ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):13-17.

Study of The Thread Whirling Process in Manufacturing of Pedicle Screws

ARTICLE INFO

Authors
Tarshizi M.[1],
Jafari D.[1],
Rasti A.[1*],

[1]Mechanical Engineering Department, Tarbiat modares university, Tehran, Iran.

*** Correspondence**
Address: Mechanical Engineering Department, Tarbiat modares university, Tehran, Iran
a.rasti@modares.ac.ir

How to cite this article
Tarshizi M*, Jafari D, Rasti A. Study of The Thread Whirling Process in Manufacturing of Pedicle Screws. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022; 22(10):13-17.

ABSTRACT

Thread whirling has been used in manufacturing spine screws instead of normal threading. The main advantage of thread whirling is high-speed production along with high precision. In this method, a whirling module and tool holder with specialized inserts have been used. The mentioned module is adjusted and connected to the machine at different angles according to the geometry of the thread. In this research, the thread whirling method was conducted on four pedicle screws made of Ti6Al4V to investigate the effect of the main cutting parameters, including cutting speed and feed rate on the surface integrity and dimensional accuracy. Based on the results, the obtained tolerances of the threads were in the acceptable range. In addition, the increased cutting speed reduced the surface integrity of the threads by plowing.

Keywords Thread Whirling, Pedicle screw, Ti6Al4V

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۳-۱۷.

مطالعه فرآیند رزوه تراشی گردابی در ساخت پیچ های ستون فقرات

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
محمد ترشیزی[۱]
دانیال جعفری[۱]
امیر راستی[۱*]

[۱] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*** نویسنده مسئول**
آدرس: دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
a.rasti@modares.ac.ir

چکیده

برای ساخت پیچ‌های ستون فقرات به جای رزوه تراشی معمولی می‌توان از رزوه تراشی گردابی (Thread whirling) استفاده کرد. از مهمترین مزایای استفاده از رزوه تراشی گردابی می‌توان به سرعت بالا در تولید انبوه با دقت بسیار بالا اشاره کرد. در این روش از یک ماژول رزوه‌تراشی گردابی ، یک هولدر وتعدادی اینسرت که روی هولدر مقید می‌شوند استفاده می‌شود. ماژول رزوه‌تراشی گردابی قابلیت این را دارد که تحت زوایای مختلف با توجه به هندسه رزوه تنظیم و به دستگاه وصل شود.با چرخش هولدر تحت زاویه و پیشروی قطعه‌کار به سمت جلو هندسه مد نظر ایجاد می‌شود. در این پژوهش، به‌منظور بررسی اثر پارامترهای برش اصلی فرایند شامل سرعت برشی و نرخ پیشروی بر دقت ابعادی و پارامترهای اصلی سلامت سطح پیچ ستون فقرات، ۴ نمونه از جنس آلیاژ Ti6Al4V توسط فرایند رزوه تراشی گردابی تولید گردید. بر اساس نتایج بدست آمده زوایا و اندازه رزوه ها در این روش از دقت هندسی و ابعادی بالایی برخوردارند، افزایش سرعت برشی باعث کاهش سلامت سطح رزوه ها شده و در برخی موارد باعث شخم زنی و عدم براده برداری شده است.

کلیدواژه‌ها : رزوه تراشی گردابی، پیچ ستون فقرات، Ti_6Al_4V

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.4.7]

۱- مقدمه

آلیاژهای تیتانیوم به دلیل زیست سازگاری به طور گسترده در ساخت انواع ایمپلنت‌های ارتوپدی، پیچ‌های ارتوپدی، پیچ‌های ستون فقرات و ایمپلنت‌های دندانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال ماشین کاری آلیاژهای تیتانیوم بدلیل ضریب هدایت حرارتی پایین که باعث کاهش شدید عمر ابزار شده بسیار مشکل است. ساخت پیچ‌های ستون فقرات نیازمند فرآیندهایی مانند تراشکاری، سوراخکاری، فرزکاری و رزوه تراشی می‌باشد. برای تولید انبوه با دقت بالا و هندسه کاملا یکسان به جای رزوه تراشی معمولی از رزوه تراشی گردابی (Thread whirling) استفاده می‌شود.

در این روش به دلیل اینکه حجم براده بین لبه‌های برشی اینسرت ها تقسیم می‌شود نیروهای برشی کاهش یافته و باعث افزایش عمر ابزار می‌گردد.

در ادامه به برخی مطالعات انجام شده در زمینه رزوه تراشی گردابی اشاره شده است:

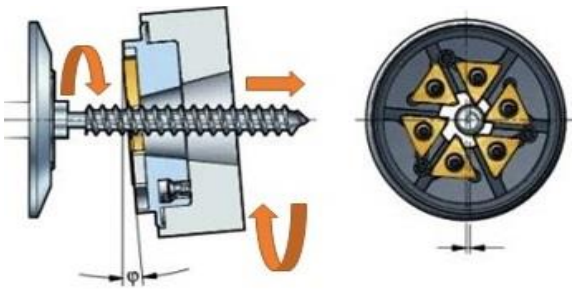
شنگ و همکاران[1]مطالعه ای در مورد ماشینکاری ایمپلنت‌های دندانی با روش رزوه تراشی گردابی داشته اند که هدف این پژوهش بررسی هندسه رزوه بوده است. نتایج که اگر خطای زاویه تنظیم هولدر کمتر از ۰/۵ درجه باشد تغییرات در هندسه رزوه بسیار ناچیز است.

چن و همکاران[2] رزوه تراشی داخلی در ماشینکاری ایمپلنت دندانی را مورد بررسی قرار داده اند که در این مطالعه روش جدیدی از خنک کاری حین فرآیند برش برای حل مشکلات ماشینکاری آلیاژهای تیتانیوم پیشنهاد شده است. سوشی و همکاران[3] تولید ایمپلنت ها به روش رزوه تراشی گردابی را با استفاده از ابزارهای مختلف برشی مورد مطالعه و بررسی قرار داده‌اند که نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که بین ابزارهای CBN و PCD در سرعتهای برشی بالا استفاده از ابزارهای CBN بهتر می‌باشد و این ابزارها از مقاومت بالاتری برخوردارند.

در این پژوهش سینماتیک فرایند رزوه تراشی گردابی جهت ساخت پیچ‌های ستون فقرات توسعه داده شده و اثر پارامترهای برش بر دقت ابعادی و بافت سطح پیچ‌های ستون فقرات مورد بررسی قرار گرفت.

۱- سینماتیک فرآیند رزوه تراشی گردابی:

در رزوه تراشی گردابی بر خلاف روش‌های سنتی رزوه تراشی، هم ابزار و هم قطعه‌کار حرکت دورانی دارند. شکل ۱ سینماتیک رزوه تراشی گردابی را به تصویر کشیده است. در این فرآیند سه نوع حرکت همزمان وجود دارد که شامل حرکت دورانی ابزار تحت زاویه حول محور خود، حرکت دورانی و محوری قطعه‌کار می‌باشد. حرکت دورانی و محوری قطعه‌کار باعث ایجاد هندسه رزوه مورد نظر شده و حرکت دورانی ابزار باعث انجام فرایند براده‌برداری می‌شود[3].



شکل ۱) سینماتیمک رزوه تراشی گردابی به همراه نحوه قرارگیری اینسرت‌ها روی هولدر

دور اسپیندل در این فرآیند طبق رابطه *(۱)* بدست می‌آید.

$$n = 1000 \times v_c / \pi \times Di \qquad (۱)$$

که در این رابطه v_c سرعت برشی و D_i قطر دایره تشکیل دهنده از نوک اینسرت ها می‌باشد.

نرخ پیشروی نیز در این فرآیند طبق رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$f_z = \pi \times D \times n_m/n \times z \times cosy \qquad (۲)$$

که در این رابطه، D قطر خارجی پیچ ، n_m دور قطعه کار، n دور اسپیندل، z تعداد اینسرت ها و y زاویه پیچ می‌باشد. سرعت پیشروی قطعه‌کار نیز از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$V_{f1}(\mathrm{mm/min}) = n \times f_z \times z \qquad (۳)$$

که در این رابطه، fz نرخ پیشروی محوری قطعه‌کار به ازای هر دندانه، n سرعت دروانی ابزار رزوه‌تراشی گردابی بر حسب دور بر دقیقه و z تعداد اینسرت می‌باشد.

زاویه تنظیم ابزار رزوه‌تراشی گردابی نیز از رابطه (٤) بدست می‌آید.

$$\tan\varphi = P/P_{AV} \qquad (٤)$$

که در این رابطه، P اندازه گام پیچ و P_{AV} محیط متوسط پیچ می‌باشد که از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$P_{AV} = (D+d)/2 \times \pi \qquad (۵)$$

بر اساس تنظیمات دستگاه، نیاز به تبدیل پیشروی بر حسب میلیمتر بر درجه می‌باشد که از رابطه (٦) بدست می‌آید.

$$V_f(mm/deg) = (\frac{90}{\pi} \times D) \times 360 \qquad (٦)$$

که در این رابطه مقدار D قطر متوسط قطعه‌کار می‌باشد.

۲- مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایش

همانطور که اشاره گردید، در این پژوهش اثر پارامترهای برش اصلی فرایند شامل سرعت دورانی ابزار رزوه‌تراشی گردابی و نرخ پیشروی قطعه‌کار بر دقت ابعادی و پارامترهای اصلی سلامت سطح پیچ ستون فقرات مورد بررسی قرار گرفت. جنس قطعه‌کار در این پژوهش میلگرد قطر ۸ میلیمتر از آلیاژ تیتانیوم گرید Ti_6Al_4V می‌باشد. جهت ایجاد روزه روی نمونه‌های نیز از ماشین‌ابزار مدل

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.4.7]

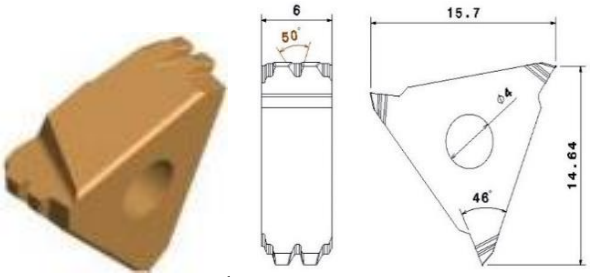
سرعت اسپیندل بیشینه ۸۰۰۰ دور بر دقیقه مطابق شکل ۲ استفاده شد.

شکل ۲) ماشین‌ابزار مدل سوییسی برند TORNOS DECO 2000 مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها

به‌منظور انجام رزوه تراشی گردابی از یک ماژول رزوه‌تراشی گردابی مطابق شکل ۳ بهره گرفته شد. این ماژول توسط یک تسمه دندانه دار به موتور محرکه دستگاه وصل می‌شود[4] و هولدر اینسرت‌ها در قسمت پیشانی ماژول نصب تنظیم می‌گردد. این ماژول جهت تنظیم زاویه ابزار مجهز به یک ورنیه تنظیم زاویه می‌باشد که بوسیله پیچ‌های قفل کننده زاویه آن مقید می‌شود[5].
هولدر مورد استفاده در آزمایش از برند HORN با شماره کاتالوگ LM302.12.WF.01.10.5.6 مطابق شکل ٤ می‌باشد و اینسرت نیز از برند HORN با مدل WSP Type 314 مطابق شکل ٥ می‌باشد و پوشش اینسرت ها نیز از نوع TiAlN می‌باشد.
جهت بررسی اثر پارامترهای برش، سرعت دورانی اسپیندل و نرخ پیشروی قطعه‌کار در دو سطح تغییر داده شدند. در مجموع ٤ نمونه آزمایشی پیچ تولید گردید. جدول شماره ۱ پارامترهای مورد بررسی و سطوح آنها را نشان می‌دهد.

شکل ۳) ماژول رزوه‌تراشی گردابی مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها

شکل ۴) هولدر نصب شده بر روی ماژول رزوه‌تراشی گردابی

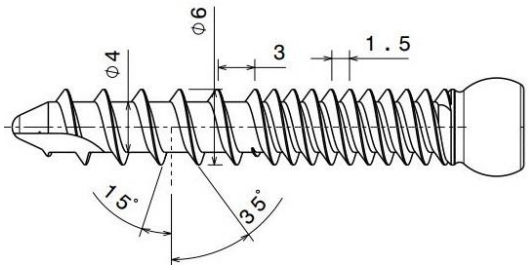


شکل ۵) اینسرت استفاده شده در رزوه‌تراشی گردابی

طبق شکل ۶ ابعاد و اندازه های پیچ تولید شده نشان داده شده است که در آن قطر اصلی پیچ ۶ میلیمتر، قطر پای دنده ۴ میلیمتر، گام پیچ ۳ میلیمتر و اندازه زاویه بین دنده ها ۵۰ درجه می‌باشد. نصف پیچ به صورت یک راهه و نصف دیگر آن به صورت دوراهه می‌باشد. در این پژوهش به دلیل حائز اهمیت بودن قسمت یک راهه پیچ ، این قسمت از پیچ مورد بررسی قرار گرفته است. جهت بررسی ابعادی و بافت سطح نمونه‌های تولید شده از میکروسکوپ مدل Olympus-SZX16 بهره گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

همانگونه که مطرح شد ٤ آزمایش مطابق **جدول ۲** صورت گرفت و پارامترهای زاویه رزوه، کیفیت رزوه، بافت سطح و زبری سطح پیچ ستون فقرات مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به بیان جزییات این موارد پرداخته می‌شود.
در این پژوهش ۴ پیچ با در نظر گرفتن معادلات و پارامترهای بالا تولید گردیده که در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶) نقشه هندسه رزوه نهایی

جدول ۱) پارامترهای مورد بررسی و سطوح آن‌ها

فاکتورها	سطوح	
	سطح۱	سطح۲
سرعت دورانی اسپیندل n (دور بر دقیقه)	۱۵۰۰	۲۵۰۰
نرخ پیشروی f_z (میلیمتر بر دندانه)	۵۰۰	۳۵۰۰

جدول ۲) پارامترهای برش مورد استفاده در هر آزمایش

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴
سرعت دورانی اسپیندل n (دور بر دقیقه)	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰
نرخ پیشروی f_z (میلیمتر بر دندانه)	۵۰۰	۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.4.7]

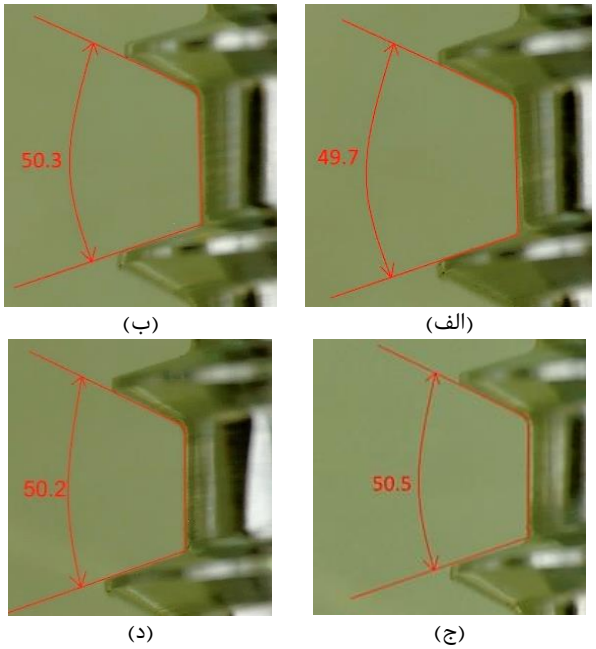
شکل ۷) پیچ های تولید شده توسط فرایند رزوه تراشی گردابی

۳-۱- زاویه رزوه پیچ ستون فقرات

اندازه‌گیری زوایای نمونه‌های تولیدشده بوسیله میکروسکوپ نشان داد که زاویه ایجاد شده در رنج ۴۹/۷ تا ۵۰/۵ درجه متغیر بود که با توجه به تلرانس مجاز زاویه پیچ در بازه ±۰/۵ درجه، اعداد بدست آمده قابل قبول می‌باشد. میزان تاثیر نرخ پیشروی و سرعت برشی در اندازه ابعادی و زاویه رزوه‌ها کمتر از ۱/۵٪ مشاهده گردید. در شکل ۸ اندازه زاویه پیچ ها نشان داده شده است.

۳-۲- کیفیت رزوه

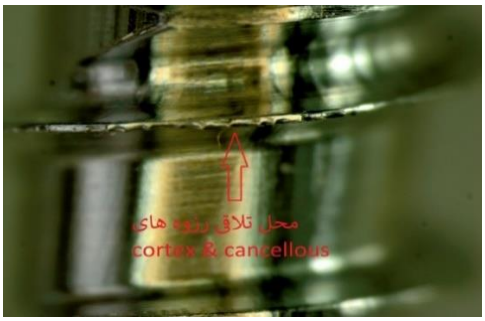
در بررسی‌های به عمل آمده و طبق تصاویر ثبت شده میکروسکوپی، تمامی قطعات در محل تلاقی رزوه‌های عمیق با رزوه‌های کم عمق مطابق شکل ۹ دچار لهیدگی و پدیده دندانه‌ای شده بودند. این عیوب در نمونه های تولید شده با سرعت برشی بالا، کمتر از سایر نمونه‌ها مشاهده گردید.



(ب) (الف)

(د) (ج)

شکل ۸) زوایای اندازه‌گیری شده رزوه پیچ ستون فقرات در آزمایش‌های ۱ تا ۴ در روش رزوه تراشی گردابی



شکل ۹) محل تلاقی رزوه‌های دنده عمیق با رزوه‌های دنده کم عمق در پیچ ستون فقرات ساخته شده توسط فرایند رزوه تراشی گردابی

۳-۳- تغییر ضخامت سر رزوه ها

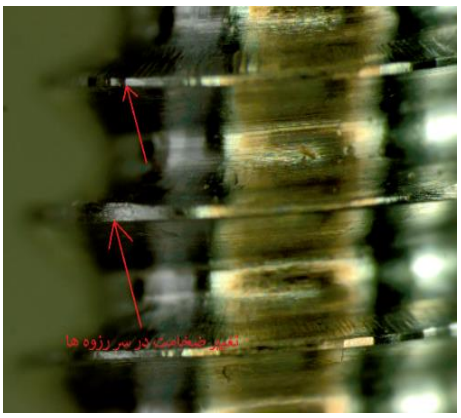
به دلیل سینماتیک فرایند، وجود ارتعاش در زمان برخورد اینسرت با قطعه اجتناب‌ناپذیر بوده و با انتخاب بهینه پارامترهای برش می‌توان این پدیده را کاهش داد. مشاهده گردید که در اثر این ارتعاش، ضخامت سر رزوه ها در نمونه‌های تولیدی متغیر می‌باشد. بیشترین تغییر در نمونه تولیدی با کمینه سرعت برشی و بیشینه نرخ پیشروی مطابق شکل ۱۰ مشاهده گردید.

۳-۴- بافت سطح

معمولا اظهار نظر در خصوص بافت سطوح استوانه‌ای کاری دشوار و پیچیده است. در شکل ۱۱ تصاویری از بافت سطح در نمونه‌های تولید شده طبق جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود. با توجه به تصاویر تهیه شده، مکانیزم باربرداری پیوسته در شکل رد ابزار مشهود است. با این حال به علت حرکت نسبی دوران قطعه‌کار و ابزار، در برخی موارد شخم‌زنی مشاهده می‌شود. مطابق شکل ۱۱، پارگی و لهیدگی سطح در آزمایش های ۲ و ٤ مشهودتر است.

۴- زبری سطح

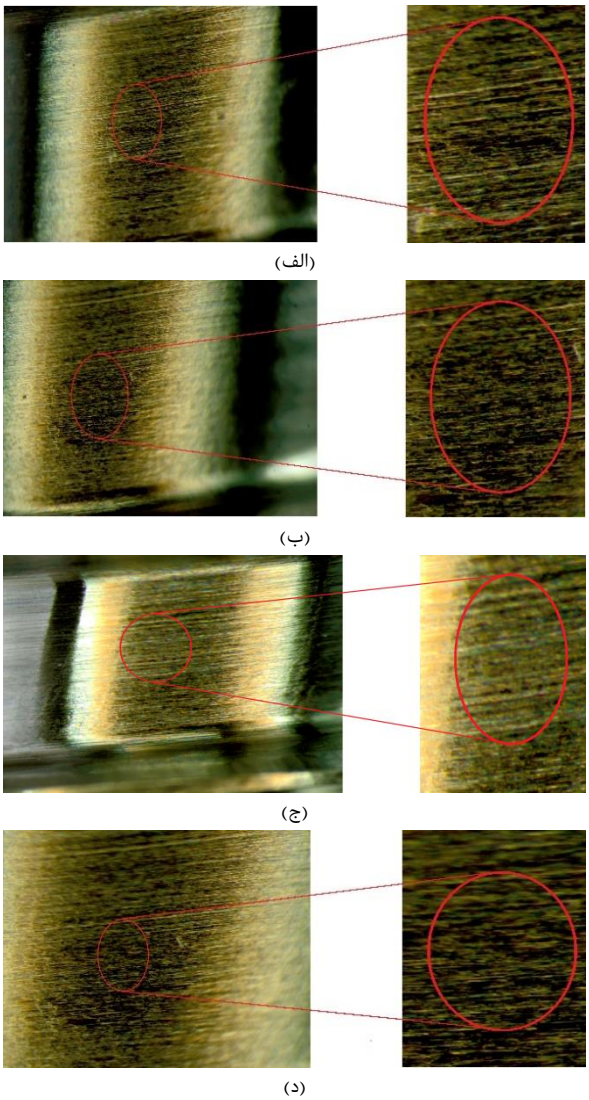
اندازه‌گیری زبری سطح در ریشه رزوه نشان داد که با افزایش سرعت برشی، زبری سطح تا ۳۰٪ کاهش یافت. بیشترین مقدار زبری نیز در سطح بالای نرخ پیشروی و سطح پایین سرعت برشی با مقدار ۱/۷ میکرومتر مشاهده گردید. لازم به ذکر است که در این ایمپلنت‌ها، جهت شکل‌گیری بهتر بافت در اطراف ایمپلنت، زبری سطح کمی بالا، مزیت محسوب می‌گردد.



شکل ۱۰) تغییر ضخامت سر رزوه ها در فرایند رزوه تراشی گردابی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.4.7]



شکل ۱۱) بافت سطح پیچ‌های ستون فقرات ساخته شده توسط فرایند رزوه تراشی گردابی

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش روش رزوه تراشی گردابی به عنوان روشی جهت تولید انبوه با دقت بالا در تولید پیچ‌های ستون فقرات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این پژوهش به طور خلاصه در ادامه آورده شده است:

۱- اندازه‌های ابعادی و زاویه‌ای در این روش از دقت مناسب برخوردار است. اثر پارامترهای برش ناچیز بودند.

۲- در این روش به دلیل تقسیم حجم براده‌برداری بین چند اینسرت، رزوه‌های تولیدی از کیفیت بالایی برخوردار بودند.

۳-افزایش سرعت برشی باعث کاهش سلامت سطح رزوه‌ها و در برخی موارد حتی باعث شخم‌زنی و عدم براده‌برداری شده است.

مراجع

1. Cheng, E.H., et al. *Study of Using Internal Thread Whirling in Machining Titanium Dental Implant*. in *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Trans Tech Publ.
2. Soshi, M., et al., *Development of a directly-driven thread whirling unit with advanced tool materials for mass-production of implantable medical parts.* CIRP Annals, 2018. **67**(1): p. 117-120.
3. Merticaru, V., et al. *Some Aspects about the Significant Parameters of the Thread Whirling Process*. in *Applied Mechanics and Materials*. 2016. Trans Tech Publ.
4. Creţu, G., *Aspects of power consumption in alloy steels processing using thread whirling.* INTERNATIONAL JOURNAL, 2015. **7**(2): p. 53-56.
5. Son, J.H. and Y.M. Lee. *Thermal analysis of whirling unit attached to thread whirling machine*. in *Materials Science Forum*. 2008. Trans Tech Publ.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.4.7]