



Study of The Thread Whirling Process in Manufacturing of Pedicle Screws

ARTICLE INFO

Authors

Tarshizi M.¹,
Jafari D.¹,
Rasti A.^{1*}

¹Mechanical 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 ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۱۳-۱۷.



مطالعه فرآیند رزوه تراشی گردابی در ساخت پیچ‌های ستون فقرات



چکیده

مشخصات مقاله

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 یا دقت بسیار بالا اشاره کرد. در این روش از یک ماژول رزوه‌تراشی گردابی، یک هولدر و تعدادی 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، به منظور بررسی اثر پارامترهای برش اصلی فرآیند شامل سرعت برشی و نرخ پیشروی بر دقت ابعادی و پارامترهای اصلی سلامت سطح پیچ ستون فقرات، ۴ نمونه از جنس آلیاژ Ti6Al4V توسط فرآیند رزوه تراشی گردابی تولید گردید. بر اساس نتایج بدست آمده زوایا و اندازه رزوه‌ها در این روش از دقت هندسی و ابعادی بالایی برخوردارند، افزایش سرعت برشی باعث کاهش سلامت سطح رزوه‌ها شده و در برخی موارد باعث شخم زنی و عدم براده برداری شده است.

نویسنده‌ها

محمد ترشیزی^۱
دانیال جعفری^۱
امیر راستی^{۱*}

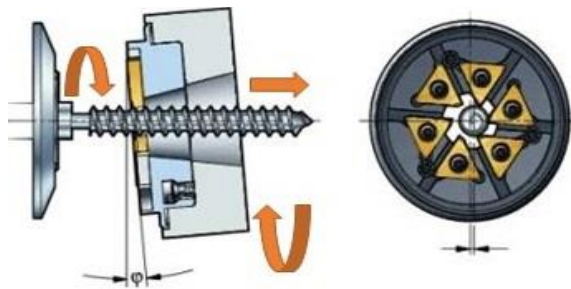
^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول

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

کلیدواژه‌ها: رزوه تراشی گردابی، پیچ ستون فقرات، Ti6Al4V

نظر شده و حرکت دورانی ابزار باعث انجام فرایند براده برداری می شود^[3].



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

دور اسپیندل در این فرآیند طبق رابطه (۱) بدست می آید.

$$n = 1000 \times v_c / \pi \times Di \quad (1)$$

که در این رابطه v_c سرعت برشی و Di قطر دایره تشکیل دهنده از نوک اینسرت‌ها می باشد.

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

$$f_z = \pi \times D \times n_m / n \times z \times \cos \gamma \quad (2)$$

که در این رابطه، D قطر خارجی پیچ، n_m دور قطعه کار، n دور اسپیندل، z تعداد اینسرت‌ها و γ زاویه پیچ می باشد. سرعت پیشروی قطعه کار نیز از رابطه (۳) بدست می آید.

$$V_{f1} (\text{mm/min}) = n \times f_z \times z \quad (3)$$

که در این رابطه، f_z نرخ پیشروی محوری قطعه کار به ازای هر دندانه، n سرعت دورانی ابزار رزوه تراشی گردابی بر حسب دور بر دقیقه و z تعداد اینسرت می باشد.

زاویه تنظیم ابزار رزوه تراشی گردابی نیز از رابطه (۴) بدست می آید.

$$\tan \phi = P / P_{AV} \quad (4)$$

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

$$P_{AV} = (D + d) / 2 \times \pi \quad (5)$$

بر اساس تنظیمات دستگاه، نیاز به تبدیل پیشروی بر حسب میلیمتر بر درجه می باشد که از رابطه (۶) بدست می آید.

$$V_f (\text{mm/deg}) = \left(\frac{90}{\pi} \times D \right) \times 360 \quad (6)$$

که در این رابطه مقدار D قطر متوسط قطعه کار می باشد.

۲- مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایش

همانطور که اشاره گردید، در این پژوهش اثر پارامترهای برش اصلی فرایند شامل سرعت دورانی ابزار رزوه تراشی گردابی و نرخ پیشروی قطعه کار بر دقت ابعادی و پارامترهای اصلی سلامت سطح پیچ ستون فقرات مورد بررسی قرار گرفت. جنس قطعه کار در این پژوهش میلگرد قطر ۸ میلیمتر از آلیاژ تیتانیوم گرید Ti6Al4V می باشد. جهت ایجاد رزوه روی نمونه های نیز از ماشین ابزار مدل

۱- مقدمه

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

در این روش به دلیل اینکه حجم براده بین لبه های برشی اینسرت ها تقسیم می شود نیروهای برشی کاهش یافته و باعث افزایش عمر ابزار می گردد.

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

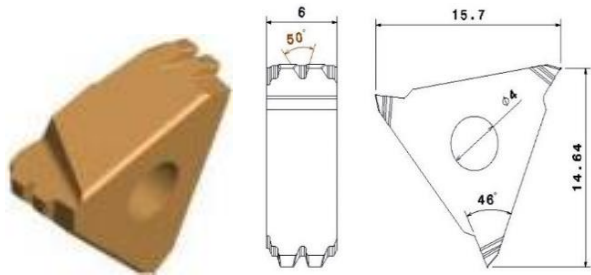
شنگ و همکاران^[1] مطالعه ای در مورد ماشینکاری ایمپلنت های دندانی با روش رزوه تراشی گردابی داشته اند که هدف این پژوهش بررسی هندسه رزوه بوده است. نتایج که اگر خطای زاویه تنظیم هولدر کمتر از ۰/۵ درجه باشد تغییرات در هندسه رزوه بسیار ناچیز است.

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 داده اند که نتیجه این پژوهش نشان می دهد که بین ابزارهای CBN و PCD در سرعت های برشی بالا استفاده از ابزارهای بهتر می باشد و این ابزارها از مقاومت بالاتری برخوردارند.

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

۱- سینماتیک فرایند رزوه تراشی گردابی:

در رزوه تراشی گردابی بر خلاف روش های سنتی رزوه تراشی، هم ابزار و هم قطعه کار حرکت دورانی دارند. شکل ۱ سینماتیک رزوه تراشی گردابی را به تصویر کشیده است. در این فرایند سه نوع حرکت همزمان وجود دارد که شامل حرکت دورانی ابزار تحت زاویه حول محور خود، حرکت دورانی و محوری قطعه کار می باشد. حرکت دورانی و محوری قطعه کار باعث ایجاد هندسه رزوه مورد

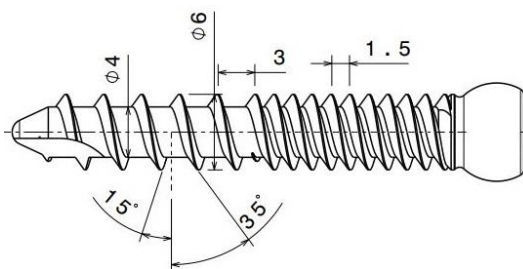


شکل ۵) اینسرت استفاده شده در رزوه تراشی گردابی

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 می باشد. نصف پیچ به صورت یک راهه و نصف دیگر آن به صورت دوراهه می باشد. 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 نمونه های تولید شده از میکروسکوپ مدل Olympus-SZX16 بهره گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

همانگونه که مطرح شد ۴ 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 جزئیات این موارد پرداخته می شود. 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 آن ها

فاکتورها	سطوح	
	سطح ۱	سطح ۲
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	پارامترهای برش			
	۱	۲	۳	۴
سرعت دورانی اسپیندل n (دور بر دقیقه)	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۲۵۰۰
نرخ پیشروی f_z (میلیمتر بر دندانه)	۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰

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



شکل ۲) ماشین ابزار مدل سویسی برند TORNOS DECO 2000 مورد استفاده جهت انجام آزمایش ها

به منظور انجام رزوه تراشی گردابی از یک ماژول رزوه تراشی گردابی مطابق شکل ۳ بهره گرفته شد. این ماژول توسط یک تسمه دندانه دار به موتور محرکه دستگاه وصل می شود^[4] و هولدر اینسرت ها در قسمت پیشانی ماژول نصب تنظیم می گردد. این ماژول جهت تنظیم زاویه ابزار مجهز به یک ورنیه تنظیم زاویه می باشد که بوسیله پیچ های قفل کننده زاویه آن مقید می شود^[5]. هولدر مورد استفاده در آزمایش از برند HORN با شماره کاتالوگ LM302.12.WF.01.10.5.6 مطابق شکل ۴ می باشد و اینسرت نیز از برند HORN با مدل WSP Type 314 مطابق شکل ۵ می باشد و پوشش اینسرت ها نیز از نوع TiAlN می باشد. جهت بررسی اثر پارامترهای برش، سرعت دورانی اسپیندل و نرخ پیشروی قطعه کار در دو سطح تغییر داده شدند. در مجموع ۴ نمونه آزمایشی پیچ تولید گردید. جدول شماره ۱ پارامترهای مورد بررسی و سطوح آنها را نشان می دهد.



شکل ۳) ماژول رزوه تراشی گردابی مورد استفاده جهت انجام آزمایش ها



شکل ۴) هولدر نصب شده بر روی ماژول 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

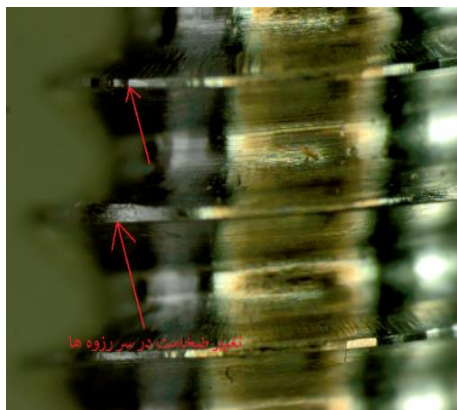
به دلیل سینماتیک فرایند، وجود ارتعاش در زمان برخورد اینسرت با قطعه اجتناب‌ناپذیر بوده و با انتخاب بهینه پارامترهای برش می‌توان این پدیده را کاهش داد. مشاهده گردید که در اثر این ارتعاش، ضخامت سر رزوه ها در نمونه‌های تولیدی متغیر می‌باشد. بیشترین تغییر در نمونه تولیدی با کمینه سرعت برشی و بیشینه نرخ پیشروی 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 آزمایش‌های ۲ و ۴ 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



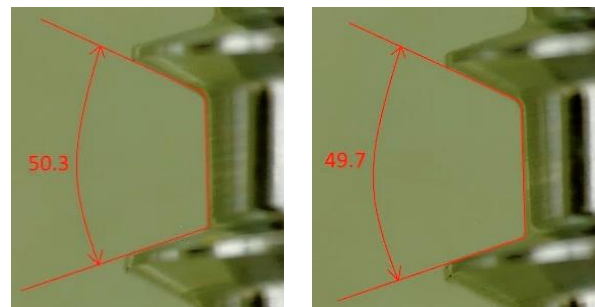
شکل ۷) پیچ‌های تولید شده توسط فرایند رزوه تراشی گردابی

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 تolerانس مجاز زاویه پیچ در بازه ± 0.5 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 پیچ‌ها نشان داده شده است.

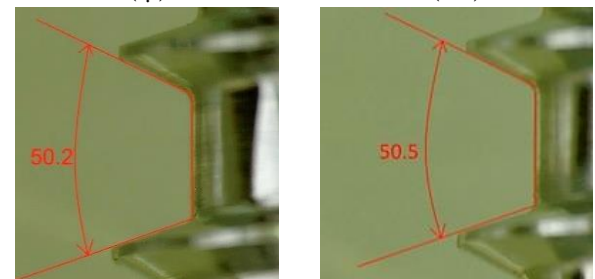
۳-۲- کیفیت رزوه

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 نمونه‌های 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

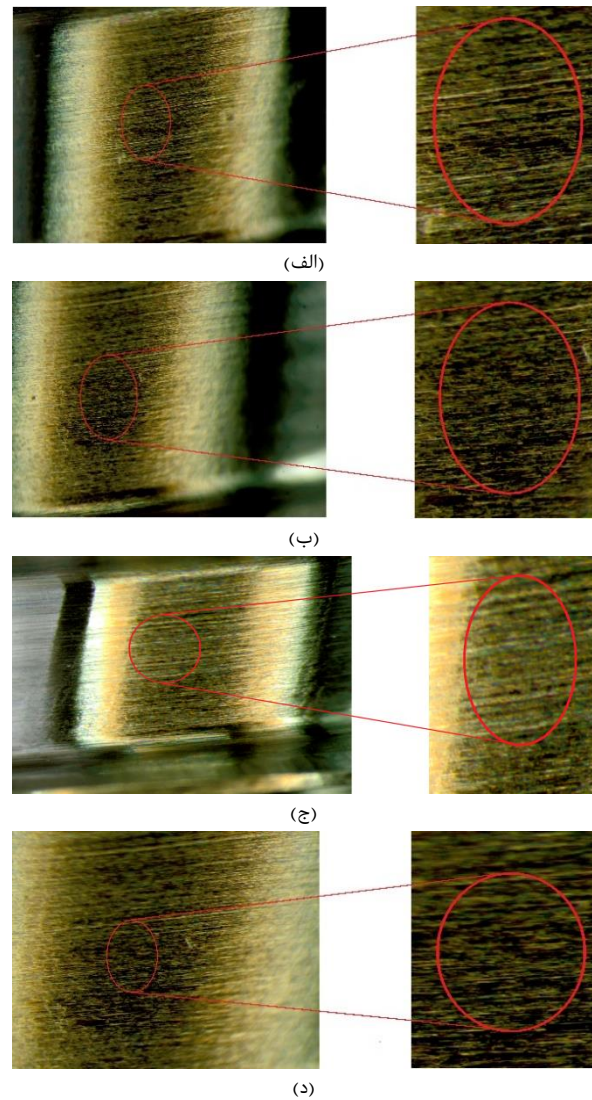
Applied Mechanics and Materials. 2013. Trans Tech Publ.

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. Crețu, 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.



شکل ۱۱) بافت سطح پیچ‌های ستون فقرات ساخته شده توسط فرآیند 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