچ فیچری مناسب قرار دادن در ستاپ نباشد؛ آنگاه ابتدا ستاپ فعلی به عنوان ستاپ کامل بسته خواهد شد و اگر ستاپی نباشد، ستاپ جدیدی براساس فیچر آماده ایجاد و فیچر آماده درون ستاپ ایجاد شده قرار داده می‌شود(مسیر سمت چپ فلوچارت).



شکل ۲) فلوچارت مرحله زام از ستاپ iام طرح‌ریزی ستاپ برپایه جایگشت

۳- مدل ریاضی طرح‌ریزی ستاپ

برای بیان مدل ریاضی طرح‌ریزی ستاپ، ابتدا اطلاعات ورودی و سپس قوانین به صورت مدل ریاضی بیان می‌شود.

۳-۱- مدل ریاضی اطلاعات قطعه‌کارها

اطلاعات ورودی، قطعه‌کار طراحی شده (WP_D) به همراه اطلاعات تولیدی و قطعه‌کار خام ماشین‌کاری (WP_R) است. قطعه‌کار طراحی شده شامل اطلاعات توپولوژی (سطح، لبه و رئوس) و تولیدی (اندازه‌ها، ماده، صافی سطح و غیره) است که به‌صورت مجموعه زیر تعریف می‌شود:

$$WP_D = \{S_D, E_D, V_D, DT_D, GT_D\} \quad (۲)$$

در روابط بالا S_D سطوح طراحی، E_D لبه‌های طراحی، V_D رئوس طراحی، DT اندازه‌های هندسی و GT تلورانس‌های هندسی هستند. این اطلاعات طراحی طی فرایند شناسایی فیچرها، تبدیل به مجموعه‌ای از فیچرهای ماشین‌کاری می‌شوند که هر فیچر اطلاعات تولیدی از قبیل سطوح ماشین‌کاری، راستای ابزار و سطوح مرجع را داراست. در نتیجه قطعه‌کار طراحی شده تبدیل به مجموعه‌ای از فیچرها می‌شوند که در پروسه طرح‌ریزی فرایند این فیچرها مورد بررسی قرار می‌گیرند و با ماشین‌کاری این فیچرها از قطعه‌کار خام، قطعه‌کار طراحی شده حاصل می‌شود. از این‌رو اطلاعات قطعه‌کار طراحی شده (WP_D) به اطلاعات تولیدی قطعه‌کار (WP_M) تبدیل و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$WP_M = \{F_1, F_2, \dots, F_n, \dots, F_{N_F}\} \quad (۳)$$

$$F_n = \{MS_n, TAD_n, GD_n, GT_n, RS_n, MV_n, GR_n, TR_n\} \quad (۴)$$

در این روابط F_n فیچرهای ماشین‌کاری، TAD_n راستای ابزار ماشین‌کاری فیچر nام، DT_n اندازه‌گذاری‌های هندسی فیچر nام، GT_n تلورانس‌های هندسی فیچر nام، RS_n سطوح مرجع۳ فیچر nام، MV_n حجم ماشین‌کاری فیچر nام، GR_n قواعد ماشین‌کاری هندسی فیچر nام و TR_n قواعد ماشین‌کاری تکنیکی فیچر nام است.

همان‌طور که گفته شده، قطعه‌کار خام نیز جزء اطلاعات ورودی مسئله است. علاوه بر اطلاعات توپولوژی قطعه‌کار خام، نیاز است سطوحی که بدون نیاز به ماشین‌کاری دقت لازم برای جاسازی را دارند(PCLS) نیز مشخص شوند. همچنین ممکن است لازم نباشد همه‌ی فیچرهای ماشین‌کاری قطعه‌کار، ماشین‌کاری شود در نتیجه همه‌ی این اطلاعات به‌صورت مجموعه زیر تعریف شده ست.

$$WP_R = \{S_R, PCLS, NMF\} \quad (۵)$$

که در روابط بالا S_R سطوح قطعه‌کار خام و NMF فیچرهایی است که نیاز به ماشین‌کاری ندارند.

۳-۲- مدل ریاضی قوانین طرح‌ریزی ستاپ

برای طرح‌ریزی ستاپ لازم است قوانین بیان شده در فلوچارت شکل ۲ رعایت شود. ابتدا طبق رابطه‌ی زیر فیچرهایی که در ستاپ iام و مرحله زام نیاز به ماشین‌کاری دارند شناسایی می‌شوند تا براساس این فیچرها، طرح‌ریزی ستاپ انجام شود.

$$RF = All\ Features - NMF - \bigcup_{x=1}^{i} SF_x \quad (۶)$$

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.26.9]

برای اعمال قواعد ماشین‌کاری تکنیکی و هندسی در ستاپ iام و مرحله jام از روابط زیر استفاده می‌شوند. طبق این روابط فیچرهایی شناسایی می‌شوند که این قواعد در آن‌ها رعایت شده است و درنتیجه آماده ماشین‌کاری هستند.

$$RF = \left\{ F_n \mid n \in \{1,2,\dots,N\}, TR_n \subset NMF \cup \bigcup_{x=1}^{i} SF_x \right\} \quad (۷)$$

$$RF = \left\{ F_n \mid n \in \{1,2,\dots,N\}, GR_n \subset NMF \cup \bigcup_{x=1}^{i} SF_x \right\} \quad (۸)$$

آماده بودن فیچر به لحاظ یکسان بودن راستای ابزار و همچنین ماشین ابزار فیچر با راستای ابزار ستاپ در ستاپ iام و مرحله jام از طرح‌ریزی ستاپ نیز مطابق دو رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

$$RF = \{ F_n \mid n \in \{1,2,\dots,N\}, ST_i \subset TAD_n \} \quad (۹)$$

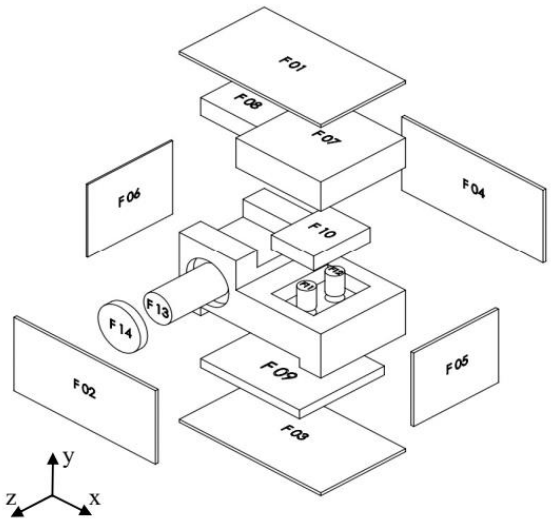
$$RF = \{ F_n \mid n \in \{1,2,\dots,N\}, SMT_i \subset CMT_n \} \quad (۱۰)$$

که در رابطه ۱۰ CMT_n ماشین ابزارهای کاندید برای فیچر می‌باشد. همچنین فیچرهایی که به لحاظ دارا بودن دقت سطوح مرجع برای جاسازی در ستاپ iام و مرحله jام آماده ماشین‌کاری هستند نیز طبق رابطه‌ی زیر تعیین می‌شوند.

$$RF = \left\{ F_n \mid n \in \{1,2,\dots,N\}, RS_n \subset (PCLS \cup \bigcup_{x=1}^{i} \bigcup_{y=1}^{j} MS_{xy}) \right\} \quad (۱۱)$$

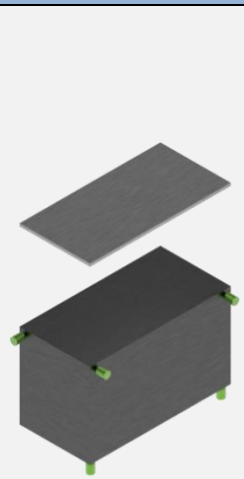
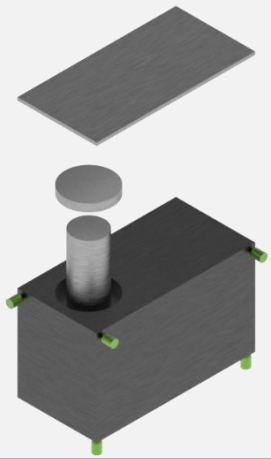
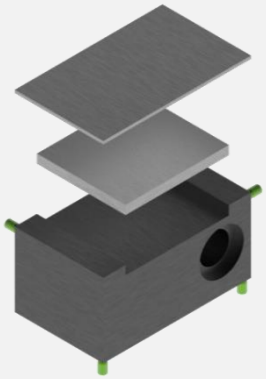
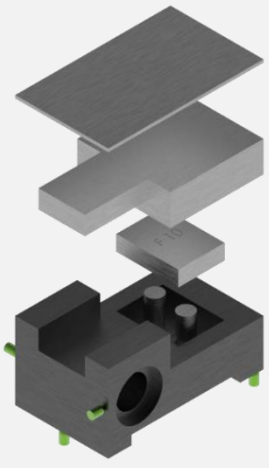
۴- ارزیابی مدل

مدل ریاضی در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی و از قطعه‌کار شکل ۳ برای ارزیابی مدل استفاده شده است. طرح‌ریزی ستاپ قطعه‌کار حاصل از مدل در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۳) قطعه‌کار و فیچرهای ماشین‌کاری

جدول ۲) طرح‌ریزی ستاپ بدست آمده برای قطعه‌کار شکل ۳

$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$
			
$\{F_4\}$	$\{F_2, F_{14}, F_{13}\}$	$\{F_3, F_9\}$	$\{F_1, F_7, F_8, F_{10}, F_{11}, F_{12}\}$
$+z$	$-z$	$+y$	$-y$

۵- نتیجه‌گیری

پیاده‌سازی و توسعه روش طرح‌ریزی ستاپ نیازمند مدل‌های ریاضی است که با بررسی پیشنه پژوهشی، مشاهده شد که مدل ریاضی برای روش‌های بیان شده توسط پژوهشگران وجود ندارد. لذا در این مقاله ابتدا مبانی روش طرح‌ریزی ستاپ برپایه جایگشت بیان و سپس قوانین لازم برای طرح‌ریزی ستاپ بصورت مدل‌های ریاضی درآورده شد. درنهایت این مدل در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت و از صحت این مدل اطمینان به عمل آمد.

فهرست علائم

CMT_n	ماشین ابزارهای کاندید فیچر nام
DT_D	مجموعه اندازه‌های هندسی قطعه کار طراحی شده
F_n	فیچر ماشین‌کاری nام
FM	سطح ماشین‌کاری
FS	سطح مرجع

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.26.9]

E_D	لبه‌های قطعه کار طراحی
GT_n	تلورانس‌های هندسی فیچر nام
GR_n	قواعد ماشین‌کاری هندسی فیچر nام
MS_n	سطوح ماشین‌کاری فیچر nام،
MV_n	حجم ماشین‌کاری فیچر nام
N_{SU}	تعداد ستاپ
N_F	تعداد کل فیچرهای ماشین‌کاری
n_i	تعداد فیچرهای درون ستاپ iام
NMF	فیچرهایی که نیاز به ماشین‌کاری ندارند
SMT_i	ماشین‌ابزار ستاپ iام
SU_i	ستاپ iام
S_D	سطوح طراحی ستاپ iام
SF_i	مجموعه فیچرهای ماشین‌کاری ستاپ iام
ST_i	راستای ابزار ستاپ iام
TAD_n	راستای ابزار ماشین‌کاری فیچر nام
TR_n	قواعد ماشین‌کاری تکنیکی فیچر nام
RF	فیچرهای آماده ماشین‌کاری
RS_n	سطوح رفرنس فیچر nام
$PCLS$	سطوحی که بدون نیاز به ماشین‌کاری دقت لازم برای جاسازی را دارند
WP_D	قطعه‌کار طراحی شده
WP_M	قطعه کار تولیدی
WP_R	قطعه‌کار خام ماشین‌کاری
V_D	رئوس قطعه کار طراحی

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان اصول اخلاقی را در تهیه و تنظیم این مقاله رعایت نموده‌اند.

تعارض منافع: تمامی مطالب مذکور توسط نویسندگان انجام شده و هیچ فرد یا نهادی در تهیه آن نقش نداشته است.

منابع مالی: تمامی منابع مالی این تحقیق توسط دانشگاه تربیت مدرس تأمین شده است.

مراجع

1- Milosevic M, Lukic D, Antic A, Lalic B, Ficko M, Simunovic G. e-CAPP: A distributed collaborative system for internet-based process planning. Journal of Manufacturing Systems. 2017;42:210-23.
2- Phanden RK, Jain A, Verma R. Integration of process planning and scheduling: a state-of-the-art review. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2011;24(6):517-34.
3- Zhang Y, Hu W, Rong Y, Yen DW. Graph-based set-up planning and tolerance decomposition for computer-aided fixture design. International Journal of Production Research. 2001;39(14):3109-26.
4- Sun X, Chu X, Xue D, Su Y, Tang C. An integrated setup/fixture planning approach for machining prismatic parts. International Journal of Production Research. 2012;50(4):1009-27.
5- Manafi D, Nategh MJ. Integrating the setup planning with fixture design practice by concurrent consideration of machining and fixture design principles. International Journal of Production Research. 2021;59:2647-66.
6- Sormaz DN, Khoshnevis B. Modeling of manufacturing feature interactions for automated process planning. Journal of Manufacturing Systems. 2000;19(1):28-45.
7- Wang L, Cai N, Feng HY, Liu Z. Enriched machining feature-based reasoning for generic machining process sequencing. International Journal of Production Research. 2006;44(8):1479-501.
8- Liu Z, Wang L. Sequencing of interacting prismatic machining features for process planning. Computers in Industry. 2007;58(4):295-303.
9- Manafi D, Nategh MJ. A procedure for planning acyclic setups on the basis of simultaneous sequencing of setups and features. Int J Adv Manuf Technol. 2016;84(1):679-90.
10- Faheem W, Hayes CC, Castano J, Gaines D. What is a manufacturing interaction. Proceedings of the 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences1998. p. 1-6.
11- Zhang YF, Nee AYC, Ong SK. A hybrid approach for set-up planning. Int J Adv Manuf Technol. 1995;10(3):183-90.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-09]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.26.9]