Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۸۶، جلد ۴۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۱۱۱-۱۱۷

بررسی تجربی تغییرات بافت، سختی و استحکام رزوه‌های ایجاد شده در لوله با فرایند پیچزنی غلطکی و ماشینکاری

بهنام داودی* دانشیار، آزمایشگاه تحقیقاتی سیستم‌های تولید پایدار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مهدی سلیمانی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

از فرایندهای مختلفی نظیر ماشینکاری و نورد برای تولید رزوه استفاده می‌شود. با توجه به نیاز به رزوه‌هایی با کیفیت و استحکام بالا، فرایند پیچزنی غلطکی مورد توجه تولید کنندگان می‌باشد. از دیگر مزایای فرایند، تولید بدون براده و هدر رفت ماده و نرخ تولید بالا است. بررسی خواص رزوه‌ها به علت هندسه‌ی نسبتاً پیچیده و ابعاد کوچک با دشواری همراه است. با توجه به نیاز روز افزون به دقت، سرعت و بهینه‌سازی فرایندهای تولید توجه محققان به شبیه‌سازی المان محدود بیشتر شده است. در این پژوهش به بررسی تجربی و شبیه‌سازی عددی ایجاد رزوه روی لوله از جنس فولاد ST37 پرداخته شده و به منظور بررسی بافت مواد، سختی و استحکام رزوه‌های ایجاد شده با فرایند پیچزنی غلطکی آزمایش‌هایی طراحی و اجرا شد. سپس نتایج با نتایج شبیه‌سازی فرایند در کد تجاری ABAQUS و نتایج حاصل از رزوه‌زنی با فرایند ماشینکاری مقایسه شد. نتایج نشان داد در سختی و استحکام رزوه‌های تولید شده با فرایند پیچزنی غلطکی بهبود قابل توجهی حاصل می‌شود و همچنین سختی این رزوه‌ها در مقایسه با رزوه‌های تولید شده با فرایند ماشینکاری بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: پیچزنی غلطکی، ماشینکاری، رزوه، بافت، ریز ساختار.

Experimental study of changing of texture, Hardness and Strength of threads on tube made by thread rolling and Machining

B. Davoodi Sustainable Manufacturing Systems Research Laboratory(SMSRL), School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

M. Soleimani School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract

Machining and rolling processes are used to produce threads. The thread rolling process is more considered by the producers because of necessity to threads with high quality and strength in different industries. Other advantages of this process are producing without chips and wasting of material with high rate of manufacturing. Because of indicated geometry and small sizes of the threads studying on them is difficultly. As for increasing demands to accuracy, speed and optimization of manufacturing process the regard to the finite elements simulations of processes has been increased by the investigators. At this article making threads on St37 steel pipes has been done. For studying microhardness, texture of material and strength of threads made by thread rolling some tests were design and done. Then the results compared with process simulation results in ABAQUS commercial code and the results got by machining threading process. The results showed that the hardness and strength is significantly improved in the threads made by thread rolling and the hardness of these threads is higher than threads made by machining process.

Keywords: Thread rolling, Machining, Thread, Texture, Microstructure.

۱- مقدمه

پیچ‌ها همواره قسمتی از اجزای سازنده‌ی تجهیزات صنعتی را به خود اختصاص می‌دهند به‌طوری‌که تخمین زده شده که یک درصد از قیمت تمام‌شده‌ی محصولاتی که در آن‌ها پیچ و مهره به‌کاررفته است، مربوط به آن‌ها است. در این میان حدود ۹۰٪ از پیچ‌های تولیدی به روش پیچ زنی غلطکی انجام می‌شود. معمولاً رزوه، به دو طریق نوردکاری و برشی تولید می‌شوند. این دو فرآیند تولید رزوه‌ها فرآیندهایی کارا ازلحاظ اقتصادی می‌باشند. ازآنجایی‌که رزوه‌های تولیدشده به روش نوردکاری به‌صورت سرد شکل‌دهی می‌شوند، در این حالت هیچ‌گونه ماده‌ای از قطعه‌ی خام جدا نخواهد که این امر منجر به صرفه‌جویی در مقدار ماده‌ی مصرفی می‌شود. به‌طور مثال برای تولید پیچ مهره‌دار UNC ۱/۲-۱۳ به روش برشی،۲۰ درصد ماده‌ی بیشتر نسبت به قطعه‌ی مورداستفاده در تولید این پیچ مهره‌دار به روش نوردکاری نیاز است. نوردکاری یکی از روش‌های ارزان فرایند شکل‌دهی به حالت سرد هست که از طریق آن می‌توان عملیات تولید رزوه را با سرعت بالا و با طول عمر خوب ابزار تولید نمود. البته باید توجه داشت که تمامی رزوه‌ها را نمی‌توان به طریق نوردکاری تولید کرد[۳-۱].

در سال ۲۰۰۵ خوستیکو و همکارانش[۴] به تحقیق در خصوص ریزساختار و ریز سختی رزوه‌ها که با فرایند پیچزنی غلطکی تولید شده بود پرداختند. در این تحقیق، ویژگی‌ها و عمق لایه‌ی شکل‌دهی شده در فرآیند بررسی شده است. نتایج نشان داد این فرایند می‌تواند باعث بهبود دقت و کیفیت سطح رزوه‌ها و همچنین افزایش استحکام اتصالات شود. همچنین این فرایند می‌تواند نیاز به

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: bdavoodi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۷

www.SID.ir

Archive of SID

عملیات بعدی نظیر عملیات حرارتی و عملیات سنگ‌زنی را حذف کند. کیفیت سطح به‌دست‌آمده در این فرآیند بین ۰/۰۸ تا ۰/۶۳ میکرومتر در معیار R_a است که چنین کیفیتی توسط فرآیند سنگ‌زنی قابل دستیابی است. این فرایند در مقایسه با فرآیند ماشین‌کاری استحکام شکست[1] را ۲۰ تا ۳۰٪ و استحکام خستگی را حدود ۱۵۰ درصد افزایش می‌دهد. همچنین به علت ایجاد کار سختی، سختی سطح رزوه شده با فرآیند پیچزنی غلتکی ۱۵ تا ۲۵٪ افزایش می‌یابد. افزایش سختی رزوه‌ها به علت پایداری سطحی بالای آن‌ها است درحالی‌که کیفیت بالای سطح آن‌ها به علت افزایش خواص ضد سایش آن‌ها است. این ویژگی‌ها برای قطعات با کاربرد خاص بسیار مهم هستند. به‌علاوه برای خیلی از مواد که ماشین‌کاری آن‌ها سخت است مانند فولاد و آلیاژهای مقاوم به سایش، تیتانیم و آلیاژهای آن، آلیاژهای نیکل و نیکل-کروم و غیره، نوردکاری بسیار راحت‌تر از ماشینکاری است.

در سال ۲۰۰۷ کیم و همکارانش[۵] اثرات نرخ نفوذ ابزار را بر مقاومت خستگی و تنش‌های پسماند در تولید رزوه و بدون استفاده از روان کار بررسی کردند. این محققان با کار آزمایشگاهی و شبیه‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی المان محدود به بررسی تنش‌های پسماند و مقاومت به خستگی پرداختند. نتایج نشان داد مقاومت خستگی در تولید با نرخ‌های نفوذ بالاتر بیشتر است. همچنین تنش‌های پسماند محوری فشاری در نرخ نفوذهای بالاتر بیشتر می‌شود. همچنین نتایج حاکی از آن است که نتایج شبیه‌سازی سه‌بعدی نسبت به شبیه‌سازی دوبعدی از انطباق بیشتر با آزمایشات عملی برخوردار است.

در سال ۲۰۰۸ ژو و همکارانش[۶] به بررسی خستگی در پیچ‌های به‌کاررفته در خودروها پرداختند. آن‌ها با اعمال بارگذاری‌های مختلف در فرایند پیچزنی غلطکی به این نتیجه رسیدند که با افزایش پیش‌بار مقاومت به خستگی پیچ‌ها افزایش می‌یابد و در هنگام شکست، ترک‌ها در قسمت پایین دندانه‌های رزوه ظاهر می‌شوند.

در سال ۲۰۱۱ مارسلو و همکاران[۷] استحکام خستگی در پیچ‌های تولیدشده با روش نوردکاری را قبل و بعد از عملیات حرارتی بررسی کردند. آزمایش‌ها در نمونه‌های از جنس فولاد ۴۱۳۵ AISIنشان داد که استحکام پیچ‌هایی که ابتدا عملیات حرارتی شده و سپس رزوه با نوردکاری روی آن‌ها ایجادشده است نسبت به حالتی که عملیات حرارتی بعد از ایجاد رزوه انجام‌شده است، بیشتر است.

در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ لی و همچنین سونگ و همکاران[۸,۹]]فرایند پیچزنی غلطکی با قالب‌های تخت را بر روی پیچ‌های با ابعاد خیلی ریز شبیه‌سازی کردند. آن‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار DEFORM و انجام تست عملی به بررسی تأثیر عدم هم‌راستایی دو قالب و تغییر ضریب اصطکاک در شکل‌گیری رزوه پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود به مقدار بهینه برای اصطکاک دست‌یافتند که از لغزش بین قالب و ماده‌ی خام جلوگیری شود. همچنین آن‌ها برای تصحیح رزوه‌های ناقص ایجادشده روی ماده خام مکان نسبی بین دو قالب را به اندازه‌ی نصف طول گام رزوه تغییر دادند. در مورد جریان یافتن ماده نیز مشاهده شد که در فولادهای ضدزنگ به علت کار سختی بالا ماده به سختی جریان می‌یابد و در قسمت بالای دنده، جریان ماده کمتر است.

در سال ۲۰۱۳ ونکاتسوارلو و همکارانش[۱۰] به بررسی خستگی در پیچ‌هایی از جنس آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V به‌کاررفته در صنایع هوافضا که با روش پیچزنی غلطکی تولیدشده بودند، پرداختند. بعد از انجام عملیات حرارتی روی میله و تولید پیچ به بررسی میکرو ساختار پرداختند و با آزمایشهایی به شرایط بهینه که در آن حالت پیچ‌های تولیدشده ازلحاظ متالورژیکی دارای ترکیبی همگن باشند، دست‌یافتند.

در سال ۲۰۱۳ وانگ و همکارانش[۱۱] با مطالعه‌ی تجربی و شبیه-سازی دوبعدی فرایند ایجاد سر پیچ و همچنین فرایند پیچ زنی غلطکی با نرم‌افزار DEFORM برای پیچ‌هایی از جنس منیزیم آلیاژی LZ91 پارامترهای مؤثر بر این دو فرایند را بررسی کردند. ازجمله این پارامترها می‌توان به شکل جریان مواد، سرعت قالب، دما و ضریب اصطکاک مؤثر بر نیروها در حین ایجاد سر پیچ و کیفیت محصول تولیدی اشاره کرد.

در سال ۲۰۱۴ چنگ و همکارانش[۱۲] با استفاده از امواج آلتراسونیک و ارتعاش ابزار در حین اجرای فرآیند پیچزنی غلطکی، سعی بر افزایش خواص رزوه‌های حاصل را داشتند. استحکام به خستگی به‌دست‌آمده با این روش حدود دو برابر فرآیند پیچزنی غلطکی عادی گزارش شد. همچنین این روش باعث بهبود کیفیت سطح رزوه‌ها گردید و نتایج نشان داد که با این روش رزوه زنی، تنش‌های پسماند و همچنین عمقی از پیچ که دارای ساختاری با دانه‌های ریز است، افزایش می‌یابد.

در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ ژانگ و همکاران [۱۳, ۱۴] به بررسی روش جدید برای ایجاد هم‌زمان رزوه و چرخدنده به کمک فرایند نوردکاری دو غلطکی و سه غلطکی بر روی میله‌ها پرداختند و توانستند به کمک این روش زمان لازم برای اتمام فرآیند را کوتاه‌تر کرده و مواد مصرفی را کاهش دهند.

پژوهش‌های انجام گرفته در خصوص فرایند پیچزنی غلطکی به بررسی خواصی مانند عمر خستگی و تغییرات سختی در دندانه‌ها و ته[2] رزوه در میله‌ها اختصاص دارد. اما از آن جایی که استحکام مکانیکی قطعاتی که تحت فرایند پیچزنی غلطکی قرار گرفته‌اند کمتر مورد توجه قرار گرفته است و نتایج حاصل از بررسی این ویژگی بیشتر به صورت کیفی و بدون ارائه‌ی جزئیات ارائه شده است، این پژوهش به بررسی استحکام قطعات رزوه شده با فرایند پیچزنی غلطکی بر روی قطعات تو خالی اختصاص دارد. همچنین به منظور بررسی بیشتر عملکرد و بالا بردن سرعت و دقت در کسب نتایج، فرایند با استفاده از کد تجاری آباکوس شبیه‌سازی شده است. همچنین بافت رزوه نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آزمایش‌های تجربی

ماده‌ی مورد استفاده در این بررسی فولاد ساختمانی است و لوله-هایی از جنس St37 با داخل‌تراشی و تراشکاری خارجی به قطر داخلی ۳۶ میلیمتر و قطر خارجی ۴۶/۱ میلیمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با پیچزنی غلطکی و ماشینکاری، رزوه‌هایی با گام ۲ میلیمتر بر روی لوله‌ها ایجاد شد. شکل ۱ دستگاه پیچزنی غلطکی مورد استفاده و

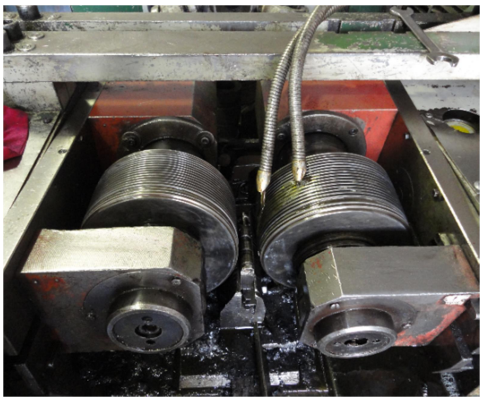
[1] Fracture Strength

[2] Root

www.SID.ir

Archive of SID

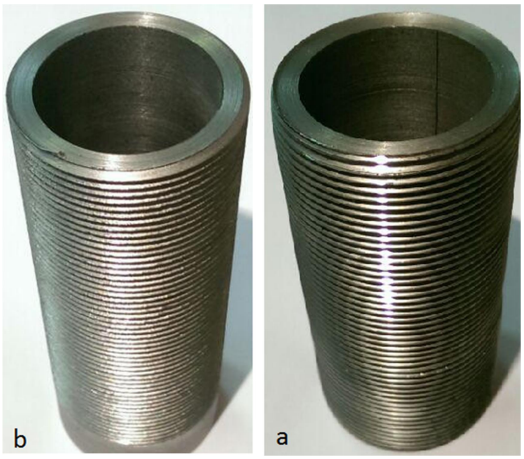
شکل ۲ لوله‌های رزوه شده با فرایند پیچزنی غلطکی و ماشینکاری شده را نشان می‌دهند. در جدول ۱ مشخصات دستگاه پیچزنی غلطکی آورده شده است.



شکل ۱- دستگاه پیچزنی غلطکی

جدول ۱- مشخصات دستگاه پیچزنی غلطکی

پارامتر	مقدار
نوع قالب‌ها	استوانه‌ای
نوع پیشروی	شعاعی
سرعت دوران	۲۴(r/min)
مایع روانکار	روغن ۱۰

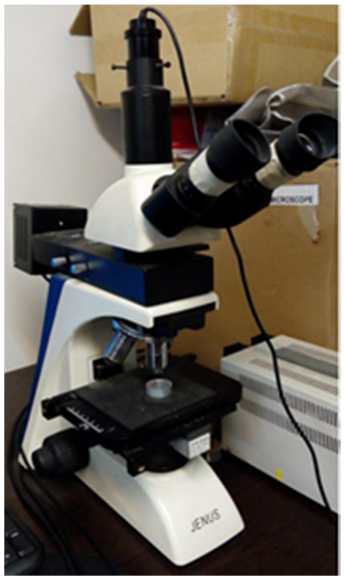


شکل ۲- قطعات رزوه شده

(a) غلطکی (b) ماشینکاری شده

بعد از ایجاد رزوه، لوله‌ها در راستای طولی برش داده شده و ریزساختار رزوه‌های حاصل از دو فرایند ماشینکاری و پیچزنی غلطکی مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. نمونه‌های مورد نظر تعبیه شده و ضمن بررسی سختی در آن‌ها، بعد از اچ کردن نمونه‌ها ریزساختار هر دو قطعه با استفاده از میکروسکوپ بررسی شده است. برای اچ کردن از محلول نایتال استفاده شد. در شکل ۳ تصویر دستگاه میکروسکوپ نوری و شکل ۴ دستگاه سنجش سختی آورده شده است.

شکل ۳- دستگاه میکروسکوپ نوری



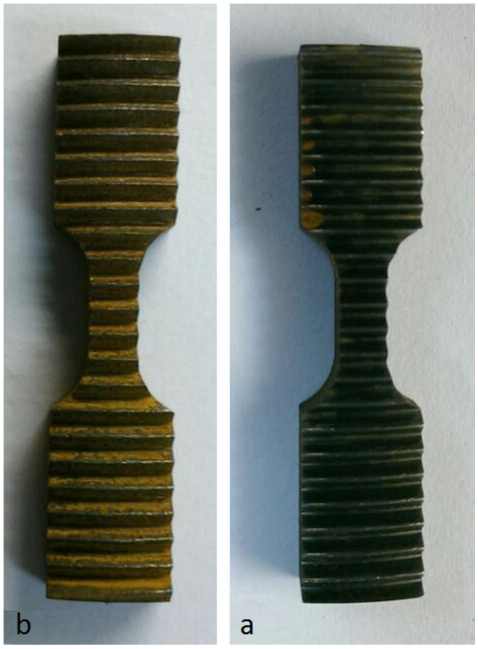
شکل ۴- دستگاه سختی سنجی

برای مقایسه استحکام رزوه‌های ایجادشده با دو فرایند ماشینکاری و پیچزنی غلطکی، نمونه‌هایی از لوله‌های رزوه شده با برش سیمی[1] جدا گردید(شکل ۵). سپس با قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه کشش(شکل ۶) و اعمال نیروی کششی، استحکام نمونه‌ها بررسی و مقایسه گردید.

[1] Wire Cut

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- نمونه‌های آماده شده برای کشش
(a) غلطکی (b) ماشینکاری شده

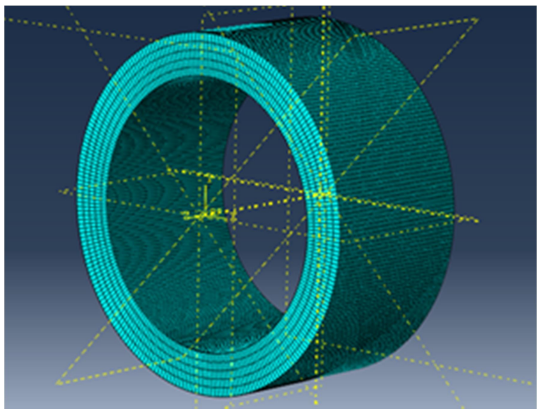
شکل ۶- دستگاه کشش

۲-۲- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی فرآیند پیچزنی غلطکی با مدل کردن این فرایند به‌صورت سه‌بعدی انجام گرفت. از میان راهکارهای مختلف برای مدل‌سازی یک فرایند، مکانیسمی شبیه به مکانیسم واقعی به‌کار گرفته شده در فرایند پیچزنی غلطکی، مدل شده است. شبیه‌سازی با چنین مدلی نیازمند زمان بیشتری برای حل است اما از نتایج دقیق‌تری برخوردار بوده و مطابقت بیشتری با واقعیت دارد.

غلطک‌ها به‌صورت صلب[1] در نظر گرفته شده و قطعه‌کار به‌صورت تغییر شکل‌پذیر[2] است. از مدل‌سازی قسمت‌های اضافه پرهیز شده است. حذف این قسمت‌ها زمان موردنیاز برای حل مسئله را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

مش‌های اعمال شده روی قطعه از نوع C3D8R بوده و قطعه به صورت متقارن مش بندی شده است. تعداد کل المان‌های ایجاد شده در قطعه ۶۰۰۰۰ المان است. شکل ۷ قطعه‌ی مش‌بندی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۷- قطعه‌ی مش‌بندی شده

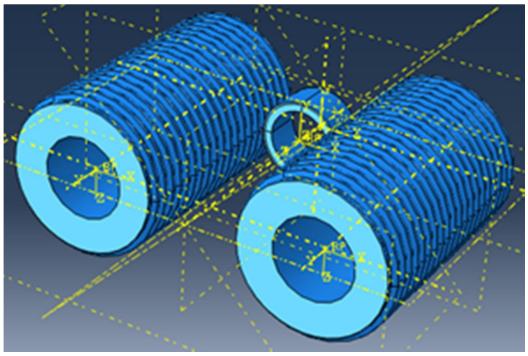
در شکل ۸ نحوه‌ی قرارگرفتن غلطک‌ها و قطعه در کنار هم نشان داده است. حرکت دو غلطک که دارای شیارهای لازم برای ایجاد رزوه هستند به نوعی است که با حرکت هم‌زمان به سمت قطعه در آن نفوذ کرده و باعث ایجاد رزوه در سطح آن می‌شوند. نوع تماس[3] بین غلطک-ها و قطعه‌کار از نوع اصطکاکی[4] بوده و ضریب اصطکاک بین آن‌ها با فرض روان کاری مناسبی که با مواد روان کار در حین فرایند انجام می‌شود برابر ۰.۱۵ در نظر گرفته‌شده است[۱۶]. برای حل مسئله از حل‌گر صریح دینامیکی[5] در کد تجاری آباکوس استفاده شده است.

در مدل ایجاد شده، غلطک‌ها با دوران، قطعه را به گردش وادار می‌کنند و با نفوذ تدریجی قالب در قطعه، مواد به داخل شیارهای غلطک‌ها سیلان پیدا کرده و رزوه‌ها در اثر تغییر شکل پلاستیک مواد روی قطعه ایجاد می‌شوند.

[1] Rigid
[2] Deformable
[3] Interaction
[4] Penalty
[5] Dynamic-Explicit

www.SID.ir

Archive of SID

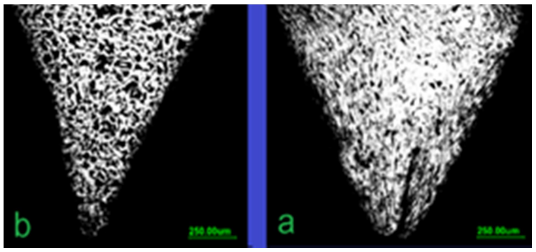


شکل ۸- مدل قالب‌ها و قطعه

۳- نتایج

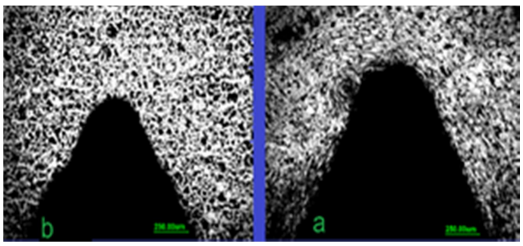
۳-۱- نتایج بررسی ریزساختار و سختی

بعد از پولیش، اچ و مانت کردن قسمت‌های بریده شده از نمونه-های رزوه شده، ریزساختار آن‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج بررسی ریزساختار سر و ته رزوه‌های تولید شده در دو فرایند ماشینکاری و پیچزنی غلطکی توسط میکروسکوپ در شکل ۹ و ۱۰ آورده شده است.



شکل ۹- ریزساختار سر رزوه‌های تولید شده

(a) غلطکی (b) ماشینکاری شده

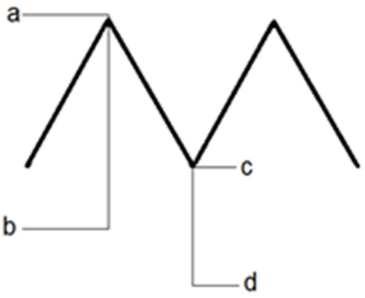


شکل ۱۰- ریزساختار ته رزوه‌های تولید شده

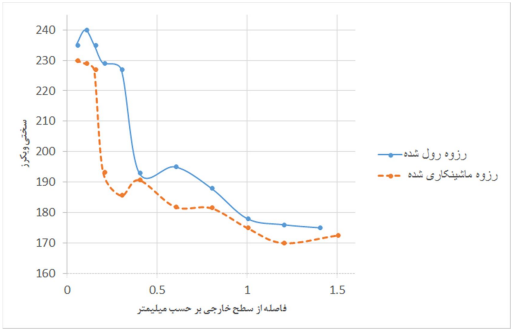
(a) غلطکی (b) ماشینکاری شده

در سر و ته روزه‌هایی که با فرایند ماشینکاری ایجادشده‌اند ریزساختار ماده چندان دچار تغییر و تحول نشده و فقط دانه‌بندی ماده در قسمت‌های برش خورده دچار بریدگی شده است. اما در روزه‌های حاصل از فرایند پیچزنی غلطکی به علت جریان یافتن ماده و فشار وارده از سوی قالب‌ها ساختار دانه‌بندی ماده دچار تغییر شده و در قسمت‌های تغییر شکل یافته دانه‌های ماده دچار کشیدگی شده‌اند. تغییر ساختار ماده در اثر کار سرد در فرایند پیچزنی غلطکی نسبت به بریده شدن ساختار دانه‌بندی در فرایند ماشینکاری باعث افزایش سختی رزوه‌های حاصل از فرایند پیچزنی غلطکی می‌شود [۳].

برای بررسی سختی رزوه‌ها با سنجیدن آن در پروفیلی مشابه شکل ۱۱ به انجام میکروسختی پرداخته‌شده است. در شکل ۱۲ نیز نتایج حاصل از میکرو سختی سر رزوه در نمونه‌های ماشینکاری شده و پیچ-زنی غلطکی نشان داده شده است.



شکل ۱۱- طرحواره مسیر سختی سنجی



شکل ۱۲- سختی در سر رزوه‌ها

همانطور که در نمودارهای شکل ۱۲ مشخص است اگر از سر رزوه‌ی حاصل از فرایند پیچزنی غلطکی به سمت پای دنده حرکت شود، قسمت‌های نزدیک به سطح آزاد قطعه دارای سختی پایین‌تر از قسمت-های کمی پایین‌تر است. دلیل آن می‌تواند شرکت نداشتن ماده‌ای که در این سطح می‌باشد در جریان مواد و درنتیجه عدم وجود کارسختی باشد[۱۵]. از طرف دیگر نمودار نشان می‌دهد که سختی با حرکت به سمت مرکز قطعه رفته‌رفته کاهش می‌یابد که دلیل آن با توجه به شکل ۹ و ۱۰، اعمال کار سرد به قطعه در حین فرایند نورد و ایجاد کرنش سختی باشد. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص است میزان کرنش سختی در قسمت‌های مرکزی پای دنده کمتر است. این روند در گزارشات پیشین محققان نیز مشاهده می‌شود[۴].

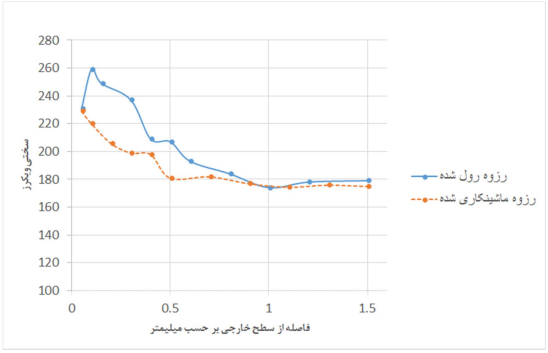
همچنین در شکل ۱۲ مشخص است که در رزوه‌ی ماشینکاری شده سختی رزوه با فاصله گرفتن از سر دندانه تقریباً به‌صورت پیوسته کاهش می‌یابد. در عملیات ماشینکاری برای ایجاد رزوه، قسمت‌های خارجی دندانه‌ی رزوه برش می‌خورند و قسمت‌های داخلی دندانه‌ی رزوه تحت تأثیر ابزار برشی قرار نگرفته و در نتیجه ساختار دانه‌بندی ماده دچار تغییر چندانی نمی‌شود [۳،۱۴]. این مطلب در شکل ۹ نیز مشخص است. نمودار شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در قسمت‌هایی که چندان دچار تغییر شکل پلاستیک نشده‌اند سختی تغییر چندانی نکرده

www.SID.ir

Archive of SID

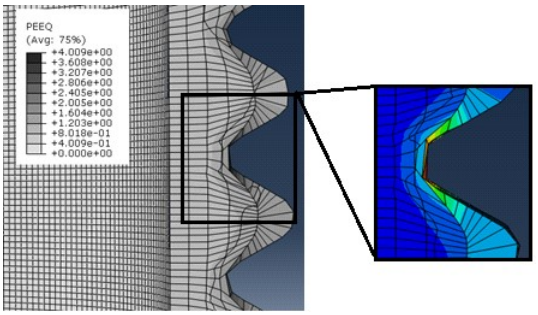
و دارای یکنواختی نسبی در سختی است. از مقایسه دو نمودار می‌توان دریافت که سختی رزوه حاصل از فرایند پیچزنی غلطکی از رزوه حاصل از فرایند ماشینکاری بیشتر است.

شکل ۱۳ مقایسه‌ای بین تغییرات سختی در ته دندانه‌های رزوه شده با فرایند ماشینکاری و فرایند پیچزنی غلطکی دارد.



شکل ۱۳- سختی در ته رزوه‌ها

همانطور که در نمودار شکل ۱۳ مشخص است در ته دندانه رزوه نورد شده نیز مانند سر آن ابتدا افزایش سختی و سپس کاهش آن وجود دارد. با بالا رفتن میزان کرنش اعمالی و کشیدگی ساختار دانه‌ای ماده در جهت جریان یافتن ماده (شکل ۹ و۱۰) و همچنین به علت فشار وارده از سمت قالب‌ها در ماده تنش فشاری پسماند ایجاد می‌شود و این امر باعث افزایش استحکام و سختی ماده می‌شود. نکته مهم این است که میزان سختی افزایش یافته در این قسمت ته رزوه حدود ۱۰ درصد از بیشتر افزایش سختی در سر رزوه نورد شده است که حاکی از کرنش سختی بالای رخ داده در ته رزوه حاصل از پیچ زنی غلطکی است و با تحقیقات پیشین[۴,۱۶] مطابقت دارد. نتیجه‌ی شبیه‌سازی نیز مؤید این مسأله است(شکل ۱۴). بیشترین میزان کرنش در رزوه‌های ایجاد شده در فرایند پیچزنی غلطکی در ته رزوه‌ها اتفاق افتاده و با فاصله گرفتن از قسمت‌هایی که تحت تأثیر تغییر شکل گرفته‌اند میزان کرنش کاهش می‌یابد. بنابراین در نقاطی که در فاصله‌ی نسبتاً زیاد از ماده‌ای که در حین تغییر شکل قرار دارد، سختی تقریباً برابر میزان سختی ماده‌ی رزوه شده در شرایط قبل از تغییر شکل است.

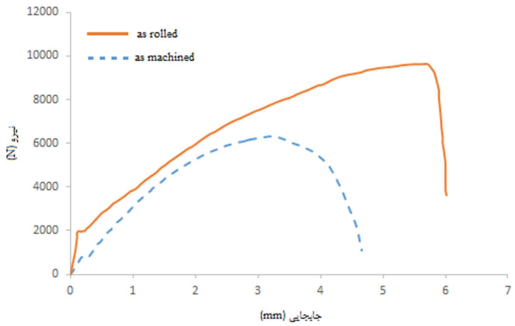


شکل ۱۴- نتایج تغییرات کرنش در شبیه‌سازی

۳-۲- تأثیر فرایند ایجاد رزوه بر استحکام آن

آزمایشات کشش محوری انجام شده بر روی نمونه‌های کشش نشان می‌دهد که استحکام کششی رزوه‌های ایجاد شده با فرایند پیچ-زنی غلطکی و ماشینکاری با زیاد شدن میزان کرنش تا نقطه‌ی گسیختگی روند صعودی را طی می‌کند(شکل ۱۵).

از طرف دیگر تست کشش نشان داد با وجود تشابه ابعاد و هندسه-ی کلی دو نمونه، نمونه‌ای که با فرایند پیچزنی غلطکی تولید شده است دارای استحکام کششی حدود ۱/۵ برابر استحکام کششی نمونه‌ی تولید شده با فرایند ماشینکاری است. در فرایند ماشینکاری به علت ماهیت برشی فرایند کار سرد چندانی به قطعه اعمال نمی‌شود در حالی که در فرایند پیچزنی غلطکی به علت کار سردی که بر قطعه اعمال می‌شود استحکام قطعه افزایش می‌یابد[۱۴].



شکل ۱۵- استحکام کششی نمونه‌های رزوه شده با ماشینکاری و نورد

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله رزوه‌های ایجاد شده با فرایندهای پیچزنی غلطکی بر روی لوله از جنس ST37 بررسی شد. ضمن شبیه‌سازی فرایند پیچزنی غلطکی با نرم افزار تجاری آباکوس، ریز ساختار، سختی سطح مقطع و استحکام رزوه‌های تولید شده با فرایند پیچزنی و ماشینکاری شده مقایسه و نتایج زیر حاصل شده است:

۱- رزوه‌های ایجادشده در لوله‌ها با فرایند پیچزنی غلطکی نسبت به رزوه‌های مشابه ایجادشده با فرایند ماشینکاری دارای سختی بیشتری هستند. پیچزنی غلطکی نوعی کار سرد در حین عملیات بر روی قطعه اعمال می‌کند و این کار سرد با تغییر در شکل دانه-بندی مواد باعث سخت‌تر شدن قسمت‌های تغییر شکل یافته می‌شود.

۲- شکل دانه‌بندی مواد در دندانه‌های ایجادشده با فرایند پیچزنی غلطکی دچار تغییر می‌شود و میزان این تغییر در قسمت پای دنده‌ی رزوه بیشتر از سایر نقاط است.

۳- افزایش سختی رزوه‌ها در پای دنده‌ی رزوه نسبت به نقاط دیگر دندانه بیشتر است و علت این است که قسمت پای دنده بیشتر از سایر قسمت‌ها تحت کار سرد قرار می‌گیرد. کار سرد اعمالی بر روی قطعه باعث فشرده شدن لایه‌های ماده شده و تنش پسماند

www.SID.ir

Archive of SID

فشاری در این قسمت‌ها به جای می‌گذارد و این امر باعث افزایش سختی می‌شود.

۴- با فاصله گرفتن از قسمت‌هایی از ماده که تحت تغییر شکل قرار گرفته‌اند سختی قطعه ثابت و یکنواخت می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که فرایند پیچزنی غلطکی باعث ایجاد سختی سطحی در قطعه‌ی رزوه شده می‌شود.

۵- نتایج حاصل از آزمایشات حاکی از این است که فرایند پیچزنی غلطکی باعث بهبود در استحکام و سختی لوله‌های رزوه شده می‌شود. استحکام نمونه‌های رزوه شده با فرایند پیچزنی غلطکی حدود ۵۴ درصد از استحکام نمونه‌های رزوه شده با فرایند ماشینکاری بیشتر است. همچنین سختی در نواحی نزدیک به سر رزوه‌ها در نمونه‌های رزوه شده با فرایند پیچزنی غلطکی حدود ۴ درصد از سختی نمونه‌های رزوه شده با فرایند ماشینکاری بیشتر است و سختی در نواحی نزدیک به ته رزوه‌ها در نمونه‌های رزوه شده با فرایند پیچزنی غلطکی حدود ۱۷ درصد از سختی نمونه‌های رزوه شده با فرایند ماشینکاری بیشتر است. این نتایج نشان می‌دهد که میزان بهبودی در استحکام نمونه های رزوه شده با فرایند پیچزنی غلطکی بسیار قابل-توجه‌تر از بهبود سختی این نمونه‌ها در فرایند ماشینکاری است. همچنین مقایسه‌ی استحکام و سختی نمونه‌های تولید شده با دو فرایند نشان می‌دهد فرایند پیچزنی غلطکی علاوه بر افزایش سختی نمونه‌ها شکل‌پذیری نمونه‌ها را هم افزایش می‌دهد.

۵- مراجع

[1] Ostwald P.F., Munoz J., Manufacturing Processes and Systems, 9th Edition, Wiley, New York, 1997, pp. 516.

[2] Quality Supplants Bid-and-Buy Tradition, Vol. 85, No. 10, Industrial Distribution, October, pp. 10–12, 1996.

[3] Chapman Woodrow W. Modern machine shop's guide to threads, threading, and threaded fasteners. Cincinnati, OH: Hanser Gardner Publications, 2004.

[4] Khostikoev M. Z., et al. Quality control of rolled threads, Russian Engineering Research 35.2, pp. 143-146, 2015.

[5] Kim, W., et al. "Fatigue strength and residual stress of groove-rolled products." Journal of Materials Processing Technology 194.1 (2007): 46-51.

[6] Zhou, Congling, Shin-Ichi Nishida, and Nobusuke Hattori. Fatigue Properties of Automobile High-Strength Bolts, International Journal of Modern Physics B 22.31n32, pp. 5539-5544, 2008.

[7] Marcelo A. L., et al. Fatigue properties of high strength bolts, Procedia Engineering 10, pp. 1297-1302, 2011.

[8] Lee H. W., et al. Thread forming of a micro screw for storage devices using finite element analysis, *Advanced Materials Research*. Vol. 264. Trans Tech Publications, 2011.

[9] Song, Jung Han, et al. Numerical and Experimental Approach for Incremental Thread Rolling Process of Micro-Sized Screws, *Advanced Materials Research*. Vol. 472. Trans Tech Publications, 2012.

[10] Venkateswarlu, Vartha, et al. Failure analysis and optimization of thermo-mechanical process parameters of titanium alloy (Ti–6Al–4V) fasteners for aerospace applications, Case Studies in Engineering Failure Analysis 1.2, pp. 49-60, 2013.

[11] Hwang, Yeong Maw, Kai Neng Hwang, and Chia Yu Chang. Study on Heading and Thread-rolling Processes of Magnesium Alloy Screws, *Key Engineering Materials*. Vol. 535. Trans Tech Publications, 2013.

[12] Cheng, Minglong, et al. Development of ultrasonic thread root rolling technology for prolonging the fatigue performance of high strength thread, Journal of Materials Processing Technology 214.11, pp. 2395-2401, 2014.

[13] Zhang, Da-Wei, and Sheng-Dun Zhao. "New method for forming shaft having thread and spline by rolling with round dies." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70.5-8, pp. 1455-1462, 2014.

[14] Zhang, Da-Wei, et al. Phase characteristic between dies before rolling for thread and spline synchronous rolling process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 81.1-4, pp. 513-528, 2015.

[15] Semiatin, Sheldon Lee, ed. *ASM Handbook, Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming*. ASM International, 2005.

[16] Yamanaka, Shigeru, et al. Plastic Working of Metallic Glass Bolts by Cold Thread Rolling." *Materials transactions* 52.2, pp. 243-249, 2011.

[17] Callister William D., and David G. Rethwisch. *Materials science and engineering*. Vol. 5. NY: John Wiley & Sons, 2011.

www.SID.ir